



**T.C.**  
**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ DUVARININ PERFORMANSINA**  
**ETKİLEYEN PARAMETRELERİN SAYISAL**  
**VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Mehmet Ali KALLIOĞLU**

**DOKTORA TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2021**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Mehmet Ali KALLIOĞLU  
Tarih: 15/01/2021

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

## GÜNEŞ DUVARININ PERFORMANSINA ETKİLEYEN PARAMETRELERİN SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet Ali KALLIOĞLU

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2021, 235 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Aydın DURMUŞ

Doç. Dr. Lütfü NAMLI

Doç. Dr. Abdullah AKBULUT

Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Bu tez çalışmasında güneş duvarı sisteminin absorban plakasındaki modifikasyonlarla ısı performans ve ısı verim etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde kurulan prototipin performansına etkileyen parametreler sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Kurulan model düzeneğinde iki farklı birbirinden bağımsız eş ölçülere sahip (2,05m x 1,95m x 2,33 m) 9,31 metre küp hacminde deney odası ve test odası bulunmaktadır. Bu sayede eş zaman ve iklim koşullarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Termal bölge tasarımında kullanılan farklı geometrik özellikteki üç absorban plakanın (düz sac, sinüs oluklu 76/18 trapez sac ve 27/200 trapez sac) hız, sıcaklık, ısı akısı, verim, Nusselt ve Rayleigh değerleri mukayese edilmiştir. Bu karşılaştırma parametreleri birebir ölçekte modellenen hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket yazılımında da (ANSYS-FLUENT) geçerlemesi yapılarak birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen Nusselt (Nu) sayısına karşılık Rayleigh (Ra), Grashof (Gr), Prandtl (Pr) ve kanal yükseklik/en (H/e) değerleri kullanılarak açık ve kapalı kanallar için literatürde tanımlanan altı farklı model grubundan lineer ve nonlineer eşitlikler MATLAB-R2019b yazılımın eğri uydurma (Curve Fitting) uygulamasında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen eşitlikler doğal taşınım da Nusselt hesabı için tanımlanan önceki 18 çalışma ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar ve çözümler dikey ve paralel levhadaki sabit ısıdaki güneş duvarı modelinde 08:00 ile 18:00 saatleri arasında hesaplanan Rayleigh (Ra) değeri değişimi akış formuna göre Nusselt tahmin değişimleri ifade edilmiştir. Oluşturulan 60 farklı durum için ilk aşamada istatistiksel açıdan en iyi uyum modeli oluşturulmuş ikinci aşamada ise ilk eğri uydurmadaki izin verilen katsayı aralıklarında modeller yeniden düzenlenerek literatüre uygun katsayılı eşitlikler geliştirilmiştir. Bu amaçla Rayleigh aralıkları için toplamda 120 farklı matematiksel eşitlik oluşturulmuştur. Geliştirilen toplam eşitliklerin ortalama determinasyon katsayısı değeri 0,9130 seviyesindedir. Tüm bu yapılan analizlerle sistemin performansı artırılmasına yönelik bulgular elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güneş Duvarı, Enerji Verimliliği, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Nusselt, Bina

## **ABSTRACT**

### **Ph.D THESIS**

## **NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING THE PERFORMANCE OF THE SOLAR WALL**

**Mehmet Ali KALLIOĞLU**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE  
OF BATMAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN MECHANICAL  
ENGINEERING**

**2021, 235 Pages**

#### **Jury**

**Advisor: Prof. Dr. Aydın DURMUŞ**

**Assoc. Prof. Dr. Lütfü NAMLI**

**Assoc. Prof. Dr. Abdullah AKBULUT**

**Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA**

**Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ**

This thesis study aimed the thermal performance and thermal efficiency of the solar wall system by modifications at the absorbent plate. Accordingly, parameters that affect the performance of the prototype in Batman University Batı Raman Campus were numerically and experimentally analyzed. There were two different and independent of each other test room and experiment room with equal dimensions (2.05 m x 1.95 m x 2.33 m) with a volume of 9.31 cubic meter on the model mechanism established. By this means, comparisons at the same time, and climatic conditions were performed. Velocity, temperature, heat flux, efficiency, Nusselt and Rayleigh values of three absorbent plates with different geometric properties (flat sheet, 76/18 trapezoidal sheet with sinus corrugation and 27/200 trapezoidal sheet) used in thermal zone design were compared. It was also observed and confirmed in computational fluid dynamics package software (ANSYS-FLUENT) that those comparison parameters that were modeled at a one-to-one scale were compatible with each other. Linear and nonlinear equalities that are from six different model groups that are defined in literature for open and closed channels by using Rayleigh (Ra), Grashof (Gr), Prandtl (Pr), and H/e values in response to Nusselt (Nu) number of the experimental study were performed in Curve Fitting application of MATLAB-R2019b software. The related equations are compared with the previous 18 studies defined for the Nusselt calculation in natural convection. Calculations and observations were divided into three regions based on Rayleigh (Ra) value change flow form that is computed between 08:00 and 18:00 in constant temperature solar wall model in the vertical and parallel plate to mention more consistent Nusselt estimation changes. In the first stage, the statistically best harmonic model was established for 24 different situations; in the second stage, models that are in permitted coefficient ranges in the first curve fitting were rearranged to developed equalities with coefficients fir for literature. This is because there were established 48 different mathematical equalities for four different Rayleigh ranges. The average determination coefficient of the developed total equations is at the level of 0.9130. Findings toward increasing the system performance were obtained via all these analyses

**Keywords:** Solar Wall, Energy Efficiency, Computational Fluid Dynamics, Nusselt, Structure

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının şekillenmesinde; yönlendirme, bilgi ve tecrübeleriyle destek aldığım çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Aydın DURMUŞ'a, Sayın Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK'e, Sayın Doç.Dr. Hakan KARAKAYA'ya ve Sayın Dr. Öğr. Adem YILMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yaptığım bu çalışmaya maddi destek sunan Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BTÜBAP) Koordinatörlüğü'ne ve proje yürütücüm Sayın Prof. Dr. Aydın DURMUŞ'a teşekkür ederim.

Batman Üniversitesi'nde yaptığım deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen Teknoloji Fakültesi, Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde emeği olan başta annem Gül KALLIOĞLU'na, babam Kadir KALLIOĞLU'na ve kardeşlerime, özellikle çalışmalarımda beni her zaman destekleyen çok sevdiğim eşim Songül KALLIOĞLU ve ailesine, ayrıca küçük kalbiyle bana her zaman destek olmaya çalışan biricik canım oğlum Berkant KALLIOĞLU'na gösterdikleri sabırdan dolayı minnettarım...

Mehmet Ali KALLIOĞLU  
BATMAN-2021

## İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ÖZET</b> .....                                    | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                | <b>v</b>    |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....                                | <b>vi</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....                             | <b>vii</b>  |
| <b>TABLolar LİSTESİ</b> .....                        | <b>x</b>    |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....                        | <b>xii</b>  |
| <b>SİMGELER</b> .....                                | <b>xxii</b> |
| <b>KISALTMALAR</b> .....                             | <b>xxvi</b> |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....                                | <b>1</b>    |
| 1.1 Amaç ve Kapsam .....                             | 5           |
| 1.2 Deneysel Konumun Meteorolojik Özellikleri .....  | 6           |
| 1.2.1 İklim Sınıflandırması .....                    | 6           |
| 1.2.2 Sıcaklık Değerleri .....                       | 11          |
| 1.2.3 Işınım Değerleri .....                         | 14          |
| 1.3 Deneysel Konumun Arazi Özellikleri .....         | 17          |
| 1.3.1 Yüzey Albedo Değerleri .....                   | 17          |
| 1.3.2 Optimum Azimut Değeri .....                    | 20          |
| 1.4. Pasif İklimlendirme.....                        | 22          |
| 1.4.1. Enerji Dengesi Parametreleri .....            | 24          |
| 1.4.2. Işınım .....                                  | 26          |
| 1.4.2.1 Panel Üzerine Düşen Işınım Hesabı .....      | 28          |
| 1.4.3. Doğal Taşınım.....                            | 35          |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....                   | <b>39</b>   |
| 2.1. Güneş Cephesi Literatür Çalışması.....          | 39          |
| 2.2. Doğal Taşınım Literatür Çalışması .....         | 58          |
| 2.2.1 Açık Kanal .....                               | 58          |
| 2.2.2. Kapalı Kanal .....                            | 65          |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....                   | <b>68</b>   |
| 3.1. Deneysel Çalışma .....                          | 68          |
| 3.1.1 Deneysel Malzemenin Özellikleri .....          | 69          |
| 3.1.1.1 Duvar Bileşeni .....                         | 70          |
| 3.1.1.2 Saydam Örtü .....                            | 71          |
| 3.1.1.3 Absorban Plaka .....                         | 73          |
| 3.1.1.4 Damperli Lineer Menfez.....                  | 74          |
| 3.1.2 Güneş Duvarı Modelinin Kurulum Aşamaları.....  | 76          |
| 3.1.3. Deneysel Ekipmanlar .....                     | 82          |
| 3.1.3.1. Solar Meter SM206 Güneş Işınımı Ölçer ..... | 82          |

|  |            |
|--|------------|
| 3.1.3.2. Extech Instruments EN300 Anemometre.....  | 83         |
| 3.1.3.3. K-Tipi Termokupl Sıcaklık Ölçer.....  | 84         |
| 3.1.3.4. Cem-DT-186 Hava Hızı Ölçer.....   | 85         |
| 3.1.3.5. Elimko 680 Datalogger.....  | 86         |
| 3.1.4. Ölçüm Noktaları .....   | 87         |
| 3.1.5. Hata Analizi .....  | 96         |
| 3.2. Matematiksel Hesaplamalar.....  | 98         |
| 3.2.1. A Noktası Enerji Dengesi .....  | 100        |
| 3.2.2. B Noktası Enerji Dengesi .....  | 100        |
| 3.2.3. C Noktası Enerji Dengesi .....  | 102        |
| 3.2.4. D Noktası Enerji Dengesi .....  | 104        |
| 3.2.5. Havanın Termodinamik Özellikleri .....  | 105        |
| 3.3. Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE).....  | 105        |
| 3.3.1 Hesaplamalı Akışkanla Dinamiği (HAD).....  | 106        |
| 3.3.2 Akışkanlar Mekaniği Prensipleri .....  | 109        |
| 3.3.2.1 Genel Denklemler .....   | 110        |
| 3.3.2.2 Türbülans Modeli.....  | 111        |
| 3.3.2.3 Bousineq Yaklaşımı .....   | 112        |
| 3.3.3 Model Simülasyonu .....  | 115        |
| 3.3.3.1 Yazılım-Donanım .....  | 118        |
| 3.3.3.2 Geometri .....   | 118        |
| 3.3.3.3 Mesh.....  | 119        |
| 3.3.3.4 Sınır Koşulları.....   | 122        |
| 3.3.4 Çözüm Aşamaları .....  | 123        |
| 3.4. İstatistiksel Analiz Metotları.....   | 130        |
| 3.4.1.Bağıl Hata Yüzdesi (e %) .....   | 130        |
| 3.4.2 Hata Kareler Toplamı (SSE).....  | 131        |
| 3.4.3 Belirlilik (Determinasyon) Katsayısı ( $R^2$ ) .....                                 | 131        |
| 3.4.4 Ortalama Hata Kareleri Kökü (RMSE) .....   | 131        |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>   | <b>132</b> |
| 4.1. Güneş Duvarı Modelinin Deneysel Sonuçları .....                                       | 132        |
| 4.1.1 Düz Panel Sonuçları.....   | 132        |
| 4.1.2 27/200 Trapez Sac .....  | 139        |
| 4.1.3 Sinüs Oluklu 76/18 Trapez Sac .....  | 145        |
| 4.2. Deneysel Karşılaştırma .....  | 151        |
| 4.3. Geliştirilen Boyutsuz Parametreler .....  | 159        |
| 4.3.1 Düz Panel .....  | 160        |
| 4.3.1.1 Rayleigh-Nusselt ( $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$ ) Sonuçları .....   | 160        |
| 4.3.1.3 Rayleigh-Nusselt ( $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 30 \times 10^8$ ) Sonuçları .....  | 164        |
| 4.3.1.4 Rayleigh-Nusselt ( $30 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$ ) Sonuçları .....  | 168        |
| 4.3.1.1 Rayleigh-Nusselt ( $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$ ) Sonuçları .....   | 171        |
| 4.3.2. Trapez Panel .....  | 175        |
| 4.3.2.1 Rayleigh-Nusselt ( $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$ ) Sonuçları ..... | 176        |
| 4.3.2.2 Rayleigh-Nusselt ( $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$ ) Sonuçları ..... | 179        |
| 4.3.2.3 Rayleigh-Nusselt ( $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$ ) Sonuçları .....  | 183        |
| 4.3.3 Sinüs Panel.....   | 186        |
| 4.3.3.1 Rayleigh-Nusselt ( $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$ ) Sonuçları ..... | 187        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.3.3.2 Rayleigh-Nusselt ( $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$ ) Sonuçları ..... | 190        |
| 4.3.3.3 Rayleigh-Nusselt ( $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$ ) Sonuçları .....  | 193        |
| 4.3.4 İstatiksel Sonuçlar .....  | 197        |
| 4.4. HAD Sayısal Model Sonuçları .....   | 201        |
| 4.4.1 Sıcaklık .....   | 201        |
| 4.4.2 Hız .....  | 206        |
| 4.4.4 Nusselt .....  | 212        |
| 4.4.4 Isı Akısı .....  | 213        |
| 4.5 Optimum Panel Eğim Açısı .....   | 218        |
| 4.6 Geliştirilen Korelasyonlar .....   | 220        |
| 4.6.1 Düz Panel Eğrileri .....   | 220        |
| 4.6.2 27/200 Trapez Panel Eğrileri .....   | 223        |
| 4.6.3 Sinüs Oluklu 76/18 Trapez Panel Eğrileri .....                                       | 225        |
| <b>5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>   | <b>228</b> |
| 5.1. Genel Sonuçlar .....  | 228        |
| 5.2. Öneriler .....  | 234        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>236</b> |
| <b>EKLER .....</b>   | <b>246</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>304</b> |

## TABLULAR LİSTESİ

|   |     |
|---|-----|
| Tablo 1.1. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre temel iklim tiplerinin özellikleri (Peel, Finlayson, ve McMahon 2007) ..... | 7   |
| Tablo 1.2. Batman'ın aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (1959-2019) (Anonim, 2020b) .....                                 | 8   |
| Tablo 1.3. Batman iline ait 1959-2019 yılları içinde gerçekleşen ortalama değerleri (Anonim, 2020c) .....                         | 12  |
| Tablo 1.4. Arazi albedo değeri (Taha, Sailor, ve Akbari 1992) .....   | 18  |
| Tablo 1.5. Çeşitli malzemelerin güneş soğurma dereceleri (Yeang 2006) .....   | 18  |
| Tablo 1.6. Batman ili aylık değişken toprak albedo değerleri .....  | 19  |
| Tablo 1.7. Farklı renklere ait dalga boyu aralığı .....   | 28  |
| Tablo 1.8. Doğal taşınımın fiziksel büyüklüğü .....   | 36  |
| Tablo 2.1. Literatür özeti .....  | 53  |
| Tablo 2.2. Doğal taşınım eşitlikleri ve kısıtlamalar .....  | 67  |
| Tablo 3.1. Yapı bileşen özellikleri .....   | 69  |
| Tablo 3.2. Modeldeki duvarın toplam ısı geçiş katsayısı .....   | 71  |
| Tablo 3.3. Cam malzemesi özellikleri .....  | 73  |
| Tablo 3.4. Solar Meter SM206 cihazına ait teknik özellikler .....   | 83  |
| Tablo 3.5. Extech EN 300 cihazına ait teknik özellikler .....   | 84  |
| Tablo 3.6. Cem-DT-186 cihazına ait teknik özellikler .....  | 85  |
| Tablo 3.7. Elimko 680 datalogger cihazına ait teknik özellikler .....   | 86  |
| Tablo 3.8. Deneysel ölçüm noktaları .....   | 87  |
| Tablo 3.9. Denklem 3.53'deki katsayı terimlerin değişkenleri .....  | 109 |
| Tablo 3.10. Levha üzerindeki cidar şartları .....   | 114 |
| Tablo 3.11. Boyutsuz cidar şartları .....   | 115 |
| Tablo 3.12. Yapı bileşenlerinin özellikleri .....   | 119 |
| Tablo 3.13. Düz panel mesh istatistikleri .....   | 121 |
| Tablo 3.14. 27/200 Trapez panel mesh istatistikleri .....   | 122 |

|   |     |
|---|-----|
| Tablo 3.15. Sinüs oluklu 76/18 trapez mesh istatistikleri.....          | 122 |
| Tablo 3.16. Düz panel sınır şartları.....                               | 122 |
| Tablo 3.17. 27/200 Trapez panel sınır şartları .....                    | 123 |
| Tablo 3.18. Sinüs oluklu 76/18 trapez sınır şartları .....              | 123 |
| Tablo 4.1. Güneş duvarı modeli eşitlikleri .....                        | 159 |
| Tablo 4.2. Geliştirilen eşitlikler 1-6.....                             | 160 |
| Tablo 4.3. Geliştirilen eşitlikler 7-12.....                            | 164 |
| Tablo 4.4. Geliştirilen eşitlikler 13-18.....                           | 168 |
| Tablo 4.2. Geliştirilen eşitlikler 19-24.....                           | 172 |
| Tablo 4.6. Geliştirilen eşitlikler 25-30.....                           | 176 |
| Tablo 4.7. Geliştirilen eşitlikler 31-36.....                           | 180 |
| Tablo 4.8 Geliştirilen eşitlikler 37-42.....                            | 183 |
| Tablo 4.9. Geliştirilen eşitlikler 42-47.....                           | 187 |
| Tablo 4.10. Geliştirilen eşitlikler 48-53.....                          | 190 |
| Tablo 4.11 Geliştirilen eşitlikler 54-59.....                           | 193 |
| Tablo 4.12 Geliştirilen modellerin istatikselsel analizi .....          | 198 |
| Tablo 4.13. Parametrelerin model geçerlemesi.....                       | 217 |
| Tablo 4.14. Optimum açı-verim ilişkisi.....                             | 218 |
| Tablo 4.15 Düz panel istatikselsel sonuçları .....                      | 222 |
| Tablo 4.16 27/200 trapez panel istatikselsel sonuçları.....             | 224 |
| Tablo 4.17 Sinüs oluklu 76/18 trapez panel istatikselsel sonuçları..... | 227 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

| Şekil   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 1.1. Mesa Verde ulusal parkı a) Yaz mevsimi, b)Kış mevsimi (Anonim 2019a) ...   | 1     |
| Şekil 1.2. Acoma yerleşimi a) Güneşin yıllık hareketi evler üzerine etkisi, b) Teraslı evlerin görünümü (Knowles 2003)..... | 2     |
| Şekil 1.3. Hasankeyf'in güney yöne bakan mağaraları (Anonim 2020a).....   | 2     |
| Şekil 1.4. İlk güneş duvarı uygulaması patenti (Morse 1881).....  | 3     |
| Şekil 1.5. Michel-Trombe evi ( Anonim 2019b) .....  | 4     |
| Şekil 1.6. Deney düzeneğinin Batı Raman Kampüsündeki konumu .....   | 6     |
| Şekil 1.7. Türkiye'nin Köppen-Geiger alt iklim tipleri (Öztürk, Çetinkaya, ve Aydın 2017).....                              | 8     |
| Şekil 1.8. Aydeniz iklim sınıflandırması (Anonim, 2019c).....   | 9     |
| Şekil 1.9. Erinç iklim sınıflandırması (Anonim, 2019c).....   | 10    |
| Şekil 1.10. De Martonne iklim indeksi (Anonim, 2019c) .....   | 11    |
| Şekil 1.11. 2019 Şubat ayı sıcaklık değişimi .....  | 12    |
| Şekil 1.12. 2019 Mart ayı sıcaklık değişimi .....   | 13    |
| Şekil 1.13. 2019 Nisan ayı sıcaklık değişimi.....   | 13    |
| Şekil 1.14. PVGIS uzun dönem sıcaklıkları ( Anonim 2019d.) .....  | 14    |
| Şekil 1.15. Türkiye global güneş radyasyon dağılımı (Anonim 2019e.).....  | 15    |
| Şekil 1.16. Batman ili yıllık global radyasyon değeri (Anonim 2019e).....   | 15    |
| Şekil 1.17. Aylık güneş ışınlamı miktarı ( $W/m^2/gün$ ).....   | 16    |
| Şekil 1.18. Aylık güneşlenme süresi (saat).....   | 16    |
| Şekil 1.19. Batman ili ve Türkiye ortalaması güneş ışınlamı karşılaştırılması .....   | 17    |
| Şekil 1.20. Dünyanın toprak albedo değeri (Rechid, Raddatz, ve Jacob 2009).....   | 18    |
| Şekil 1.21. Güneş duvarı modeli ve albedo miktarı .....   | 19    |
| Şekil 1.22. Güneş duvarı ve açılal azimut değerleri.....  | 20    |
| Şekil 1.23. 21 Haziran ( Anonim 2020e).....   | 21    |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.24. 21 Aralık ( Anonim 2020e) .....   | 22 |
| Şekil 1.25. Model güneş duvarındaki referans basınç noktası.....  | 24 |
| Şekil 1.26. Klasik Trombe duvarında ısı transferi türleri .....   | 26 |
| Şekil 1.27. Güneşin elektromanyetik spektrumunun dağılımı (Sze 2008).....   | 27 |
| Şekil 1.28. Eğilimli düzlem üzerine gelen güneş ışıını bileşenleri.....   | 29 |
| Şekil 1.29. Yüzey azimut açısının gösterimi (Görcelioğlu 1986).....   | 29 |
| Şekil 1.30. Farklı yönlendirmedeki Trombe duvarları için ısı verim yüzdesi (Yeang 2006).....  | 30 |
| Şekil 1.31. Dünya ve Güneş konumlarının deklinasyon açısı .....   | 32 |
| Şekil 1.32. Açılı panel üzerine düşen güneş ışıını hesap algoritması .....  | 34 |
| Şekil 1.33. Sabit sıcaklıkta düşey sıcak bir levha etrafında doğal ısı taşınım rejimleri..  | 38 |
| Şekil 2.1. Trombe duvarı düzeneği a) Önden görünüşü b) İzometrik görünüş (Y. Liu vd. 2013).....   | 40 |
| Şekil 2.2. a) Yalıtımlı duvar b) Trombe duvarı c) Yeni nesil Trombe duvarı (Bellos vd. 2016).....   | 41 |
| Şekil 2.3. Trombe duvarı optimum analizi a) Enerji kazancı b) Ömür maliyet analizi (Jaber ve Ajib 2011) .....   | 41 |
| Şekil 2.4. a) Hava kanalına entegre kanatçıklar b) Deney odası ve test odası görünümü (He vd. 2015).....  | 45 |
| Şekil 2.5. Absorban Plaka üzerine entegre edilen vortex kanatçıklar (Zhou ve Pang 2015) .....   | 47 |
| Şekil 2.6. Gün ışığı simülasyonu koşulları: a) Kış gündönümü, 21 Aralık 12:00, b) Yaz gündönümü, 21 Haziran 12:00 ve c) Modül Trombe duvarı (Sacht vd. 2015)..... | 48 |
| Şekil 2.7. a) deney odası görünümü b) ölçüm ekipmanlarının deney odasındaki konumları ve yerleşimi (Kundakcı Koyunbaba ve Yılmaz 2012).....                       | 50 |
| Şekil 2.8. a) Yeni dizayn Trombe duvarı dıştan görünümü b) Ölçüm ekipmanlarının deney düzeneğindeki konumları ve yerleşimi (Long, A., ve Sun 2018).....           | 52 |
| Şekil 3.1. Deney düzeneğinin dış cephe duvar modeli .....   | 69 |
| Şekil 3.2. Deney odasına ait kesit parçası.....   | 70 |
| Şekil 3.3. İletim ve taşınım ile ısı transferinde ısı dirençlerinin gösterimi .....   | 70 |
| Şekil 3.4. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ile geçirgenlik ilişkisi (Dietz 1963).....  | 72 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.5. Absorban plakalar a) düz sac b) sinüs oluklu 76/18 trapez sac c) 27/200 trapez sac ..... | 74 |
| Şekil 3.6. Menfezlerin alt ve üst konumları .....   | 76 |
| Şekil 3.7. Menfezin teknik resim detayı .....   | 76 |
| Şekil 3.8. Kurulan güneş duvarı modeli görünüşü a) Önden b) Yandan c) Üsten d) Perspektif .....     | 77 |
| Şekil 3.9. Deney arazisinin düzeltilmesi .....  | 79 |
| Şekil 3.10. Konteynırın Batı-Raman Kampüsüne taşınması .....  | 79 |
| Şekil 3.11. Konteynırın kurulumu .....  | 79 |
| Şekil 3.12. Çelik profilin montajı .....  | 80 |
| Şekil 3.13. Deney odası ve test odasının boyanması .....  | 80 |
| Şekil 3.14. Alt ve üst damperli menfezlerin montajı .....   | 80 |
| Şekil 3.15. Cam sistemin montajı .....  | 81 |
| Şekil 3.16. Yalıtım uygulaması .....  | 81 |
| Şekil 3.17. Datalogger ve PC kurulumu .....   | 81 |
| Şekil 3.18. Deney odası ölçümü .....  | 82 |
| Şekil 3.19. Test odası ölçümü .....   | 82 |
| Şekil 3.20. Solar Meter SM206 .....   | 83 |
| Şekil 3.21. Extech EN 300 .....   | 84 |
| Şekil 3.22. K-Tipi termokupl .....  | 85 |
| Şekil 3.23. Cem-DT-186 .....  | 85 |
| Şekil 3.24. Elimko-680 datalogger ve PC .....   | 86 |
| Şekil 3.25. Ölçüm noktaları ve bağlantı şeması .....  | 88 |
| Şekil 3.26. Düz absorban panel deney odası ölçüm noktaları .....                                    | 89 |
| Şekil 3.27. Trapez absorban panel deney odası ölçüm noktaları .....                                 | 90 |
| Şekil 3.28. Sinüs absorban panel deney odası ölçüm noktaları .....                                  | 91 |
| Şekil 3.29. Deney odası ölçüm ekipmanları ve konumları .....  | 92 |
| Şekil 3.30. Akış hızı ve k-tipi termokupl sıcaklık ölçüm ekipmanları .....                          | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 3.31. Anemometre ölçüm cihazı .....  | 93  |
| Şekil 3.32. Işınım ölçüm cihazı .....  | 93  |
| Şekil 3.33. Meteorolojik ölçüm ekipmanları (MGM – 17282 istasyonu).....                                | 93  |
| Şekil 3.34. Test odası ölçüm noktaları .....   | 94  |
| Şekil 3.35. Test odası ölçüm ekipmanları ve konumları.....   | 94  |
| Şekil 3.36. Termal bölge ölçüm ekipmanları ve konumları .....  | 95  |
| Şekil 3.37. Güneş duvarı ölçüm noktaları.....  | 95  |
| Şekil 3.38. Güneş duvarına etkiyen ısı bileşenler.....   | 98  |
| Şekil 3.39. Güneş duvarına etkiyen ısı parametreler .....  | 99  |
| Şekil 3.40. C noktası kanal hidrolik çap .....   | 103 |
| Şekil 3.41. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ilgili farklı disiplinler (Tu, Yeoh, ve Liu 2018)..... | 107 |
| Şekil 3.42. Tez çalışmasında kullanılan üç temel bileşen.....  | 108 |
| Şekil 3.43. Akmakta olan bir akışta a) Eulerian b) Langrangian tanımı.....                             | 109 |
| Şekil 3.44. Sıcak düşey levha etrafında laminar doğal ısı taşınımı .....                               | 113 |
| Şekil 3.45. HAD çözüm basamakları.....   | 116 |
| Şekil 3.46. Güneş duvarı HAD aşamaları .....   | 117 |
| Şekil 3.47. Tanımlanan yapı bileşenleri.....   | 119 |
| Şekil 3.48. Düz panel ağ yapısı.....   | 120 |
| Şekil 3.49. 27/200 Trapez panel .....  | 120 |
| Şekil 3.50. Sinüs Oluklu 76/18 Trapez .....  | 121 |
| Şekil 3.51. Fluent başlangıç ekranı .....  | 123 |
| Şekil 3.52. Basınç tabanlı çözüm algoritması .....   | 124 |
| Şekil 3.53. Genel girdi veri sekmesi .....   | 125 |
| Şekil 3.54. Energy, viskoz ve radyasyon sekmeleri .....  | 125 |
| Şekil 3.55. Termal bölgedeki akışkanın Rayleigh sayısı değişimi .....                                  | 126 |
| Şekil 3.56. Fluent radyasyon modeli .....  | 126 |
| Şekil 3.57. Fluent malzeme yapıları .....  | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 3.58. Havanın termo-fiziksel özelliklerinin tanılanması .....    | 127 |
| Şekil 3.59. Başlangıç çalışma sekmesi .....                            | 128 |
| Şekil 3.60. SIMPLE girdi sekmesi.....                                  | 128 |
| Şekil 3.61. SIMPLE çözüm algoritması .....                             | 129 |
| Şekil 3.62. Yakınsama girdi ekranı.....                                | 129 |
| Şekil 3.63. Zamana bağlı çözüm girdi sekmesi .....                     | 130 |
| Şekil 4.1. Şubat ayı ışınlım türleri saatlik değişimi .....            | 133 |
| Şekil 4.2. Şubat ayı güneşlenme süresi.....                            | 133 |
| Şekil 4.3. Düz absorban panel termal bölge sonuçları.....              | 134 |
| Şekil 4.4. Düz absorban panel deney odası sonuçları.....               | 135 |
| Şekil 4.5. Düz absorban panel test odası sonuçları.....                | 136 |
| Şekil 4.6. Şubat ayı atmosferik hız değerleri .....                    | 137 |
| Şekil 4.7. Şubat ayı nispi nem miktarı .....                           | 137 |
| Şekil 4.8. Düz panel termal bölge hava özellikleri .....               | 138 |
| Şekil 4.9. Mart ışınlım türleri ve saatlik değişimi .....              | 139 |
| Şekil 4.10. Mart ayı güneşlenme süresi .....                           | 140 |
| Şekil 4.11. 27/200 trapez sac termal bölge sonuçları .....             | 141 |
| Şekil 4.12. 27/200 trapez sac deney odası sonuçları.....               | 141 |
| Şekil 4.13. 27/200 trapez sac test odası sonuçları.....                | 142 |
| Şekil 4.14. Mart ayı atmosferik hız değerleri .....                    | 143 |
| Şekil 4.15. Mart ayı nispi nem miktarı .....                           | 143 |
| Şekil 4.16. 27/200 trapez panel termal bölge hava özellikleri.....     | 144 |
| Şekil 4.17. Nisan ışınlım türleri ve saatlik değişimi .....            | 145 |
| Şekil 4.18. Nisan ayı güneşlenme süresi.....                           | 146 |
| Şekil 4.19. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac termal bölge sonuçları ..... | 146 |
| Şekil 4.20. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac deney odası sonuçları .....  | 147 |
| Şekil 4.21. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac test odası sonuçları .....   | 148 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 4.22. Nisan ayı atmosferik hız değerleri .....                            | 148 |
| Şekil 4.23. Nisan ayı nispi nem miktarı .....                                   | 149 |
| Şekil 4.24. Sinüs oluklu 76/18 trapez panel termal bölge hava özellikleri ..... | 150 |
| Şekil 4.25. Rayleigh değeri .....   | 151 |
| Şekil 4.26. Akış türü ve değişimi .....   | 152 |
| Şekil 4.27. Isı akısı değişimi .....  | 153 |
| Şekil 4.28. Nusselt değişimi .....  | 153 |
| Şekil 4.29. Hava kanalı hız değişimi .....                                      | 154 |
| Şekil 4.30. Oda içi sıcaklık değişimi .....                                     | 155 |
| Şekil 4.31. Menfezler arası sıcaklık değişimi .....                             | 155 |
| Şekil 4.32. Düz absorban panelden verim-ışınım .....                            | 156 |
| Şekil 4.33. 27/200 Trapez panel verim-ışınım .....                              | 157 |
| Şekil 4.34. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel verim-ışınım .....                 | 157 |
| Şekil 4.35. Verim /Işınım indeksi .....   | 158 |
| Şekil. 4.36. Eş 1.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....                     | 161 |
| Şekil. 4.37. Eş 4.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....                     | 161 |
| Şekil 4.38. Deneysel Eş.1.1 & Eş.1.2 karşılaştırması .....                      | 162 |
| Şekil 4.39. Deneysel Eş.2.1 & Eş.2.2 karşılaştırması .....                      | 162 |
| Şekil 4.40. Deneysel Eş.3.1 & Eş.3.2 karşılaştırması .....                      | 162 |
| Şekil 4.41. Deneysel Eş.4.1 & Eş.4.2 karşılaştırması .....                      | 163 |
| Şekil 4.42. Deneysel Eş.5.1 & Eş.5.2 karşılaştırması .....                      | 163 |
| Şekil 4.43. Deneysel Eş.6.1 & Eş.6.2 karşılaştırması .....                      | 164 |
| Şekil. 4.44. Eş 7.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....                     | 165 |
| Şekil. 4.45. Eş 10.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....                    | 165 |
| Şekil 4.46. Deneysel Eş.7.1 & Eş.7.2 karşılaştırması .....                      | 166 |
| Şekil 4.47. Deneysel Eş.8.1 & Eş.8.2 karşılaştırması .....                      | 166 |
| Şekil 4.48. Deneysel Eş.9.1 & Eş.9.2 karşılaştırması .....                      | 166 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.49. Deneysel Eş.10.1 & Eş.10.2 karşılaştırması ..... | 167 |
| Şekil 4.50. Deneysel Eş.11.1 & Eş.11.2 karşılaştırması ..... | 167 |
| Şekil 4.51. Deneysel Eş.12.1 & Eş.12.2 karşılaştırması ..... | 167 |
| Şekil. 4.52. Eş 15.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri ..... | 168 |
| Şekil. 4.53. Eş 16.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri ..... | 169 |
| Şekil 4.54. Deneysel Eş.13.1 & Eş.13.2 karşılaştırması ..... | 169 |
| Şekil 4.55. Deneysel Eş.14.1 & Eş.14.2 karşılaştırması ..... | 169 |
| Şekil 4.56. Deneysel Eş.15.1 & Eş.15.2 karşılaştırması ..... | 170 |
| Şekil 4.57. Deneysel Eş.16.1 & Eş.16.2 karşılaştırması ..... | 170 |
| Şekil 4.58. Deneysel Eş.17.1 & Eş.17.2 karşılaştırması ..... | 171 |
| Şekil 4.59. Deneysel Eş.18.1 & Eş.18.2 karşılaştırması ..... | 171 |
| Şekil. 4.60. Eş 19.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri ..... | 172 |
| Şekil. 4.61. Eş 22.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri ..... | 173 |
| Şekil 4.62. Deneysel Eş.19.1 & Eş.19.2 karşılaştırması ..... | 173 |
| Şekil 4.63. Deneysel Eş.20.1 & Eş.20.2 karşılaştırması ..... | 173 |
| Şekil 4.64. Deneysel Eş.21.1 & Eş.21.2 karşılaştırması ..... | 174 |
| Şekil 4.65. Deneysel Eş.22.1 & Eş.22.2 karşılaştırması ..... | 174 |
| Şekil 4.66. Deneysel Eş.23.1 & Eş.23.2 karşılaştırması ..... | 174 |
| Şekil 4.67. Deneysel Eş.24.1 & Eş.24.2 karşılaştırması ..... | 175 |
| Şekil. 4.68. Eş 27.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri ..... | 176 |
| Şekil. 4.69. Eş 28.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri ..... | 177 |
| Şekil 4.70. Deneysel Eş.25.1 & Eş.25.2 karşılaştırması ..... | 177 |
| Şekil 4.71. Deneysel Eş.26.1 & Eş.26.2 karşılaştırması ..... | 178 |
| Şekil 4.72. Deneysel Eş.27.1 & Eş.27.2 karşılaştırması ..... | 178 |
| Şekil 4.73. Deneysel Eş.28.1 & Eş.28.2 karşılaştırması ..... | 178 |
| Şekil 4.74. Deneysel Eş.29.1 & Eş.29.2 karşılaştırması ..... | 179 |
| Şekil 4.75. Deneysel Eş.30.1 & Eş.30.2 karşılaştırması ..... | 179 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil. 4.76. Eş 33.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....    | 180 |
| Şekil. 4.77. Eş 34.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....    | 181 |
| Şekil. 4.78. Deneysel Eş.31.1 & Eş.31.2 karşılaştırması .....   | 181 |
| Şekil. 4.79. Deneysel Eş.32.1 & Eş.32.2 karşılaştırması .....   | 181 |
| Şekil. 4.80. Deneysel Eş.33.1 & Eş.33.2 karşılaştırması .....   | 182 |
| Şekil. 4.81. Deneysel Eş.34.1 & Eş.34.2 karşılaştırması .....   | 182 |
| Şekil. 4.82. Deneysel Eş.35a.1 & Eş.35a.2 karşılaştırması ..... | 182 |
| Şekil. 4.83. Deneysel Eş.35b.1 & Eş.35b.2 karşılaştırması ..... | 183 |
| Şekil. 4.84. Eş 37.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....    | 184 |
| Şekil. 4.85. Eş 39.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....    | 184 |
| Şekil. 4.86. Deneysel Eş.36.1 & Eş.36.2 karşılaştırması .....   | 184 |
| Şekil. 4.87. Deneysel Eş.37.1 & Eş.37.2 karşılaştırması .....   | 185 |
| Şekil. 4.88. Deneysel Eş.38.1 & Eş.38.2 karşılaştırması .....   | 185 |
| Şekil. 4.89. Deneysel Eş.39.1 & Eş.39.2 karşılaştırması .....   | 185 |
| Şekil. 4.90. Deneysel Eş.40.1 & Eş.40.2 karşılaştırması .....   | 186 |
| Şekil. 4.91. Deneysel Eş.41.1 & Eş.41.2 karşılaştırması .....   | 186 |
| Şekil. 4.92. Eş 43.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....    | 187 |
| Şekil. 4.93. Eş 45.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....    | 188 |
| Şekil. 4.94. Deneysel Eş.42.1 & Eş.42.2 karşılaştırması .....   | 188 |
| Şekil. 4.95. Deneysel Eş.43.1 & Eş.43.2 karşılaştırması .....   | 188 |
| Şekil. 4.96. Deneysel Eş.44.1 & Eş.44.2 karşılaştırması .....   | 189 |
| Şekil. 4.97. Deneysel Eş.45.1 & Eş.45.2 karşılaştırması .....   | 189 |
| Şekil. 4.98. Deneysel Eş.46.1 & Eş.46.2 karşılaştırması .....   | 189 |
| Şekil. 4.99. Deneysel Eş.47.1 & Eş.47.2 karşılaştırması .....   | 190 |
| Şekil. 4.100. Eş 48.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....   | 191 |
| Şekil. 4.101. Eş 51.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....   | 191 |
| Şekil. 4.102. Deneysel Eş.48.1 & Eş.48.2 karşılaştırması .....  | 191 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil. 4.103. Deneysel Eş.49.1 & Eş.49.2 karşılaştırması .....                | 192 |
| Şekil. 4.104. Deneysel Eş.50.1 & Eş.50.2 karşılaştırması .....                | 192 |
| Şekil. 4.105. Deneysel Eş.51.1 & Eş.51.2 karşılaştırması .....                | 192 |
| Şekil. 4.106. Deneysel Eş.52.1 & Eş.52.2 karşılaştırması .....                | 193 |
| Şekil. 4.107. Deneysel Eş.53.1 & Eş.53.2 karşılaştırması .....                | 193 |
| Şekil. 4.108. Eş 56.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....                 | 194 |
| Şekil. 4.109. Eş 58.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri .....                 | 194 |
| Şekil. 4.110. Deneysel Eş.55.1 & Eş.55.2 karşılaştırması .....                | 195 |
| Şekil. 4.111. Deneysel Eş.56.1 & Eş.56.2 karşılaştırması .....                | 195 |
| Şekil. 4.112. Deneysel Eş.57.1 & Eş.57.2 karşılaştırması .....                | 195 |
| Şekil. 4.113. Deneysel Eş.58.1 & Eş.58.2 karşılaştırması .....                | 196 |
| Şekil. 4.114. Deneysel Eş.59.1 & Eş.59.2 karşılaştırması .....                | 196 |
| Şekil. 4.115. Deneysel Eş.60.1 & Eş.60.2 karşılaştırması .....                | 196 |
| Şekil 4.116. Düz panel sıcaklık dağılımı .....                                | 202 |
| Şekil 4.117. 27/200 trapez panel sıcaklık dağılımı .....                      | 203 |
| Şekil 4.118. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel sıcaklık dağılımı .....         | 204 |
| Şekil 4.119. Hava kanalı içindeki y/Y eksenini boyunca sıcaklık dağılımı..... | 205 |
| Şekil 4.120. Absorban plakaların y/Y eksenini boyunca sıcaklık dağılımı ..... | 205 |
| Şekil 4.121. Düz panel hız dağılımı.....                                      | 206 |
| Şekil 4.122. 27/200 trapez panel hız dağılımı.....                            | 207 |
| Şekil 4.123. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel hız dağılımı .....              | 208 |
| Şekil 4.124. Düz panel hız vektör dağılımı .....                              | 209 |
| Şekil 4.125. 27/200 trapez panel hız vektör dağılımı .....                    | 210 |
| Şekil 4.126. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel hız vektör dağılımı .....       | 211 |
| Şekil 4.127. Hava kanalı y/Y eksenini boyunca hız değişimi.....               | 212 |
| Şekil 4.128. Absorban plaka y/Y eksenini boyunca Nusselt değişimi .....       | 213 |
| Şekil 4.129. Absorban plaka y/Y eksenini boyunca ısı akısı değişimi .....     | 213 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.130. Sıcaklık geçerlemesi .....  | 214 |
| Şekil 4.131. Nusselt geçerlemesi .....   | 215 |
| Şekil 4.132. Isı akısı geçerlemesi.....  | 215 |
| Şekil 4.133. Hız geçerlemesi .....   | 216 |
| Şekil 4.134. Panel eğim açısı-ışınım değerlerinin aylık değişimi.....  | 219 |
| Şekil 4.135. Verim ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 221 |
| Şekil 4.136. Isı akısı ile ışıınım değerlerinin değişimi.....  | 221 |
| Şekil 4.137. Hız ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 221 |
| Şekil 4.138. Oda sıcaklığı ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 222 |
| Şekil 4.139. Düz Panel hesaplanan ve tahmin edilen değerlerin saatlik karşılaştırılması .....                | 222 |
| Şekil 4.140. Verim ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 223 |
| Şekil 4.141. Isı Akısı ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 223 |
| Şekil 4.142. Hız ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 224 |
| Şekil 4.143. Oda Sıcaklığı ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 224 |
| Şekil 4.144. 27/200 Trapez Panel hesaplanan ve tahmin edilen değerlerin saatlik karşılaştırılması .....      | 225 |
| Şekil 4.145. Verim ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 226 |
| Şekil 4.146. Isı akısı ile ışıınım değerlerinin değişimi.....  | 226 |
| Şekil 4.147. Hız ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 226 |
| Şekil 4.148. Oda sıcaklığı ile ışıınım değerlerinin değişimi .....   | 227 |
| Şekil 4.149. Sinüs oluklu 76/18 panel hesaplanan ve tahmin edilen değerlerin saatlik karşılaştırılması ..... | 227 |

## SİMGELER

|  |  |
|--|--|
| $\Gamma$                                 | : Difüzyon Katsayısı   |
| [L]                                      | : Boyutsuz uzunluk (-)   |
| [M]                                      | : Boyutsuz kütle (-)   |
| [Q]                                      | : Boyutsuz ısı miktarı (-)   |
| [T]                                      | : Boyutsuz sıcaklık (-)  |
| [t]                                      | : Boyutsuz zaman (-)   |
| €  | : Euro   |
| $\emptyset$                              | : Disipasyon terimi; Enlem ( <sup>0</sup> )  |
| $\mu$                                    | : Akışkanın dinamik viskozitesi (Pa.s)   |
| At                                       | : Atwood Sayısı (Boyutsuz)   |
| Ag                                       | : Cam Yüzeyinin Alanı (m <sup>2</sup> )  |
| Ak                                       | : Duvar (Panel) Yüzeyinin Alanı (m <sup>2</sup> )  |
| b  | : Deney Odası Geniliği (m)   |
| C  | : Boyutsuz değer (-)   |
| c  | : Işık hızı (m/s)  |
| C <sub>0</sub> , C <sub>1</sub> , n ve m | : Deneysel veya nümerik metotlarla bulunana ampirik katsayılar                               |
| C <sub>1</sub>                           | : Boyutsuz değer (-)   |
| C <sub>d</sub>                           | : Direnç Katsayısı (0,6)   |
| C <sub>p</sub>                           | : Havanın Özgül Isısı (J/kg K)   |
| d  | : Cam yüzey (m)  |
| Dh                                       | : Hidrolik Çap   |
| e  | : Hava Kanalı (m)  |
| g  | : Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )   |
| Gr                                       | : Grashof sayısı   |
| G <sub>s</sub>                           | : Güneş sabiti 1367 W/m <sup>2</sup>   |
| h  | : Rakım (m); Planck Sabiti (J <sub>s</sub> ); Havanın Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) |
| H  | : Yatay düzleme gelen aylık toplam ışınlım (W/m <sup>2</sup> )                               |
| H/e                                      | : Duvarın boy-en oranları (-)  |
| H <sub>0</sub>                           | : Yatay yüzeye gelen günlük dünya dışı güneş radyasyonu (W/m <sup>2</sup> )                  |
| H <sub>1</sub>                           | : Nem Miktarı (%)  |
| H <sub>B</sub>                           | : Direkt güneş ışınlımı (W/m <sup>2</sup> )  |
| H <sub>b</sub>                           | : Eğimli yüzeye gelen direkt güneş ışınlımı (W/m <sup>2</sup> )                              |
| H <sub>c</sub>                           | : Menfez Yüksekliği (m)  |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>H<sub>d</sub></b>    | : Eğimli yüzeye gelen yayılı ışınım (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>H<sub>g</sub></b>    | : Deney Odası Yüksekliği (m)  |
| <b>H<sub>R</sub></b>    | : Yansıyan ışınım (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>H<sub>r</sub></b>    | : Yerden yansıyan ve eğimli yüzeye düşen günlük ışınım (W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>H<sub>s</sub></b>    | : Eğimli yüzey üzerine düşen yayılı ışınım (W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>H<sub>T</sub></b>    | : Günlük global ışınım (W/m <sup>2</sup> -gün)  |
| <b>H<sub>w</sub></b>    | : Masif Kütle Yüksekliği (m)  |
| <b>Im</b>               | : Kuraklık indeksi (Erinç)  |
| <b>I<sub>DM</sub></b>   | : Kuraklık indeksi (De Martonne)  |
| <b>k</b>                | : Akışkanın ısı iletim katsayısı (W/m K);<br>Dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü;<br>Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/m.K) |
| <b>K<sub>s</sub></b>    | : Basınç Katsayısı  |
| <b>k-ε</b>              | : Türbülanslı Model   |
| <b>k-ω</b>              | : Türbülanslı Model   |
| <b>L</b>                | : Masif Kütle (m)   |
| <b>m</b>                | : Havanı Kütleli Debisi (Kg/S)  |
| <b>Nn</b>               | : Nispi nem (%)   |
| <b>Np</b>               | : Nemli Periyod (%)   |
| <b>Nu</b>               | : Nusselt Sayısı  |
| <b>P</b>                | : Yıllık yağış toplamı (mm)   |
| <b>Pr</b>               | : Prandlt sayısı  |
| <b>q</b>                | : Birim Hacimde Üretilen Isı Enerjisi (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>Q<sub>cdg</sub></b>  | : Camdan, Hava Kanalına Geçen Isıl Enerji (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>Q<sub>cdw</sub></b>  | : Güneş Duvarından, Odaya İletilen Isıl Enerji (W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>Q<sub>cvg</sub></b>  | : Camın İç Yüzeyinden, Hava Kanalına Taşınım Etki Eden Isıl Enerji (W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>Q<sub>cww</sub></b>  | : Güneş Duvarı İç Yüzeyinden, Hava Kanalına Taşınım Etki Eden Isıl Enerji (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>Q<sub>cwwr</sub></b> | : Güneş Duvarı Dış Yüzeyinden Odaya Taşınım Etki Eden Isıl Enerji (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>Q<sub>cvx</sub></b>  | : Çevreden, Cam Dış Yüzeyine Taşınım Etki Eden Isıl Enerji (W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>Q<sub>rdgs</sub></b> | : Camdan, Çevreye Yansıyan Işınımın Isıl Enerjisi (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>Q<sub>rds</sub></b>  | : Güneş Işınımının Isıl Enerjisi (W/m <sup>2</sup> )  |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Q<sub>rdwg</sub></b> | : Güneş Duvarı İç Yüzeyinden, Hava Kanalına Yansıyan Işınım Isıl Enerjisi (W/m <sup>2</sup> )   |
| <b>R<sub>ag</sub></b>   | : Cam-Hava Rayleigh Sayısı  |
| <b>R<sub>b</sub></b>    | : Eğik düzlem üzerine gelen direkt ışınımının yatay düzlem üzerine gelen ışınım miktarına oranı |
| <b>R<sub>a</sub></b>    | : Eğimli ve yatay yüzeyler arasındaki kalibre katsayısı   |
| <b>R<sub>i</sub></b>    | : İç Yüzeyin Isıl Direnci (m <sup>2</sup> K/W)  |
| <b>R<sub>izo</sub></b>  | : Yalıtım Malzemesinin Isıl Direncini (m <sup>2</sup> K/W)                                      |
| <b>R<sub>o</sub></b>    | : Dış Yüzeyin Isıl Direnci (m <sup>2</sup> K/W)   |
| <b>R<sub>w</sub></b>    | : Yalıtımsız Duvar Tabakasının Isıl Direnci (m <sup>2</sup> K/W)                                |
| <b>S</b>                | : Sıcaklık (°C)   |
| <b>S1</b>               | : 0 <sup>0</sup> Global Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )                                       |
| <b>S2</b>               | : 90 <sup>0</sup> Global Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )                                      |
| <b>S3</b>               | : Güneşlenme Süresi (Saat)  |
| <b>T<sub>max</sub></b>  | : Yıllık ortalama maksimum sıcaklıkların uzun süreli ortalaması (°C)                            |
| <b>T1</b>               | : Dış Cam Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T2</b>               | : İç Cam Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T3</b>               | : Hava Kanalı Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T4</b>               | : Panel Sol Alt Sıcaklığı (Tp1) (°C)  |
| <b>T5</b>               | : Panel Sol Üst Sıcaklığı (Tp2) (°C)  |
| <b>T6</b>               | : Panel Sağ Üst Sıcaklığı (Tp3) (°C)  |
| <b>T7</b>               | : Panel Sağ Alt Sıcaklığı (Tp4) (°C)  |
| <b>T8</b>               | : Menfez Giriş Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T9</b>               | : Menfez Çıkış Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T10</b>              | : Deney Odası Güney Duvar Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T11</b>              | : Deney Odası Kuzey Duvar Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T12</b>              | : Deney Odası Üst Nokta Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T13</b>              | : Deney Odası Orta Nokta Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T14</b>              | : Deney Odası Alt Nokta Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T15</b>              | : Test Odası Güney Duvar Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T16</b>              | : Test Odası Kuzey Duvar Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T17</b>              | : Test Odası Üst Nokta Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T18</b>              | : Test Odası Orta Nokta Sıcaklığı (°C)  |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>T19</b>            | : Test Odası Alt Nokta Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T20</b>            | : Dış Ortam Sıcaklığı (°C)   |
| <b>T<sub>a</sub></b>  | : Atmosfer Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T<sub>e</sub></b>  | : Cam-Duvar Arasındaki Havanın Ortalama Sıcaklığı (°C)                               |
| <b>T<sub>i</sub></b>  | : Havanın Kanala Giriş Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T<sub>o</sub></b>  | : Havanın Kanaldan Çıkış Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T<sub>r</sub></b>  | : Odanın Sıcaklığı (°C)  |
| <b>T<sub>s</sub></b>  | : Güneş Sıcaklığı (5778 °K)  |
| <b>U</b>              | : Isı geçiş katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)   |
| <b>V1</b>             | : Üst Menfez Hava Hızı (m/s)   |
| <b>V2</b>             | : Alt Menfez Hava Hızı (m/s)   |
| <b>W1</b>             | : Rüzgar Hızı (m/s)  |
| <b>Y</b>              | : Yağış miktarı (cm)   |
| <b>α<sub>g</sub></b>  | : Cam Soğurma (Absorbe) Miktarı  |
| <b>β</b>              | : Akışkanın ısı genleşme katsayısını (1/T)   |
| <b>γ</b>              | : Hava Kanalındaki Hız (m/s)   |
| <b>γ</b>              | : Azimut Açısı (°)   |
| <b>δ</b>              | : Deklinsayon Açısı (°)  |
| <b>ΔP</b>             | : Basınç farkı   |
| <b>ΔT</b>             | : Cidar ile sonsuzdaki akışkan sıcaklık farkı (T <sub>0</sub> -T <sub>∞</sub> ) (°C) |
| <b>ε<sub>g</sub></b>  | : Cam Yayma (Emissivity) Miktarı (0,94)  |
| <b>ε<sub>w</sub></b>  | : Duvar Yayma (Emissivity) Miktarı (0,98- Siyah Metal)                               |
| <b>Θ<sub>z</sub></b>  | : Zenit açısı (°)  |
| <b>τ<sub>g</sub></b>  | : Transmittance Miktarı (0,80)   |
| <b>ω'<sub>s</sub></b> | : Güneşin eğimli düzlemde doğuş açısı (°)  |
| <b>ω<sub>s</sub></b>  | : Güneşin yatay düzlemde doğuş açısı (°)   |
| <b>ρ</b>              | : Albedo değeri, Akışkanın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )                            |
| <b>α</b>              | : Güneş yükseklik açısı (°)  |
| <b>θ</b>              | : Sıcaklık Farkı   |
| <b>λ</b>              | : Dalga boyu (nm)  |

## KISALTMALAR

|   |   |
|---|---|
| <b>BES</b>                              | : Bina Enerji Simülasyonu   |
| <b>RBN</b>                              | : Referans Basınç Noktası   |
| <b>CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O</b> | : Calcium Chloride Hexahydrate                                    |
| <b>CAE</b>                              | : Bilgisayar Destekli Mühendislik                                 |
| <b>Cfa</b>                              | : Kış İlkel, Yazı Çok Sıcak ve Her Mevsim Yağışlı İklim           |
| <b>Cfb</b>                              | : Kış İlkel Yazı Sıcak, Her Mevsim Yağışlı İklim                  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                   | : Karbondioksit   |
| <b>Csa</b>                              | : Kış İlkel, Yazı Çok Sıcak ve Kurak İklim                        |
| <b>Csb</b>                              | : Kış İlkel, Yazı Sıcak ve Kurak İklim                            |
| <b>DO</b>                               | : Discrete Ordinates Radyasyon Modeli                             |
| <b>EPDM</b>                             | : Etilen Propilen Dien Monomer                                    |
| <b>Es.=Eq.</b>                          | : Eşitlik   |
| <b>FAC</b>                              | : Serbest Hava Düzenlemesi (Free Air Correction)                  |
| <b>FDM</b>                              | : Faz Değıştiren Malzeme  |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>      | : Demir Oksit   |
| <b>FORTTRAN</b>                         | : FORMula TRANslating System Yazılımı                             |
| <b>HAD</b>                              | : Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiğı                                  |
| <b>HVAC:</b>                            | : Mekanik Aktif İklimlendirme                                     |
| <b>IGF</b>                              | : Uluslararası Yerçekimi Eşitliğı (International Gravity Formula) |
| <b>Kks</b>                              | : Kuraklık Katsayısı  |
| <b>LCC</b>                              | : Ömür Maliyet Analizi  |
| <b>LOSF</b>                             | : Logaritmik sıcaklık farkı                                       |
| <b>M.Ö</b>                              | : Milattan Önce   |
| <b>M.S</b>                              | : Milattan Sonra  |
| <b>MATLAB</b>                           | : Matrix Laboratory Programı                                      |
| <b>MGM</b>                              | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü                                     |
| <b>Monte Carlo</b>                      | : Işınım Modeli   |
| <b>Nks</b>                              | : Nemlilik katsayısı  |
| <b>NPL</b>                              | : Nötr basınç seviyesi  |
| <b>PISO</b>                             | : Pressure Implicit with Split Operator Algortiması               |
| <b>PV/T</b>                             | : Fotovoltaik Termal Sistem                                       |
| <b>S2S</b>                              | : Surface-to-Surface Radyasyon Modeli                             |

**SFM** : Sonlu Farklar Metodu  
**SIMPLE** : Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations  
**TRNYS** : TRaNsient SYstems Simulation Programı  
**TSE** : Türk Standartları Enstitüsü

## 1. GİRİŞ

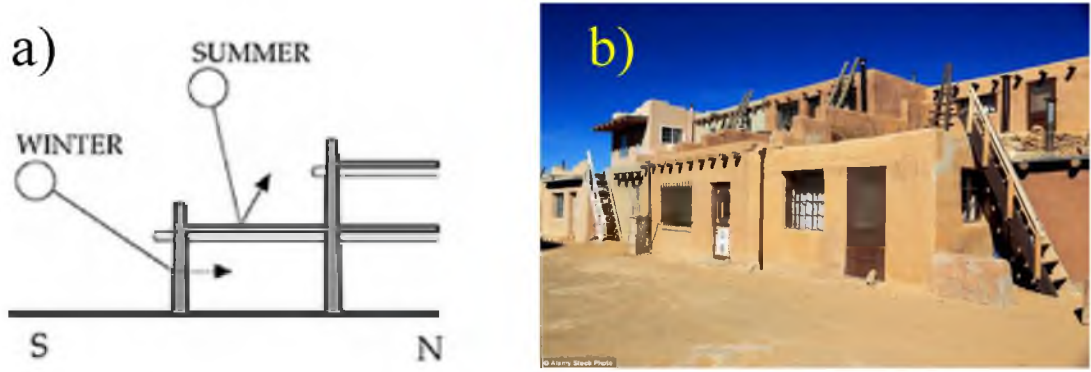
Güneş enerjisinden faydalanma insanlık tarihinin başlangıcından beri süregelmektedir. Geleneksel yapılardan elde edilen deneyimler güncel mimarlık eğitiminde rol model oluşturmaktadır. Bu enerjiden aktif şekilde ilk kullanımı **M.Ö. 6000** yıl önce Neolitik Çinli köylülerin evlerinde görülmektedir. O dönemde kurulan yapıların dışı açılan bileşenleri güneye bakacak şekilde kurulmaktaydı. Ayrıca evlerin çatılarında çıkıntılar kullanılmaktaydı bu sayede iç mekânın ısınmasına yardımcı olmak için yatay kış güneşinin ışınlarından istifade edilirken dikey yaz güneşinden kaçınılmıştır. (Perlin 2013).

**M.Ö. 1500** yıllarda Anasazi Yerli Amerikalıları tarafından, Utah, Colorado, Arizona ve New Mexico'nun bulunduğu Colorado Platosu olarak bilinen (Mesa Verde Ulusal Parkı) yerleşim yerinin kenarına inşa ettikleri antik kentte ilk pasif ısıtma ve soğutmanın temelleri görülmektedir. Güneşin bütün yıl boyunca izlediği yörüngeye bağlı kurulan kentte güneye bakan bu binalar, sıcak yaz güneşin önlenmesi için kayalık çıkıntıların altında inşa edilmiştir. Soğuk kış günlerinde ise yatay gelen Güneş ışınımından azami miktarda fayda sağlanmıştır (Canivan 2005). Şekil 1.1.'de Anasazi Antik kenti görülmektedir.



Şekil 1.1. Mesa Verde ulusal parkı a) Yaz mevsimi, b) Kış mevsimi (Anonim 2019a)

**M.S. 1100** civarında New Mexico'da kurulan Acoma köyündeki kurulan teraslı evler güneye cephelidir. Bu evlerin en temel özelliği dış iklim koşullarından en az etkilenecek şekilde tasarlanmasıdır. Kış aylarında yatay güneş ışınımından yararlanmada evin duvarlarının ısı depolayıcısı olarak kullanılırken yaz aylarında ise dik gelen ışınımın etkisini azaltmak için teras alanlarında izoleli bileşen kullanılmıştır (Knowles 2003). Şekil 1.2.'de Acoma Antik Kenti görülmektedir.



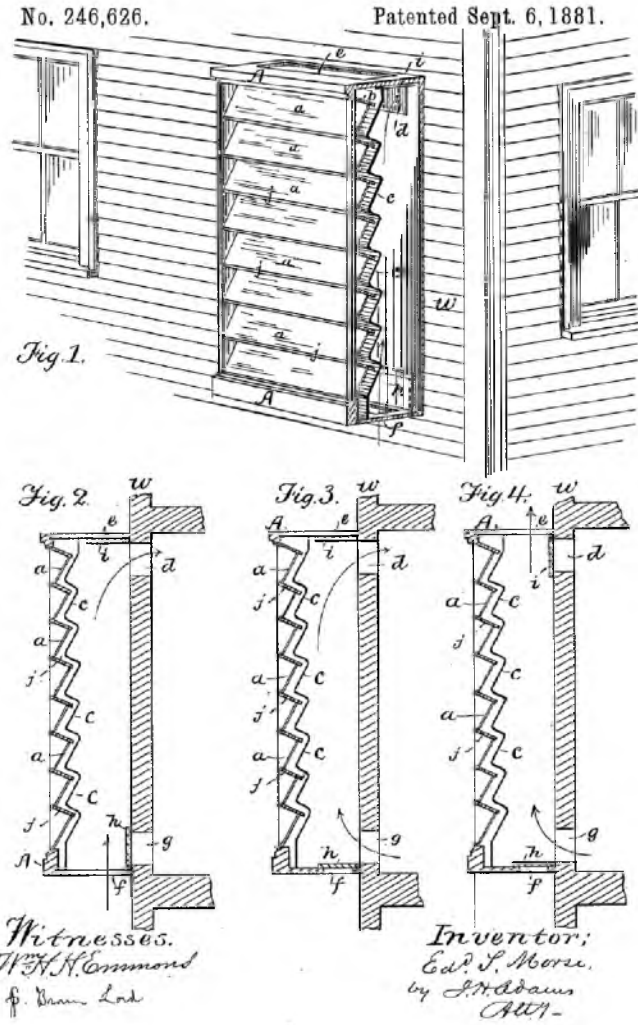
Şekil 1.2. Acoma yerleşimi a) Güneşin yıllık hareketi evler üzerine etkisi, b) Teraslı evlerin görünümü (Knowles 2003)

Ülkemizde de pasif güneş enerjisi mimarisinden yararlanan antik kentler bulunmaktadır. Bunlardan ilki tarihi **M.Ö. 10000** yıllara dayanan Batman ilinde yer alan Hasankeyf antik kentidir (Zengin 2001). Bu yerleşim yerinde mağara yönleri genellikle güneye bakacak şekilde dizayn edilmiştir böylece kış güneşinden faydalanmak ve kuzeyden esen soğuk rüzgarlara karşıda önlem oluşturulmuştur. Ayrıca mağaraların içindeki yerleşim yaz ve kış güneş geliş açıları gözetilerek konumlandırılmıştır. Şekil 1.3.'de Hasankeyf mağaralarının güneye bakan yönleri görülmektedir.



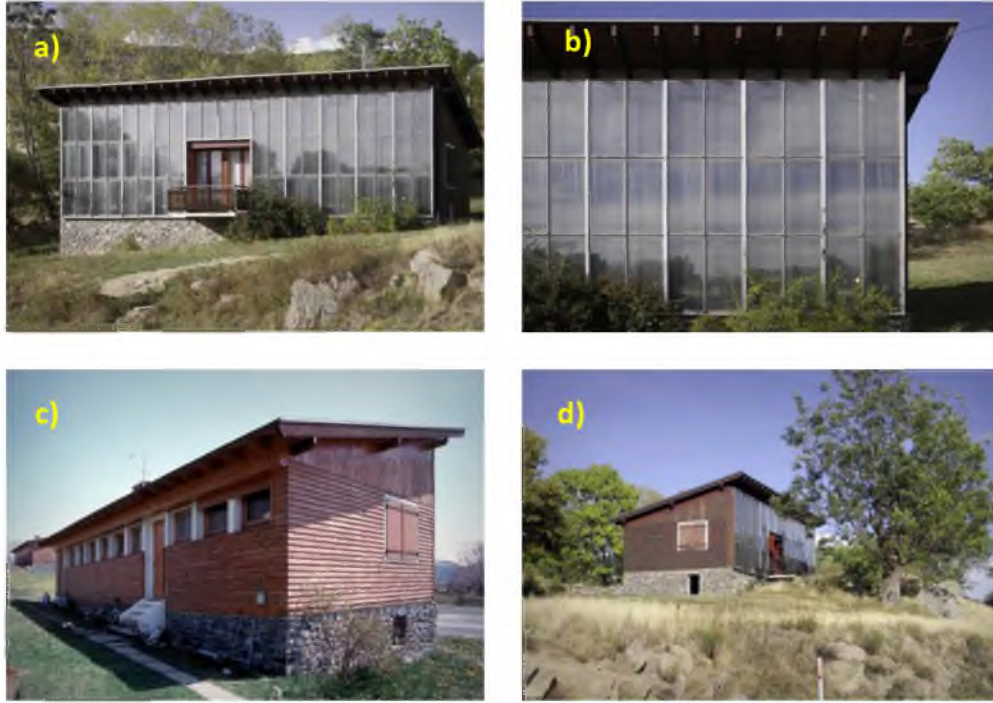
Şekil 1.3. Hasankeyf'in güney yöne bakan mağaraları (Anonim 2020a)

Trombe duvar sistemi ilk olarak 1881'de patentini alan Edward S. Morse adlı Amerikalı mucit tarafından geliştirildi. (Morse 1881). Şekil 1.4.'de Morse tarafından yapılarda güneş ışınımıyla ısıtılmada uygulamasının patenti görülmektedir.



Şekil 1.4. İlk güneş duvarı uygulaması patenti (Morse 1881)

İlerleyen dönemlerde, Fransız mühendis Felix Trombe ve Fransız mimar Jacques Michel, güneş duvarlarını binalara mimari elemanlar olarak entegre etti ve bu fikri 1960'larda popüler hale getirdi. Uygulama çalışmasını Fransa'nın Odeillo şehrinde 1967'de inşa ettikleri Michel-Trombe evidir. İnşa edilen evin görüntüsü Şekil 1.5.'de gösterilmiştir. Şekil 1.5.'deki a) önden görünüşü, b) ön yüzey yapısı, c) arkadan görünüşü ve d) yandan görünüşü olmaktadır.



Şekil 1.5. Michel-Trombe evi ( Anonim 2019b)

Bu sistemin çalışma prensibi, enerji bileşenlerinin aktif kullanılmasıyla birim hacim ısıtmaya yönelik olmaktadır. Sistem iki temel bileşenden oluşmaktadır bunlar termal hava kanalı ve oda. Güney cephesine kurulan termal hava kanalında cam örtü ile sarmalanmış masif kütle veya absorban plakalar bulunmaktadır. Termal bölgeye düşen güneş ışınımı hem taşınım ile hava kanalına aktarılmakta hem de ısı iletimiyle masif kütlede depolanmaktadır. Gündüz yaşam alanındaki soğuk hava kütleli yoğunluğun artmasıyla zemine çökmekte ve masif duvarın alt tarafındaki menfezlerle termal bölgeye transfer olmaktadır. Termal bölgedeki soğuk hava ısınarak ve yoğunluğu azalarak yukarı çıkar ve masif duvardaki üst menfezden tekrar yaşam alanına dönerek doğal bir sirkülasyon sağlanmaktadır. Gece durumunda ise gün boyu masif duvarda depolanan enerji konveksiyonla duvarın arkasındaki yaşam alanına transfer edilmeye devam etmektedir. Yaz aylarında ise klasik Trombe duvarı sisteminin aşırı ısınması konfor düzeyini olumsuz etkilemektedir. Bu durumu elimine etmek amacıyla yaşam alanının kuzey cephesindeki duvarlarda havalandırma kanallarının açılmasıyla baca etkisi oluşturularak soğuk havanın sirkülasyonu sağlanmaktadır.

## 1.1 Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında güneş enerjisinin pasif ısıtma sistemlerinde kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sistemler, ısıtma sezonunda toplam bina ısı yük gereksinimleri karşılayan destekleyici veya ana elemanlardır. Mahal iklimlendirilmesi günümüzde halen klasik (fossil) yakıtlarla karşılanmaktadır. Bu durum yakın gelecekte enerjinin arz krizine ve olumsuz iklim değişikliğine sebebiyet verecektir. Bu amaçla, ısıtmada alternatif enerji opsiyonunu sunmak ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için yıl boyu ısıtmada kullanılacak basit, çevre dostu, düşük maliyetli ve binaya entegre bir sistemin kullanımı elzemdir.

Tasarlanan yeni nesil güneş duvarı sistemi, güneş ısısının bir emici tarafından toplandığı ve içinden geçen havayı ısıtmak için kullanıldığı pasif güneş enerjisi ısıtıcısı konseptini kullanmaktadır. Bu tez çalışmasında teknolojik yenilik yönü olarak birim yüzeyden transfer edilen ısı miktarının artırılması ana hedefdir. Bu koşul absorban yüzey tasarımındaki geometrik dizaynının yapısal formundan edinilecektir. Tezde gerçekleştirilen çalışmaların amaçları aşağıdaki gibidir;

- Klasik Trombe duvar tasarımının modifiye edilmesiyle yeni nesil güneş duvarı modülünün oluşturulması.
- Deney odası ve test odasının ısı performansını deneysel olarak incelenmesi
- Farklı absorban plakalardaki ısı ve verimsel analizlerin yapılması.
- Deneysel verilerin boyutsuzlaştırılması.
- Boyutsuzlaştırılan değerlerle Nusselt'in tahmine yönelik farklı eşitliklerin geliştirilmesi ve literatürle mukayese edilmesi (MATLAB-Curve Fitting).
- Sayısal Modelleme ile sistemin doğruluğu test edilmesi (ANSYS-FLUENT).
- Optimum panel eğim açısı 37,88 enlemi (Batman) için tespit edilmesi.
- Absorban panellere özgü ampirik regresyon modelleri geliştirilmesi.
- Kurulacak sistemle yenilenebilir enerji sektöründeki alternatif ısıtma sistemlerine yönelik farkındalığın artırılması
- Tuğla absorban duvar yerine galvaniz sac levhadan yapılmış cephe malzemeleri kullanılması. Bu sayede ısının masif kütlede depolanması yerine akışkan hava ile direkt olarak ısıtılacak ortama aktarabilmesi. Bu sayede gündüz işletmelerin ihtiyacına (09:00-16:00) yönelik endüstriyel ürün oluşturulması.
- Fanla çalışan sistem yerine doğal havalandırma kullanılması bu sayede birçok karmaşık teçhizata gerek duyulmaması.

Sıralanan bu amaçlara ulaşabilmek için deneysel ve sayısal metotlar kullanmıştır. Sistem genel olarak iç mahaldeki ısıtmadaki enerji tüketimini azaltacak basit, çevre dostu, düşük maliyetli ve binaya entegre bir sistemin oluşturulabilmesini kapsamaktadır.

## 1.2 Deneysel Konumun Meteorolojik Özellikleri

Batman ili konum itibariyle Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Coğrafi olarak 41 derece 10 dakika ve 41 derece 40 dakika doğu boylamları ile 38 derece 40 dakika ve 37 derece 50 dakika kuzey enlemleri arasındadır.

İlde bozulmuş Akdeniz iklimi görülmektedir. Yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlıdır (Durmuş vd. 2017). Yıllık yağış miktarı 456 mm olup, nispi nem ise, %53 civarındadır (Alaeddinoğlu 2010).

Deneysel çalışmaların yürütüldüğü Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü şehir merkezine 15 km uzaklıkta ve Dicle nehrinin kıyısında yer almaktadır. Şekil 1.6.'da Deney düzeneğinin konumu görülmektedir. Coğrafi olarak konumu 37,781 Enleminde 41,064 Boylamında yer almaktadır.



Şekil 1.6. Deney düzeneğinin Batı Raman Kampüsündeki konumu

### 1.2.1 İklim Sınıflandırması

Dış hava sıcaklığının etkisi bina formundaki bileşenlerin optimizasyonunda en önemli parametredir.

Bina formu ve yapısı yıl içindeki sıcaklık faktörüne göre dizayn edilip konumlandırılmaktadır. Bu amaçla sıcaklık bileşenlerin uzun dönem analizlerini sınıflandırılmasında pek çok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en bilineni Köppen-Geiger'dir (Köppen ve Geiger 1954). Tutarlılığı ve doğruluğu sınınamış olan bu yöntemde temel olarak aylık, yıllık sıcaklık ve yağış verilerine dayanır. İklim tipleri sınıflandırılmasında belirli harflerle temsil edilmektedir. Bu yöntemin öne çıkan en önemli özelliği sınıflandırmasında kullanılan 5 temel iklim tipinin (A, B, C, D, E) dünya geneli vejetasyon grupları ile uyum göstermesidir. Köppen-Geiger iklim tiplerinin belirlenmesinde kullanılan 5 ana harf tipi Tablo 1.1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.1.** Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre temel iklim tiplerinin özellikleri (Peel, Finlayson, ve McMahon 2007)

| Harf | Tanım                                    | Temel Özellik  |
|------|--|--|
| A    | Nemli Tropikal                           | $T_{\min} > 18^{\circ}\text{C}$  |
| B    | Kurak                                    | $P_{\text{yillik}} < 10 \times P_{\text{eşik}}$  |
| C    | Kışları ılıman nemli orta enlem          | $T_{\text{maks}} > 10^{\circ}\text{C}$ ve $0^{\circ}\text{C} < T_{\min} < +18^{\circ}\text{C}$ |
| D    | Kışları soğuk nemli orta enlem (karasal) | $T_{\text{maks}} > 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$                       |
| E    | Polar                                    | $T_{\text{max}} < +10^{\circ}\text{C}$   |

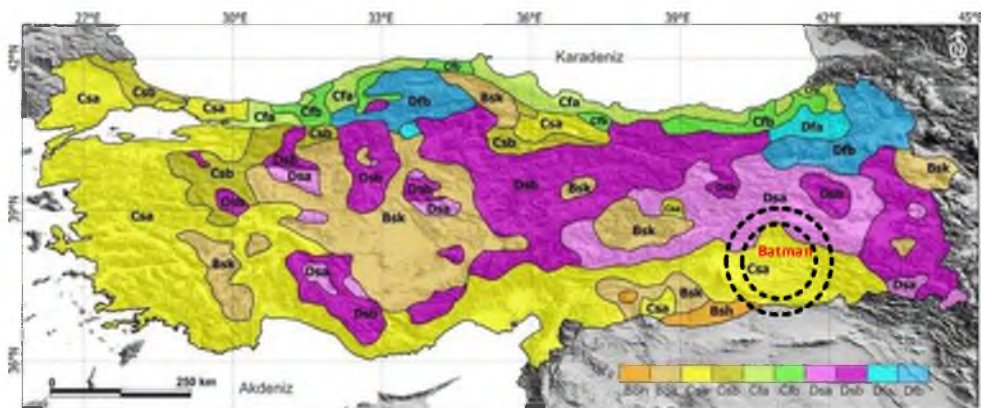
Tablo 1.1'e göre sınıflandırmadaki harfler;

- A, Tüm ayların ortalama sıcaklığı  $18^{\circ}\text{C}$ 'nin üstündedir ve kış sezonu yoktur.
- B, Sürekli su eksikliği vardır ve buharlaşma yağıştan fazladır
- C, En sıcak ayın ortalama sıcak değeri  $10^{\circ}\text{C}$ 'nin üstündedir. En soğuk ayın ortalama sıcaklık değeri  $18^{\circ}\text{C}$ 'nin altında ve  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin üstünde,
- D, En sıcak ayın ortalama sıcaklığı  $10^{\circ}\text{C}$ 'nin üstündedir. En soğuk ayın ortalama sıcaklığı  $0^{\circ}\text{C}$ 'ye eşit veya altındadır
- E, En sıcak ayın ortalama sıcak değeri  $10^{\circ}\text{C}$ 'nin altındadır ve yaz mevsimi yoktur

**Tablo 1.2.** Batman'ın aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (1959-2019) (Anonim, 2020b)

| Aylar   | Toplam Yağış Miktarı Ortalama (mm) | Sıcaklık °C |
|---------|------------------------------------|-------------|
| Ocak    | 61,2                               | 2,6         |
| Şubat   | 66,8                               | 5,0         |
| Mart    | 75,0                               | 9,6         |
| Nisan   | 72,8                               | 14,6        |
| Mayıs   | 47,3                               | 19,8        |
| Haziran | 7,1                                | 26,6        |
| Temmuz  | 0,6                                | 31,2        |
| Ağustos | 0,6                                | 30,2        |
| Eylül   | 3,7                                | 24,9        |
| Ekim    | 33,3                               | 17,7        |
| Kasım   | 55,0                               | 9,8         |
| Aralık  | 66,0                               | 4,6         |
| Yıllık  | 489,4                              | 16,4        |

Köppen-Geiger sınıflandırılmasına göre Türkiye'ye ait iklim tipi haritası Şekil 1.7.'de gösterilmektedir. Bu haritaya göre Türkiye coğrafyasındaki en belirgin iklim tipi olan kışları ılıman nemli orta enlem "C" iklim tipine ait dört alt tip görülmektedir (Csa, Csb, Cfa, Cfb). Ayrıca bu tip yüzölçümü olarak en geniş iklim tipidir. Tablo 1.2.'deki değerlere göre Batman ilinin "Csa" iklim kuşağında yer almaktadır. Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi) olarak tanımlanır. Bu iklim tipi Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege, Marmara bölgelerinde ve Orta Karadeniz Bölümü'nün iç kesimlerinde görülür. Batman ilinde kurulacak güneş duvarı prototipi "Csa" iklim koşullarındaki bölgelerde kurulması muhtemelen güneş cephesi sistemlerine örnek model oluşturacaktır.

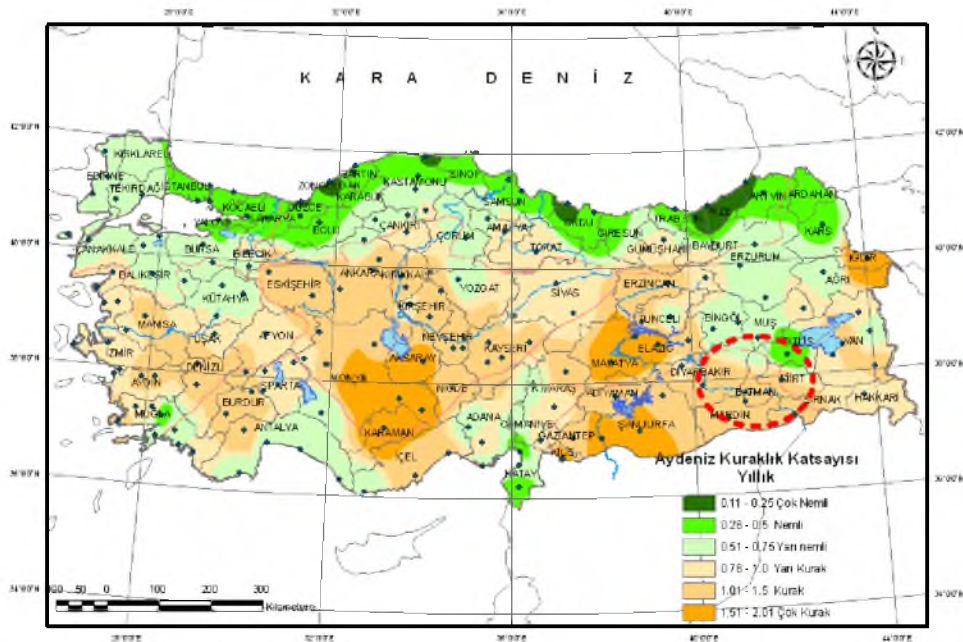
**Şekil 1.7.** Türkiye'nin Köppen-Geiger alt iklim tipleri (Öztürk, Çetinkaya, ve Aydın 2017)

Literatürde yaygın olarak kabul görmüş diğer iklim sınıflandırmaları Aydeniz, Erinç, DeMartonne, Trewartha ve Thorntwaite olmaktadır. Türkiye coğrafyası iklim sınıflandırmasında kullanılan bu modellerin haritaları Şekil 1.8., Şekil 1.9. ve Şekil 1.10.'da görülmektedir. Hesaplamalarda uzun dönem (1981-2016) iklim periyodu verileri kullanılmıştır (Anonim, 2017).

Aydeniz metodunda, özellikle kuraklık katsayısı (Kks) ve indekslerin belirlenmesinde, nem-yağış ilişkisi ile sıcaklık-güneşlenme şiddetinin kullanımın, sadece yağış ve sıcaklık parametrelerinin kullanımına katkı sağlamaktadır (Şensoy ve Ulupınar 2016). Bu amaçla geliştirilen iki adet formülasyon eşitlik 1.1 ve eşitlik 1.2 görülmektedir. Bu denklemlerdeki Nks; nemlilik katsayısı, Y; yağış miktarı (cm), Nn; nispi nem, S; sıcaklık (°C), Gs ;gerçek güneşlenme süresi'nin teoriğe oranı, Np; Nemli Periyod %'si olmaktadır (Şensoy, 2012). Eşitlik 1.1 ve 1.2'e göre Batman ili iklim tipi kurak ve 1,41 katsayısındadır.

$$Nks = \frac{Y \times Nn}{S \times Gs + 15} \times Np \text{ (yıllık)} \quad (1.1)$$

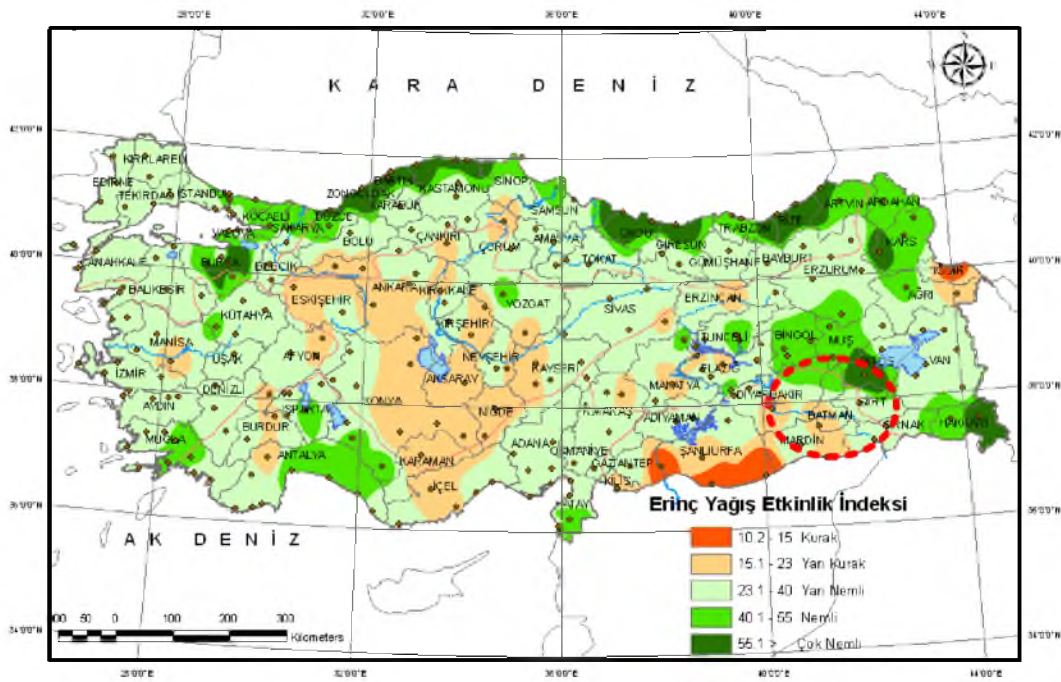
$$Kks = \frac{1}{Nks} \quad (1.2)$$



Şekil 1.8. Aydeniz iklim sınıflandırması (Anonim, 2019c)

Erinç tarafında geliştirilen kuraklık indeksi ( $I_m$ ), ortalama maksimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) oranının yağış ve buharlaşma yoluyla kaybedilen su miktarının neden olduğu kabul edilen değerlere dayanmaktadır: Eşitlik 1.3'deki  $P$ ; yıllık yağış toplamını (mm),  $T_{max}$ ; yıllık ortalama maksimum sıcaklıkların ( $^{\circ}\text{C}$ ) uzun süreli ortalamalarını göstermektedir (Erinç 1969). Eşitlik 1.3 Batman ili için uygulandığında iklim tip yarı kurak, yağış etkinlik indeksi 19,82 olmaktadır.

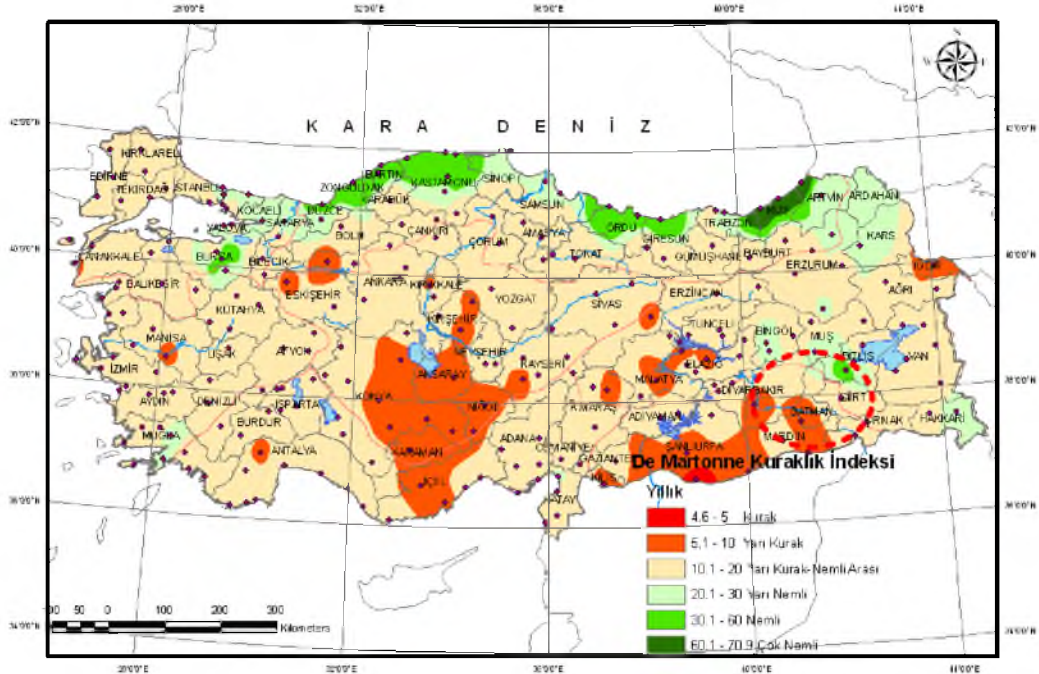
$$I_m = \frac{P}{T_{max}} \quad (1.3)$$



Şekil 1.9. Erinç iklim sınıflandırması (Anonim, 2019c)

De Martonne tarafından geliştirilen kuraklık ve iklim sınıflaması çalışmalarında kullanılan indis, yağış ve sıcaklık verilerini de kapsamaktadır. Eşitlik 1.4'de geliştirilen bağıntı görülmektedir. Bu modele göre  $P$ ; toplam yağışı (mm),  $T$ ; sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) göstermektedir. (de Martonne 1926; Çelik 2016). Eşitlik 1.4 Batman ili için uygulandığında iklim tipi; yarı kurak ve 8,92 kuraklık indeksi hesaplanmaktadır.

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10} \quad 1.4$$



Şekil 1.10. De Martonne iklim indeksi (Anonim, 2019c)

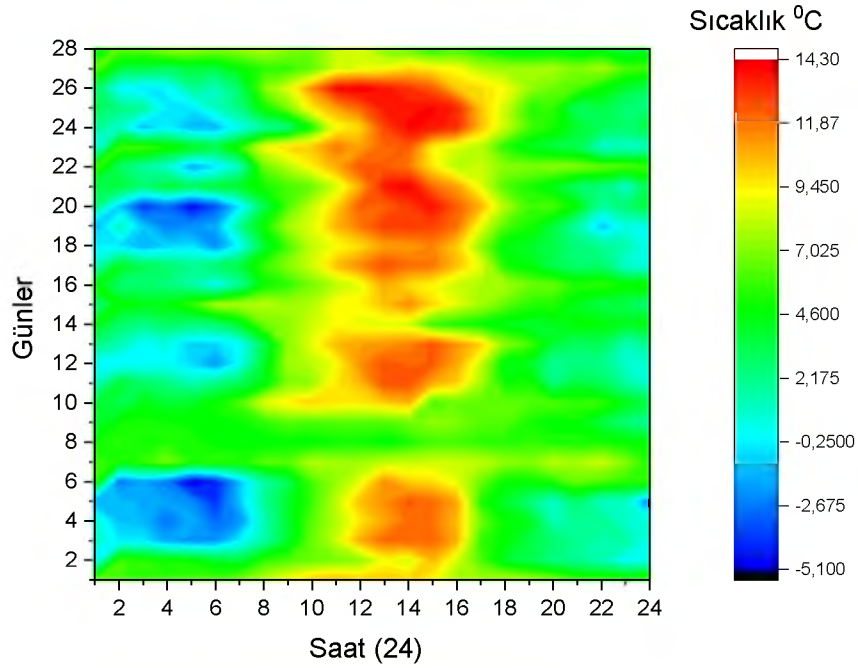
### 1.2.2 Sıcaklık Değerleri

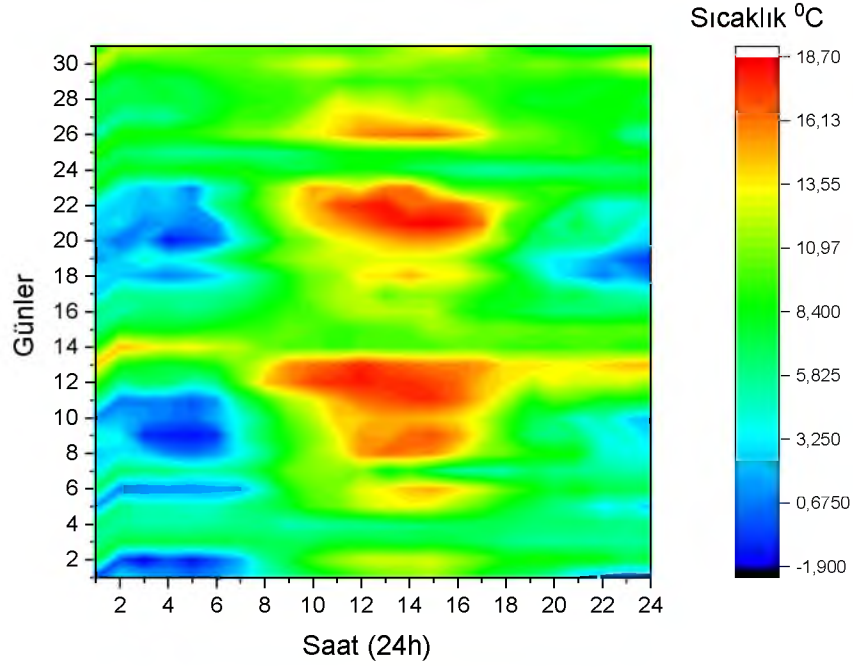
Batman ili yıllık ortalama sıcaklık değeri de  $15,9^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bölgenin yaz mevsimi iklimi çoğunlukla Azorlar yüksek basıncı ile muson dolaşımının uzantısı olan Basra alçak basıncının etkisindedir (Deniz 2013). Bu basınç merkezinin etkisinde kalarak kuru ve sıcak tropikal hava kütleleri sahaya hâkim olmaktadır. Kış mevsiminde ise Orta Akdeniz'den gelen cephe sistemlerinin etkisinde kalmaktadır. Bu cephe sistemleri Nisan ayına kadar yağışlara neden olmaktadır. Yöre ikliminin en belirgin özelliklerinden biri yaz mevsiminin mutlak olarak kurak ve çok sıcak geçmesidir (İbrahim ve Mortan 2006). Batman Meteoroloji İstasyonu'nun 1959-2019 yıllarını kapsayan dönemdeki en sıcak ay ortalaması  $30,2^{\circ}\text{C}$  ile temmuz ayına aittir. En düşük sıcaklık ortalaması ise  $2,4^{\circ}\text{C}$  ile ocak ayına aittir. Bu sayede ılıman Akdeniz İklim kuşağında tesis edilecek Güneş cephesi sistemleri kış aylarında ihtiyaç duyulan düşük enerji miktarı ile ısıtma sezonunda genel ısıtma ihtiyacını etkin şekilde karşılayabilmektedir. Bu sistemlerde ayrıca karmaşık sistemlere nazaran düşük maliyet ve kısa amortisman süresi, tercih edilmesindeki en önemli etkidir. Tablo 1.3.'de uzun dönem aylara göre değişen ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

**Tablo 1.3.** Batman iline ait 1959-2019 yılları içinde gerçekleşen ortalama değerleri (Anonim, 2020c)

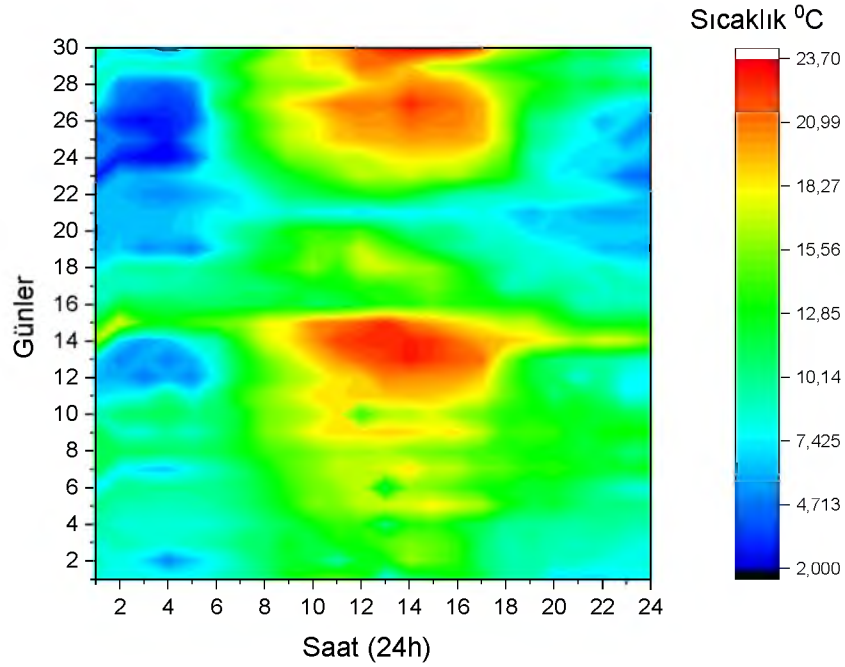
| BATMAN                  | Ocak  | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|-------------------------|-------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Ortalama                |       |       |      |       |       |         |        |         |       |      |       |        |        |
| En Yüksek Sıcaklık (°C) | 7,6   | 10,6  | 15,9 | 21,6  | 27,7  | 34,9    | 39,4   | 39,4    | 34,5  | 26,6 | 16,9  | 9,7    | 23,7   |
| Ortalama                |       |       |      |       |       |         |        |         |       |      |       |        |        |
| En Düşük Sıcaklık (°C)  | -1,4  | 0,0   | 3,6  | 7,8   | 11,4  | 15,9    | 20,2   | 19,7    | 15,0  | 10,0 | 4,0   | 0,5    | 8,9    |
| En Yüksek Sıcaklık      | 18,6  | 24,6  | 30,6 | 35,8  | 42,0  | 45,1    | 48,8   | 46,2    | 43,8  | 37,0 | 28,6  | 22,6   | 48,8   |
| En Düşük Sıcaklık       | -24,0 | -22,2 | -17  | -9,0  | 0,9   | 0,0     | 11,8   | 11,5    | 4,4   | -3,0 | -7,6  | -23,0  | -24,0  |

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği Kış ve İlkbahar döneminde Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 17282 no'lu (OMGİ) Batman istasyonundan elde edilen saatlik ortalama dış ortam sıcaklık değerleri (°C) Şekil 1.11., Şekil 1.12. ve Şekil 1.13.'de gösterilmektedir.

**Şekil 1.11.** 2019 Şubat ayı sıcaklık değişimi

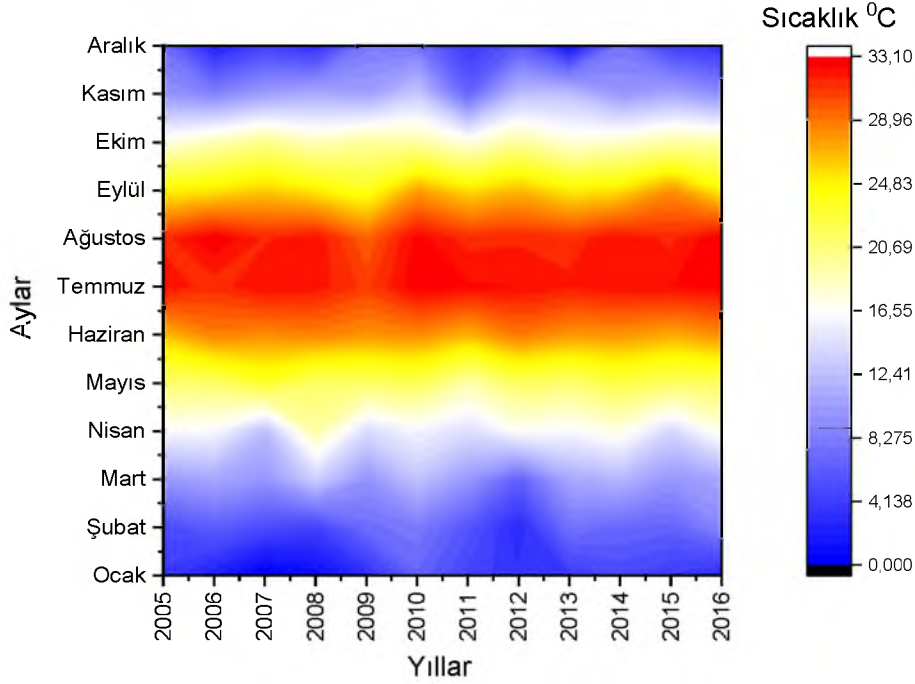


Şekil 1.12. 2019 Mart ayı sıcaklık değişimi



Şekil 1.13. 2019 Nisan ayı sıcaklık değişimi

Deney bölgesinin koordinatları (37,782-41,064) girilerek hesaplanan uzun dönem (2005-2016) aylık ortalama sıcaklık değerleri PVGIS-SARAH uydusunun, EUMETSAT İklim İzleme Uydu Uygulama Tesisi tarafından sağlanmıştır. Şekil 1.14.'de sıcaklık değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 1.14. PVGIS uzun dönem sıcaklıkları ( Anonim 2019d.)

### 1.2.3 Işınım Değerleri

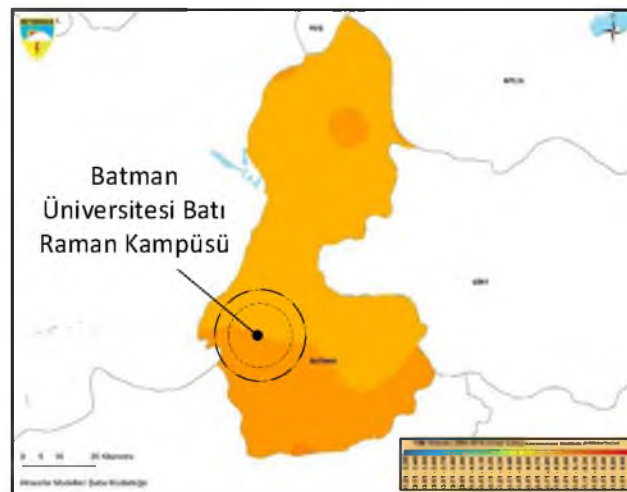
Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli sahip olduğu avantajlı coğrafi konumuyla (36-42 °N) Dünya üzerinde güneş kuşağı olarak adlandırılan bölgede yer almaktadır. Avrupa ülkeleri arasında İspanya hariç diğer tüm ülkelerden güneş potansiyeli yüksektir. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi metrekarede 2667 saat (günlük toplam 7,41 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti yıllık 4175,66 W/m<sup>2</sup>'dir ve ayrıca yılda 110 gün gibi yüksek bir güneşlenme süresi potansiyeline sahiptir. Ülkemizin en avantajlı bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. (Dinçer 2011; Varınca ve Gönüllü 2006).

Türkiye Global Güneş Radyasyon dağılımının hesaplanması enerjinin etkin ve verimli kullanılabilmesi için yönelik potansiyel belirleme çalışmaları Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılmıştır. Şekil 1.15.'de global güneş radyasyonu miktarı (kWh/m<sup>2</sup>/gün) görülmektedir.



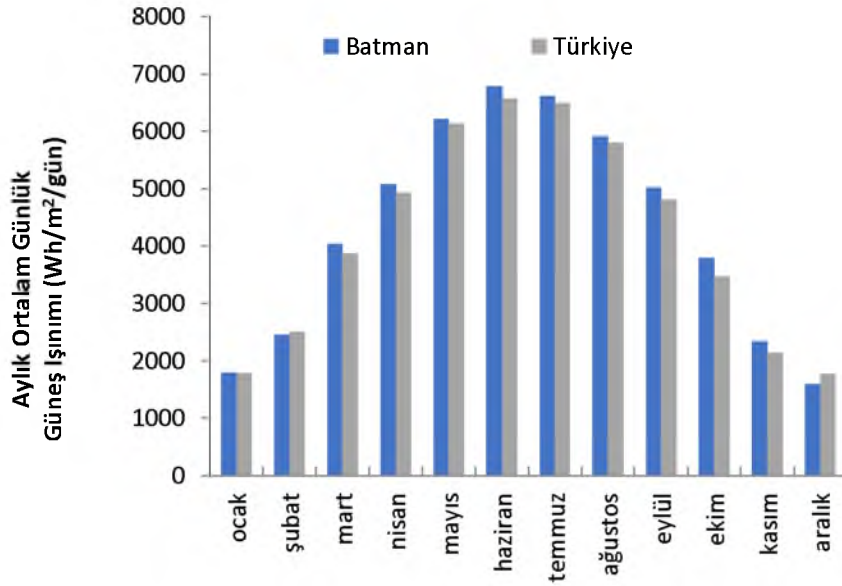
Şekil 1.15. Türkiye global güneş radyasyon dağılımı (Anonim 2019e.)

Global Güneş radyasyon dağılımının hesaplanması için Türkiye'nin 3610 grid noktasında veri üretilmektedir 2004- 2016 periyodu için günlük global güneş radyasyon veri arşivi oluşturulmuştur. İzlenen yöntemde Heliosat modeli kullanılmaktadır. Bu model melez olup radyasyon transfer denkleminin çözümlenmesine ve basit istatistiksel ilişkilere dayanmaktadır. Model ile öncelikle açık hava için direk ve difüz bileşenler ayrı ayrı hesaplanarak, global güneş radyasyon değerleri elde edilmektedir. Daha sonra, Meteosat Msg uydu verileri kullanılarak, açık hava için hesaplanan global güneş radyasyon değerleri bulut parametresi ile düzeltilmektedir (Özdemir ve Aksoy). Şekil 1.16.'de ise Batman ili global ışınlam değeri haritası (kWh/m<sup>2</sup>/gün) görülmektedir.

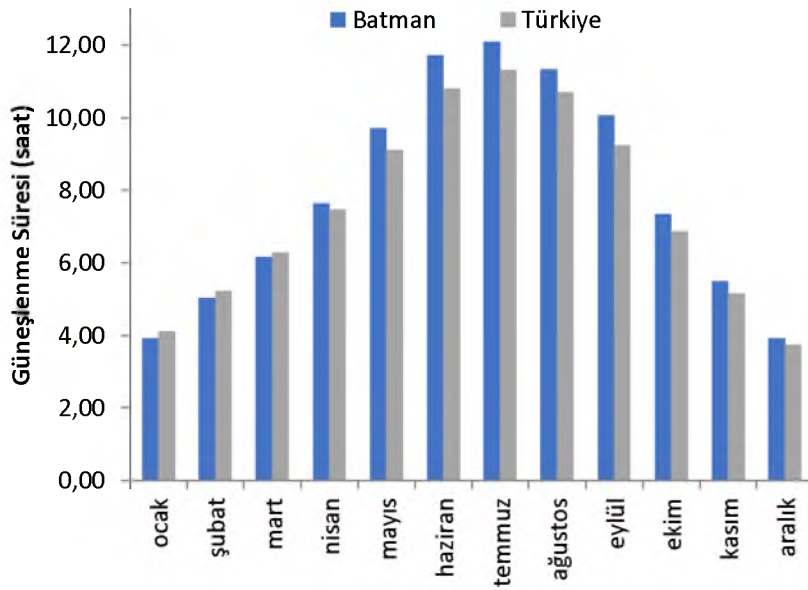


Şekil 1.16. Batman ili yıllık global radyasyon değeri (Anonim 2019e)

Şekil 1.17.'de ve Şekil 1.18.'de güneş ışınımı miktarı ve güneşlenme süreleri (saat) gösterilmiştir. Bu şekillere göre Batman ili haziran ve temmuz aylarında en yüksek global radyasyon ve güneşlenme süreleri görülmüştür. Bölgenin sahip olduğu mevcut güneş enerjisi potansiyeli Türkiye ortalamasının üstünde yer alarak güneş enerjisi yatırımlarında avantajlı durumdadır (Durmuş vd. 2017).

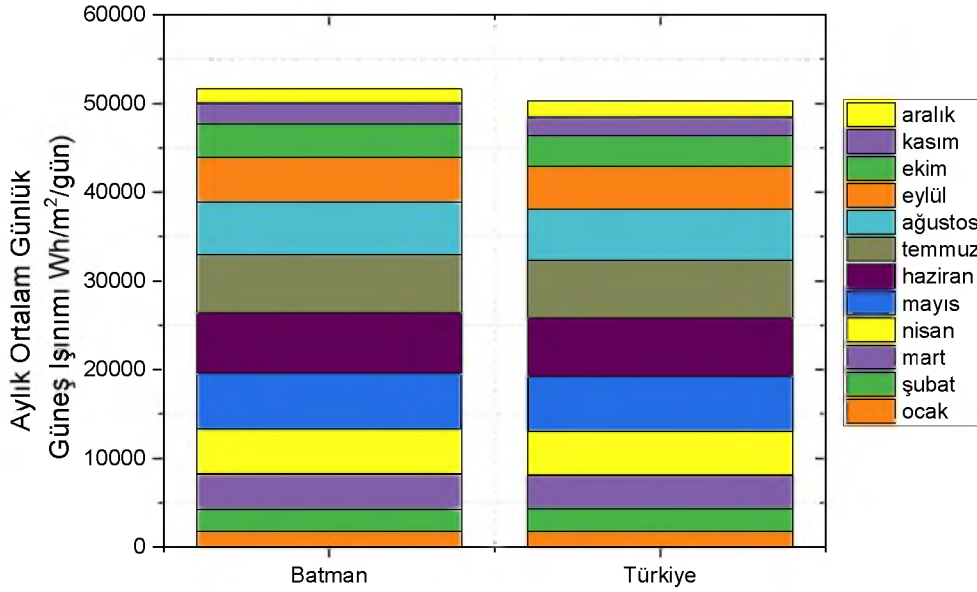


Şekil 1.17. Aylık güneş ışınımı miktarı ( $W/m^2/gün$ )



Şekil 1.18. Aylık güneşlenme süresi (saat)

Şekil 1.19.'da Batman İli ve Türkiye'nin Güneş yatay düzleme gelen global güneş ışınımı değerlerinin aylara göre kıyaslanması görülmektedir. Bu şekilde Türkiye'nin ortalama ışınım değeri  $50290 \text{ W/m}^2/\text{gün}$  iken Batman'ın  $51640 \text{ W/m}^2/\text{gün}$  olmaktadır.



Şekil 1.19. Batman ili ve Türkiye ortalaması güneş ışınımı karşılaştırılması

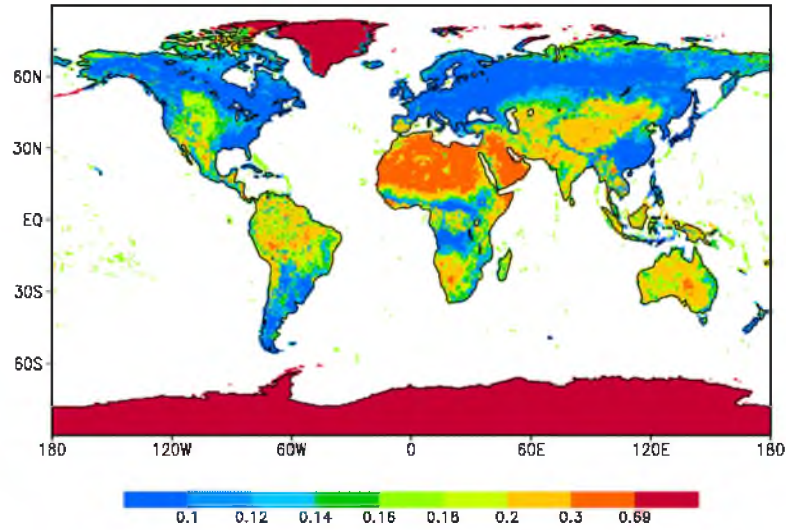
### 1.3 Deneysel Konumun Arazi Özellikleri

#### 1.3.1 Yüzeysel Albedo Değerleri

Batı-Raman kampüsünde konumlandırılan Güneş Duvarı Modelin ısı performansına etkileyen bir diğer önemli parametre de bulunduğu bölgenin Albedosu'du. Albedo bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesidir. Bu kapasite cismin rengine ve dokusuna bağlı olarak değişmektedir. Bu değer dünya yüzeyinde yaklaşık %31 civarındadır. Bu oran atmosferden yeryüzüne gelen ve yerden yansıtılan ışınım değeri olarak da kabul edilmektedir. Şekil 1.20.'de Dünyanın toprak albedo değeri gösterilmektedir. Bu değer bölgelerin iklim özelliklerine bağlı değişmektedir. Türkiye coğrafyası Akdeniz bölgesi iklim örtüsüne sahip olduğundan ortalama albedo değeri 0,15-0,25 arasında değişkenlik göstermektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesinin yansıtıcılık oranı Türkiye ortalamasının üstünde olup 0,18-0,25 arasında değişmektedir (Rechid, Raddatz, ve Jacob 2009). Tablo 1.4.'de bazı arazi örtülerinin albedo değerleri gösterilmektedir.

**Tablo 1.4.** Arazi albedo değeri (Taha, Sailor, ve Akbari 1992)

| Malzeme             | Değer |
|---------------------|-------|
| Su (açıya bağlıdır) | 0,10  |
| Bataklık            | 0,10  |
| Kum                 | 0,20  |
| Karışık Arazi       | 0,20  |
| Çayır               | 0,20  |
| Fundalık            | 0,15  |
| Çalılık             | 0,20  |
| Karışık Orman       | 0,10  |
| İğne Yapraklı Orman | 0,10  |
| Şehir               | 0,15  |

**Şekil 1.20.** Dünyanın toprak albedo değeri (Rechid, Raddatz, ve Jacob 2009)

Güneş ışınımından elde edilen enerjinin soğurulması cisimlerin sahip oldukları farklı albedo miktarlarına bağlı değişkenlik göstermektedir. Tablo 1.5.'de bu oranlar gösterilmektedir.

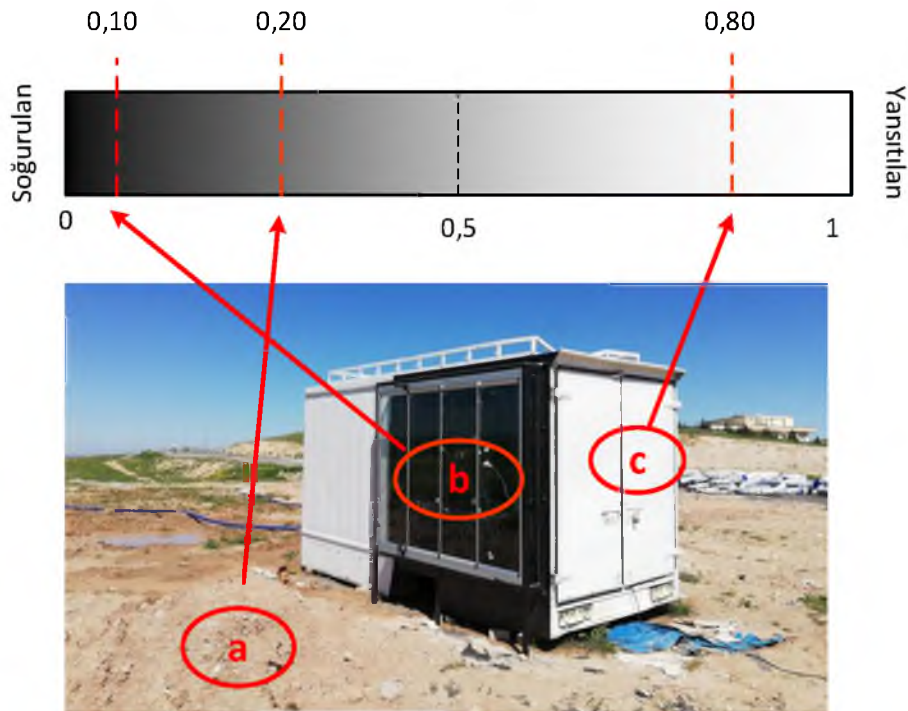
**Tablo 1.5.** Çeşitli malzemelerin güneş soğurma dereceleri (Yeang 2006)

| Malzeme  | Değer |
|--|-------|
| Optik düz siyah boya                                   | 0,02  |
| Düz siyah boya   | 0,05  |
| Koyu gri boya  | 0,09  |
| Siyah yağlı boya                                       | 0,10  |
| Koyu hâki boya   | 0,11  |
| Orta kahverengi boya                                   | 0,16  |
| Orta pas rengi boya                                    | 0,22  |
| Kırmızı yağlıboya                                      | 0,26  |
| Kavuniçi boya  | 0,43  |
| Açık yeşil boya  | 0,53  |
| Beyaz yağlı boya                                       | 0,80  |
| Alüminyum yansıtıcı plaka                              | 0,88  |
| Laboratuvar buhar bırakım işleminden geçmiş kaplamalar | 0,98  |

Tablo 1.5’de görüleceği üzere yüksek soğurmalı malzemeler güneş alan cephelerde kullanılarak daha etkin sistemler oluşturulabilir. Tez çalışmasında kullanılan modelde güneşe bakan ve etrafı saydam malzeme (hava kanalı) ile muhafaza edilen deney odası bölgesi siyah yağlı boya ile boyanarak azami derecede fayda sağlanmıştır (Şekil 1.21.). Referans değer olarak kabul edilen test odası iç sıcaklığının ışınlama ile değişimini en az tutmak için yansıtıcı yüksek olan beyaz yağlı boya ile boyanmıştır. Güneydoğu Anadolu bölgesinin genel itibariyle sahip olduğu toprak Albedo değeri 0,20 (kuru-killi) olmaktadır (Chudnovsky 1976; Anonim 2020f).

**Tablo 1.6.** Batman ili aylık değişken toprak albedo değerleri

| Aylar    | Albedo |
|----------|--------|
| Ocak     | 0,21   |
| Şubat    | 0,22   |
| Mart     | 0,19   |
| Nisan    | 0,17   |
| Mayıs    | 0,18   |
| Haziran  | 0,21   |
| Temmuz   | 0,21   |
| Ağustos  | 0,21   |
| Eylül    | 0,20   |
| Ekim     | 0,17   |
| Kasım    | 0,19   |
| Aralık   | 0,20   |
| Ortalama | 0,20   |

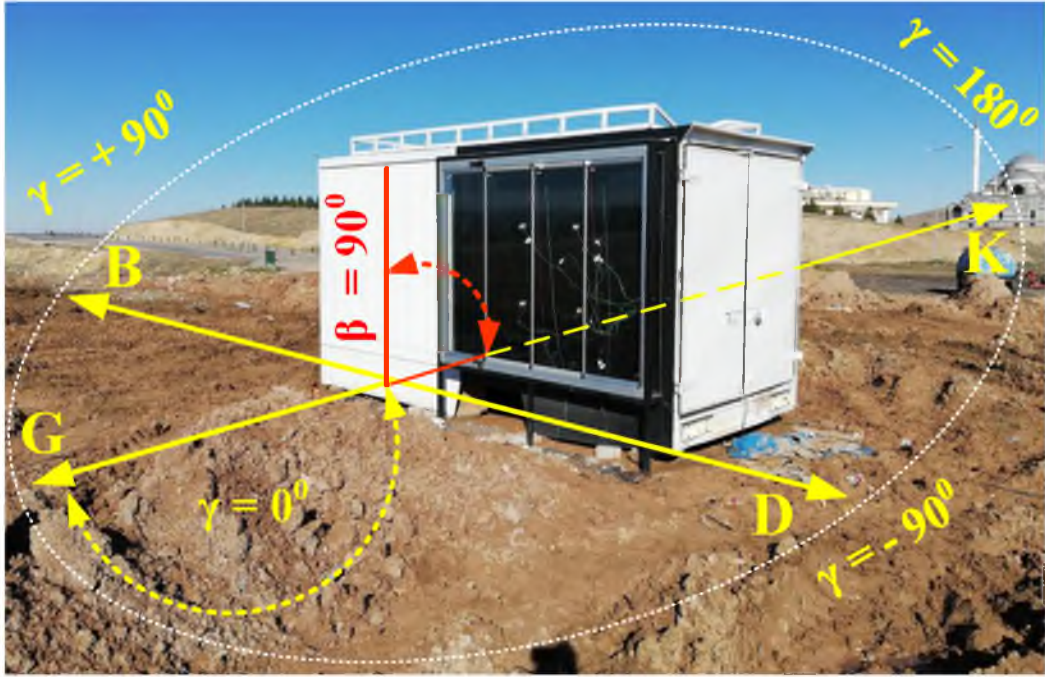


**Şekil 1.21.** Güneş duvarı modeli ve albedo miktarı

### 1.3.2 Optimum Azimut Değeri

Bir gözlemciye göre, gök cisminin yörüngesinin ufuktaki kuzey veya güney noktasından açılma uzaklığı yüzey azimut açısı ( $\gamma$ ) olarak tanımlanır. Hesaplamalarda dikey dairenin ufka değdiği gök cisminin referans konumun açılma uzaklığıdır. Bu açı  $-180^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında yüzeyin dikeyinin yerel boylama göre sapması ve yüzeyin normali ile kuzey-güney doğrultusu arasında değişmektedir.

Doğuya yönelen yüzeylerde artı, batıya yönelen yüzeylerde eksi değer alır. Güneye bakan yüzeylerde ise sıfır derece olmaktadır. Böylece azimut açıları güneş doğarken  $-90^\circ$  ve günbatımında  $+90^\circ$  olur. Şekil 1.22.'de deney alanına yerleştirilen Güneş Duvarı Modelinin açılma konumu gösterilmektedir.



Şekil 1.22. Güneş duvarı ve açılma azimut değerleri

Güneş azimut açısı ( $\gamma_s$ ) ile kutupsal koordinatlarda yörünge oluşturulabilmektedir. Bu açı doğrudan güneş ışınımı ile kuzey-güney doğrultusunun arasındaki açıdır. Güneye doğru azimut açısının sinüsü 1.5 bağıntı ile belirlenir. Güneş ışınlarının kuzeye göre saat dönüş yönünde Saat tam 12:00'da yaklaşık  $\gamma_s = 180^\circ$  olur.

$$\sin \gamma_s = -\frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\sin \theta_z} \quad (1.5)$$

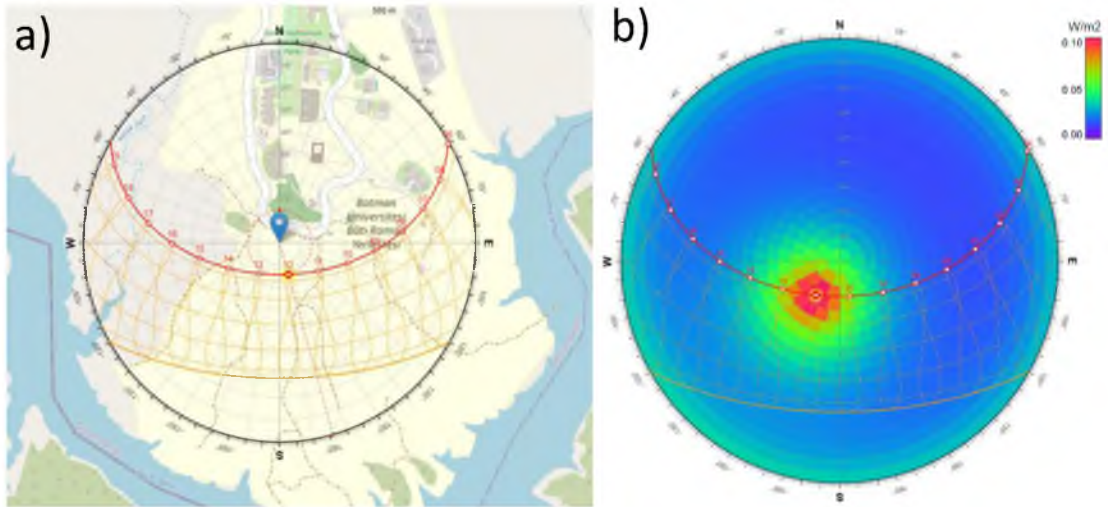
Güneş Yükseklik Açısı ( $\alpha$ ) herhangi bir zaman diliminde güneş ışınımı ile yerel yatay düzlem arasındaki açıdır. Bu açı bütün mevsimlerde en yüksek değerini öğle vaktinde almaktadır. Deklinasyon açısı, enlem açısı ve güneş saati açısına bağlı olarak 1.6 bağıntı oluşturulur.

$$\sin \alpha = \sin \delta \cdot \cos \theta \cos \omega + \sin \delta \sin \theta \quad (1.6)$$

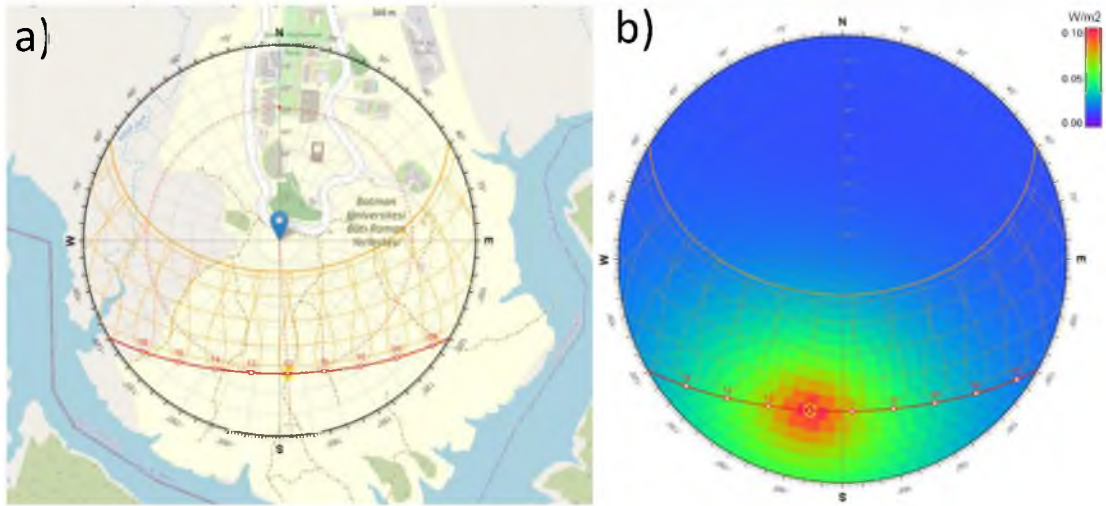
Güneşin doğuşu ve batışı sırasındaki yükseklik açısı sıfırdır ve güneş yükseklik açısı ve zenit açının toplamı doksan derecedir. Bu eşitlik 1.7 de görülmektedir.

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad (1.7)$$

Deneyin yapıldığı konumdaki güneş yörünge diyagramı (sun path) eşitlik 1.5, 1.6 ve 1.7 sayesinde Perez modelinin ortalama güneş ışınımı değeri (Perez vd. 1990) kullanılmasıyla Şekil 1.23. ve Şekil 1.24.'de görülmektedir. Bu Şekillerden 1.23.'de yaz gündönümü 21 Haziran saat 12:00'deki diyagramı göstermektedir. Bu tarihte  $\gamma_s = 164^\circ$ ,  $\alpha = 75,18$  gün doğumu ve gün batımı sırasıyla 04:54 ve 19:41 ve gün uzunluğu 14,47 saat olmaktadır. 21 Aralık kış gündönümü saat 12:00'deki diyagram Şekil 1.24.'de gösterilmektedir. Bu tarihte  $\gamma_s = 176^\circ$ ,  $\alpha = 28$  gün doğumu ve gün batımı sırasıyla 07:27 ve 17:00 ve gün uzunluğu 9,33 saat olmaktadır.



Şekil 1.23. 21 Haziran ( Anonim 2020e)



Şekil 1.24. 21 Aralık ( Anonim 2020e)

#### 1.4. Pasif İklimlendirme

Doğal havalandırma binlerce yıldır ısıtma ve soğutma tekniği olarak kullanılmıştır, ancak son yüzyılda mekanik havalandırma sistemlerinin ortaya çıkması ve ticarileşmesiyle etkisini kaybetmiştir.

Pasif iklimlendirme sistemlerinin amacı, bölgenin iklim verileri ve ısı konfor parametreleri değerlendirilerek yapılarda ısıtma, soğutma ve havalandırmada yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktır. Bu sayede enerji kazancını arttırmak, emisyon miktarını indirmek ve mekanik (HVAC) aktif iklimlendirme yükünü azaltmaktır. Bu sistem ek enerji vermeden mevcut enerji kaynağından maksimum yararlanarak ortamın sıcaklığının değişiminden basınç farkı oluşturarak ortamdaki akışkanın hareketlerini (sirkülasyonu) ve değiştirme yöntemidir. Bu durum ortamın konumunu, boyutlarını ve şeklini değiştirerek sağlanabilir. Bu tez çalışmasındaki temel hedef güneş enerji kaynağından azami ölçüde faydalanmaktır. Bu amaçla klasik hava ısıtmalı sistemlerde kullanılan düz absorban plakalar yerine geometrik biçim ve formları farklı (trapez, sinüs, vb.) plakalar kullanılabilir. Yöntem olarak bina içindeki hava basıncının oluşturulabileceği iki farklı işlevle bir akım oluşturmaktır. Bunun için sıcaklık ve nem farkına ihtiyaç vardır. Baca etkisi olarak adlandırılan bu yöntemde doğal konveksiyonla havanın yapıda yer değiştirmesidir. Bu sistemin dezavantajı ise zayıf bir kuvvet olması (laminer akış) ve havanın çok hızlı hareket edememesidir.

Pasif ev standardındaki bileşenler teknoloji, tasarım ve malzemeye bağlıdır. Bu standartta, geleneksel ısı dağıtım sistemine ihtiyaç duymadan yaz ve kış aylarında istenilen iç iklimsel koşulları sağlayan yapılardır (Mijorski ve Cammelli 2016). Temel olarak aşağıdaki dört unsura bağlıdır.

- Isıtma ve soğutmada kullanılan enerji sınırlaması.
- Sürdürülebilir ve çevreci yaklaşımı.
- ISO 7730 normuna ASHRAE 2013 standardına göre iç ortamda ihtiyaç duyulan termal konforun sağlanması.
- Enerji sınırlamasını ve yeterli iç ortam kalitesini maliyet etkin şekilde sağlayan pasif sistemlerin kullanımı.

Hava kanalı içindeki kaldırma kuvveti (thermal buoyancy) rüzgâr kuvvetinin etkisi olmadan bağımsız hareket ettiği hem iç hem de dış basınçların eşit olduğu veya basınç farkının ( $\Delta P$ ) sıfıra dönüştüğü düzeye "referans basınç noktası" (RBN) denir. Kanaldaki basınç farkı eşitlik 1.8 ile açıklanmaktadır (Bhatia 2014). Bu seviyede gözlenen üç temel unsur;

- RBN seviyesinin altındaki düşük basınç bölgesinde hava kanala doğru akmaktadır.
- RBN seviyesinde teorik olarak hava hareketi yoktur
- RBN seviyesinin üstünde yüksek basınç bölgesinde hava odaya doğru akmaktadır.

$$\Delta P = K_s \times \left( \frac{1}{T_o} + \frac{1}{T_i} \right) \times H \quad (1.8)$$

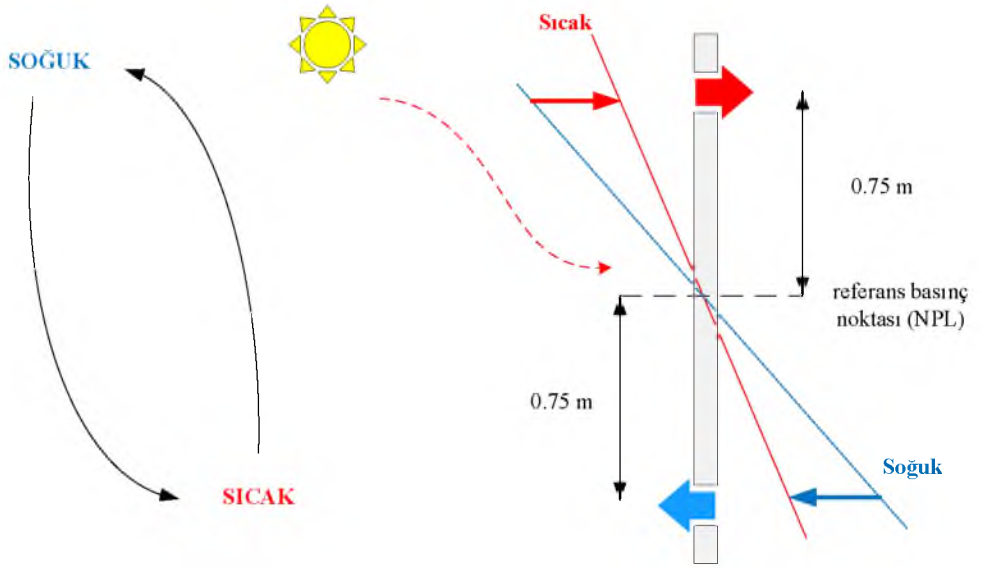
Eşitlik 1.8'deki parametreler:

- $\Delta P$  = Basınç farkı (Pa.)
- $K_s$  = Düzeltme Katsayı = 7,64
- $T_o$  = Ortalama oda sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )
- $T_i$  = Ortalama kanal sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )
- $H$  = Panel yüksekliği (m)

Eşitlik 1.8'e tasarım açısından bakıldığında, baca etkisini havalandırma oranını etkileyecek üç değişken vardır bunlar

- Menfez alanı (giriş ve çıkış).
- Giriş ve çıkış arasındaki panel yükseklik farkı.
- Giriş ve çıkış arasındaki hava sıcaklığı farkı.

Bu üç değişken arasında, menfez alanı ve panel yüksekliği mimari karar vermede en uygun parametredir. Sıcaklık farkı tasarım kararlarına (menfez konumu genişliği ve güneş ışınımı) göre değiştirilebilse de temel olarak hava koşullarına dayandığından daha az kontrol edilebilen değişkendir. Tez çalışmasında kurulan modeldeki referans basınç noktası düzeyi Şekil 1.25.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.25. Model güneş duvarındaki referans basınç noktası

RBN'nin altındaki hava akımı soğuktan sığağa ve RBN'nin üstündeki hava akımı ise sıcaktan soğuğa doğru akmaktadır. Bu akışta etkili olan parametreler menfezlerin hava kanalındaki alt ve üst açıklığına, yüksekliğine ve boyutuna göre değişmektedir. Tez çalışmasında kurulan Güneş Duvarı prototipi tasarımındaki alt ve üst menfezler eşit büyüklükte açılmış ve homojen-uniform panel kullanılarak RBN seviyesi kanal içinde orta noktada tutulması amaçlanmıştır.

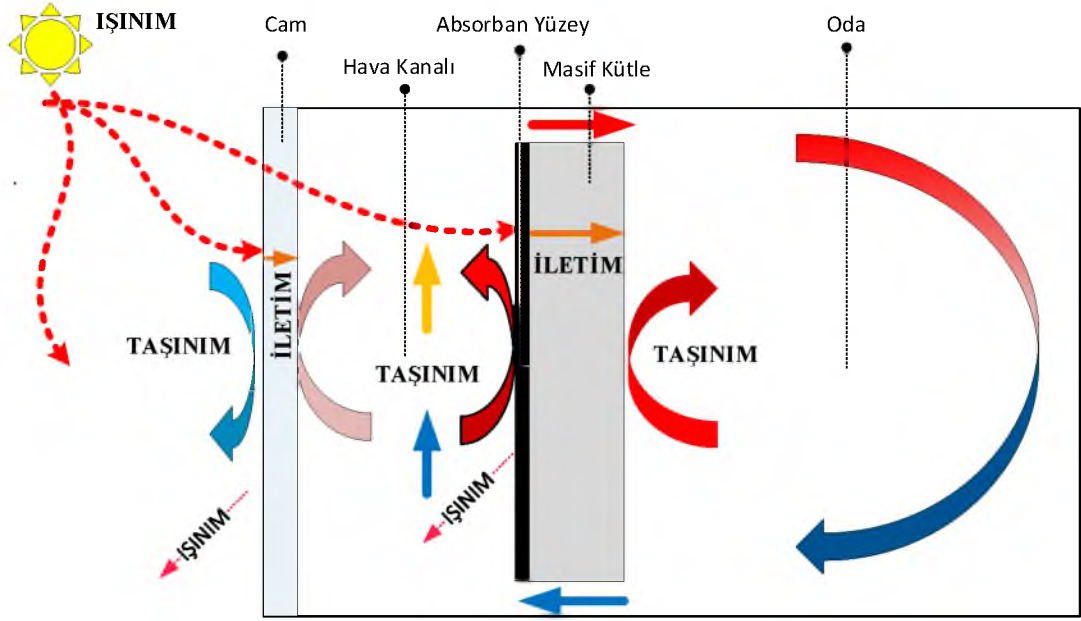
#### 1.4.1. Enerji Dengesi Parametreleri

Klasik Trombe duvarı termal enerji ve kütle transferini gerçekleştirilebilen karmaşık bir termodinamik sistemdir.

Teorikte sistem ile çevre arasında madde alışverişi olmayıp sadece enerji alışverişini yapabilen kapalı sistem olarak tanımlanabilir. Yapıyı oluşturan elementlere ısı iletiminin üç temel bileşimiyle iletim, taşınım ve radyasyonla enerji dengesi kurulmaktadır. Bu dengede güneş panelinde radyasyonla ısı transferi, kolektörde iletim, termal duvardaki ısı depolama kapasitesi ve doğal taşınımı olmaktadır. Şekil 1.26.'da geleneksel Trombe duvarına etkileyen parametreler gösterilmektedir. Bu sistemde bazı mühendislik kabulleri yapılırsa;

*Kabuller;*

- Daimi akış (kararlı).
- Tek boyutlu kartezyen düzlem.
- İç ısı üretimi yok.
- Hava kanalı, cam-duvar boyunca uniform ve sabit yapıdadır.
- Tüm malzemelerin ısı iletkenliği her düzlemde sabittir.
- Dikey sıcaklık gradyanı basamağı ihmal edilebilir.
- Sıcaklık gradyanı yatay yöndedir.
- Ek ısı veya kütle transferi yoktur.
- Hava hariç tüm malzemelerin termofiziksel özellikleri sıcaklıktan bağımsızdır.
- Işınım kolektör yüzeyi boyunca uniformdur.
- Emisivity kolektör alanı boyunca uniformdur.
- Radyasyonla ısı transferinin havaya etkisi ihmal edilebilir.
- Üst ve alt duvarlar adyabatiktir.
- Hava kanalında, taşınım-ışınım ile ısı transferi mevcuttur.
- Tavan ve yan yüzeyler gri ışınım olarak kabul edilmektedir.
- Doğal akış mevcuttur



Şekil 1.26. Klasik Trombe duvarında ısı transferi türleri

#### 1.4.2. Işınım

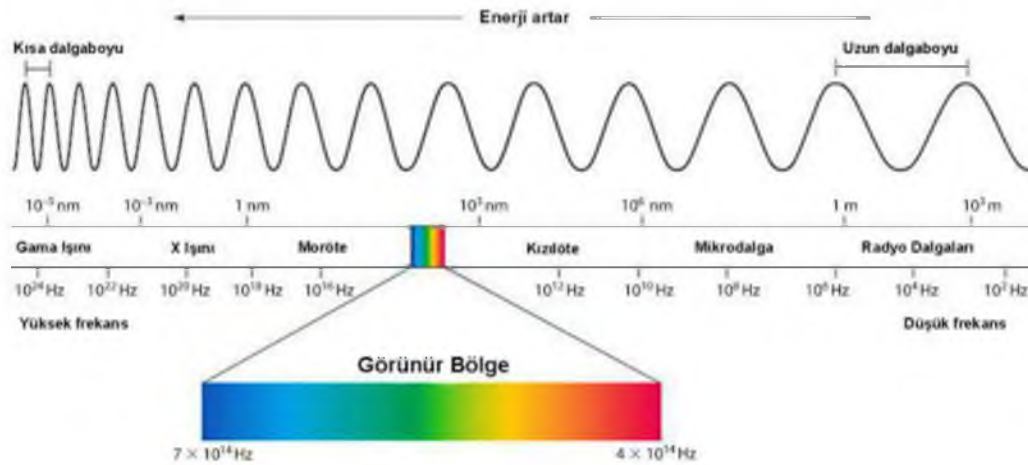
Işınım diğer ısı transfer mekanizmalarından farklı olarak malzeme ortamına ihtiyaç olmadan gerçekleşebilmektedir. Işığın üzerine düştüğü cisimlerin sahip olduğu elektromanyetik dalgası sayesinde ısı enerjisi dönüşebilmektedir. Işık hızı  $c$  ile gösterilmekte ve boşluktaki evrensel değeri  $c_0 = 2,998 \times 10^8$  m/s alınmaktadır bu bağıntı eşitlik 1.9’de ifade edilmiştir. Bu eşitlikteki  $n$  = ortamın kırılma indisi (vakum,  $n=1$ ) olmaktadır (Iqbal 2012).

$$c = \frac{c_0}{n} \quad (1.9)$$

Kuantum teorisinde enerjinin yayılması foton olarak adlandırılan kütesiz enerji paketçikleriyle (kuantum) olmaktadır. Böylece (kuantum) enerji miktarı ışınım frekansı ile doğru orantılıdır. Eşitlik 1.10’da Max Planck tarafından ortaya atılan her bir dalganın veya fotonun toplam enerjisi görülmektedir. Bu denklemdeki  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Js değerinde olan Planck sabiti,  $\lambda=221$ nm ile dalga boyudur (Planck 2013). Böylece eğer bir parçacığın frekansı arttıkça enerjisi de artmaktadır fakat Planck sabiti her zaman aynı kalmaktadır.

$$E = hv = hc/\lambda \quad (1.10)$$

Işınım olayını açıklamada elektromanyetik dalga ve kuantum teorileri tek başına yeterli olamamaktadır. Işınım dalga karakterinde küçük frekanslarda, kuantum karakterinde ise büyük frekanslarda görülmektedir (O. F. Genceli 2004). Güneşten yayılan ve bilinen farklı dalga boylarındaki radyasyonun tamamı elektromanyetik güneş spektrumu olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımda güneşten dünyaya düşen enerji farklı dalga boylarındaki bileşimlerden oluşmaktadır. Işınımın yayılması tek ortamdan veya maddeden elektromanyetik dalgalar yahut parçacıklar şeklindedir. Atmosfer dışına gelen güneş ışınları 0,1-3  $\mu\text{m}$  aralıkta değişen dalga boyu ile nitelendirilerek mor ötesinden kırmızı altına kadar uzanmaktadır. Bu gelen enerjinin taşınımı elektrik ve manyetik alanlarla periyodik dalgalar şeklinde ve ışık hızı ile ilerlemektedir. Şekil 1.27.'de elektromanyetik dalga spektrumunda görülen güneşten yayılan ve bilinen farklı dalga boylarındaki radyasyondur. Hemen bütün katı ve sıvı maddelerde sıfırdan sonsuza kadar değişen dalga boylarında sürekli ışınım yayılımı ( $10^{-1}$ -100  $\mu\text{m}$ ) olmaktadır.



Şekil 1.27. Güneşin elektromanyetik spektrumunun dağılımı (Sze 2008)

Şekil 1.27.'de görüldüğü üzere mor ötesi (ultraviolet), görünen ışık ve kızıl ötesi (infrared) ışınlar, ısıl ışınım aralığı içinde yer almaktadır. Görünür ışıktaki farklı renklere ait dalga boyları Tablo 1.7.'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.7.** Farklı renklere ait dalga boyu aralığı

| Renk    | Dalga Boyu Aralığı ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------|--------------------------------------|
| Mor     | 0,40-0,44                            |
| Mavi    | 0,44-0,49                            |
| Yeşil   | 0,49-0,54                            |
| Sarı    | 0,54-0,60                            |
| Turuncu | 0,60-0,63                            |
| Kırmızı | 0,63-0,76                            |

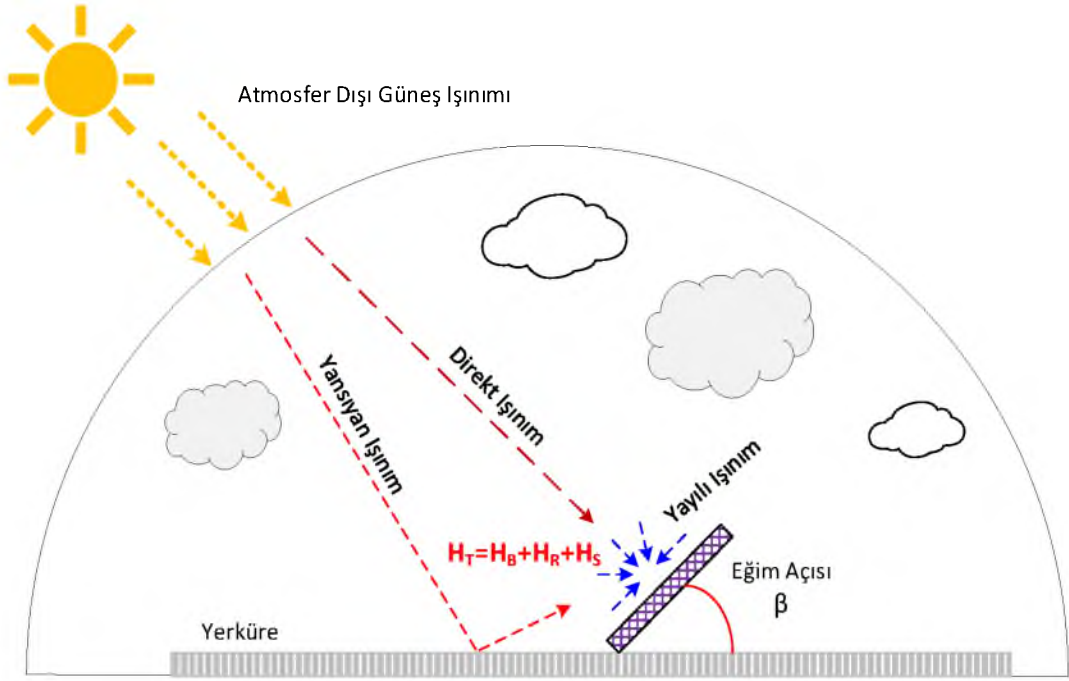
#### 1.4.2.1 Panel Üzerine Düşen Işınım Hesabı

Eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı miktarı yatay düzleme oranla daha yüksektir. Fakat yatay düzleme gelen güneş ışınımı değerlerinin ölçülebilmesine karşılık, eğimli yüzeye düşen ışınım bileşenleri ölçülmemektedir.

Yatay düzleme gelen ölçüm değerleri hesaplama modellemeleri sayesinde hesaplanabilir. Güneş paneli eğim açısı konuma, yıl içindeki belli zamana, kendisini çevreleyen arazi şartlarına, güneş geometrisine, dünyanın kendi eksenini ve güneşin yörüngesindeki hareketlerine ve ışınım miktarında meydana gelen değişikliklere göre optimal değeri  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında değişmektedir. Ayrıca, en uygun açı ve yön tespiti de güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu, tasarımı ve güneşten maksimum enerji elde edilmesi için çok önemlidir. Tez çalışmasında kullanılan güneş duvarının güneşe bakan absorban yüzeyi  $90^\circ$  ile yatay düzleme dik konumda olmaktadır.

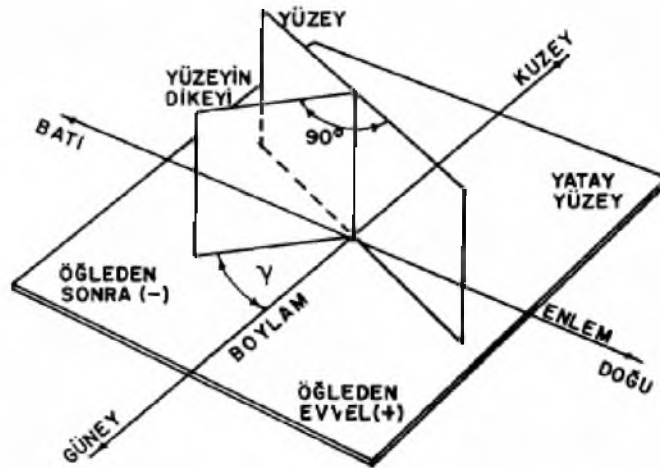
Güneş enerjisi hesaplamalarında kullanılan ışınım miktarına etkin olan faktörlerin başında düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafik konumu, yıl içindeki gün sayısı ve günlük zaman dilimine göre değişiklik göstermektedir. Eğimli yüzeye gelen difüz radyasyon hesaplamalarında izotropik ve anizotropik saçılma koşullarında kullanılan farklı modeller göz önüne alınmaktadır.

İzotropik modelde atmosferdeki saçılmanın tüm yönlerde eşit olduğu varsayılmıştır. Bu koşuldaki saçılma temiz atmosfer koşullarında, sadece hava moleküllerinin meydana getirdiği saçılma ile örtüşmektedir. Anizotropik saçılma ise açısal olarak saçılma şiddetinin eşit olmadığı saçılmadır ve aerosollerin ve bulutların olduğu bir atmosfer için seçilmektedir. Bu saçılma gerçek atmosferik saçılmaya daha yakındır (Yadav ve Chandel 2013). Şekil 1.28.'de eğimli panel üzerine gelen ışınım bileşenleri gösterilmiştir.



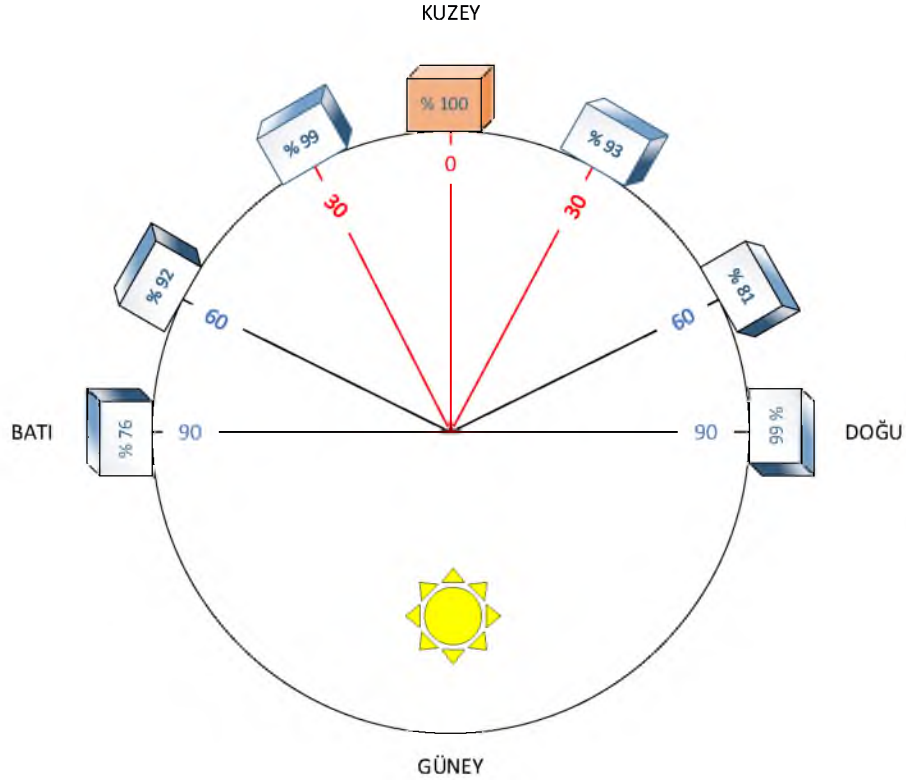
Şekil 1.28. Eğimli düzlem üzerine gelen güneş ışıınımlı bileşenleri

Güneş ışıınımlı ölçümleri yaygın şekilde yatay düzlemde kaydedilen verilerden oluşmaktadır. Bu bölümde eğimli yüzey üzerine düşen ışıınımlı miktarı kuzey yarımkürede azimut açısı sıfır ( $\gamma = 0^\circ$ ) alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu açı yüzeyin dikeyinin yerel boylama göre sapmasını gösteren, yüzeyin normali ile kuzey güney doğrultusu arasındaki açıdır. Değer olarak  $-180^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında değişebilmektedir. Doğuya yönelen yüzeylerde artı, batıya yönelen yüzeylerde eksi değer alır. Güneye bakan yüzeylerde ise sıfır derece olmaktadır. Şekil 1.29.'da yüzey azimut açısının gösterimi mevcuttur.



Şekil 1.29. Yüzey azimut açısının gösterimi (Görçelioğlu 1986).

Azimet açısının  $30^0$  ile  $330^0$  arasında olan kısım (kuzey yarımküre) sadece güneş ışınımı değerleri temel alınıp diğer meteorolojik veriler ihmal edildiğinde en ideal değer olarak kabul edilmektedir (Kaçan ve Ülgen 2013; Gunerhan ve Hepbasli 2007). Şekil 1.30.'da bu tez çalışmasında kullanılan güneş duvarına etkileyen açı ve verim ilişkisi görülmektedir. Bu çalışmadaki prototipte güneş panel yönü güneye dönük şekilde konumlandırılmış ve güneş ışınımı verileri bu doğrultuda hesaplanmıştır.



Şekil 1.30. Farklı yönlendirmedeki Trombe duvarları için ısı verim yüzdesi (Yeang 2006)

Eğik düzlem üzerine düşen aylık ortalama günlük global ışınım değeri ( $H_T$ ) 1.11'nolu eşitlikte verilmiştir. Bu eşitlik direkt güneş ışınımı ( $H_B$ ), yansıyan ışınım ( $H_R$ ) ve yayılı ışınım ( $H_S$ ) değerlerinin toplamından oluşmaktadır (T. Muneer ve Saluja 1985; B. Y. Liu ve Jordan 1960)

$$H_T = H_B + H_R + H_S \quad (1.11)$$

Eğimli yüzeye gelen direkt güneş ışınımı değeri ( $H_B$ ) değeri 1.12'nolu eşitlikte verilmiştir. Bu eşitlik yatay düzleme gelen aylık toplam ışınım ( $H$ ) ve yayılı ışınım ( $H_d$ ) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$H_B = (H - H_d)R_b \quad (1.12)$$

1.12'nolu eşitlikte geçen  $R_b$  değeri eğik düzlem üzerine gelen direkt ışınımının yatay düzlem üzerine gelen ışınım miktarına oranıdır Lui ve Jordan (1960) tarafından Kuzey yarımkürede azimut açısının sıfır olduğu durumlarda geçerlidir ve 1.13'nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu bağıntı enlemin ( $\emptyset$ ), güneş sapma açısının ( $\delta$ ), güneşin ortalama doğuş açısı ( $\omega_s$ ) ve eğimli düzlemde güneş doğuş açısı ( $\omega'_s$ ) değerlerinin bir bağıntısı olarak hesaplanmaktadır (Tariq Muneer 2007).

$$R_b = \frac{\cos(\emptyset - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega'_s) + \omega'_s \left(\frac{\pi}{180}\right) \sin(\emptyset - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\emptyset) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \omega_s \left(\frac{\pi}{180}\right) \sin(\emptyset) \sin(\delta)} \quad (1.13)$$

Yerden yansıyan ve eğimli yüzeye düşen günlük ışınım miktarı ( $H_R$ ) 1.14'nolu denklemle hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki  $\rho$  yerin yansıtma katsayısı olup bölgenin bitki örtüsüne, rakımına, topoğrafyasına ve mevsime göre değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada nemli ve sıcak iklim bölgelerinde kullanılan 0,2 değeri alınmıştır (Lewis 1987). Denklemdeki  $\beta$  panelin yatay düzlemle yapmış olduğu eğim açısıdır.

$$H_R = \frac{H \rho (1 - \cos \beta)}{2} \quad (1.14)$$

Eğimli yüzey üzerine düşen yayılı ışınımı miktarı ( $H_S$ ) 1.15'nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$H_S = H_d R_d \quad (1.15)$$

$H_d$  yatay düzleme düşen yayılı ışınım miktarıdır ve 1.16'nolu isotropik eşitlik ile hesaplanmaktadır (Duffie and Beckman 2013). İzotropik gökyüzü dağılımı modeli, gök kubbeden yayılan radyasyonun uniform olduğunu varsayar(J. A. Duffie ve Beckman 2013).

$$H_d = H \left( 1 - 1,13 \frac{H}{H_0} \right) \quad (1.16)$$

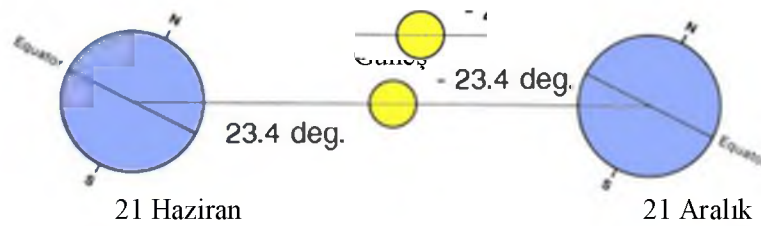
1.17'nolu bağıntıdaki  $H_0$  Yatay yüzeye gelen günlük dünya dışı güneş radyasyonu, güneş sabiti ( $G_{sc}$ ), dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü ( $k$ ), güneş sapması ( $\delta$ ), bölgenin enlemi ( $\phi$ ) ve güneşin ortalama doğuş açısı ( $\omega_s$ ) değerlerinin bir fonksiyonu olarak aylık hesaplanmaktadır (Şen 2008; Cooper 1969).

$$H_o = \left( \frac{24}{\pi} \right) G_{sc} k \left[ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \sin \phi \sin \delta \omega_s \right] \quad (1.17)$$

Güneş sabiti genel olarak ( $G_{sc}$ )  $1367 \text{ W/m}^2$  kabul edilir. Dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü yeryüzüne gelen güneş ışınımı, atmosfer dışına gelen güneş ışınımına ilişkili olarak bulunur. Güneş sabitinin düzeltme faktörü ( $k$ ) günlere göre değişim göstermektedir,  $n$  yıl içindeki gün sayısı (1-365) olmak üzere 1.18'nolu eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$k = 1 + 0,033 \cos \left( 360 \frac{n}{360} \right) \quad (1.18)$$

Güneş sapması ( $\delta$ ) eşitlik 1.19 ile hesaplanır. Bu formüldeki  $n$ , 1 Ocaktan itibaren deklinasyon açısının hesaplanacak güne kadar olan gün sayısını temsil etmektedir. Güneş ışınım değerleri bir ayda bulunan bütün günler yerine, aylık belirlenen ortalama gün sayısı üzerinden aylık ortalama deklinasyon açısı hesaplanmaktadır (Cooper 1969). Şekil 1.31.'de yıl boyunca 21 Haziran ve 21 Aralıktaki Deklinasyon açısının konumu görülmektedir. 21 Haziran'da bu açı değeri azami değere ulaşarak  $23,4^\circ$  olurken, 21 Aralık'ta ise  $-23,4^\circ$  olmaktadır.



Şekil 1.31. Dünya ve Güneş konumlarının deklinasyon açısı

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360 \frac{n + 284}{365}\right) \quad (1.19)$$

Güneşin yatay ( $\omega_s$ ) ve eğimli ( $\omega'_s$ ) yüzeylere doğuş açısı sırasıyla 1.20'nolu ve 1.21'nolu denklemlerle hesaplanmaktadır. Bu bağıntılar eğimli yüzeye, enleme ve güneş sapmasına bağlı olarak değişmektedir.

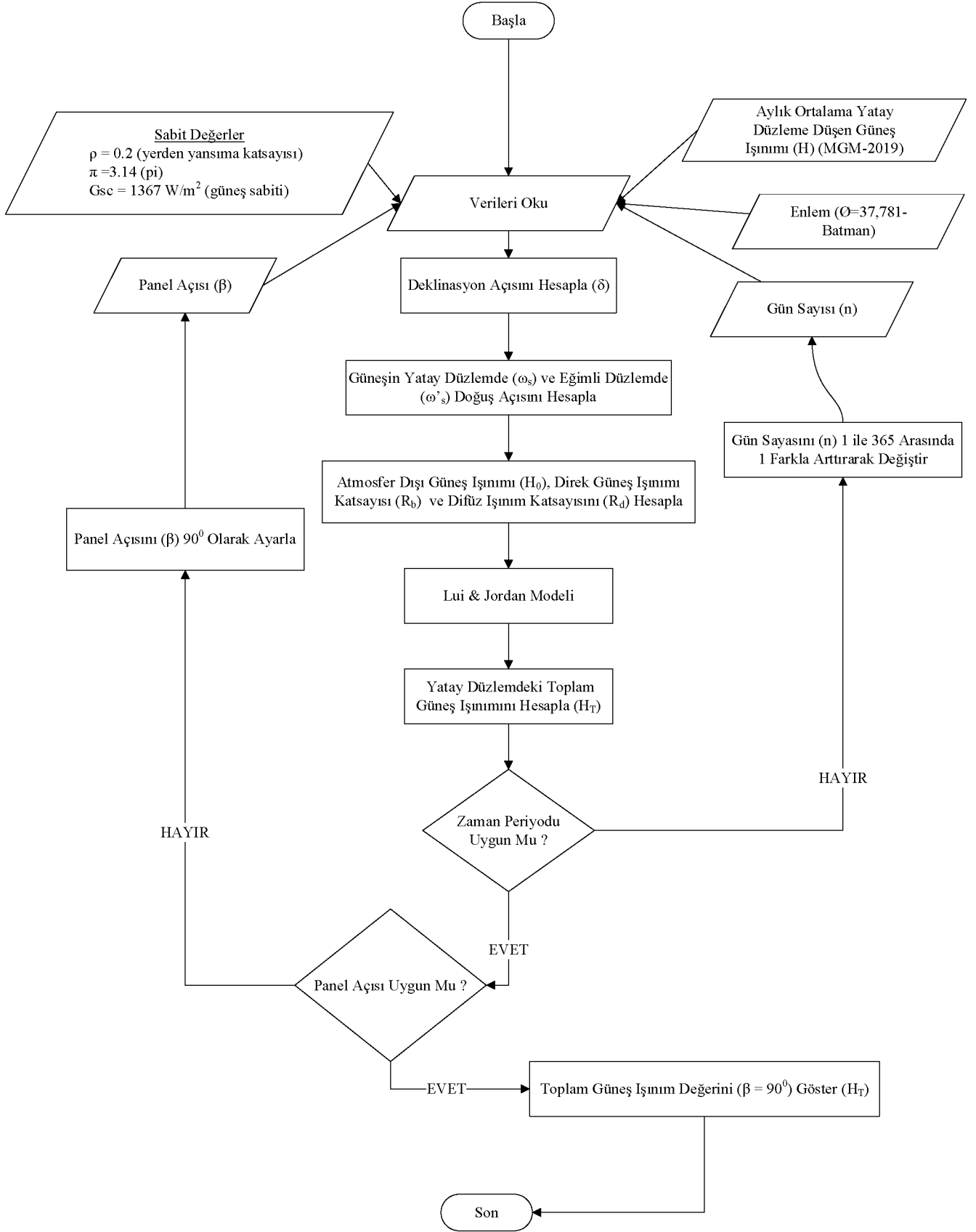
$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varnothing \cdot \tan \delta) \quad (1.20)$$

$$\omega'_s = \min \left[ \frac{\omega = \cos^{-1}(-\tan \varnothing \tan \delta)}{\cos^{-1}(-\tan(\varnothing - \beta) \tan \delta)} \right] \quad (1.21)$$

1.15'nolu denklemde geçen  $R_d$  ortalama günlük eğimli ve yatay yüzeyler arasındaki kalibre katsayısı olup 1.32'nolu eşitlikle hesaplanmaktadır (B. Liu ve Jordan 1961).

$$R_d = \left(1 + \frac{\cos \beta}{2}\right) \quad (1.22)$$

Genel olarak MATLAB yazılımında geliştirilen programı ile izlenen algoritma Şekil 1.32.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.32. Açılı panel üzerine düşen güneş ışınımı hesap algoritması

### 1.4.3. Doğal Taşınım

Karmaşık bir fizik ve termodinamik sistemin nasıl çalıştığını anlamak için boyut analizi kullanılarak daha güçlü ve etkili araç oluşturulabilmektedir. Tez çalışmasında yer alan güneş duvarında doğal taşınım ile meydana gelen ısı transferi denklemleri boyutsuzlaştırılmıştır. Bu amaçla literatürde dört adet yöntemden biri olan Rayleigh yöntemi kullanılarak olayı karakterize eden fiziksel büyüklükler denklem 1.23'de görüleceği üzere üstel fonksiyonun çarpımı şeklinde ifade edilmektedir (Rayleigh 1896).

$$A_1 = (A_2)^a (A_3)^b (A_4)^c \dots \quad (1.23)$$

Doğal ısı taşınımında denklem 1.24'da gösterilen ısı taşınım katsayısı sekiz adet fiziksel büyüklüğün üstel fonksiyonu cinsinden ifade edilir.

$$h = C L^a (\Delta T)^b \rho^c \mu^d \beta^e g^f C_p^i k^j \quad (1.24)$$

- $L$  = Karakteristik uzunluk (m)
- $\Delta T$  = Cidar ile sonsuzdaki akışkan sıcaklık farkı ( $T_0 - T_\infty$ ) (K)
- $\rho$  = Akışkanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\mu$  = Akışkanın dinamik viskozitesi (Pa.s)
- $\beta$  = Akışkanın ısıl genleşme katsayısını ( $1/T$ )
- $g$  = Yerçekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ )
- $C_p$  = Akışkanın özgül ısısı ( $\text{J/kg K}$ )
- $k$  = Akışkanın ısı iletim katsayısı ( $\text{J/m K}$ )
- $C$  = Boyutsuz değer (-)

Boyutsuz büyüklüklere ait boyutlar beş temel büyüklükle tanımlanmaktadır. Bunlar  $[L]$  uzunluk,  $[M]$  kütle,  $[t]$  zaman,  $[T]$  sıcaklık,  $[Q]$  ısı miktarı olmaktadır. Doğal taşınımına ait fiziksel büyüklükler Tablo 1.8.'de gösterilmektedir. Tablo 1.8.'nin denklem 1.24'da kullanılmasıyla denklem 1.25 ifadesi oluşturulabilmektedir (Welty, Rorrer, ve Foster 2020; Bergman vd. 2011; Jaluria 1980; O. F. Genceli 2002; Cengel 2014).

**Tablo 1.8.** Doğal taşımının fiziksel büyüklüğü

| Sembol     | Isı [Q] | Zaman [t] | Uzunluk [L] | Kütle [M] | Sıcaklık [T] |
|------------|---------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| h          | 1       | -1        | -2          | 0         | -1           |
| L          | 0       | 0         | 1           | 0         | 0            |
| $\Delta T$ | 0       | 0         | 0           | 0         | 1            |
| $\rho$     | 0       | 0         | -3          | 1         | 0            |
| $\mu$      | 0       | -1        | -1          | 1         | 0            |
| $\beta$    | 0       | 0         | 0           | 0         | -1           |
| g          | 0       | -2        | 1           | 0         | 0            |
| Cp         | 1       | 0         | 0           | -1        | -1           |
| k          | 1       | -1        | -1          | 0         | -1           |

$$\frac{[Q]}{[t][T][L]^{-2}} = C [L]^a [T]^b \frac{[M]^c [M]^d}{[L]^{3c} [t]^d [L]^d} \frac{1}{[T]^e} \frac{[L]^f}{[t]^{2f}} \frac{[Q]^i}{[M]^i [T]^i} \frac{[Q]^j}{[t]^j [L]^j [T]^j} \quad (1.25)$$

Denklem 1.25'nin iki tarafındaki beş adet temel boyutun eşitliğinden Tablo 1.9.'da görülen ifadeler elde edilmektedir.

**Tablo 1.9.** Denklem 2.18'nin eşitliği katsayı değerleri

| Boyut | Değer           |
|-------|-----------------|
| [Q]   | 1 = i+j         |
| [t]   | -1 = -d-2f-j    |
| [L]   | -2 = a-3c-d+f-j |
| [M]   | 0 = c+d-i       |
| [T]   | -1 = b-e-i-j    |

Sekiz bilinmeyenli beş denklemin çözümünden,  $a = (-1+3f)$ ;  $b = e$ ;  $c = 2f$ ;  $d = (-2f+i)$ ;  $j = (1-i)$  değerleri bulunabilmektedir. Bu ifadelerle denklem 1.26'daki eşitliği oluşturulabilmektedir. Bu denklemin düzenlenmesiyle de eşitlik 1.27'de elde edilir.

$$h = C L^{(-1+3f)} (\Delta T)^e \rho^{2f} \mu^{(-2f+1)} \beta^e g^f Cp^i k^{(1-i)} \quad (1.26)$$

$$\frac{h L}{k} = C \left( \frac{L^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^f (\Delta T \beta)^e \left( \frac{\mu Cp}{k} \right)^i \quad (1.27)$$

Doğal ısı taşınımı sıcaklık farkından oluşturduğu (Bousineq yaklaşımı) yoğunluk farkını baz almaktadır. Kaldırma kuvvetinin birim hacime etkisi  $(\rho_{\infty} - \rho_0)g$  değerindedir. Bu değer ısı genleşme katsayısı cinsinden  $e = f \equiv m; i \equiv n$  ifade edilirse denklem 1.28 veya denklem 1.29 şeklinde yazılabilir. Denklem 1.39'deki C, m ve n deneysel çalışmadan bulunması gereken ampirik katsayılardır.

$$\frac{h L}{k} = C \left( \frac{g \beta \Delta T \rho^2 L^3}{\mu^2} \right)^m \left( \frac{\mu C_p}{k} \right)^n \quad (1.28)$$

$$Nu = C Gr^m Pr^n \quad (1.29)$$

$$\begin{aligned} \text{Taşınım ile Doğal Isı Geçişi} = f [ & \text{(Antalpi Akışı} + \\ \text{İletimle Isı Geçişi)}; & \text{(Atalet Kuvvetleri} + \text{Viskoz Kuvvetler} + \\ \text{Kaldırma Kuvveti)} & \end{aligned} \quad (1.30)$$

Taşınım ile doğal ısı geçişini oluşturan temel bileşenler denklem 1.30'da gösterilmektedir. Bu bileşenlerin boyutsuz formu aşağıdaki gibi oluşturulabilir. Böylece Nusselt (Nu), Rayleigh (Ra) ve Prandtl (Pr) sayısı sırasıyla denklem 1.31, 1.32 ve 1.33'de gösterilmektedir.

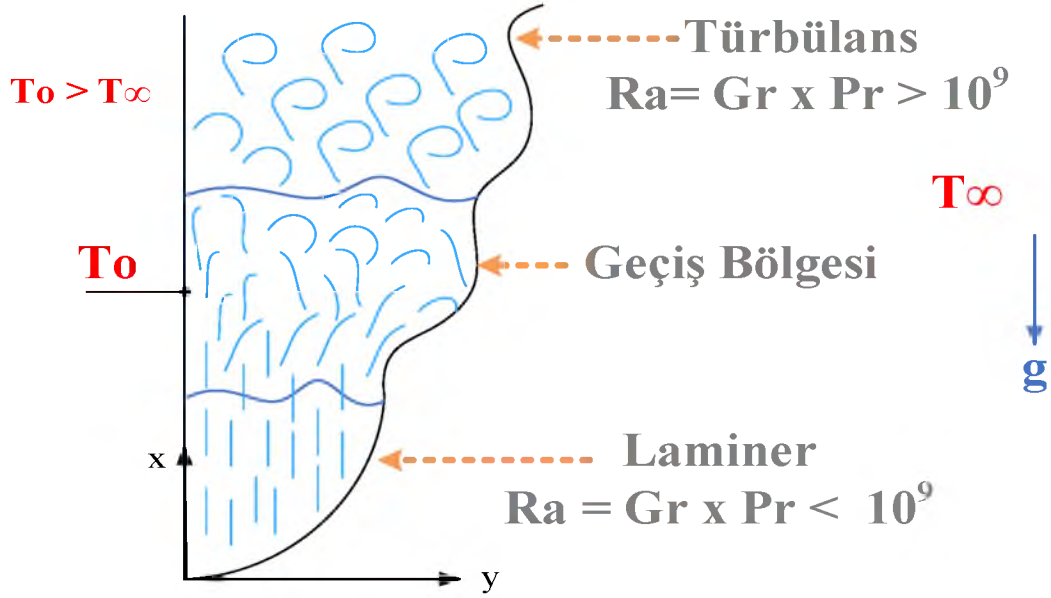
- Taşınım ile ısı geçişi:  $Q_{\text{taş}} \sim h L^2 \Delta T$
- İletimle ısı geçişi:  $Q_{\text{il}} \sim k L \Delta T$
- Antalpi Akışı:  $Q_{\text{ant}} \sim \rho C_p V L^2 \Delta T$
- Atalet Kuvvetleri:  $F_{\text{at}} \sim \rho V^2 L^2$
- Viskoz Kuvvetleri:  $F_{\text{vis}} \sim \mu V L$
- Kaldırma Kuvvetleri:  $F_{\text{kal}} \sim \rho L^3 g \beta \Delta T$

$$\frac{Q_{\text{taş}}}{Q_{\text{ile}}} \approx \frac{h L^2 \Delta T}{k L \Delta T} = \frac{h L}{k} = Nu \quad (1.31)$$

$$\frac{F_{\text{kal}} Q_{\text{ant}}}{F_{\text{vis}} Q_{\text{ile}}} \approx \frac{\rho L^3 g \beta \Delta T}{\mu V L} \frac{\rho C_p V L^2 \Delta T}{k L \Delta T} = \frac{g \beta \Delta T L^3 v}{v^2 \alpha} = Gr Pr = Ra \quad (1.32)$$

$$\frac{F_{\text{vis}} Q_{\text{ant}}}{F_{\text{at}} Q_{\text{ile}}} \approx \frac{\mu V L}{\rho V^2 L^2} \frac{\rho C_p V L^2 \Delta T}{k L \Delta T} = \frac{(\mu/\rho)}{(k/\rho) C_p} = Pr \quad (1.33)$$

Literatür incelemesinde yapılan gözlem ve deneylerde sabit sıcaklıktaki düşey levha etrafındaki doğal ısı taşınımında Rayleigh sayısının ( $Gr \times Pr$ )  $10^9$  gibi kritik bir değere ulaşmasından sonra bozulduğu görülmektedir (Gebhart vd. 1988). Şekil 1.33.'de sabit sıcaklıkta düşey sıcak bir levha etrafında akış rejimleri, laminer, geçiş bölgesi ve türbülanslı bölgeler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.33. Sabit sıcaklıkta düşey sıcak bir levha etrafında doğal ısı taşınım rejimleri

Doğal taşınımında en etkili parametre kaldırma kuvvetidir. Bu kuvvet akışkan içerisinde sıcaklık farklarının yoğunluk gradyanlarını oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Böylece en genel durumda sıcaklık gradyanti gövde kuvveti ve yerçekimi etkiden kaynaklanmaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Güneş Cephesi Literatür Çalışması

Literatürde güneş ışınımından direkt veya dolaylı enerji kazanımları aktif ya da pasif ısıtma sistemleriyle entegre edilmektedir. Bu sistemlerle enerjinin korunumu, sürdürülebilirlik ve ısı kayıplarının minimize edilmesine amaçlanmaktadır. Bina yapı kabuğuna entegre edilen güneş cephesi konusunda çok sayıda deneysel, teorik ve sayısal araştırma yapılmıştır. Bu bölümde bu çalışmalarla ilgili özet bilgi sunulmuştur.

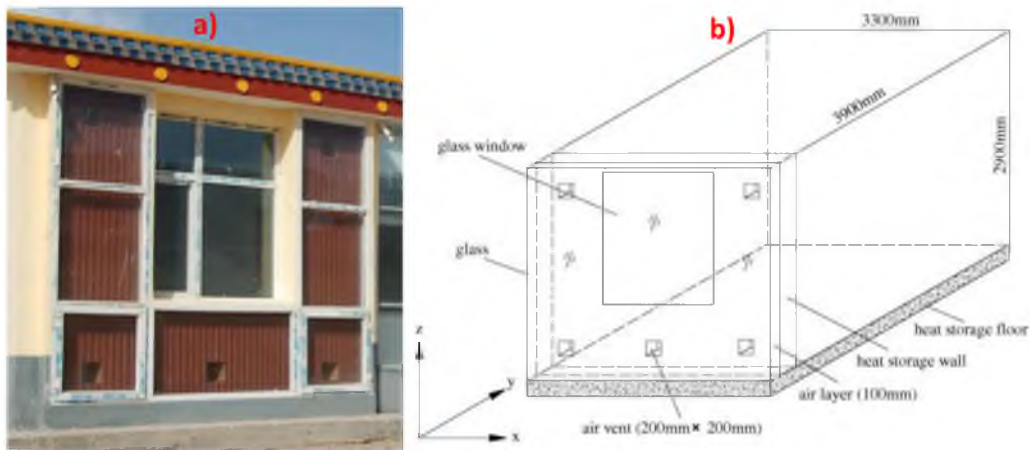
Majjad (1990), yapmış olduğu çalışmada güneş yük oranı yöntemi (Solar Load Ratio, SLR) ile yalıtımlı-yalıtımsız su havuzlu duvar ve Trombe duvarı olmak üzere 2 farklı prototip göre Türkiye'nin 3 farklı bölgesinde bulunan Antalya, Ankara ve Kars için yapmıştır. Hesaplama metodunda aylık güneşle ısıtma (SHF) ve ek enerji kazancı (auxiliary energy) yöntemleri kullanılmıştır. Antalya, Ankara ve Kars için hesaplanan değerler sırasıyla sulu duvarın yalıtımsız/gece yalıtım uygulaması sonucunda aynı iller için enerji kazançları sırasıyla %71-%85, %30-%46 ve %17-%31 ve Trombe duvarının yalıtımsız/gece yalıtım uygulaması sonucunda iller için sırasıyla enerji kazançları %65-%81, %31-%45 ve %19-%32 olmaktadır. Çalışmanın neticesinde sistemin sert iklim bölgesine nazaran ılıman iklim bölgesinde daha verimli çalıştığını gözlemlemiştir.

Onbaşıoğlu (1998), pasif güneş ışınımlı Trombe duvarlı sistemdeki türbülanslı doğal taşınımın etkisinin sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Tez çalışmasında üst menfezden odaya geçen sıcak havanın yayılımı ve etkisi boyutsuz sayılarla değerlendirilmiştir. Deneysel hesaplamalar neticesinde hava kanalı içerisindeki akışı tanımlayan içsel Rayleigh sayısı ( $Ra_i$ ), hava kanalı-oda arasındaki akışı tanımlayan dışsal Rayleigh sayısı ( $Ra_e$ ) ve taşınım transfer edilen ısı miktarını belirlemek içinse Nusselt ( $Nu$ ) sayısı hesaplanmıştır. Hava kanalında elde edilen enerjinin yaklaşık %10-15 odaya taşınım yolu ile aktarıldığını, odanın ısı kazancının dışsal Rayleigh sayısı ile doğru orantılı olduğunu fakat içsel Rayleigh sayısı ile ters orantı olduğu tespit edilmiştir. Deneysel verilerde kullanılan düzenek 1:1 ölçekte FLUENT analiz programı ile nümerik olarak da hesaplanmıştır.

Wang, Tian, ve Ding (2013), pasif güneşe enerjili akışkan termal duvarın (WTSW) Çin'in Kuzey bölgesinin iklim şartlarında referans bir daire TRNYS programıyla simule etmişlerdir. Çalışmada geleneksel hacim ısıtmalı (PSH) duvara karşın enerji verimliliğini ve termal konfor açısından incelemiştir.

Analizler neticesinde WTSW'li duvarın enerji tüketiminde PSH'e göre % 8.6 azaltmakta ayrıca konfor değerini de % 12.9 arttırdığı tespit edilmiştir.

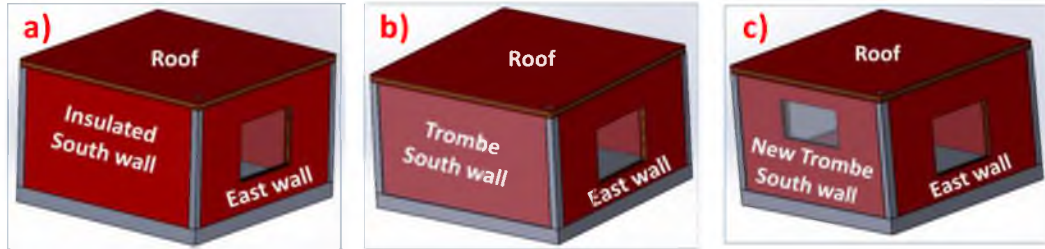
Liu vd. (2013), Çin'in QingHai Eyaleti, GangCha bölgesinde bir Trombe duvarının termal analizleri sayısal ve deneysel metotla test etmiştir. Analiz parametrelerinde hava havalandırma hızı, hava havalandırma sıcaklığı, hava tabakasının sıcaklık dağılımı ve iç ortam hava sıcaklığı oluşturmaktadır. Deneysel düzenek evin büyüklüğü genişlik 3300 mm, derinlik 3900 mm ve yükseklik 2900 mm. Hava menfezi boyutları 200 mm × 200 mm olmaktadır. Şekil 2.1.'de deneyselle düzenek görülmektedir. Sayısal analiz metodunda güneş radyasyonu şiddeti, güneş yükseklik açısı ve azimut açısının otomatik olarak izlenmesini sağlayan FLEUNT Solar Calculator DO radyasyon modeline göre yapılarak deneysel verilerle doğrulanmıştır. Analizler neticesinde optimum termal enerji kazancına saat 10:30 ile 18:00 arasından menfezlerin açılıp-kapanması ile ulaşılmaktadır ayrıca bu durumda menfezler arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) 22,7 °C'e kadar ulaşmaktadır. Belirtilen saat dilimleri güneşin doğuşundan yaklaşık 2-3 saat sonra ile güneşin batışından 1 saat öncesine tekabül etmektedir. Trombe duvarının ısı değeri sabah 07:30 da minimum iken 16:00 da maksimum düzeyde olmaktadır.



Şekil 2.1. Trombe duvarı düzeneği a) Önden görünüşü b) İzometrik görünüş (Y. Liu vd. 2013)

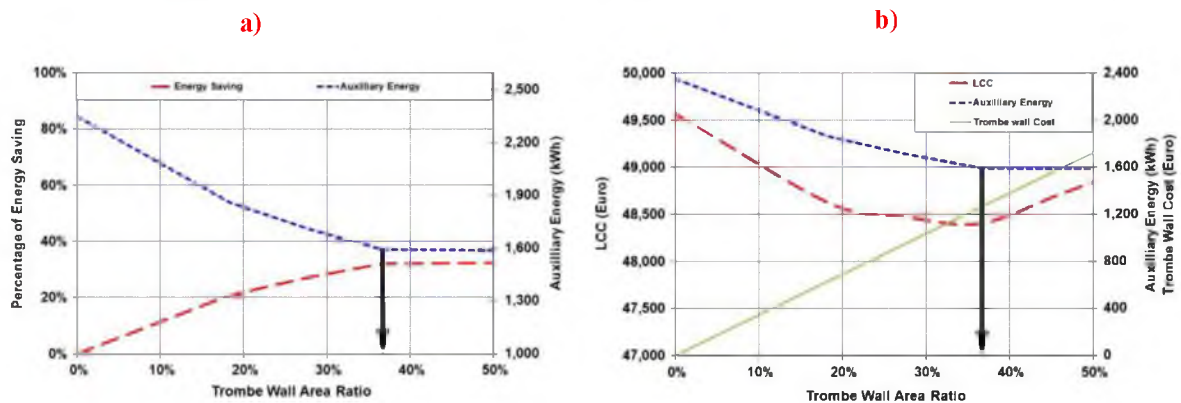
Bellos vd. (2016), Yunanistanın Atina bölgesindeki iklim verileri baz alınarak yeni nesil Trombe duvarının ısı etkinliği Solidworks Flowsimulation programıyla simüle edilmiştir. Analizler kış sezonunda azimut açısı sıfır ( $\gamma = 0^0$ ) alınarak (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart) Trombe duvarının; geleneksel, yalıtımlı ve pencereli formları karşılaştırılmıştır (Şekil 2.2.).

Hesaplamalar neticesinde yeni nesil Trombe duvarının  $0,5^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkı kış boyunca sabit olmaktadır. Ayrıca odanın ısı sıcaklık değeri 18:00 de maksimum olurken 03:00 de minimum değerine ulaşmaktadır.



Şekil 2.2. a) Yalıtımlı duvar b) Trombe duvarı c) Yeni nesil Trombe duvarı (Bellos vd. 2016)

Jaber ve Ajib (2011), Akdeniz iklimi bölgesini temel alarak yapmış olduğu çalışmada Amman, Ürdün Bölgesi için Trombe duvarının termal, çevre ve ekonomik etkilerini incelemiştir. Analizlerde TRNYS programı kullanılarak saatlik ölçüm verilerine dayalı simülasyonlar yapılmış ve neticesinde ömür maliyet analizi (LCC) oluşturularak ısı denge optimize edilmiştir. Şekil 2.3.-a) da gösterilen enerji kazancına karşılık ısı alan grafiğinde %20'lik alanda %22,3'lük tasarruf edilirken optimum nokta %37 'lik alanda %32,1'lik civarında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu noktadan sonraki Trombe alanı gereksiz olduğu savunulmaktadır. Şekil 2.3.-b) grafikte de bir evin enerji ihtiyacı analiz edildiğindeki optimum nokta (%37) ile binanın ömrü boyunca 1169 € (Euro) kazanç elde edilebileceğini göstermektedirler.



Şekil 2.3. Trombe duvarı optimum analizi a) Enerji kazancı b) Ömür maliyet analizi (Jaber ve Ajib 2011)

Jie vd. (2007), yapmış olduğu çalışmada deney odası ve test odası olmak üzere iki farklı mekandaki sıcaklık farklılıkları karşılaştırılmıştır. Deney odasında PV/Trombe ve klasik Trombe duvarı şartları FORTRAN yazılımında oluşturulan algoritma sayesinde analiz edilmiştir. Bu analizler neticesinde PV/Trombe duvarlı ve duvarsız oda arasındaki sıcaklık farkı maksimum  $12,3^{\circ}\text{C}$  olurken ortalama iç sıcaklık yaklaşık  $13,4^{\circ}\text{C}$  kaldığı analiz edilmiştir. Ayrıca PV-Trombe duvar sisteminin iç sıcaklığı, klasik Trombe duvar sistemine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Hu, Luo, ve He (2015), iki farklı eşit bölmeli deney ve test odalarının genişliği 3800 mm / derinliği 3900 mm / yüksekliği 2600 mm için Trombe duvar etkinliğini deneysel olarak 08:00 ile 16:00 arasında (8 saat) incelemiştir. Çalışmadaki temel gerekçe Klasik Trombe duvarından daha fazla enerji kazanabilmek amacıyla üç farklı açıdaki ( $\theta = 0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}$ ) kanatçıklar hava kanalına yerleştirilerek ısı performans analizi yapılmıştır. Bu analizler neticesinde en iyi sonucu  $45^{\circ}$  lik kanat açısına sahip profilde elde edilmiştir. Kış sezonundaki sıcaklık değeri referans odaya göre,  $12,6^{\circ}\text{C}$  artış olurken ortalama oda sıcaklığı  $21,7^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Böylece elde edilen değerlerin ideal konfor seviyesinde olduğu belirtilmiştir.

Shen vd. (2007), çalışmalarında klasik Trombe duvarı ile kompozit Trombe-Michel duvarının karşılaştırılmasında TRNYS simülasyon programı ve Sonlu Farklar Metodu (SFM) kullanılmıştır. Analizler neticesinde, klasik duvarın enerji kazancı güneşli günlerde (60/gün) ortalama kompozit duvara göre daha yüksek olmakla birlikte  $2^{\circ}\text{C}$  civarında artış olmaktadır. Ayrıca oda içi sıcaklıkta  $26^{\circ}\text{C}$  civarında olmaktadır. Fakat gece durumunda kompozit duvardaki odanın sıcaklığı klasik duvara göre daha kararlı ve stabil seyretmektedir. Ayrıca TRNYS modeli (Tip-36) da oluşturulan değerlerin SFM göre tutarsızlıkların olduğu gözlemlenmiştir bu sebeple deneysel metodun uygulanması tavsiye edilmiştir.

Hassanain, Hokam, ve Mallick (2011), yapmış oldukları çalışmada Mısır'ın Ismailia kentinde farklı sera tiplerindeki ısı verim karşılaştırılmıştır. Çalışmada 3 farklı çatıdaki (düz, üçgen ve konkav) sera hava sıcaklığı, toprak derinliği ve güneş duvar sıcaklıkları gradyanı araştırılmıştır. Analizler neticesinde düz çatı sera tipi kuzey-güney yönüne daha yüksek iç hava sıcaklığında iken üçgen çatı tipi doğu-batı yönüne göre en yüksek ısı verime ulaşmıştır. Pasif güneş duvarlı sera, klasik modeli için her durumda (gece ve gündüz) daha yüksek ısı verime sahiptir. Killi topraklı güneş duvar tipi, düz kumlu modele göre kıyasla %27 civarında ısı verim artışı olduğunu belirtmişlerdir.

Kalogirou, Florides, ve Tassou (2002), Kıbrıs iklim koşullarındaki klasik Trombe duvar yapısının yaz ve kış aylarında olmak üzere ısı verimi TRNYS (Tip-36) simülasyon programıyla test edilmiştir. Çalışmada; termal duvarın optimum kalınlığını, hava kanalının optimum genişliğini, çatı yalıtımının etkisini, termal duvarın ısı verimliliği ve gölgeleme elemanın uzunluğu ve çift camın etkisini araştırılmıştır. Analizler neticesinde; duvar kalınlığının optimum değeri 25 cm olabileceğini, hava kanal genişliğinin ısı verime etkisi olmadığını, çatı yalıtımının ısı depolamada artışında öncelikli olduğunu, yaz aylarında 3 saate bir baca etkisi oluşturulduğunda %7.5 civarında sıcaklık düşüşün ve kış aylarında yaklaşık %47 civarında sıcaklık artışının sağlandığını, gölgeleme elemanın yaklaşık 1,2 m civarında optimum durumda olduğu minimum 1,0 m ile maksimum 1,5 m arasında olabileceğini ve çift camın etkisinin ısı verime önemsiz derecede az olduğunu tespit etmişlerdir.

Chen ve Liu (2004), gözenekli kompozit duvarının güneş kolektör sistemindeki sıcaklık dağılımı ve hava akışı üzerindeki etkilerini incelemek için Trombe-Michel duvarında sayısal bir model geliştirmişlerdir. Modellemede akış laminer ve iki boyutludur. Hava yoğunluğu değişikliğini hesaba katmak için Boussinesq'in yaklaşımı uygulanırken kompozit duvarda Navier-Stokes metodu kullanılmıştır. Konvektif gözenekli tabakadaki akışı tanımlamak içinse Brinkman-Forchheimer genişletilmiş Darcy modeli ile çözüm yapılmıştır. Oluşturulan 2D modelde 11,264 (128x88) mesh noktası ve kararsız durum (unsteady) şartı kabul edilmiştir. Analizler neticesinde, kompozit duvarın absorban olarak gözenekli tabakanın kullanılmasında, ısıtma sisteminde aşırı ısınma olasılığının büyük ölçüde azaldığını ve kompozit duvarın termal performansının gece veya bulutlu bir günde arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca pasif güneş ısıtmalı bir binada, gözenekli emiciye sahip olan kompozit duvar, gözenekli absorbanın parçacık boyutu ve yapısı uygun seçimde, kışın Trombe duvarından daha fazla enerji tasarrufunun sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Chen ve Liu (2008), Çin'in Şangay Bölgesinin Kasım ayı iklim verileri baz alınarak iki farklı (ayrık-birleşik) gözenekli kompozit güneş duvarında (0,05 m/en-2,5 m/yükseklik) sayısal model geliştirmişlerdir. Oluşturulan iki boyutlu modelde gözenekli absorban kompozit güneş duvarının ısı transferi ve akış analizleri yapılmıştır. 2D modelde; laminer akış, homojen olmayan 9,504 (108x88) mesh noktası ve kararsız durum şartı kabul edilmiştir. Hesaplamalar neticesinde ayrık duvar tipi birleşik olana göre gün içinde daha yüksek sıcaklığa çıkmaktadır.

Bu nedenle güneş ışınımından azami faydanın elde edilmesi ve 12:00-16:00 saatleri arası aşırı ısınmanın önüne geçmek için duvarın; gözenekli miktarı, boyutları, absorban yüzeyi ve konumu uygun şekilde seçilmesi gerektiğini tavsiye etmiştir.

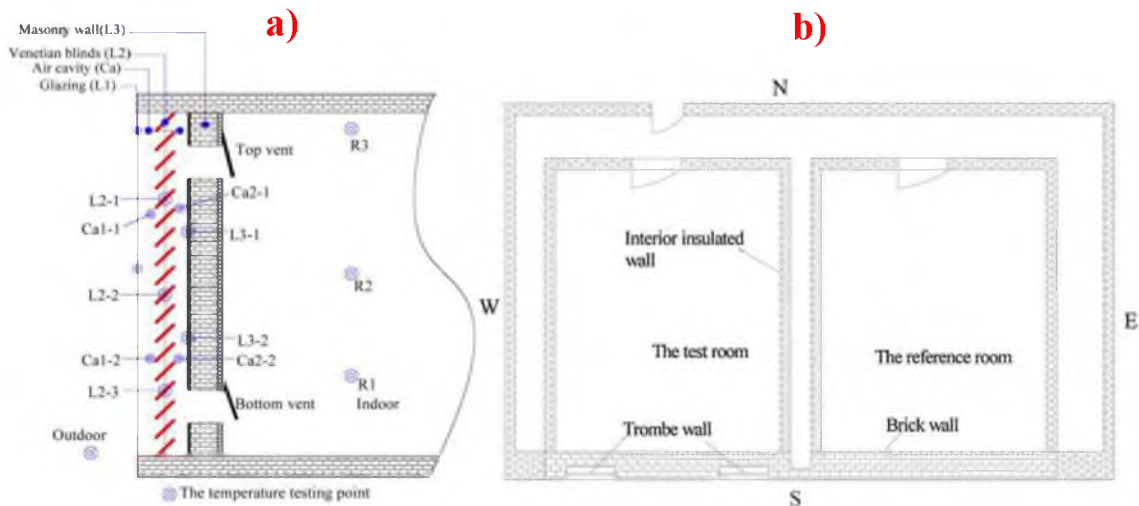
Lal (2014), Hindistan'ın Roorkee bölgesinde Klasik Trombe duvarında deneysel, simülasyon ve parametrik çalışmıştır. Hava kanalının (0,02 m/en-2,5m/ yükseklik) üst açıklığına yerleştirilen damperli menfezle oda sıcaklığının konfor seviyesinde tutulması amaçlanmıştır. Oluşturulan iki boyutlu simülasyon modelinde; türbülanslı (k-ε), ışınım (DO) modeli, 29,123 mesh noktası, Boussinesq'in yaklaşımı ve Navier-Stokes metodu kullanılmıştır. Hesaplamalar neticesinde deneysel ve simülasyon değerlerinin hata payları sıcaklık, ışınım ve hız için sırasıyla  $\pm 0,21$ ,  $\pm 0,185$ ,  $\pm 0,17$  olmaktadır. Böylece deneysel verilerin simülasyonlarla uyumlu olduğu tespit edilerek parametrik çalışma metoduyla optimum koşullar belirlenmiştir. Bu değerler cam eğim açısının 5 derece hava boşluğu 60 mm, hava boşluğu ile giriş açıklığı yükseklik oranı 0,2 mm olduğunu belirlemiştir.

Hong vd. (2015a), klasik Trombe duvarının hava kanalına yerleştirilen jaluzi panjurun (venedik storu) ısı verime etkisini simüle etmişlerdir. Hava kanalına dikey şekilde yerleştirilen jaluzi panjurla kanatçık etkisi oluşturularak daha yüksek ısı verim hedeflenmektedir. Deneysel düzenekte oluşturulan Trombe duvarının alanı 2,00 m yüksekliğinde ve 1,00 m uzunluğunda. Hava kanalı 0,14 m genişliğindedir. Alt ve üst menfezler 0,40 m genişlik ve 0,10 m yüksekliktedir. Çalışmada oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinde türbülanslı (k-ε) akış türü kullanılmıştır. Analizler neticesinde optimum ölçülerin; cam ile jaluziler arasındaki mesafenin optimum olması 0,09 m, hava kanalının genişliğinin 0,14 m olması ve menfezlerinde 0,60 m genişlik-0,10 m yükseklikte olması önerilmektedir.

He vd. (2016), Çin'in Hefei bölgesinde yapılan bu çalışmada klasik Trombe duvarının hava kanalına yerleştirilen kanatçıkların (jaluzi panjur) ısı verimi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Yerleştirilen kanatçıklar yatayla  $\theta=5^\circ$ ,  $\theta=25^\circ$ ,  $\theta=45^\circ$ ,  $\theta=65^\circ$  ve  $\theta=85^\circ$  olacak şekilde konumlandırılmıştır. Deneysel düzenekte oluşturulan Trombe duvarının alanı 2,00 m yüksekliğinde ve 1,00 m uzunluğunda. Hava kanalı 0,14 m genişliğindedir. Alt ve üst menfezler 0,40 m genişlik ve 0,10 m yüksekliktedir. Sayısal modelde 2D geometrisinde; 350,000 kare mesh, türbülanslı model (k- $\omega$ ), ışınım (S2S) ve SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Hesaplamalar neticesinde, küçük kanatçık açısı durumunda; hava kanalı sıcaklığını ve güneşin termal verimliliğini artırırken Reynolds (Re) sayısını düşürmektedir. Jaluzinin Nusselt (Nu) değeri, Reynolds sayı değerinin artması ve çita açısının azalmasıyla artmaktadır.

Sürtünme faktörü değeri, Reynolds sayı değerinin ve çita açısının artmasıyla azalmaktadır. Böylece çita açısı yükseldikçe Nusselt sayısının azaldığını ve ortalama Nusselt değerin gün boyunca 80 ile 160 arasında olduğunu belirlemişlerdir.

He vd. (2015), çalışmalarında ısı konforu belirlemek amacıyla oluşturulan test odası ile referans odanın ısı performansları farklı durum ve koşullarda analiz edilmiştir. Şekil 2.4. deneysel düzenek. Analizlerde deneysel (10:00-17:00) ve sayısal metotla (MATLAB) karşılaştırma yapılmıştır. Deney odasında klasik Trombe duvarının hava kanalına entegre edilen jaluzi panjur sistemiyle iç odaya daha fazla ısı enerji transfer edilmek amaçlanmıştır. Analizler neticesinde iç mekân hava sıcaklığı artış oranı güneş doğduktan sonra panjurlu odada daha yüksektir. Gündüz oda için maksimum iç hava sıcaklığı klasik Trombe duvarlı odadan 5,5 °C daha yüksek ve geceleri hava sıcaklığı daha stabildir düzeydedir. Isıl konfor açısından (PWM) ise üç oda için jaluzi’li oda, klasik Trombe duvarlı oda ve referans odası ortalama değerleri sırasıyla -1,0, -1,5 ve -2,2’dir. Sonuç olarak nötr düzey (0) ‘a en yakın jaluzi odanın olduğu belirtilmiştir. Bu entegre sistemin sadece ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda soğuk havalarda da kabul edilebilir bir konfor koşulu sağlayacağı belirtilmiştir.



Şekil 2.4. a) Hava kanalına entegre kanatçıklar b) Deney odası ve test odası görünümü (He vd. 2015)

Hong, Leung ve He (2019), çalışmada Trombe duvarının soğutma mevsiminde jaluzi ile termal performansı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD-FLUENT) modellemesi ve Bina Enerji Simülasyonu (BES-EnergyPlus) birleştirilerek analiz edilmiş ve modeller deneysel verilerle doğrulanmıştır.

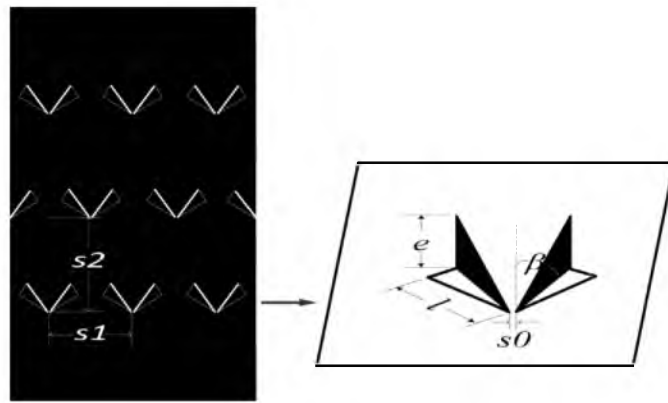
Trombe duvarı'nın doğal havalandırma performansı ve çalışma parametreleri arasındaki ilişkiler (örneğin güneş radyasyonu, kanat açısı, boşluktaki kanatın konumu, giriş havalandırma alanı ve çıkış havalandırma alanı) ayrı ayrı incelenmiştir.

Deneysel düzeneğin ölçüleri; Trombe duvarının boyutu 2 m (uzunluk)  $\times$  1 m (genişlik) olarak belirlenmiştir. Jaluzi, cam örtü ile iç duvar arasında 0,14 m genişliğinde olan hava kanalına yerleştirildi. Çıta uzunluğu, genişliği ve açısı sırasıyla 90 cm, 2,5 cm ve 0°'dir. Giriş menfezi ve çıkış menfezi boyutları sırasıyla 40 cm (uzunluk) $\times$ 10 cm (genişlik) ve 80 cm (uzunluk) $\times$ 10 cm (genişlik) olmaktadır. Masif duvar 24 cm kalınlığındadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğindeki kullanılan metotlar; 2D geometrisinde, 1,200,000 kare mesh, türbülanslı model (k- $\omega$ ), ışıınım (S2S) ve basınç hız dağılımı için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Bina Enerji Simülasyondaki şartlar ise; konfor aralığı 23 °C ile 26 °C arasında ve çalışma saatleri servis, ofis ve dairenin sırasıyla 24 saat, 08:00-18:00, 18:00-24:00 olmaktadır. Analizler neticesinde Jaluzili Trombe duvarı ile kurulan, servis, ofis ve ev binaları için çapraz havalandırma modunda geleneksel Trombe duvarından sırasıyla %3,8, %2,5 ve %4,6 soğutma enerjisi tasarrufu sağlayabileceği hesaplanmıştır. Ayrıca Güneş radyasyonunu 200 W/m<sup>2</sup> ile 800 W/m<sup>2</sup> arasında sabit kalan diğer parametrelerle değiştiğinde (ortam hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, iç hava sıcaklığı) hem çıkış hava sıcaklığı hem de hava kütle akış hızı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur. Güneş radyasyonu arttıkça, çıkış havası sıcaklığı (33,4 °C ile 42,2 °C) ve hava akış hızı (0,047 kg/s ile 0,049 kg/s) ile doğrudan artmaktadır. Kanatçıkların duruş pozisyonu, kanat açısı ve hava delikleri alanındaki değişiklikler de ısı performans değişikliklerine sebep olacağı belirtilmiştir.

Zhou ve Pang (2015), Bu çalışmada laboratuvar ortamında simüle edilen Trombe duvarının ısı performansını ve hava kanalı debisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel düzenekteki Trombe duvarının klasik yapılardan iki farklı özellik geliştirilmiştir. Bunlardan ilki absorban yüzeyine faz değiştiren malzeme (FDM) özellikli 23,5 kg ağırlığında, faz geçiş sıcaklığı  $26 \pm 1$  °C ve füzyon ısısı 180 kJ.kg<sup>-1</sup> olan CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (Calcium chloride hexahydrate) entegre edilmiştir. İkinci özellikse konvektif ısı transferini arttırmak için FDM levhalarının yüzeyine delta kanatçıklar (vorteks jeneratörleri) bağlanmıştır. Bu sayede geçiş sınır tabakanın daha düşük reynolds sayısında oluşması hedeflenmiştir. Şekil 2.5.'de düşük ısı iletkenliğine sahip kartondan üretilen vorteks kanatçıkları görülmektedir. Bu kanatçıkların  $\beta=45^0$ ,  $1/e =2$  ve  $s_0-s_1-s_2$  değişken parametrik değerlerdedir.

Hesaplamalar neticesinde; vortex kanatçık içeren ve içermeyen FDM Trombe duvarı için günlük enerji verimliliği sırasıyla %25,62 ve %20,64 olmuştur. Ayrıca  $s_0 = 2$  mm'lik küçük ön kenar aralığı  $s_0 = 5$  mm ve 10 mm'den %20,7 ve %28,7 daha yüksek ısıtma hızıyla daha iyi termal performanslar sunmaktadır.

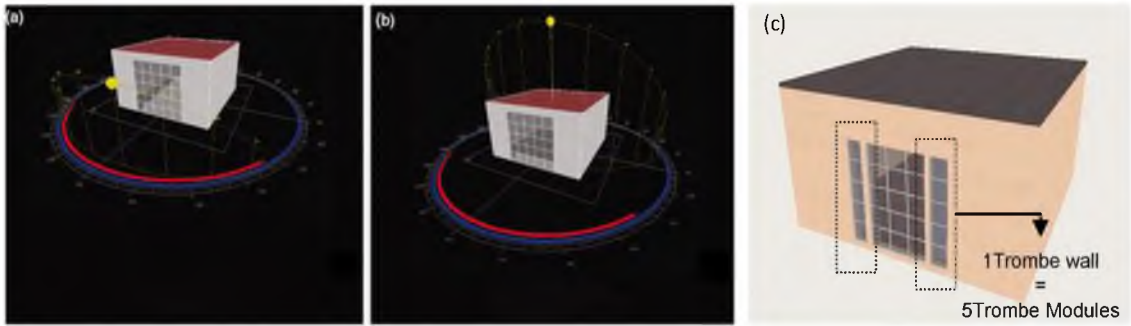
Vortex kanatçık çiftleri arasında  $s_1 = 225$  mm'nin yanal aralığı ve  $s_2 = 340$  mm'nin dikey aralığı mevcut koşullar altında FDM-Trombe duvarının daha iyi performans vermesini sağlamaktadır. Ancak, optimum değer farklı FDM- Trombe duvar konfigürasyonları ve koşulları için optimize edilmesi gerekeceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.5. Absorban Plaka üzerine entegre edilen vortex kanatçıklar (Zhou ve Pang 2015)

Bahar (2014), doktora çalışmasında Fransa'daki tarihi bölgesinde yer alan Cluny Manastırı'nın eski Gunzo odasının pencerelerinin pasif ısıtmada kullanılabilir şekilde revize edilmesidir. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır bunlar; bina enerji simülasyonu, deneysel ölçümler ve VR teknolojisiyle görüntüleme. Simülasyonda CAD tabanlı ECOTECT Analiz programıyla 3D model oluşturularak pasif ısıtmadan elde edilebilecek enerji kazançları tespit edilmiştir. Bu sayede revize olmadan önceki durum ile aylık sıcaklık profili, pasif kazanç dağılımı ve pasif uyumluluk endeksi kıyaslamaları yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde mevcut koşullar altında Gunzo odasında ortalama sıcaklıklar  $17,7$  °C ile  $18,6$  °C arasında değişir ve yenilendikten sonra  $19,9$  °C ile  $20,4$  °C arasında artış göstermiştir. Pasif kazanç dağılımında oda içine gelen direk güneş ışınımının revizeden sonra %36,9'dan %21,7'e düşmüştür. Pasif enerji kazancı indeksi revizeden sonra 0,26'dan 0,23'e düşmüştür ayrıca uyumluluk endeksi 0,90 değerindedir. Böylece pasif ısıtmadaki saydam bileşenlerin düşük sıcaklıktaki konfor aralığına uyum sağlamadaki önemi vurgulanmıştır.

Sacht vd. (2015), Dış cephe için tasarlanan modüler Trombe duvarın ısı performansını ECOTECT Analiz programıyla Portekiz (Lizbon, Oporto, Lajes ve Funchal) iklim koşullarında incelemişlerdir. Bina dış cephesine monte edilen tek modülün özellikleri 0,50 m x 2,50 m (1,25 m<sup>2</sup>) boyutunda ve menfez ölçüsü ise 0,10 m x 0,20 m (0,02 m<sup>2</sup>) olmaktadır. Güney cepheye bakan toplamda beş modül tanımlanarak ideal Trombe duvarı standart model 5,0 m x 5,0 m x 2,8 m (en-boy-yükseklik) odada oluşturulmuştur. Şekil 2.6.'da periyot ve tasarlanan modüler sistem görülmektedir. Analiz periyodundaki hesaplamalarda kış mevsimi (09:00-18:00) ve yaz mevsimi (24 saat) olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar neticesinde; 2 modül ile ihtiyaç duyulan enerji gereksinimi tüm şehirlerde optimum düzeyde karşılamıştır. İdeal modül kullanımıyla ısıtma sezonunun süresi (ay olarak) Lizbon için 5,3, Oporto için 6,7, Lajes için 4,0 ve Funchal için 3,89 olmaktadır. Fakat soğutma yükü ilk duruma göre %16-40 arasında (32 kWh/m<sup>2</sup>-yılda) enerji tüketimi artışına neden olmuştur. Bu artış yaz aylarında pencere önlerine entegre edilebilecek gölgeleme sistemleri kullanımıyla azaltılabileceği belirtilmiştir.



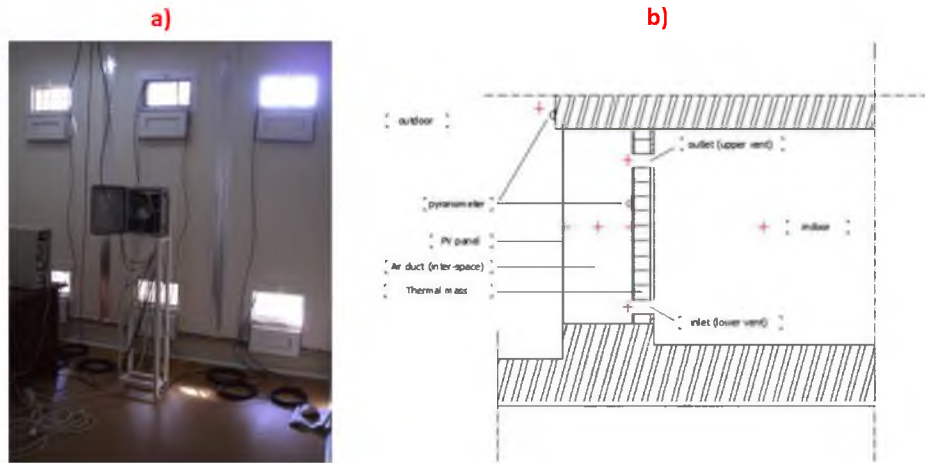
**Şekil 2.6.** Gün ışığı simülasyonu koşulları: a) Kış gündönümü, 21 Aralık 12:00, b) Yaz gündönümü, 21 Haziran 12:00 ve c) Modül Trombe duvarı (Sacht vd. 2015)

Edwards (2017), Nepal iklim koşullarında tasarlanan klasik Trombe duvarının özelliklerini ASHRAE standartlarında modellemiştir. Modelleme Python yazılımında kodlanmasıyla hava kanalı genişliği, duvarın ısı yayılımı, menfez boyutları, duvarın absorbesi ve ışınlık miktarı ısı yüküne bağlı olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan bina enerji simülasyon modeliyle uzun vadede enerji bilançosu yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde optimum ısıtma değerlerinde 100 mm hava kavalında ve duvar alanının %4'ün menfez boyutundaki sistemin günlük yaklaşık 1,3kW'lık bir enerji kazancı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Ayrıca günlük 5,7°C ile 15°C arasındaki Okhaldhunga, Nepal bölgesinde konfor standartlarına uygun parametrelerin 1,4m x 2,5m duvar ölçülerinde kış sezonunda ortalama günlük 6 saatlik güneş ışınlamıyla sağlanabileceği belirtilmektedir.

Kartal (2009), Bu çalışmada Trombe duvarı, kış bahçesi ve saydam yalıtım uygulaması ile güneş enerjisinden elde edilen ısı kazançlarının binanın enerji etkinliğine olan katkısı irdelenmiştir. Hesaplamalarda Türkiye'nin farklı derece gün bölgesindeki illerin güneş mimarisi elemanları ile güneş enerjisinden karşılanma oranları ve ısı yükleri karşılaştırılmıştır. Analizler neticesinde farklı iklim bölgelerinde bulunan Antalya, Erzurum, Eskişehir ve Erzurum için güneş enerjisinin verim oranları (%100) sırasıyla kış bahçesi için 0,42, 0,33, 0,35 ve 0,34, Trombe duvarı aracılığıyla 0,38, 0,29, 0,31 ve 0,30, saydam yalıtımlı duvar aracılığıyla 0,37, 0,28, 0,26 ve 0,28 olarak elde edildiği belirtilmiştir.

Kundakci Koyunbaba ve Yılmaz (2012), Yapmış oldukları çalışmada tek camlı, çift camlı ve PV modüllü Trombe duvarının ısı performansını analizi hem deneysel hem de sayısal metotla yapılmıştır. Deneysel çalışmalar İzmir iklim koşullarında 25-26 Şubat tarihlerinde yapılmıştır. Deney odası hacmi 3 m, 3,5 m, 2,9 m (en, boy, yükseklik) ölçülerinde ve hava kanalı 50 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneysel düzenek ve ölçüm noktalarının görüntüsü Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Sayısal modellemede ANSYS-CFX yazılımında 2D geometrisinde; 25,970 üçgen mesh, türbülanslı model (k- $\omega$ ) ve ışınlam (Monte Carlo) algoritması kullanılmıştır. Hesaplamalar neticesinde giriş ve çıkış menfezleri arasındaki azami sıcaklık farkı tüm sistemler için 15:00'de kaydedilmiştir. Tek cam, çift cam ve PV yüzey için sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) sırasıyla 21,94 °C, 21,06 °C ve 16,86 °C olmaktadır. PV panelin azami elektrik verimliliği %4,5 olarak hesaplanmıştır bu değer karşılık gelen güç 35,79 W/m<sup>2</sup> ile saat 14:00 de kaydedilmiştir. PV panellerin kullanılması kış aylarında daha az enerji geçişi sağlayacağından tek camlı sistemlerin kullanılması tavsiye edilmiştir. Ayrıca hava kanalındaki dalgalanmalarla oda içindeki termal konfor şartlarının değişeceğinden otomasyonlu kontrol mekanizmasının kullanımını tavsiye etmişlerdir.



Şekil 2.7. a) deney odası görünümü b) ölçüm ekipmanlarının deney odasındaki konumları ve yerleşimi (Kundakçı Koyunbaba ve Yılmaz 2012)

Błotny ve Nemš (2019), Polonya'nın Wrocław iklim koşullarına göre inşa edilen Trombe duvarının farklı yapı bileşenleri karşısındaki performansı sayısal metotla simüle edilmiştir. Simüle edilen bileşenlerden; oda 4,2 m×5,2 m×2,6 m ölçülerinde ve güney cepheye konumlandırılmış. Termal kütle 2 mm kalınlığındaki siyah boya ile kaplanmış 348 mm kalınlığındaki beton duvar. Hava boşluğu 150 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığında dış cam yüzey. Altta ve üste 3'er adet olmak üzere 300mm x 200 mm genişliğindeki menfezler tanımlanmıştır. Sayısal modellemede ANSYS yazılımında 3D geometrisinde, türbülanslı model (k- $\omega$ ) ve Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır. Hesaplamalar neticesinde, Argon dolgulu camın klasik duruma göre 1,52 °C daha yüksek sıcaklıkta olmaktadır. Hava kanalındaki akışkan hızı klasik durumda ve argon dolgulu camda sırasıyla 0,013 ve 0,020 olmaktadır. Elde edilen değerler kabul edilebilen konfor şartlarında olduğunu belirtmişlerdir.

Rabani vd. (2015), Yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışmada klasik güney cephe ışınımına ilaveten 2 cepheden (doğu ve batı) de ışınımı alacak hava kanalı tasarımı yapılmıştır. Deney düzeneği bileşenleri; 3m x 2m x 3m boyutlarında oda, 20 cm kalınlığında termal kütle, 30 cm genişliğinde hava kanalı ve altta ve üste olmak üzere 30 cm x 50 cm boyutlarında havalandırma menfezlerinden oluşmaktadır. Sayısal metotta ANSYS yazılımında 3D geometrisinde 2,700,000 mesh, Boussinesq yaklaşımı ve PISO algoritması kullanılmıştır. Hesaplamalar neticesinde sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması, yeni tasarlanan Trombe duvarının yaklaşık %16 daha yüksek ortalama güneş ışınımı alabildiğini göstermektedir.

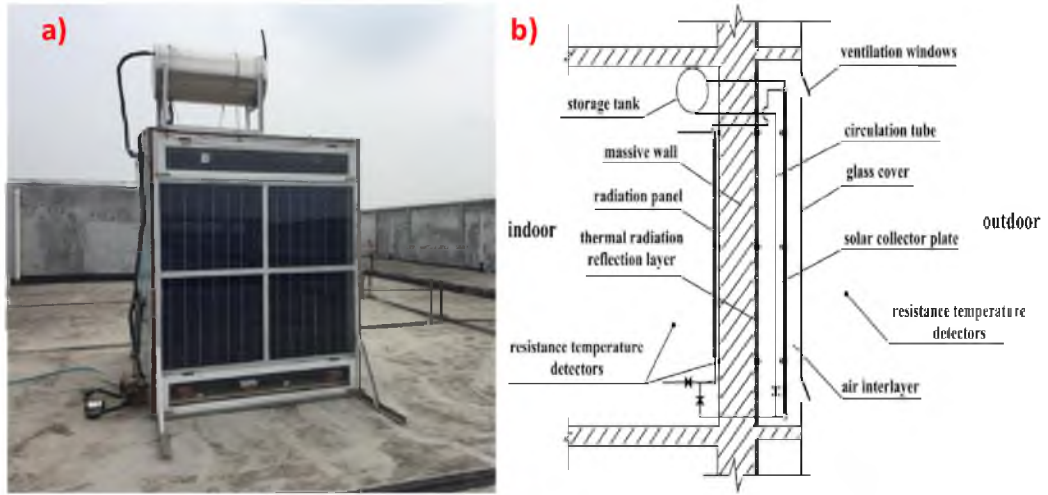
Böylece odanın maksimum sıcaklığında ve Trombe duvarının arka yüzünde yaklaşık 3 °C-6 °C. Maksimum emici sıcaklığının da yaklaşık 15 °C arttığını belirtmişlerdir.

Hernández-López vd. (2016), Çalışmalarında Trombe duvarlı Odanın enerji performansını Meksika'nın Huitzilac ve Toluca şehirlerinin iklim verilerini baz alarak sayısal metotla analiz etmişlerdir. Sayısal metotta, 2D geometrisinde 14,641 mesh, türbülanslı model ( $k-\omega$ ) ve SIMPLER algoritması kullanılarak çözülmüştür. Analizler neticesinde, yarı saydam duvardaki termal enerji kayıplarının sistemdeki güneş radyasyonu olayının yaklaşık %60'ı olduğu bulunmuştur. Termal kayıplara rağmen, odanın içindeki sıcaklık 35 ° C'nin üzerinde olmuştur. Her iki şehir için de en soğuk gün boyunca depolanan maksimum enerji yaklaşık 109 MJ'dir ve en sıcak gün boyunca yaklaşık 70 MJ'dir. Bu enerji, sadece termal kütleden odaya aktarılan ısının olduğunu belirtmişlerdir.

Rabani ve Kalantar (2016), İran'ın Yazda şehrinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmada yeni tasarlanan Trombe duvarıyla iç mekân alanını artırır ve Trombe duvarının uygulama maliyetini azaltır. Buna ek olarak, normal Trombe duvarı güneş yoğunluğunu sadece bir yönden alabilirken, üç yönden güneş yoğunluğu alabilmektedir. Deney düzeneği bileşenleri; 3m x 2m x 3m boyutlarında oda, 20 cm kalınlığında termal kütle, 30 cm genişliğinde hava kanalı ve altta ve üste olmak üzere 30 cm x 50 cm boyutlarında havalandırma menfezlerinden oluşmaktadır. Sayısal metotta ANSYS yazılımında 3D geometrisinde 2,700,000 mesh, Boussinesq yaklaşımı, Laminer akış ve PISO algoritması kullanılmıştır. Hesaplamalar neticesinde yeni tasarlanan Trombe duvarının klasik duruma göre yaklaşık 10 °C artmasına neden olduğunu göstermektedir. Yeni tasarlanan Trombe duvarındaki hava delikleri ve kanaldaki hız, normal Trombe duvarından sırasıyla yaklaşık 0,03 m/s ve 0,01 m/s daha yüksektir. İki sistemin karşılaştırılması, yeni tasarlanan Trombe duvarının saatlik maksimum depolanan enerjisinin normal sisteminkinden yaklaşık 1600 kJ/s daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yeni tasarlanmış Trombe duvarı ortalama günlük ısıtma verimliliğini yaklaşık %27 arttığını belirtmişlerdir.

Long, A., ve Sun (2018), Çin'in Xiangtan bölgesinin iklim koşullarında yeni geliştirilen su ve hacim ısıtmalı Trombe duvarının performansı hem sayısal hem de deneysel metotla test edilmiştir. Deneysel düzende yer alan bileşenlerin ölçüleri; 2m x 2,5m x 2,3 m oda, 0,5 m kalınlığında hava kanalı, 80 mm kalınlığında sandviç duvar ve 2 mm kalınlığında yansıtıcı alüminyum folyodan oluşmaktadır. Şekil 2.8.'de deney düzeneği ve bileşenleri görülmektedir.

Sayısal çözümde 3D geometrisinde güneş radyasyonu için DO radyasyon modeli, basınç farkları için PRESTO formatı ve basınç-hız bağlaşım denklemleri için PISO algoritması kullanılmıştır. Analizler sonucunda, 25 Ağustos 2017 gününde kapalı pencere durumundaki değerlerde en yüksek ve en düşük dış hava sıcaklıkları sırasıyla 39,3 °C-15:10 ve 27,6 °C-06:10 olmaktadır. Buna karşın en yüksek ve en düşük iç oda sıcaklıkları sırasıyla 27,8 °C-15:40 ve 25,4°C- 06:10 olmaktadır. Güneş radyasyonu 694 W/m<sup>2</sup>'ye ulaştığında 15:10'da kolektör sıcaklığı en yüksek 67,7 °C değerine ulaşmış ve radyasyon yansıma tabakası ile masif duvarın dış yüzeyinin maksimum sıcaklıkları sırasıyla 54,0 °C ve 53,0 °C olmuştur. Sayısal ve deneysel verilerin uyumundan sonra geliştirilen parametrik çalışmada; kolektör sıcaklığı termal duvardan geçen ısı transferini önemli ölçüde etkilemekte ve kolektör sıcaklığındaki artışla birlikte ısı transfer kapasitesi doğru orantılı yükselmektedir. Masif duvarın kalınlaştırılması, iç ve dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını arttırırken, kalınlık yönü boyunca sıcaklık değişimini ve ısı transferini azaltmaktadır.



**Şekil 2.8.** a) Yeni dizayn Trombe duvarı dıştan görünümü b) Ölçüm ekipmanların deney düzeneğindeki konumları ve yerleşimi (Long, A., ve Sun 2018)

Literatür çalışmalardaki iklim özellikleri, yapı özellikleri, hesaplama metotları, amaç ve yöntem özet olarak Tablo 2.1.'de sunulmuştur.

**Tablo 2.1.** Literatür özeti

| Sıra | Yazar(lar)- Yıl               | Konum                                    | İklim                | Yapı                     | Hesap   | Metod                            | Materyal                                   | Amaç   | Yöntem                            |
|------|-------------------------------|--|----------------------|--------------------------|---|----------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| 1    | Majjad (1990)                 | -Antalya<br>-Ankara<br>-Kars,<br>Türkiye | -Csa<br>-Csb<br>-Dbf | Pasif<br>Isıtma          | -Enerji Kazancı   | Güneş Yük<br>Oranı (SLR)         | Akışkan Termal<br>Duvar &<br>Trombe Duvarı | -Hacim Isıtma                                      | Deneysel                          |
| 2    | Wang, Tian, ve Ding<br>(2013) | Tianjin, Kuzey<br>Çin                    | Dwa                  | Pasif<br>Isıtma          | -İç Ortam Sıcaklığı<br>-Enerji Tüketimi                                 | TRNSYS                           | Akışkan Termal<br>Duvar                    | -Enerji<br>Tüketimini<br>Azaltmak<br>-Hacim ısıtma | Simülasyon                        |
| 3    | Y. Liu vd. (2013)             | Gangcha, Çin                             | Bsk                  | Daire                    | - İç Ortam Sıcaklığı<br>-Optimum Tasarım<br>-Hava Hızı<br>Parametreleri | FLUENT                           | Trombe Duvarı                              | -Hacim Isıtma                                      | Simülasyon<br>Deneysel<br>Nümerik |
| 4    | Bellos vd. (2016)             | Atina,<br>Yunanistan                     | Csa                  | Oda                      | -Termal Enerji<br>Tüketimi  | Solidworks<br>Flow<br>Simulation | -Trombe Duvarı<br>(Klasik &<br>Yalıtımlı)  | -Hacim Isıtma                                      | Simülasyon<br>Deneysel            |
| 5    | Jaber ve Ajib (2011)          | Amman,<br>Ürdün                          | Bwh                  | Daire                    | -Isıl Enerji Tüketimi<br>-Optimum LCA<br>Analizi                        | TRNSYS                           | Trombe Duvarı                              | Çevresel, Termal<br>ve Isıl Analiz                 | Simülasyon                        |
| 6    | Jie vd. (2007)                | Hefei, Çin                               | Cfa                  | Test &<br>Deney<br>Odası | Termal Enerji<br>Tüketimi<br>-PV Verim                                  | FORTTRAN                         | PV-Trombe<br>Duvarı                        | -Isıl ve Elektrik<br>Analizi                       | Simülasyon<br>Nümerik             |

| Sıra | Yazar(lar)- Yıl                       | Konum              | İklim | Yapı               | Hesap  | Metod                         | Materyal   | Amaç   | Yöntem              |
|------|---------------------------------------|--------------------|-------|--------------------|--|-------------------------------|--|--|---------------------|
| 7    | Hu, Luo ve He (2015)                  | Hefei, Çin         | Cfa   | Test & Deney Odası | -Enerji Kazancı  | Analitik                      | Zorlanmış Taşınımlı Trombe Duvarı                        | -Enerji Tüketimini Azaltmak<br>-Hacim ısıtma | Deneysel            |
| 8    | Shen vd. (2007)                       | Carpentras, Fransa | Cbf   | Oda                | - Işınım ile Isı Kazancı<br>- Taşınım ile Isı Kazancı                    | TRNSYS, Sonlu Farklar Yöntemi | Trombe Duvarı & Trombe-Michel Duvarı                     | Farklı Duvar Tiplerini Karşılaştırma         | Simülasyon Nümerik  |
| 9    | Omranı vd. (2016)                     | --                 | --    | Genel              | Avantajları ve Dezavantajları Tespit Edilmiştir.                         | --                            | -Trombe Duvarı<br>-Ekolojik Yapı<br>-Çift Katmanlı Duvar | Hacim Isıtma                                 | Teorik              |
| 10   | Onbaşıoğlu (1998)                     | İstanbul, Türkiye  | Csa   | Test & Deney Odası | -Enerji Kazancı<br>- Işınım ile Isı Kazancı<br>- Taşınım ile Isı Kazancı | FLUENT                        | Türbülanslı Doğal Taşınım                                | -Menfez Geometrisi<br>-Hacim Isıtma          | Deneysel Simülasyon |
| 11   | Hassanain, Hokam, ve Mallick (2011)   | Ismailia, Mısır    | Bwh   | Sera               | -Isıl Performans   | Analitik                      | Trombe Duvarı & Sera                                     | Farklı Sera Duvar Tiplerini Karşılaştırma    | Deneysel            |
| 12   | Kalogirou, Florides, ve Tassou (2002) | Lefkoşe, Kıbrıs    | Bsh   | Daire              | Isıtma & Soğutma & Gölgeleme Etkisi                                      | TRNSYS                        | Trombe Duvarı  | Termal Duvarın Kombinasyonları               | Simülasyon          |
| 13   | Chen ve Liu (2004)                    | Wuhan, Çin         | Cfa   | Model Yapı         | Termal Depolamanın Isıl Verime Etkisi                                    | Sayısal Analiz                | Trombe-Michel Duvarı                                     | Kompozit Duvarın Isıl Performansı            | Simülasyon          |

| Sıra | Yazar(lar)- Yıl           | Konum              | İklim | Yapı                  | Hesap   | Metod               | Materyal             | Amaç   | Yöntem                         |
|------|---------------------------|--------------------|-------|-----------------------|---|---------------------|----------------------|--|--------------------------------|
| 14   | Chen ve Liu (2008)        | Şangay, Çin        | Cfa   | Model Yapı            | - Termal Depolamanın Isıl Verime Etkisi         | Sayısal Analiz      | Trombe-Michel Duvarı | Gözenekli Kompozit Duvarın Ayrık ve Birleşik, Isıl Performansı | Simülasyon                     |
| 15   | Lal (2014)                | Roorkee, Hindistan | Cfa   | Hava Kanalı           | Havalandırmanın Isıtma & Soğutmadaki Etkisi     | FLUENT              | Trombe Duvarı        | Havalandırmanın Isıl Verime Etkisi                             | Deneysel Simülasyon Parametrik |
| 16   | Hong vd. (2015b)          | Hefei, Çin         | Cfa   | Hava Kanalı           | Termal Performans                               | FLUENT              | Trombe Duvarı        | Kanaçıkların Isıl Verime Etkisi                                | Simülasyon                     |
| 17   | He vd. (2016)             | Hefei, Çin         | Cfa   | Hava Kanalı           | Kanaçık Açıkların Nusselt ve Reynolds' a etkisi | FLUENT              | Trombe Duvarı        | Kanaçık Açıklarının Isıl Verime Etkisi                         | Simülasyon Deneysel            |
| 18   | Hong, Leung, ve He (2019) | Hefei, Çin         | Cfa   | Oda                   | Termal Konfor Şartlarına Etkileyen Parametreler | FLUENT & EnergyPlus | Trombe Duvarı        | Kanaçıkların ısı konfora etkisi                                | Simülasyon Deneysel            |
| 19   | He vd. (2015)             | Hefei, Çin         | Cfa   | Test & Deneysel Odası | Termal konfor düzeyinin belirlenmesi            | MATLAB              | Trombe Duvarı        | Kanaçıkların ısı verime etkisi                                 | Sayısal Deneysel               |

| Sıra | Yazar(lar)- Yıl                        | Konum                          | İklim | Yapı                     | Hesap  | Metod     | Materyal                                     | Amaç   | Yöntem                       |
|------|--|--------------------------------|-------|--------------------------|--|-----------|--|--|------------------------------|
| 20   | Zhou ve Pang (2015)                    | Laboratuvar,<br>Beijing, China | -     | Prototip<br>Yapı         | - Vortex Kanatçıkların<br>Isıl Verime Etkisi                       | Analitik  | FDM Trombe<br>Duvarı                         | Sınır Tabakamın<br>Daha Düşük<br>Reynolds<br>Değerinde<br>Oluşması | Deneysel                     |
| 21   | Bahar (2014)                           | Cluny, Fransa                  | Cfb   | Oda                      | Termal konfor<br>düzeyinin belirlenmesi                            | ECOTECH   | Isıl Pencere                                 | Saydam<br>Bileşenlerin<br>Konfora Etkisi                           | Deneysel<br>Simülasyon<br>VR |
| 22   | Sacht vd. (2015)                       | Lizbon,<br>Portekiz            | Csa   | Oda                      | Termal Analiz  | ECOTECH   | Modüler<br>Trombe Duvarı                     | Camın Isıl<br>Verime Etkisi  | Simülasyon                   |
| 23   | Edwards (2017)                         | Nepal                          | Cfa   | Oda                      | Isıl Yüke Etkileyen<br>Parametrelerin<br>Optimizasyonu             | PYTHON    | Trombe Duvarı                                | Hava Kanalı &<br>Menfezin<br>Etkinliğinin<br>Belirlenmesi          | Modelleme                    |
| 24   | Kartal (2009)                          | Türkiye                        | -     | Bina                     | Isıl yük<br>Verimlilik   | Analitik  | Trombe Duvarı<br>Kış Bahçesi<br>Saydam Duvar | Bina Enerji<br>Etkinliğinin<br>Belirlenmesi                        | Nümerik                      |
| 25   | Kundakci Koyunbaba<br>ve Yilmaz (2012) | İzmir,<br>Türkiye              | Cfa   | Test &<br>Deney<br>Odası | Tek cam, çift cam<br>ve PV/T<br>sistemlerinin<br>karşılaştırılması | ANSYS-CFX | Trombe Duvarı                                | PV/T sisteminin<br>simülasyonu                                     | Sayısal<br>Deneysel          |

| Sıra | Yazar(lar)- Yıl            | Konum                            | İklim | Yapı        | Hesap   | Metod  | Materyal                                  | Amaç   | Yöntem                         |
|------|----------------------------|----------------------------------|-------|-------------|---|--------|---|--|--------------------------------|
| 26   | Blotny ve Nemš (2019)      | Wroclaw, Polonya                 | Cfb   | Oda         | Termal Konfor Analizi   | FLUENT | Trombe Duvarı                             | Termal Performansa Etkileyen Yapı Bileşenleri                    | Simülasyon                     |
| 27   | Rabani vd. (2015)          | Yazd, İran                       | Bwk   | Deney Odası | Termal Sıcaklık Değişimlerinin Tespiti                                      | FLUENT | Hava Kanalı                               | 3 Cepheli Hava Kanalının Isıl Performansa Etkisi                 | Deneysel Simülasyon            |
| 28   | Hernández-López vd. (2016) | -Huitzilac<br>-Toluca<br>Meksika | Cwb   | Oda         | Trombe Duvarlı Odanın Enerji Kazancının Ölçeklendirilmesi                   | n/a    | Trombe Duvarı                             | Termal Kütle ile Hava Kanalı Enerji Kazancı Kıyaslaması          | Simülasyon                     |
| 29   | Rabani ve Kalantar (2016)  | Yazd, İran                       | Bwk   | Deney Odası | Yeni Tasarlanan Trombe Duvarının Isıtma Performansının Sayısal Modellenmesi | FLUENT | Trombe Duvarı                             | Yeni Tasarlanan Trombe Duvarının Klasik Duruma Göre Kıyaslanması | Deneysel Simülasyon            |
| 30   | Long, A., ve Sun (2018)    | Xiangtan, Çin                    | Cfa   | Prototip    | Yeni Tasarlanan Trombe Duvarının Termal Performansı                         | FLUENT | Trombe Duvarı & Sıcak Sulu Güneş Kolektör | Yeni Tasarlanan Sistemin Optimum Dizayn Ölçülerinin Belirlenmesi | Deneysel Simülasyon Parametrik |

## 2.2. Doğal Taşınım Literatür Çalışması

### 2.2.1 Açık Kanal

Kanal açıkken, doğal taşınım esas olarak akışkan özelliklerine (hava), sıcaklık farklarına ve kanalın en boy oranına bağlı akış düzenleriyle oluşur. Bu değişkenler araştırmacılar tarafından geliştirilen korelasyonlarda temel unsur olmaktadır. Bu bölümde araştırmacılar tarafından açık kanal tipolojisinde Nusselt sayısını hesaplama metotları sunulmuştur. Temelde araştırmacılar eşitlik 2.1'deki uygun formatta modeller geliştirmiştir.

$$Nu = C_0 + C_1 \cdot Ra^n \left( \frac{H}{e} \right)^m \quad (2.1)$$

Bu denklemdeki  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $n$  ve  $m$  deneysel veya nümerik metotlarla bulunana ampirik katsayılarıdır.  $(H/e)$  ise kanalı yüksekliğinin enine oranıdır.

*1-) E. M. Sparrow y L. F. A. Azevedo (Sparrow ve Azevedo 1985)*

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 1985

**Metot:** İki paralel dikey plakada serbest konveksiyon yöntemiyle üzerine bir çalışmadır. İzotermal ve ısıtılmamış bir duvarla sınırlandırılmış açık uçlu bir dikey kanalda, plakalar arası boşluğun doğal taşınım üzerindeki etkisi hem deneysel hem de nümerik olarak incelenmiştir. 2.2 no'lu eşitlikte  $Nu$  hesabı gösterilmektedir.

**Formülasyon:**

$$Nu = \left\{ \left( \frac{12}{(e/H)Ra} \right)^2 + \left( \frac{1}{0,619 \left[ \left( \frac{e}{H} \right) Ra \right]^{1/4}} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad (2.2)$$

**Kısıtlamalar:**  $0,011 \leq e/H \leq 0,5$  ve  $3 \leq Ra (e/H) \leq 108$

2-) *A. Auletta, O. Manca, B. Morrone y V. Naso (Auletta vd. 2001)*

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 2001

**Metot:** İki paralel dikey plaka arasında doğal taşınım ile ısı transferi incelenmiştir. Levhalar arasındaki baca etkisini arttırmak için panel boyunca ısının uniform olması sağlanmıştır. Uniform durum için panellerin arka yüzeyi adyabatik yapılmıştır. Eşitlik 2.3'de adyabatik Nusselt ısı transferi formülasyonu gösterilmektedir.

**Formülasyon:**

$$Nu = \left\{ \left[ 0,259 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,399} \right]^{-2,02} + \left[ 1,42 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,150} \right]^{-2,02} \right\}^{-\frac{1}{2,02}} \quad (2.3)$$

3-) *A. Kaiser, B. Zamora, A. Viedma (Kaiser, Zamora, ve Viedma 2004)*

**Yöntemi:** Simülasyon (CFD)

**Yıl:** 2004

**Metot:** Çalışmalarında iki paralel dikey plakada doğal taşınımın etkisi incelenmiştir. Plakalar arasındaki açılar farklı deney şartlarına göre modifiye edilmiştir. Eşitlik 2.4 ve eşitlik 2.5'de matematiksel modeller panel açıları zemine göre  $90^0$  olacak şekilde oluşturulan bağıntılardır. Bir plakanın izotermal olduğunda diğerinin farklı sıcaklıkta olduğu durum için eşitlik 2.4'de gösterilmiştir. Bir plakanın izotermal, diğerinin ise adyabatik olduğunda önerilen matematiksel model eşitlik 2.5'de gösterilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = \left\{ \left[ \left( \frac{e}{24H} Ra \right)^{-1,5} \right] + \left[ 0,693 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,234} \right]^{-1,5} \right\}^{-\frac{1}{1,5}} \quad (2.4)$$

$$Nu = \left\{ \left[ \left( \frac{e}{12H} Ra \right)^{-1,6} \right] + \left[ 0,631 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,238} \right]^{-1,6} \right\}^{-\frac{1}{1,6}} \quad (2.5)$$

**4-) A.Bar-Cohen ve W.M. Rohsenow (Bar-Cohen ve Rohsenow 1984)**

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 1984

**Metot:** güneş enerjili hava ısıtıcısının serbest taşınım sonucunda oluşan optimum açısının belirlenmesine yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Doğal taşınım optimum şartlarda gerçekleşebilmesi için panel açısı dikdörtgen bir kanal kullanılarak, 30 °, 50 ° ve 70 °'lik eğim açılarında analizler yapılmıştır. İki paralel plaka için verilen model eşitlik 2.6'da gösterilmektedir. Bu eşitlikte levhalardan biri sabit ısı akısında diğeri ısıya karşı yalıtılmış olma şartı bulunmaktadır.

**Formülasyon:**

$$Nu = \left[ \frac{C_1}{\left(Ra \frac{e}{H}\right)^2} + \frac{C_2}{\left(Ra \frac{e}{H}\right)^{0,5}} \right]^{-0,5} \quad (2.6)$$

**Kısıtlamalar:**

$$C_1 = 24; C_2 = 2,51$$

**5-) S. W. Churchill ve H. H. S. Chu (Churchill ve Chu 1975)**

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 1975

**Metot:** Dikey plakalarda doğal taşınımın etkisini, Ra'nın sıfıra (0) ve sonsuzluğa ( $\infty$ ) yakınsayan deneysel değerleri ile laminer sınır-tabaka teorisinden elde edilen teorik çözümleri kullanılmasıyla ampirik model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeller izotermal düşey bir plakadaki ısı transferi değerlerini hem laminer hem de türbülanslı durum için sağlamaktadır. Laminer durum için Eşitlik 2.7'de ve türbülanslı durum için eşitlik 2.8'deki modeller oluşturulmuştur. Bu denklemler literatürde pasif ısıtmalı güneş enerjisi sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{1/4}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (2.7)$$

**Kısıtlamalar:**

$Ra < 10^9$  Laminer Akış

**Formülasyon:**

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.8)$$

**Kısıtlamalar:**

$10^9 < Ra$  Türbülanslı Akış

**6-) Elenbaas (Elenbaas 1942)**

**Yöntemi:** Deneysel

**Yıl:** 1942

**Metot:** İki paralel dikey izotermal ve serbest levhadaki serbest taşınım deneysel olarak incelenmiş ve Eşitlik 2.9 'daki Nusselt değeri için matematiksel model oluşturulmuştur.

**Formülasyon:**

$$Nu = \frac{1}{24} Ra \left( \frac{e}{H} \right) \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{35}{Ra e/H} \right] \right\}^{3/4} \quad (2.9)$$

**7-) Hollands ve vd. (Hollands vd. 1976)**

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 1976

**Metot:** Paralel levha üzerinde doğal taşınımın etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Levha açıları  $0^0 < \beta < 75^0$  arasında  $\beta = 0^0, 45^0, 60^0$  ve  $75^0$  değişen konumlarda Nu sayısına karşın Ra sayısı ampirik modeller üretilmiştir. Panel açısı  $\beta = 75^0 \approx 90^0$  için oluşturulan eşitlik 2.10' daki dikey güneş sistemlerinde kullanılması tavsiye edilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1,8 \beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (2.10)$$

**Kısıtlamalar:**

Panel eğim açısı  $\beta = 90^0$  için  $\beta = 75^0$  kullanılabilir.

**8-) K. R. Randall, J.W. Mitchell ve M. M. El Wakil (Randall, Mitchell, ve El-Wakil 1979)**

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 1979

**Metot:** Dikdörtgen plakada doğal taşınımın etkisi Grashoff sayısı üzerinden deneysel metotla incelenmiştir. Yapılan çalışmadaki kombinasyonlarda H/e değeri 9-36 arasında; eğim açısı ( $\beta$  değeri) 45, 60, 75 ve 90 derece arasında değiştirilmiştir. Farklı durumlar için hem lokal hem de ortalama Nusselt değeri hesaplanmıştır. Eşitlik 2.11'de plakanın açı değeri  $\beta=90^0$  için Nusselt bağıntısı gösterilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,088 Ra^{0,29} \quad (2.11)$$

**Kısıtlamalar:**

$$4 \times 10^3 < Gr < 3,1 \times 10^5$$

**9-) Jakob (Jakob 1949)**

**Yöntemi:** Ampirik

**Yıl:** 1970

**Metot:** Dikdörtgen plakada alt ve üst sıcaklıkları farklı dikey plakada doğal taşınımıyla ısı transferini deneysel metotla incelenmiştir. Grashoff (Gr) sayısının miktarına göre iki farklı model (Eşitlik 2.12 ve Eşitlik 2.13) geliştirilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,18 Ra^{0,25} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,111} \quad (2.12)$$

**Kısıtlamalar:**

$$2 \times 10^4 < Gr < 2 \times 10^5$$

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,065 Ra^{0,33} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,111} \quad (2.13)$$

**Kısıtlamalar:**

$$2 \times 10^5 < Gr < 11 \times 10^6$$

**10-) Tabor (Tabor 1958)****Yöntemi:** Ampirik**Yıl:** 1958

**Metot:** Açık kanaldaki doğal taşınımın etkilerini Grashoff (Gr) sayısının durumuna göre deneysel metotla incelemiştir. Grashoff sayısının laminer kısıtlamasına bağlı olarak Eşitlik 2.14'de geliştirilen matematiksel model gösterilmektedir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,033 Ra^{0,381} \quad (2.14)$$

**Kısıtlamalar:**

$$1,5 \times 10^4 < Gr < 1,5 \times 10^5$$

**11-) Mc Adams (McAdams 1954)****Yöntemi:** Ampirik**Yıl:** 1958

**Metot:** Sabit sıcaklıkta düşey levhadaki doğal ısı taşınımı ifade eden bağıntı eşitlik 2.15 ve eşitlik 2.16 ile gösterilmektedir. Bu bağıntıda  $Pr \approx 0,71$  (gazlar) sabiti kabul edilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,2 Ra^{0,25} \left(\frac{H}{e}\right)^{-1/9} \quad (2.15)$$

**Kısıtlamalar:**

$$2 \times 10^3 < Gr < 2 \times 10^4$$

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,071 Ra^{0,33} \left(\frac{H}{e}\right)^{-1/9} \quad (2.16)$$

**Kısıtlamalar:**

$$2 \times 10^4 < Gr < 11 \times 10^7$$

**12-) Eckert ve Jackson (Eckert ve Jackson 1950)****Yöntemi:** Ampirik**Yıl:** 1950

**Metot:** Düşey levhadaki laminar doğal ısı taşınımı ifade eden deneysel bağıntı eşitlik 2.17 ile gösterilmektedir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,555 Ra^{0,25} \quad (2.17)$$

**Kısıtlamalar:**

$$Gr < 10 \times 10^{10}$$

**13-) Raithby ve Wong (Raithby ve Wong 1981)****Yöntemi:** Ampirik**Yıl:** 1984

**Metot:** Düşey dikdörtgen bir kanalda doğal ısı taşınımı ifade eden deneysel bağıntı geliştirmiştir. Deney düzeneğindeki kabullerinde plakaların izotermal ve alt-üst kısımları adyabatik olarak alınmıştır. Kanal özelliklerine ve Grashoff sayısına bağlı olarak modeller eşitlik 2.18 ve 2.19 de gösterilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,036 Ra^{0,33} \quad (2.18)$$

**Kısıtlamalar:**

$$2 \times 10^5 (H/e) < Gr$$

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,265 Ra^{0,25} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,25} \quad (2.19)$$

**Kısıtlamalar:**

$$200 (H/e) < Gr < 2 \times 10^5 (H/e)$$

**2.2.2. Kapalı Kanal**

Literatürde önceki çalışmalarda doğal taşınımında Nusselt ifadesini veren ve kapalı kanal için geliştirilen formülasyon eşitlik 2.20'de gösterilmiştir. Bu eşitlikteki A, B ve C katsayıları deneysel veya nümerik olarak hesaplanan ampirik katsayılardır.

$$Nu = A \cdot Gr^B \left( \frac{H}{e} \right)^C \quad (2.20)$$

**14-) Newell ve Schmidt (Newell ve Schmidt 1970)**

**Yöntemi:** Sayısal

**Yıl:** 1970

**Metot:** Sayısal çözüm metodunu kullanarak, farklı sıcaklıklarda izotermal duvarlara sahip uzun yatay dikdörtgen içerisinde bulunan havanın iki boyutlu laminer doğal konveksiyonu incelemişlerdir. Farklı Grashoff sayılarına karşın duvarın boy-en (H/e) oranları karşılaştırılmıştır. Eşitlik 2.21'de laminer akış için oluşturulmuş Nusselt bağıntısı bulunmaktadır.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,155 Gr^{0,315} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,265} \quad (2.21)$$

**Kısıtlamalar:**

$$2.5 \leq (H/e) \leq 20$$

**15-) Eckertf ve Carlson (Eckertf ve Carlson 1961)**

**Yöntemi:** Deneysel

**Yıl:** 1961

**Metot:** Deneysel metotla farklı sıcaklıklara sahip iki izotermal dikey plaka arasındaki hava katmanlarındaki sıcaklık alanı interferometre yardımı ile incelenmiştir.

Sabit ve değişken Grashof sayılarına karşılık panel geometrisinde belirli oranlarda değişimler yapılmıştır. Doğal ısı taşınımı için geliştirilen bağıntı eşitlik 2.22’de gösterilmektedir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,119 Gr^{0,3} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,1} \quad (2.22)$$

**16-) Krishnan ve vd. (Krishnan vd. 2004)**

**Yöntemi: Deneysel & Sayısal**

**Yıl:** 2004

**Metot:** Dikey paralel plaka kanalları arasındaki doğal taşınım ve yüzey ışıınımı birlikte ele alınarak hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmada plakalara etki eden radyasyon miktarının doğal ısı transferine etkisi düşük sıcaklıklarda (320 °K) araştırılmıştır. Nusselt sayısını veren bağıntı eşitlik 2.23’de gösterilmektedir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,38 Gr^{0,26} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,16} \quad (2.23)$$

**17-) MacGregor ve Emery (MacGregor ve Emery 1969)**

**Yöntemi: Deneysel & Nümerik**

**Yıl:** 1969

**Metot:** Dikey dikdörtgen kutu içerisinde sabit ısı akısı ve izotermal duvarın doğal taşınımındaki etkileri hem deneysel hem de nümerik olarak incelenmiştir. Nusselt sayısını veren nümerik bağıntı eşitlik 2.24’de gösterilmiştir.

**Formülasyon:**

$$Nu = 0,25 Gr^{0,25} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,25} \quad (2.24)$$

Tablo 2.2. Doğal taşınım eşitlikleri ve kısıtlamalar

| No | Referans                              | Matematiksel Eşitlik   | Kısıtlamalar  |
|----|---------------------------------------|--|---|
| 1  | Sparrow ve Azevedo (1985)             | $Nu = \left\{ \left( \frac{12}{(e/H)Ra} \right)^2 + \left( \frac{1}{0,619 \left[ \left( \frac{e}{H} \right) Ra \right]^{1/4}} \right)^2 \right\}^{-1/2}$   | $0,011 \leq e/H \leq 0,5$<br>$3 \leq Ra (e/H) \leq 108$                       |
| 2  | Auletta vd. (2001)                    | $Nu = \left\{ \left[ 0,259 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,399} \right]^{-2,02} + \left[ 1,42 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,150} \right]^{-2,02} \right\}^{-\frac{1}{2,02}}$   | $C_1 = 24; C_2 = 2,51$  |
| 3  | Kaiser, Zamora, ve Viedma (2004)      | $Nu = \left\{ \left[ \left( \frac{e}{24H} Ra \right)^{-1,5} \right] + \left[ 0,693 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,234} \right]^{-1,5} \right\}^{-\frac{1}{1,5}}$<br>$Nu = \left\{ \left[ \left( \frac{e}{12H} Ra \right)^{-1,6} \right] + \left[ 0,631 \left( \frac{e}{H} Ra \right)^{0,238} \right]^{-1,6} \right\}^{-\frac{1}{1,6}}$ | -   |
| 4  | Bar-Cohen ve Rohsenow (1984)          | $Nu = \left[ \frac{C_1}{\left( Ra \frac{e}{H} \right)^2} + \frac{C_2}{\left( Ra \frac{e}{H} \right)^{0,5}} \right]^{-0,5}$   | -   |
| 5  | Churchill ve Chu (1975)               | $Nu = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{1/4}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$<br>$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$   | $Ra < 10^9$ Laminer Akış<br>$10^9 < Ra$ Türbülanslı Akış                      |
| 6  | Elenbaas (1942)                       | $Nu = \frac{1}{24} Ra \left( \frac{e}{H} \right) \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{35}{Ra \frac{e}{H}} \right] \right\}^{3/4}$  | -   |
| 7  | Hollands vd. (1976)                   | $Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1,8 \beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right]^{1/4} \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$   | Panel eğim açısı $\tau = 90^\circ$ için $\beta = 75^\circ$ kullanılabilir,    |
| 8  | Randall, Mitchell, ve El-Wakil (1979) | $Nu = 0,088 Ra^{0,29}$   | $4 \times 10^3 < Gr < 3,1 \times 10^5$  |
| 9  | Jakob (1949)                          | $Nu = 0,18 Ra^{0,25} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,111}$<br>$Nu = 0,065 Ra^{0,33} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,111}$  | $2 \times 10^4 < Gr < 2 \times 10^5$<br>$2 \times 10^5 < Gr < 11 \times 10^6$ |
| 10 | Tabor (1958)                          | $Nu = 0,033 Ra^{0,381}$  | $1,5 \times 10^4 < Gr < 1,5 \times 10^5$                                      |
| 11 | McAdams (1954)                        | $Nu = 0,2 Ra^{0,25} \left( \frac{H}{e} \right)^{-1/9}$<br>$Nu = 0,071 Ra^{0,33} \left( \frac{H}{e} \right)^{-1/9}$   | $2 \times 10^3 < Gr < 2 \times 10^4$<br>$2 \times 10^4 < Gr < 11 \times 10^7$ |
| 12 | Eckert ve Jackson (1950)              | $Nu = 0,555 Ra^{0,25}$   | $Gr < 10 \times 10^{10}$  |
| 13 | Raithby ve Wong (1981)                | $Nu = 0,036 Ra^{0,33}$<br>$Nu = 0,265 Ra^{0,25} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,25}$  | $2 \times 10^5 (H/e) < Gr$<br>$200 (H/e) < Gr < 2 \times 10^5 (H/e)$          |
| 14 | Newell ve Schmidt (1970)              | $Nu = 0,155 Gr^{0,315} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,265}$  | $2,5 \leq (H/e) \leq 20$  |
| 15 | Eckert ve Carlson (1961)              | $Nu = 0,119 Gr^{0,3} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,1}$  | -   |
| 16 | Krishnan vd. (2004)                   | $Nu = 0,38 Gr^{0,26} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,16}$   | -   |
| 17 | MacGregor ve Emery (1969)             | $Nu = 0,25 Gr^{0,25} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,25}$<br>$Nu = 0,42 Ra^{0,25} Pr^{0,012} \left( \frac{H}{e} \right)^{-0,3}$   | -   |

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, Güneş Duvarının tasarımı, geliştirilmesi ve inşası için gerekli fiziksel ve matematiksel bağıntılar açıklanmıştır. Pasif güneş enerjisiyle ısıtmayı karakterize eden ısı geçişi denklemleri ve onları yöneten matematiksel denklemler sentezlenmiştir. Ayrıca sistemin konfor dengesi ve inşaat parametreleri de sunulmuştur. Güneş Duvarını karakterize etmek için;

- Enerji sistemi elementlerini göz önünde bulundurarak duvardaki ısı transfer işlemlerinin tanımlanması
- Pasif güneş ısıtmasında ışıınımı ve taşınım formlarının odanın termal akışkan davranışına etkileri
- Deneysel ölçüm ekipmanlarının tanıtılması
- Isıl davranıştaki boyutsuz parametrelerinin (Nu, Gr, Pr) tanımlanması.
- Bilgisayar destekli simülasyon programlarıyla (ANSYS-FLUENT) örnek sistemin geometrisi ve yapı bileşenlerinin tanımlanması yapılmıştır.

#### 3.1. Deneysel Çalışma

Güneş duvarına etkileyen parametrelerin deneysel olarak test edilmesine yönelik 1:1 ölçekte model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde malzeme bileşenleri, iklim özellikleri ve çevresel koşullarda analiz edilmiştir. Bu sayede, modelin performansına, verimliliğine ve ısı konforuna etkileyen bileşenlerin çoklu ilişkisi ölçeklendirilmiştir.

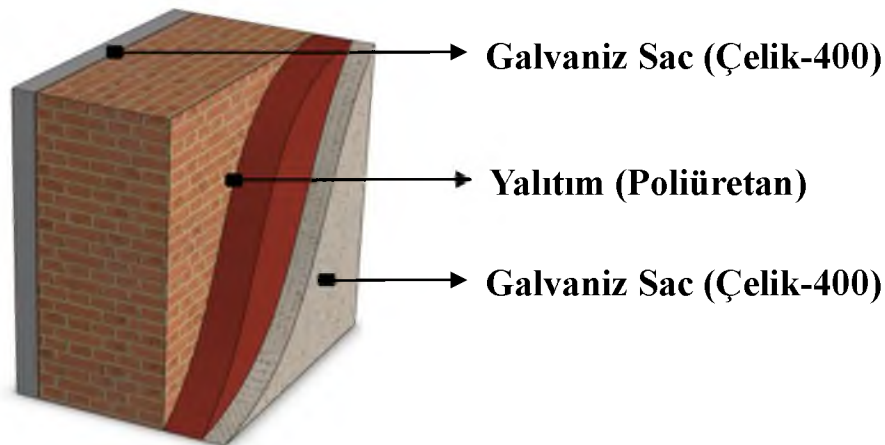
Sistem performansına doğrudan etkileyen meteorolojik koşulların başında global güneş ışıınımı ve güneşlenme süresi olmaktadır. Dolaylı etkileşimde bulunan meteorolojik veriler ise; ortam sıcaklığı, ortam nemi, rüzgâr hızı ve yağış miktarı olarak nitelendirilebilir.

Çevresel koşullar bakımından incelendiğinde modelin kurulacağı arazinin topografyası ve bitki örtüsü de önem arz etmektedir. Yeryüzünün mevsimsel değişken Albedosu modelin ısı performansına etki etmektedir.

Modelin yapımında kullanılan malzemeler standartlarca belirlenmiş uygun norm ve bileşenlerden seçilmiştir. Bu sayede hem sürdürülebilir hem de ekolojik enerji dostu sistemin oluşturulması sağlanmıştır.

### 3.1.1 Deneysel Malzemenin Özellikleri

Konutlarda görülen ısı kayıplarının en fazla olduğu alanlar duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlarından gerçekleşmektedir. Bu bölgelerden meydana gelen ısı kayıpları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişmektedir. Binalardaki enerji kayıplarındaki en büyük oran dış duvardan oluşmaktadır. Bu sebeple yalıtım malzemesi yapının ısı geçiş katsayısını azaltmada önemli bir rol üstlenmektedir (Altan ve Sağbaş 2020; Kaya vd. 2019). Günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi, bünyesinde yalıtım malzemesi barındıran, birden fazla katmandan oluşan bir yapı elemanı olarak da ele alınabilmektedirler. Tez çalışmasında kullanılan yapının ısı kayıplarının en aza indirgenmek amacıyla sandviç model tercih edilmiştir. Şekil 3.1.'de ve Tablo 3.1.'de modelin duvar yapısı görülmektedir.



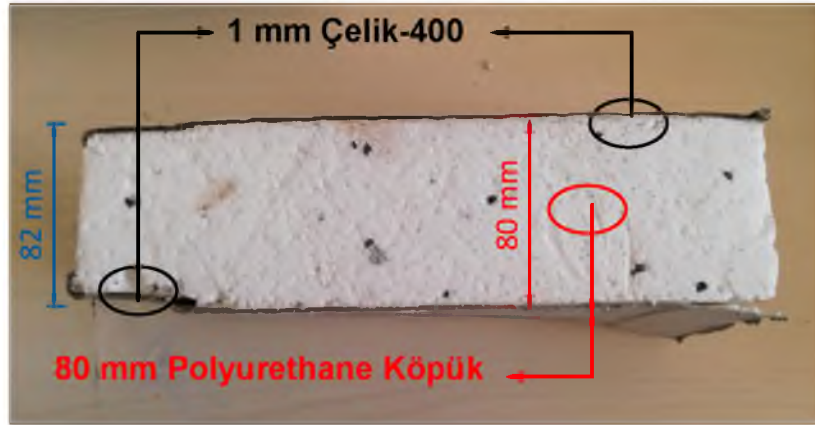
Şekil 3.1. Deneysel malzemenin dış cephe duvar modeli

Tablo 3.1. Yapı bileşen özellikleri

| Malzeme            | En<br>(m) | Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Özgül Isı<br>(J/kg K) | İletkenlik<br>(W/m.K) |
|--------------------|-----------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Çelik-400          | 0,001     | 7750                             | 431                   | 23,430                |
| Yalıtım-poliüretan | 0,08      | 30,0                             | 1470                  | 0,028                 |
| Cam                | 0,008     | 2300                             | 836,800               | 1,046                 |

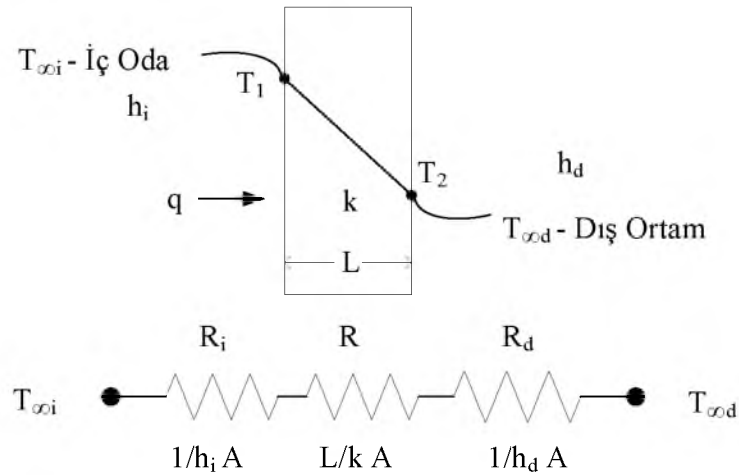
### 3.1.1.1 Duvar Bileşeni

Konstrüksiyondaki kullanılan sandviç model katmanları tavan, döşeme ve duvardan oluşmaktadır. Hem deney odası hem de test odası boyunca homojen dağılım içerisindedir. Konstrüksiyonda homojen duvar deney odası ve test odasında yer alan 82 mm kalınlığındaki katman sırasıyla dıştan içe doğru; 1 mm galvaniz çelik sac, 80 mm poliüretan köpük ve 1 mm galvaniz çelik saçtan oluşmaktadır. Kesit bileşen parçası Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Deney odasına ait kesit parçası

Tipik bir duvar için belirlenen ısı geçişini gösteren duvar modeli Şekil 3.3.'de gösterilmektedir. Bu şekilde hem iletim hem de taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. İletimle olan ısı transferi duvar boyunca iç oda yüzey sıcaklığından ( $T_1$ ) dış ortam yüzey ( $T_2$ ) sıcaklığına doğru olmaktadır. Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi yüzeyden ortama aktarılmaktadır. Deney odası iç sıcaklığının ( $T_{\infty i}$ ), iç oda yüzey sıcaklığı ( $T_1$ ) arasında ve dış ortam yüzey sıcaklığından ( $T_2$ ) atmosfer sıcaklığı ( $T_{\infty d}$ ) arasında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.3. İletim ve taşınım ile ısı transferinde ısıl dirençlerin gösterimi

Tipik bir duvar için toplam ısı geçiş katsayısını ifade eden  $U$  ( $W/m^2K$ ) eşitlik 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{izo} + R_d} \quad (3.1)$$

1 nolu denklemdeki  $R_i$  ve  $R_d$  sırasıyla iç ve dış yüzeyin ısı direncini,  $R_w$  duvar tabakasının ısı direncini ve  $R_{izo}$  ise yalıtım malzemesinin ısı direncini belirtmekte olup 3.60 nolu denklemle hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki  $x$  yalıtım malzemesinin kalınlığı ve  $k$  ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısıdır. Bu çalışmada kullanılan yalıtım malzemesi özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. R iç ve R dış değerleri Türk Standartları (TS 825) kurumunca belirlenmiş değerler referans alınmıştır (TSE 2009). Tablo 3.2.’de modelin duvar yapısının iç ve dış toplam ısı geçiş katsayısı gösterilmektedir.

$$R_{izo} = \frac{x}{k_{izo}} \quad (3.2)$$

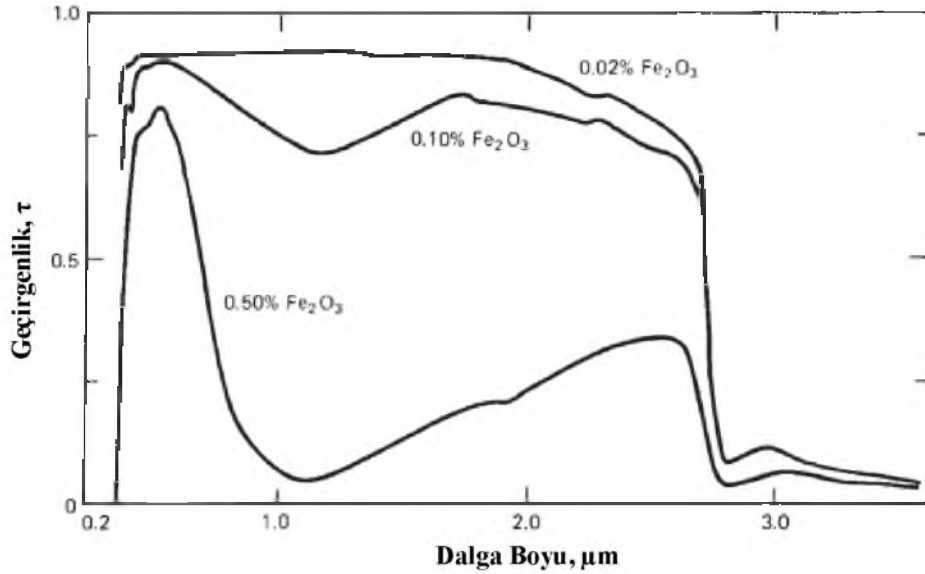
**Tablo 3.2.** Modeldeki duvarın toplam ısı geçiş katsayısı

| Malzeme Tipi    | Kalınlık<br>(m) | k<br>(W/m.K) | R<br>(m <sup>2</sup> K/W) | R duvar<br>(m <sup>2</sup> K/W) | U(W/m <sup>2</sup> K) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| İç Çelik Metal  | 0,001           | 23,43        | 0,00004                   |                                 |                       |
| Yalıtım         | 0,08            | 0,028        | 2,8571                    |                                 |                       |
| Dış Çelik Metal | 0,001           | 23,43        | 0,00004                   | 3,0271                          | 0,3303                |
| R iç            | -               | -            | 0,13                      |                                 |                       |
| R dış           | -               | -            | 0,04                      |                                 |                       |

### 3.1.1.2 Saydam Örtü

Örtü malzemesi güneş enerji sistemlerde ısı kaybının en az olmasını ve güneş ışınımını geçiren bir malzemedен imal edilmelidir. Bu özellikler bakımından en çok kullanılan örtü malzemesi camdır. Görünür ışınımı geçirmesi, kolay bulunabilmesi ve absorban (emici) plakadan yansıyan uzun dalga boylu ışınımını geri yansımasıdır.

Bilinen pencere camının geçirme katsayısı 0,85'dir (Handbook 2007). Son zamanlarda özel olarak üretilen düşük demir oksitli ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) camlarda bu değer 0,95 seviyesine ulaşmıştır. Demir oranının artması ile absorbe edilen ışınımın miktarı artmaktadır. Şekil 3.4.'de geçirgenlik ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.4.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ile geçirgenlik ilişkisi (Dietz 1963)

Camın ışık ve ısı geçirgenliği performansı güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Sistemlerin uygulanacağı coğrafi bölgeye göre kullanılan cam tipi değişiklik gösterebilmektedir. Dış etkenlere maruz kalan güneş enerjisi sistemlerinde camın dayanıklılığını arttırmak ve ısıl gerilimlere karşı mukavemet kazandırmak için temperli tip model tercih edilmelidir. Bu modellerin klasik camlara göre mekanik dayanımı dört kat ve 200 °C'deki ısıl dayanımı ise 3 kat fazladır ve görünür ışığı geçirme oranı %87 civarındadır (Sev, Gür, ve Özgen 2003).

Güneş enerjisi sistemleri camları TS EN 12150-1/T1'nolu cam yapılarında kullanılan ısıl olarak temperlenmiş soda kireç silikat emniyet camı standardına göre üretilmektedir. Bu camların kesilmesi saha koşullarında zor olduğundan özel ölçülerde sipariş verilmektedir. Tez çalışmasında 8 mm kalınlığındaki temperli düz cam, absorban alanı boyunca ölçülendirilerek üretilmiştir (Tablo 3.3). Köşe noktalarda yağmur-kar gibi sebeplerden dolayı oluşabilecek sızıntılar karşı kullanılan cam contası UV dayanımlı EPDM (etilen propilen dien monomer) tipidir.

**Tablo 3.3.** Cam malzemesi özellikleri

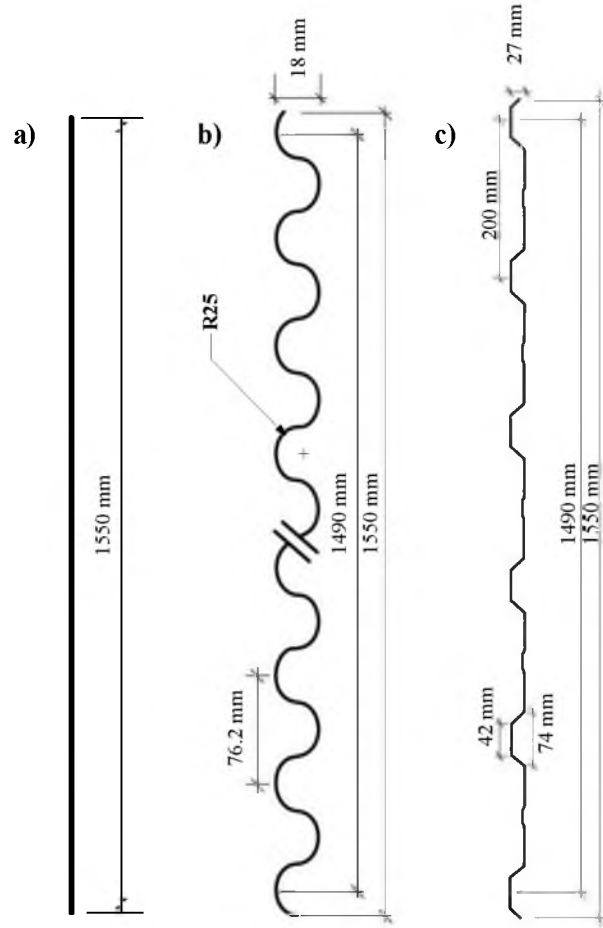
|                            |  |      |
|----------------------------|--|------|
| Tür: Beyaz Cam             | Kalınlık   | 8 mm |
| Gün Işığı (EN 410)         | Geçirgenlik %  | 87   |
|                            | Dışa Yansıtma %  | 8    |
| Güneş Enerjisi<br>(EN 410) | Dışa Yansıtma %  | 7    |
|                            | Soğurma %  | 18   |
|                            | Direkt Geçirgenlik %                                       | 75   |
|                            | Toplam Geçirgenlik %                                       | 80   |
|                            | Gölgeleme Katsayısı  | 0,92 |
|                            | Isı geçirgenlik Katsayısı U Değeri<br>(W/m <sup>2</sup> K) | 5,6  |

### 3.1.1.3 Absorban Plaka

Güneş enerjisi sistemlerinde absorban plaka toplayıcıların en önemli kısmıdır. Güneş ışınları, absorban plaka tarafından yutularak ısıya dönüştürülür ve sistemde dolaşan akışkana aktarılır. Güneş duvar sistem verimliliği emici plakaya bağlıdır. Emici plaka bir enerji ve ısı dönüştürücüsüdür.

İyi bir Trombe duvarı sadece güneş ışığını absorbe etmekle kalmayıp bu enerjiyi akışkana konveksiyon enerjisi ile aktarır ve akım sirkülasyonuna izin verir (Kalogirou 2004). Bu amaçla absorban plakaların daha verimli olması için koyu bir renge genellikle siyaha boyanır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının yüksek, uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının düşük olması gerekmektedir. Mat siyah boyanın yutuculuğu ( $\alpha$ ) 0,95 ve yayılcılığı ( $\epsilon$ ) 0,92'dir (Wazwaz vd. 2002). İdeal bir yutucu plakanın seçici yüzeyli olarak yapılması verimi artırmaktadır.

Güneş Duvarı sisteminde absorban plaka olarak siyah mat boya ile boyanmış 1 mm kalınlığında üç farklı galvaniz sac kullanılmıştır. Plakalar alt ve üst menfezler arasında boyunca monte edilmiştir. Plakaların yerleştirildiği güneş duvarı konumu içerisindeki toplam absorban alan miktarı düz panel için 1,86 m<sup>2</sup>, 27/200 Trapez Sac için 2,22 m<sup>2</sup> ve Sinüs Oluklu 76/18 Trapez Sac içinse 2,82 m<sup>2</sup> olmaktadır. Şekil 3.5.'de plakaların teknik ölçü detayları gösterilmektedir. EK-1'de detaylı resimleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Absorban plakalar a) düz sac b) sinüs oluklu 76/18 trapez sac c) 27/200 trapez sac

### 3.1.1.4 Damperli Lineer Menfez

Klasik güneş enerjili ısıtma sistemleri havalandırılmalı ve havalandırmasız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Havalandırmasız duvarlarda, ısı masif kütle boyunca iletimle geçmektedir. Bu duvarlarda termal kütle sıcaklığı havalandırılmalı sistemlere göre daha fazladır. Böylece dışarıya olan ısı kaybı havalandırılmalı sistemlere göre artmaktadır. Bu sistemler daha çok dış ısıtma sezonunda dış ortam sıcaklığı  $15^{\circ}\text{C}$  altına düşmeyen iklim bölgeleri için uygundur (Garg, Mullick, ve Bhargava 1985). Batman ilinin uzun dönem aylık ortalama sıcaklık değerleri Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart için sırasıyla;  $9,5^{\circ}\text{C}$ ,  $4,3^{\circ}\text{C}$ ,  $2,4^{\circ}\text{C}$ ,  $4,5^{\circ}\text{C}$  ve  $9,2^{\circ}\text{C}$  olmaktadır. Bu parametreler doğrultusunda Batman ilinde kurulacak olan güneş duvarı sisteminin havalandırılmalı olması gerekmektedir.

Havalandırılmalı duvarlarda cam malzeme ile absorban yüzey arasında kalan akışkan hava kullanılmaktadır.

Absorban yüzey tarafında emilen ışınım taşınım ile akışkana aktarılır. Kanaldaki hava ısınarak genişler ve sıcaklığı artarken yoğunluğu azalmaktadır. Bu şekilde doğal taşınım oda ve hava kanalı arasında gerçekleşebilmesi için absorban plakanın altında ve üstünde havalandırma (menfez) delikleri bulunmaktadır. Bu menfezler ısı kaybını kontrol etmek için tasarlanmıştır. Isı kaybı hava kanalında iletim, taşınım veya atmosfere saçılan ışınım ile olmaktadır. Isınan hava üst menfezden odaya geçerek sahip olduğu ısı enerjisini aktarır ve soğuk hava alt menfezden hava kanalına çekilmektedir (Agrawal ve Tiwari 2010).

Havalandırılmalı ısıtma sistemlerinde gündüzleri aşırı ısınma, geceleri de hava kanalında soğuma olmaktadır. Gece düşen sıcaklıkla birlikte, masif kütlelerin soğumaya başladığında duvar sıcaklığı, oda sıcaklığından daha düşük bir sıcaklık değere ulaştığı andan itibaren ters hava akışı başlar ve oda enerjisi negatif yönde azalmaktadır. Sistemde oluşabilecek bu riski ortadan kaldırmak için damperli menfez kullanılmıştır. Böylece ters yönde hava akımı engellenecektir. Ayrıca havalandırma kanallarının konvektif akışının düzenli olabilmesi için alt ve üst menfezlerin dikey yönde aynı hizada olmamaları gerekmektedir. Bu sayede kararlı ve stabil hava sirkülasyonu oluşmaktadır.

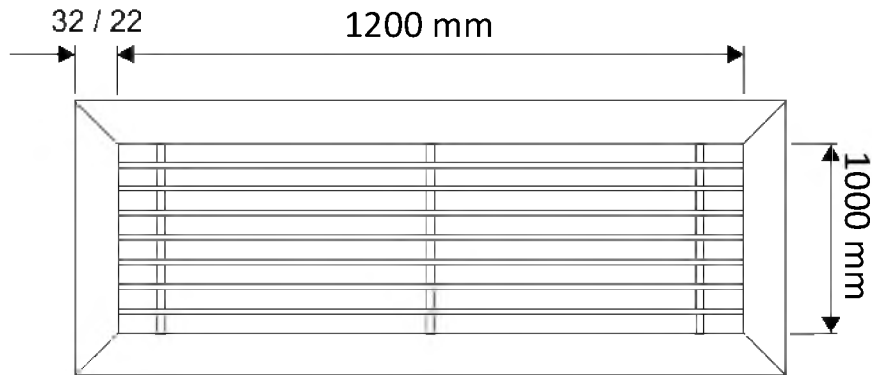
Optimum menfez boyutlarının toplam alanının, duvar alanının %5'i kadar olması gerektiği ortaya çıkmıştır (Garg, Mullick, ve Bhargava 1985). Eğer havalandırma alanı büyük olması halinde, hacme gereğinden fazla ve düzensiz ısı transferi gerçekleşecektir. Eğer alanının küçük olması durumunda ise taşınım ile gerçekleşen ısı transferi miktarı az olup verim kaybı olacaktır.

Tüm bu belirtilen bilgiler doğrultusunda Güneş duvarı sisteminin performansı optimum değerlerde olabilmesi için;

- Havalandırılmalı kanal kullanılmıştır
- Alt ve üst havalandırma bölgesi aynı doğrultuda z ekseninde açılmıştır.
- Absorban Alanın %5 olacak şekilde. 1200 mm x 1000 mm boyutlarında özel üretimle (TSE K 542) "Tekinbaş Hava Kontrol Sistemleri" Ostim/Ankara tesislerinde imal edilmiştir.
- Açılıp-Kapanabilen damperli menfez modeli seçilmiştir. Şekil 3.6.'da menfezlerin absorban plaka üzerindeki konumları görülmektedir.
- Şekil 3.7.'de menfeze ait teknik resim detayları gösterilmektedir.



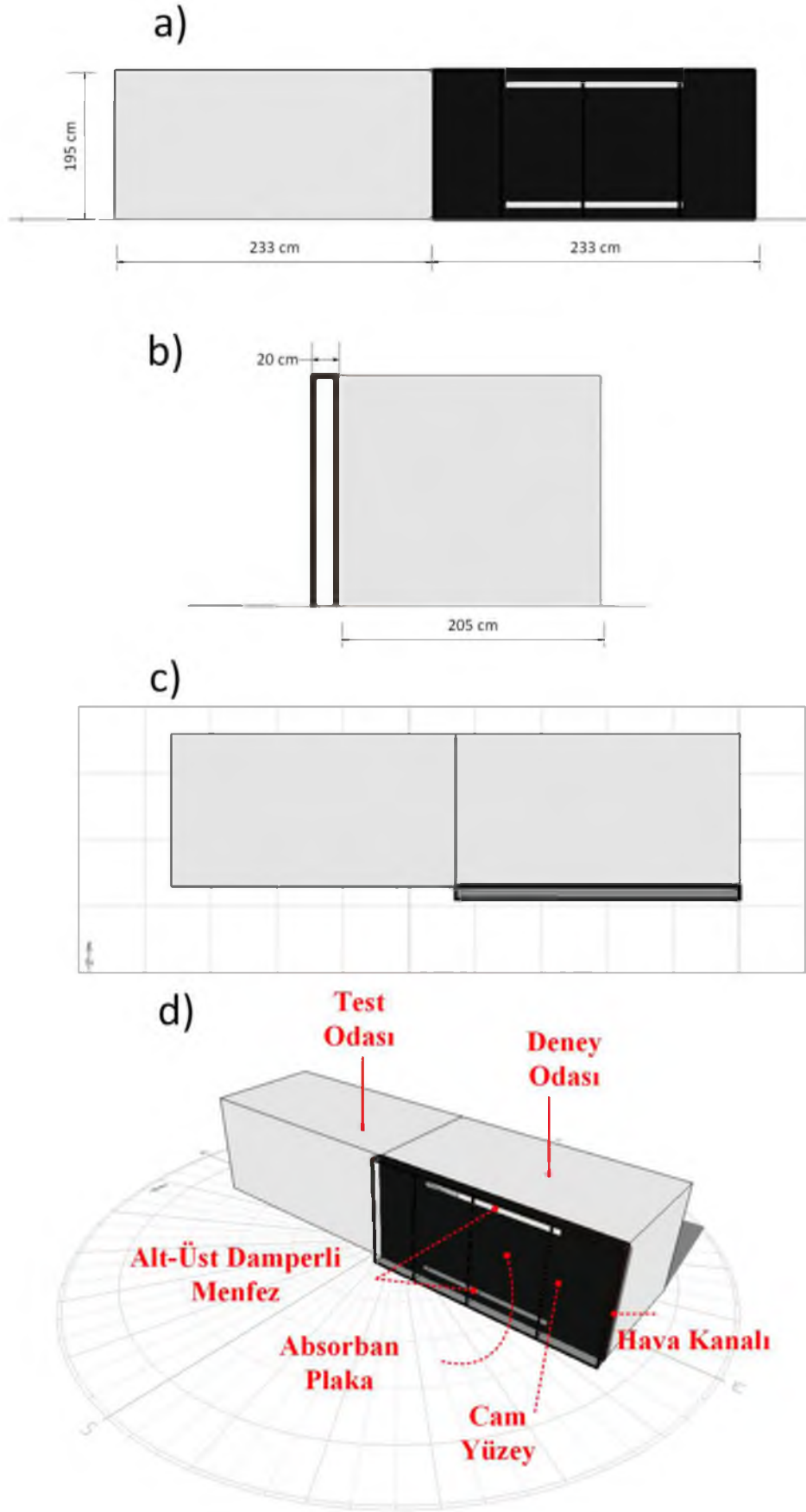
Şekil 3.6. Menfezlerin alt ve üst konumları



Şekil 3.7. Menfezin teknik resim detayı

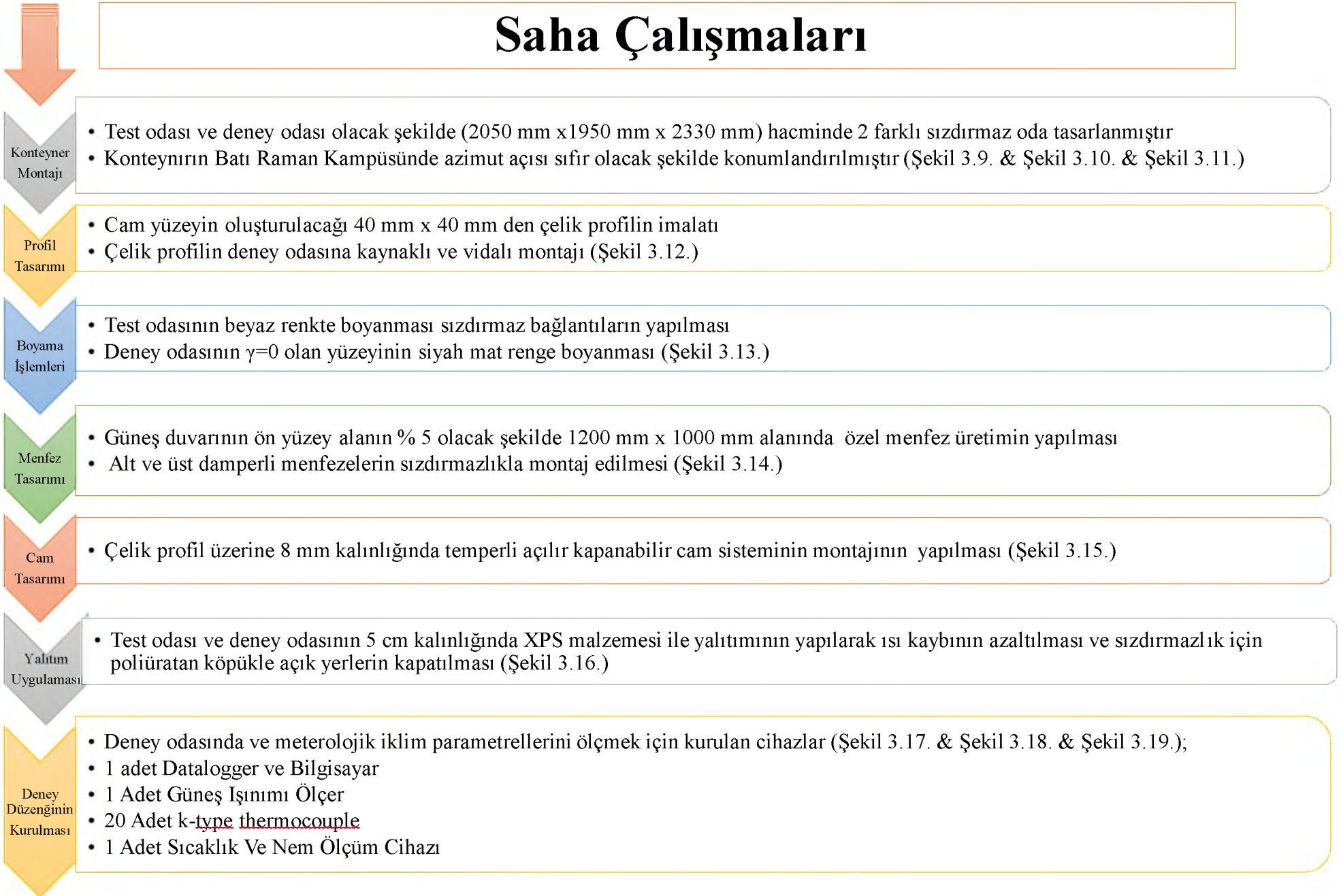
### 3.1.2 Güneş Duvarı Modelinin Kurulum Aşamaları

Deney düzeneği için belirlenen alan Batman Üniversitesi, Batı Raman Kampüsünün alt güney kısmıdır. Yapılan saha çalışma aşamalarıyla diyagramda gösterilmektedir. Önceki bölümlerde açıklanan veriler doğrultusunda çalışılan bölge ve iklim koşullarına en uygun sistem dizaynı yapılmıştır (Şekil 3.8.). Bu dizayn aşamaları yedi bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla konteyner montajı, profil tasarımı, boyama işlemleri, menfez tasarımı, cam tasarımı, yalıtım uygulaması ve deney ekipmanlarının kurulması şeklindedir.



Şekil 3.8. Kurulan güneş duvarı modeli görünüşü a) Önden b) Yandan c) Üsten d) Perspektif

# Saha Çalışmaları





**Şekil 3.9.** Deney arazisinin düzeltilmesi



**Şekil 3.10.** Konteynırın Batı-Raman Kampüsüne taşınması



**Şekil 3.11.** Konteynırın kurulumu



**Şekil 3.12.** Çelik profilin montajı



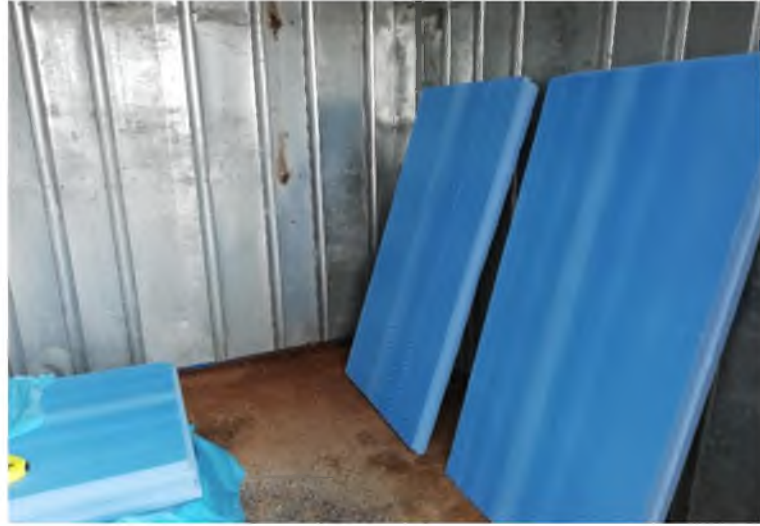
**Şekil 3.13.** Deney odası ve test odasının boyanması



**Şekil 3.14.** Alt ve üst damperli menfezlerin montajı



Şekil 3.15. Cam sistemin montajı



Şekil 3.16. Yalıtım uygulaması



Şekil 3.17. Datalogger ve PC kurulumu



Şekil 3.18. Dency odası ölçümü



Şekil 3.19. Test odası ölçümü

### 3.1.3. Deneysel Ekipmanlar

#### 3.1.3.1. Solar Meter SM206 Güneş Işınımı Ölçer

Global güneş radyasyonu ölçümü için kullanılan bu cihaz, fiziksel ve optik deneylerde, meteoroloji ve tarım alanlarında kullanıma uygundur (Şekil 3.20.). Veri ve maksimum değer saklayabilmektedir. Bu cihaza ait teknik özellikler Tablo 3.4'de verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Solar Meter SM206 cihazına ait teknik özellikler

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Ölçüm Menzili</b>    | 0,1~399,9, 1~3999 W/m <sup>2</sup>                    |
| <b>Çözünürlük</b>       | ±10 W/m <sup>2</sup>                                  |
| <b>Hassasiyet</b>       | ve ya ±5% okumada (25°C)<br>±0,38W/m <sup>2</sup> /°C |
| <b>Sıcaklık Hatası</b>  | ±0,12 Btu/(ft <sup>2</sup> -h)/°C                     |
| <b>Yanıtlama Süresi</b> | 0,25 sn   |
| <b>Boyutlar</b>         | 60x132x38 mm  |

**Şekil 3.20.** Solar Meter SM206

### 3.1.3.2. Extech Instruments EN300 Anemometre

Extech EN 300 modeli beş adet çevresel parametre (sıcaklık, nem, hava hızı, ışık ve gürültü) ölçümünü yapabilir bu cihaz ile ortama dair minimum ve maksimum veriler görüntülenebilmektedir. EN 300 (Şekil 3.21.); Ft/min, MPH, m/s, km/h, knots birimlerinde hava hızı ölçümü, kapasitif sensör ile nem ölçümü, termistör ile ortam-K tipi termokupl girişi sayesinde 1300 °C'ye kadar sıcaklık ölçümü yaparken, Photo diyod ile ışık şiddeti ölçümü ve Tip2 standartlarında gürültü ölçümü de yapabilmektedir. Cihaz, RS232 bağlantısı ile bilgisayara bağlanabilmektedir. Bu cihaza ait teknik özellikler Tablo 3.5'de verilmiştir.

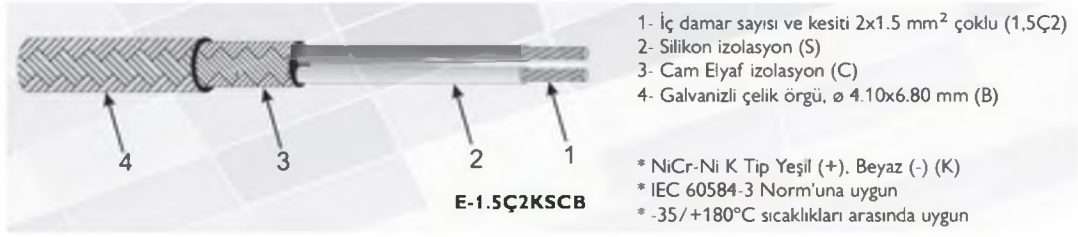
**Tablo 3.5.** Extech EN 300 cihazına ait teknik özellikler

|                             |  |  |
|-----------------------------|--|--|
| <b>Hava Hızı</b>            | Ölçüm Aralığı;<br>Hassasiyet;                    | 4 ile 30m/s arası<br>0,1m/s $\pm$ 3%                   |
| <b>Işık</b>                 | Foot Candles Ölçüm aralığı;<br>Lux ölçüm aralığı | 0 ile 1860 Fc arası<br>0 ile 20.000 Lux arası          |
| <b>Sıcaklık (Termistör)</b> | Ölçüm Aralığı<br>Hassasiyet                      | 0 ile 50°C arası<br>0,1°C $\pm$ 1,2°C                  |
| <b>Bağıl Nem</b>            | Ölçüm Aralığı<br>Hassasiyet                      | 10 ile 95%RH arası<br>0,1%RH $\pm$ ölçümün 4%RH        |
| <b>Sıcaklık (Type K)</b>    | Ölçüm Aralığı<br>Hassasiyet                      | 100°C ile 1300°C arası<br>0,1°C $\pm$ ölçümün (1%+1°C) |
| <b>Cihaz Boyutları</b>      | 248 x 70 x 34mm; Pervane: 31mm                   |  |

**Şekil 3.21.** Extech EN 300

### 3.1.3.3. K-Tipi Termokupl Sıcaklık Ölçer

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına oranlıdır. Ölçümler sırasında kullanılan K-Tipi Termokupla ait teknik özellikler Şekil 3.22.'de verilmiştir.



Şekil 3.22. K-Tipi termokupl

### 3.1.3.4. Cem-DT-186 Hava Hızı Ölçer

Hava hızı kayıt cihazı; belirli bir yerde bulunan hava akımının hızını kayıt altına almak için kullanılan hassas bir hava hızı kayıt cihazıdır. Bu ürün bir Anemometre datalogger'dır (Şekil 3.23.). Belirli bir yerin hava hızını test eden ve 32,000 okuma kadar veri kayıt edebilen bu cihazın ölçüm aralığı 0,20 m/s ile 30 m/s arasındadır. Elde edilen veriler daha sonra USB arabirimi ile bilgisayara aktarılabilir. Cihazda 2 saniyeden 24 saate kadar belirlenmiş kayıt aralıkları bulunmaktadır. Bu cihaza ait teknik özellikler Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Cem-DT-186 cihazına ait teknik özellikler

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Rüzgar hızı ölçüm aralığı</b> | 0,20 . . . 30,0 m/s  |
| <b>Rüzgar hızı hassasiyeti</b>   | ±3,5% / ±0,2 m/s   |
| <b>Rüzgar hızı çözünürlük</b>    | 0,1 m/s  |
| <b>Kayıt periyodu</b>            | 2 saniyeden 24 saate kadar   |
| <b>Kayıt aralığı</b>             | 2 sn, 5 sn, 10 sn, 30 sn, 1 dk, 5 dk,<br>10 dk, 30 dk, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6<br>saat, 12 saat, 24 saat |
| <b>Kayıt hafızası</b>            | 32,000   |
| <b>Cihazın kasa ebadı</b>        | 145 x 35 x 30 mm   |
| <b>Ağırlık</b>                   | 49 gr.   |



Şekil 3.23. Cem-DT-186

### 3.1.3.5. Elimko 680 Datalogger

E-680, yeni nesil mikro kontrolör kullanılarak tasarlanmış 96x192 mm boyutlarında IEC/TR 60668 standardına uygun, üniversal girişli, giriş ve çıkışları kullanıcı tarafından programlanabilen endüstriyel bir cihazdır. E-680 cihazı, 32 farklı noktadan alınan ölçümleri göstergesinden gösterir ve ölçümleri her kanal için programlanabilen iki set noktaysıyla karşılaştırıp, karşılaştırma sonucuna göre alarm durumlarını belirler (Şekil 3.24.). Alarm durumları ortak alarm rölelerine veya bağımsız rölelere yönlendirebilir. 31 âdete kadar E-680 cihazının bilgileri RS-485 hattı yoluyla merkezi bir bilgisayarda toplanıp kaydedilebilir. Bu cihaza ait teknik özellikler Tablo 3.7’de verilmiştir.

**Tablo 3.7.** Elimko 680 datalogger cihazına ait teknik özellikler

|   |   |
|---|---|
| <b>Giriş Tipleri</b>                    | Termokupl: B, E, J, K, L, N, R, S, T, U<br>Rezistans Termometre: Pt-100, CUST<br>Gerilim: 0-50 mV, 0-1 V, 0,2-1 V, 0-10 V (Lineer)<br>Akım: 0-20 mA, 4-20 mA (Lineer)                           |
| <b>Doğruluk Sınıfı</b>                  | Termokupl: (Gösterilen değerin $\pm 0,5\%$ ’i ya da $\pm 1^\circ\text{C}$ ) $\pm 1$ dijit maks.<br>Pt-100: (Gösterilen değerin $\pm 0,5\%$ ’i ya da $\pm 1^\circ\text{C}$ ) $\pm 1$ dijit maks. |
| <b>T/C Ortam Sıcaklık Kompanzasyonu</b> | Gerilim /Akım: $\pm 0,5$ FS $\pm 1$ dijit maks.<br>0 $^\circ\text{C}$ -50 $^\circ\text{C}$  |
| <b>Çalışma Gerilimi</b>                 | 85-265 V <sub>ac</sub> /85-375 V <sub>dc</sub><br>20-60 V <sub>ac</sub> / 20-85 V <sub>dc</sub>   |
| <b>Güç Tüketimi</b>                     | 4W (7VA)  |
| <b>Kontak Kapasitesi</b>                | NA Kontak 250 V <sub>ac</sub> 3 A   |
| <b>Bellek</b>                           | EEPROM maksimum 10 <sup>5</sup> yazma   |
| <b>Çalışma Ortam Sıcaklığı</b>          | -10 $^\circ\text{C}$ , +55 $^\circ\text{C}$ (Yoğunlaşma ve buzlanma olmadan)  |



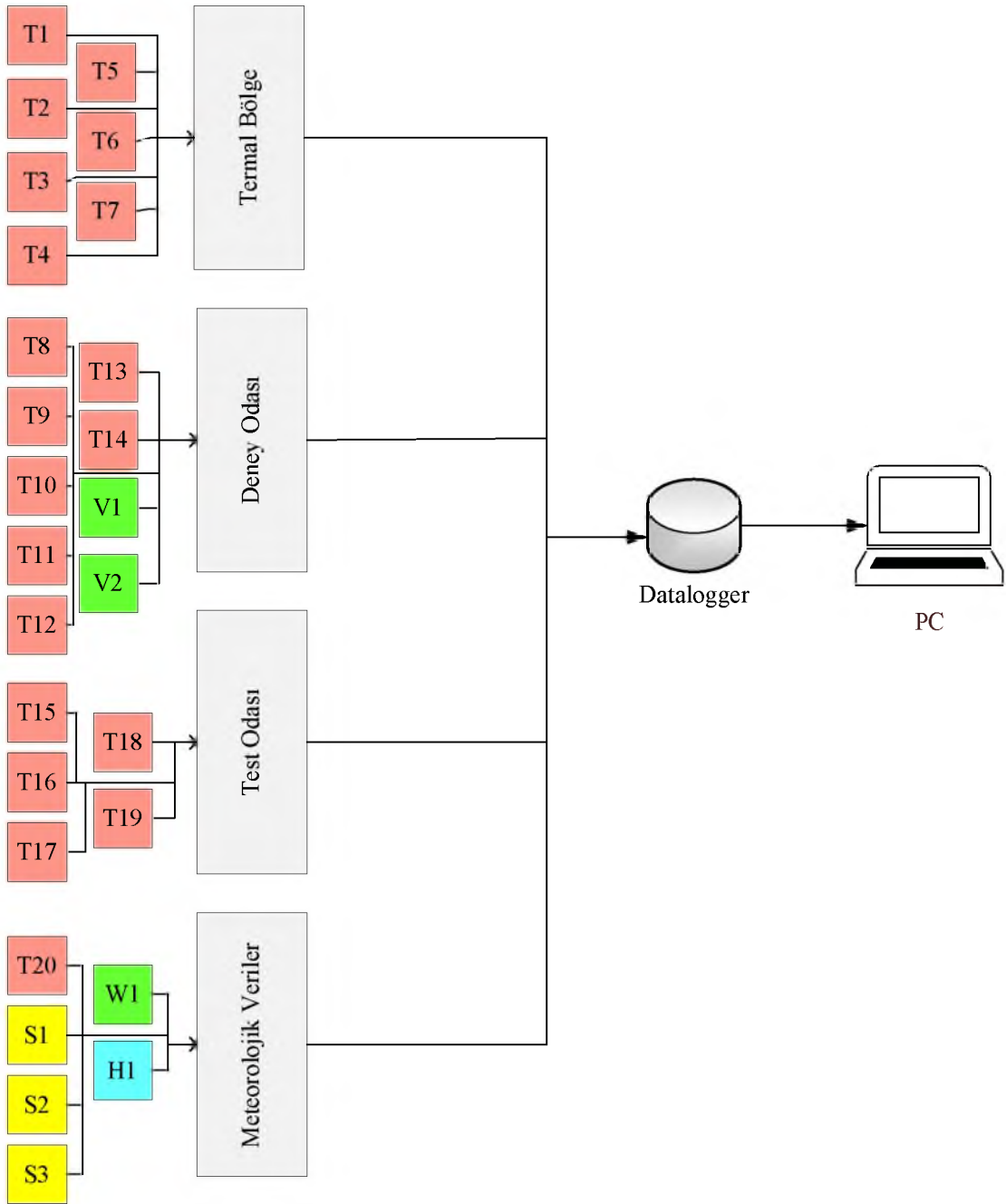
**Şekil 3.24.** Elimko-680 datalogger ve PC

### 3.1.4. Ölçüm Noktaları

Kurulan Güneş Duvarı deney düzeneğinde yirmi yedi farklı noktadan ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerde bir dakikalık arayla sıcaklık ölçümleri otuz dakikalık arayla ile de rüzgâr, nispi nem,  $0^0$ - $90^0$  global güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerleri alınmıştır. Değerleri ölçmede kullanılan ekipmanlar global güneş radyasyonu ölçmek için bir adet Solar Meter marka ışınım ölçer cihazı. Dış sıcaklık, nem miktarı ve rüzgâr hız ölçümü için bir adet Extech Marka anemometre cihazı. Deney odası ve test odası sıcaklık ölçümleri için yirmi adet K-Tipi termokupl. Akışkan hızı ölçümleri için iki adet Cem-DT-186 marka anemometre kullanılmıştır. Tablo 3.8’de ölçüm değerleri ve sıklığı gösterilmektedir. Şekil 3.25.’de ölçüm noktaları ve bağlantı şeması gösterilmektedir.

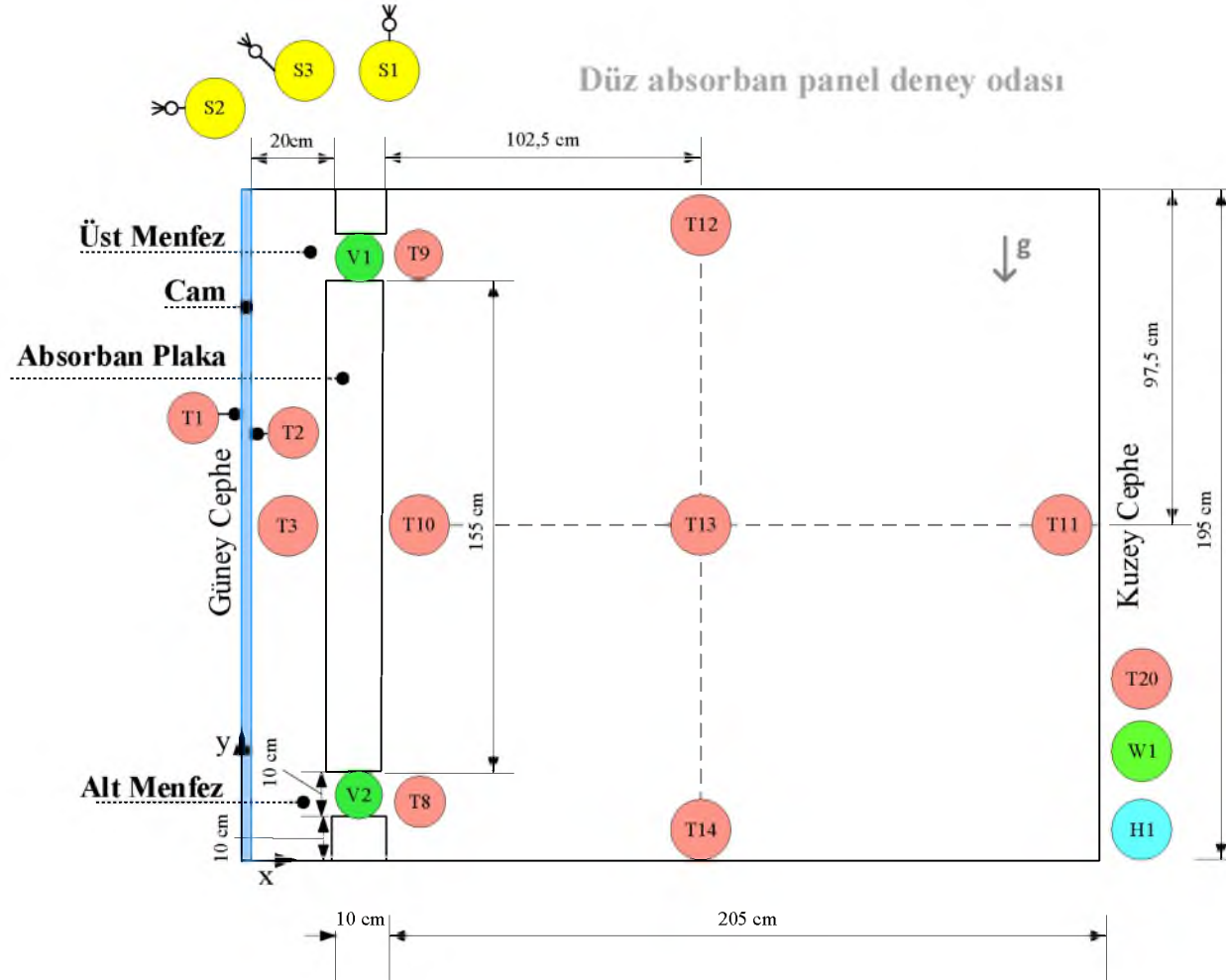
**Tablo 3.8.** Deneysel ölçüm noktaları

| Bölge        | Sıra | Birim                 | Açıklama                      | Ölçüm Aralığı |
|--------------|------|-----------------------|-------------------------------|---------------|
| Termal Bölge | T1   | $^{\circ}\text{C}$    | Dış Cam Sıcaklığı             | 1 dk          |
|              | T2   | $^{\circ}\text{C}$    | İç Cam Sıcaklığı              | 1 dk          |
|              | T3   | $^{\circ}\text{C}$    | Hava Kanalı Sıcaklığı         | 1 dk          |
|              | T4   | $^{\circ}\text{C}$    | Panel Sol Alt Sıcaklığı (Tp1) | 1 dk          |
|              | T5   | $^{\circ}\text{C}$    | Panel Sol Üst Sıcaklığı (Tp2) | 1 dk          |
|              | T6   | $^{\circ}\text{C}$    | Panel Sağ Üst Sıcaklığı (Tp3) | 1 dk          |
|              | T7   | $^{\circ}\text{C}$    | Panel Sağ Alt Sıcaklığı (Tp4) | 1 dk          |
| Deney Odası  | T8   | $^{\circ}\text{C}$    | Menfez Giriş Sıcaklığı        | 1 dk          |
|              | T9   | $^{\circ}\text{C}$    | Menfez Çıkış Sıcaklığı        | 1 dk          |
|              | T10  | $^{\circ}\text{C}$    | Güney Duvar Sıcaklığı         | 1 dk          |
|              | T11  | $^{\circ}\text{C}$    | Kuzey Duvar Sıcaklığı         | 1 dk          |
|              | T12  | $^{\circ}\text{C}$    | Üst Nokta Sıcaklığı (Tmax)    | 1 dk          |
|              | T13  | $^{\circ}\text{C}$    | Orta Nokta Sıcaklığı (T Mid)  | 1 dk          |
|              | T14  | $^{\circ}\text{C}$    | Alt Nokta Sıcaklığı (T Min)   | 1 dk          |
|              | V1   | m/s                   | Üst Menfez Hava Hızı          | 1 dk          |
| V2           | m/s  | Alt Menfez Hava Hızı  | 1 dk                          |               |
| Test Odası   | T15  | $^{\circ}\text{C}$    | Güney Duvar Sıcaklığı         | 1 dk          |
|              | T16  | $^{\circ}\text{C}$    | Kuzey Duvar Sıcaklığı         | 1 dk          |
|              | T17  | $^{\circ}\text{C}$    | Üst Nokta Sıcaklığı (Tmax)    | 1 dk          |
|              | T18  | $^{\circ}\text{C}$    | Orta Nokta Sıcaklığı (T Mid)  | 1 dk          |
|              | T19  | $^{\circ}\text{C}$    | Alt Nokta Sıcaklığı (T Min)   | 1 dk          |
| Dış Ortam    | T20  | $^{\circ}\text{C}$    | Dış Ortam Sıcaklığı           | 1 dk          |
|              | S1   | $\text{W}/\text{m}^2$ | $0^0$ Global Güneş Işınımı    | 30 dk         |
|              | S2   | $\text{W}/\text{m}^2$ | $90^0$ Global Güneş Işınımı   | 30 dk         |
|              | S3   | Saat                  | Güneşlenme Süresi             | 60 dk         |
|              | W1   | m/s                   | Rüzgar Hızı                   | 60 dk         |
|              | H1   | %                     | Nem Miktarı                   | 60 dk         |



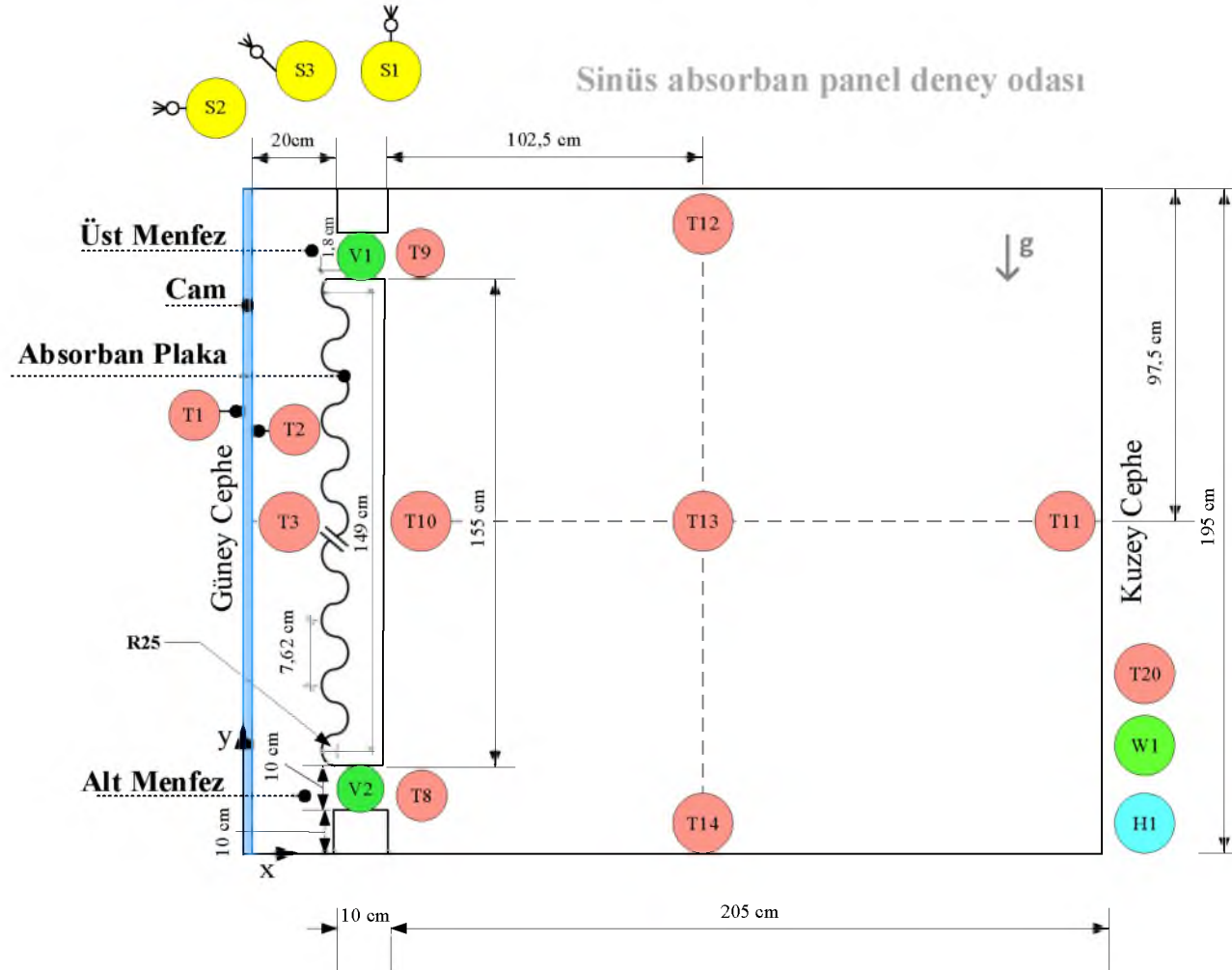
Şekil 3.25. Ölçüm noktaları ve bağlantı şeması

Deneysel ölçümler dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar termal bölge, deney odası, test odası ve meteorolojik verilerdir. Deney odası ve meteorolojik verilerin ölçüm noktaları ve konumları Şekil 3.26., Şekil 3.27., Şekil 3.28., Şekil 3.29., Şekil 3.30.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.26. Düz absorban panel deney odası ölçüm noktaları

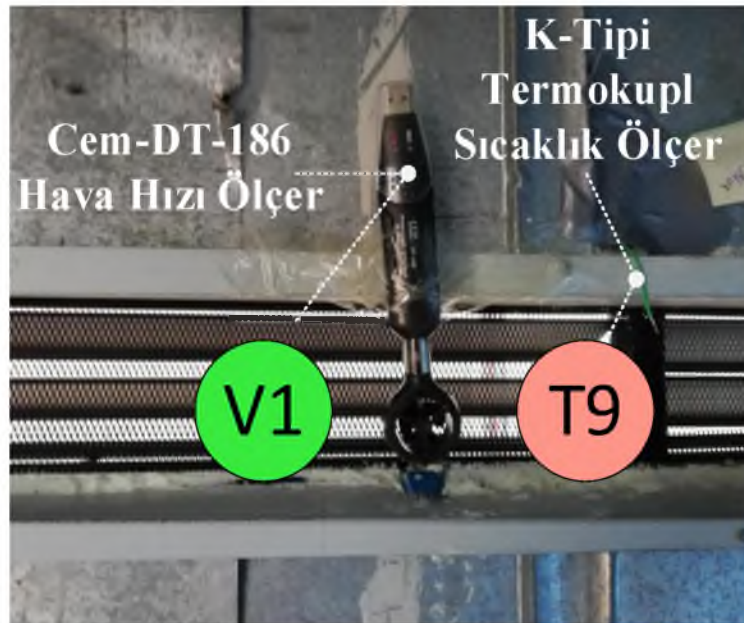




Şekil 3.28. Sinüs absorban panel deney odası ölçüm noktaları



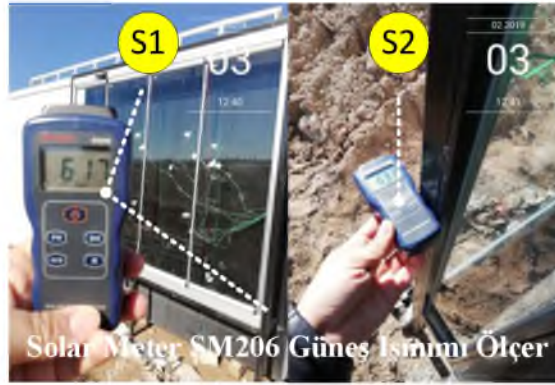
Şekil 3.29. Deney odası ölçüm ekipmanları ve konumları



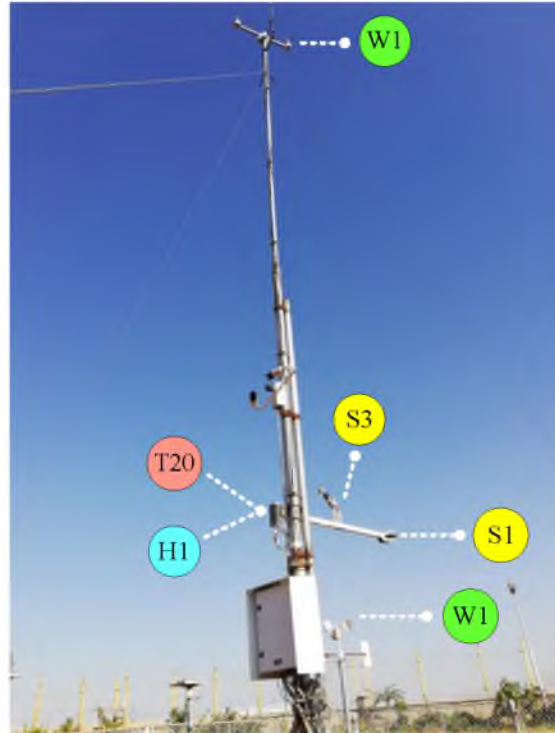
Şekil 3.30. Akış hızı ve k-tipi termokupl sıcaklık ölçüm ekipmanları



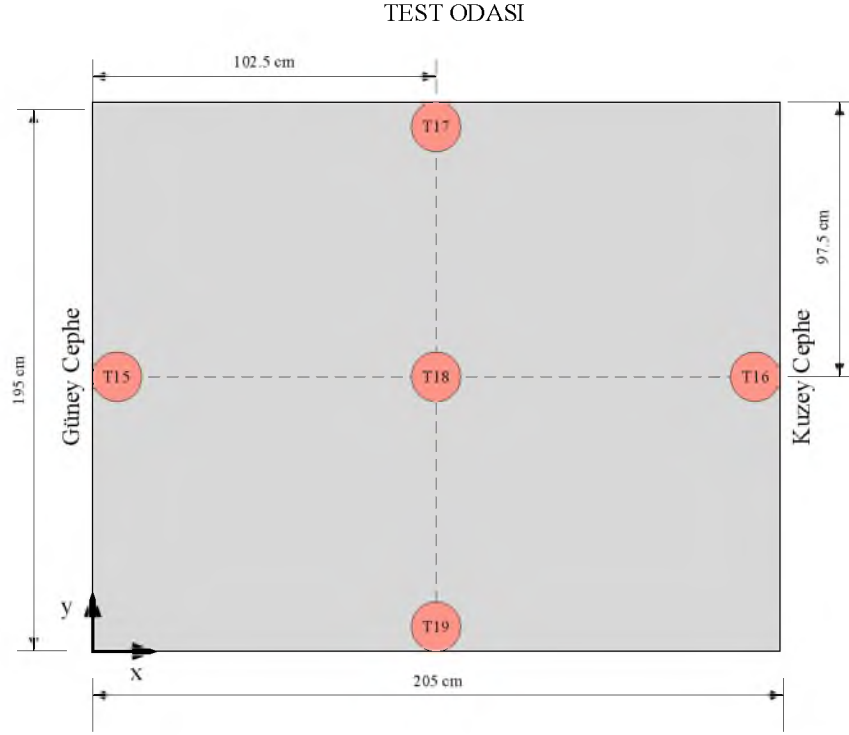
Şekil 3.31. Anemometre ölçüm cihazı



Şekil 3.32. Işınım ölçüm cihazı



Şekil 3.33. Meteorolojik ölçüm ekipmanları (MGM – 17282 istasyonu)



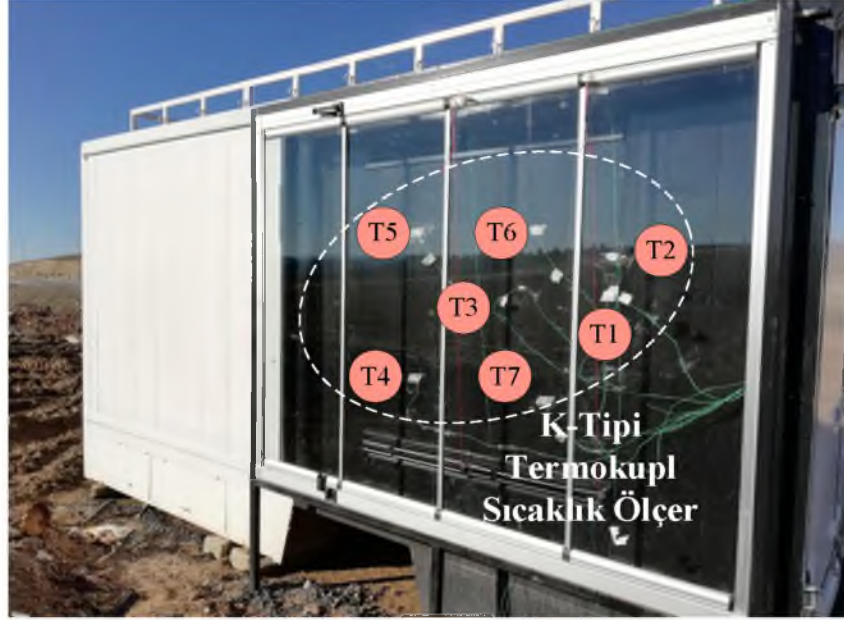
Şekil 3.34. Test odası ölçüm noktaları



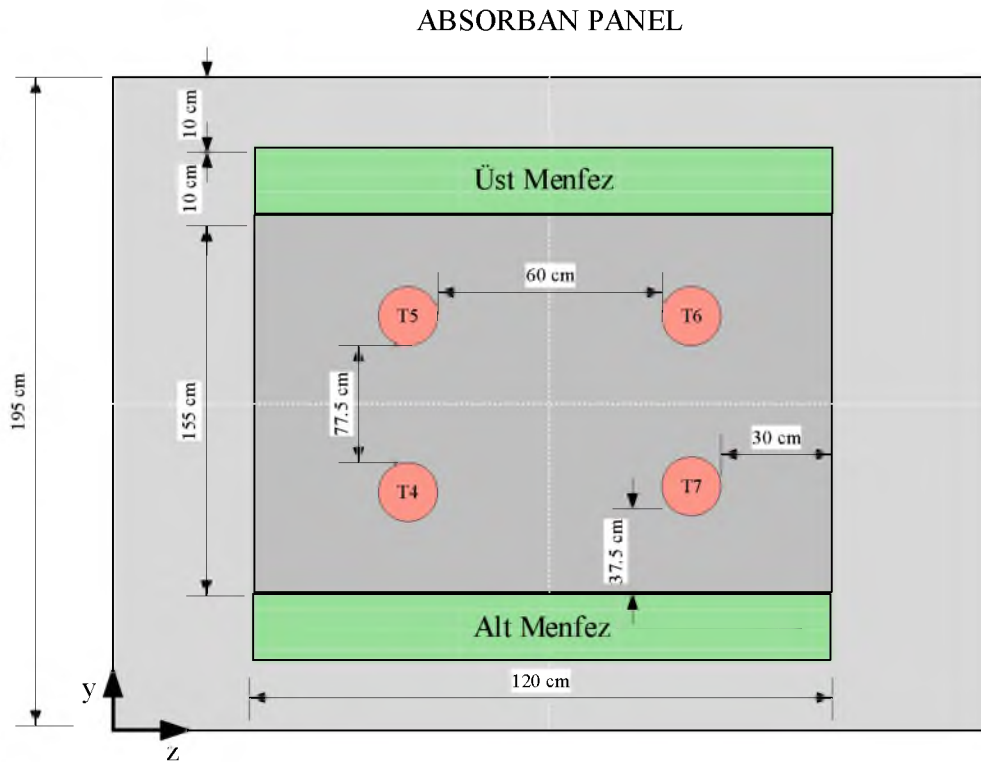
Şekil 3.35. Test odası ölçüm ekipmanları ve konumları

Test odasının ölçüm noktaları ve konumları Şekil 3.34. ve Şekil 3.35.'de gösterilmiştir.

Güneş duvarı absorban plaka üzerinde 4 farklı noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır. Şekil 3.36. ve Şekli 3.37.'de absorban plakanın yüzey sıcaklığı ölçüm noktaları görülmektedir. Panel üzerindeki ölçüm noktaları simetrik ve eşit düzende 4 farklı konumda yerleştirilmiştir.



Şekil 3.36. Termal bölge ölçüm ekipmanları ve konumları



Şekil 3.37. Güneş duvarı ölçüm noktaları

### 3.1.5. Hata Analizi

Deneyisel sonuçların doğruluğu-hassasiyeti yapılacak çalışmadaki yöntemin doğruluğunu, düzeneğin tasarımını ve verilerin değerlendirilmesindeki karşılaşılabilecek olumsuz durumlar bertaraf edilmektedir. Ölçüm cihazlarının hassasiyeti, ortam şartlarının değişkenliği ve kalibrasyon işleminin doğruluğu sonuçlara direkt olarak etki etmektedir. Bu sonuçlara etkisinin belirlenmesine yönelik kullanılan en yaygın yöntem olan “belirsizlik analizi” ile güneş duvarı modelinde meydana gelebilecek sistematik hataların düzeyi belirlenmiştir. Bu sayede sistemin güvenilirlik düzeyi ölçülmüştür (O. F. Genceli 2000).

Tez çalışmasındaki deneysel bulguların hata analizi tespit etmek için Kline tarafında sunulan “belirsizlik analizi” hesaplama yöntemi kullanılmıştır (Kline 1953). Bu yöntemde göre sistemde ölçülmesi gereken büyüklük R ve bu büyüklüğe etki eden bağımsız değişken sayısı n adet ve bağımsız değişkenler de x olsun. Bu durum denklem 3.3’de ifade edilmektedir. Toplam belirsizlik ifadesi denklem 3.4’te gösterilmiştir. Denklem 3.4 ‘deki ifadelerden  $\omega$ ’ler her bir bağımsız değişkene ait belirsizliği ifade etmektedir. R sonucuna ait toplam belirsizlik denklem 3.5’de şekliyle ifade edilmektedir. 3.5 denklemindeki her alt bir değere ait belirsizlik  $(U_i = \frac{\partial x_i}{x_i})$  olarak ifade edilirse denklem 3.6 biçimini almaktadır.

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3.3)$$

$$\omega_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} \omega_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial R}{R} = \left[ \left( \frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{x_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} \frac{\partial x_n}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

$$U_R = \left[ \left( \frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} U_1 \right)^2 + \left( \frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} U_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} U_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

Bu tez çalışmasında deneysel olarak ışınlım, sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Nusselt ve Rayleigh sayısının hesabındaki hata analizi parametreleri sırasıyla listelenmiştir.

#### ***Işınım ölçümündeki belirsizlikler;***

$U_1$  = Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,5

$U_2$  = Işınım ölçer hatası %5

$U_3 =$  Işınım ölçer açısal konum ölçüm hatası %1

$U_H =$  %5,12

***Sıcaklık ölçümündeki belirsizlikler;***

$U_1 =$  Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,5

$U_2 =$  Termokupl hatası %1

$U_3 =$  Termokupl konum hatası %0,5

$U_S =$  %1,22

***Hız ölçümündeki belirsizlikler;***

$U_1 =$  Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,2

$U_2 =$  Hız ölçer hatası %3,5

$U_3 =$  Hız ölçer konum hatası %1

$U_4 =$  Hız ölçer sıcaklık değişim hatası %0,5

$U_V =$  %3,67

***Rayleigh sayısının hesaplanmasındaki belirsizlik;***

$Ra = f(\beta, \alpha, \nu, T_\infty, T_w, L)$

$U_\beta =$  Isıl genleşme katsayısı  $\approx$  sıcaklıkla aynı %1,22

$U_\alpha =$  Isıl yayılım katsayısı hatası %2

$U_\nu =$  kinematik viskozite hatası %2

$U_{T_\infty} =$  Sıcaklık hatası %1,22

$U_{T_w} =$  Sıcaklık hatası %1,22

$U_L =$  Uzunluk ölçüm hatası %0,03

$U_{Ra} =$  %3,53

***Nusselt sayısının hesaplanmasındaki belirsizlik;***

$Nu = f(\dot{m}, C_p, \Delta T, Dh, Ak, LOSF, k)$

$U_{\dot{m}} =$  Havanın kütleli debi hesabı hatası %3,68

$U_{C_p} =$  Havanın özgül ısı hatası %2

$U_{\Delta T} =$  Sıcaklık farkı hatası %1,72

$U_{Dh} =$  Hidrolik çap hesabı hatası %0,35

$U_{Ak} =$  Alan ölçümü hatası %0,05

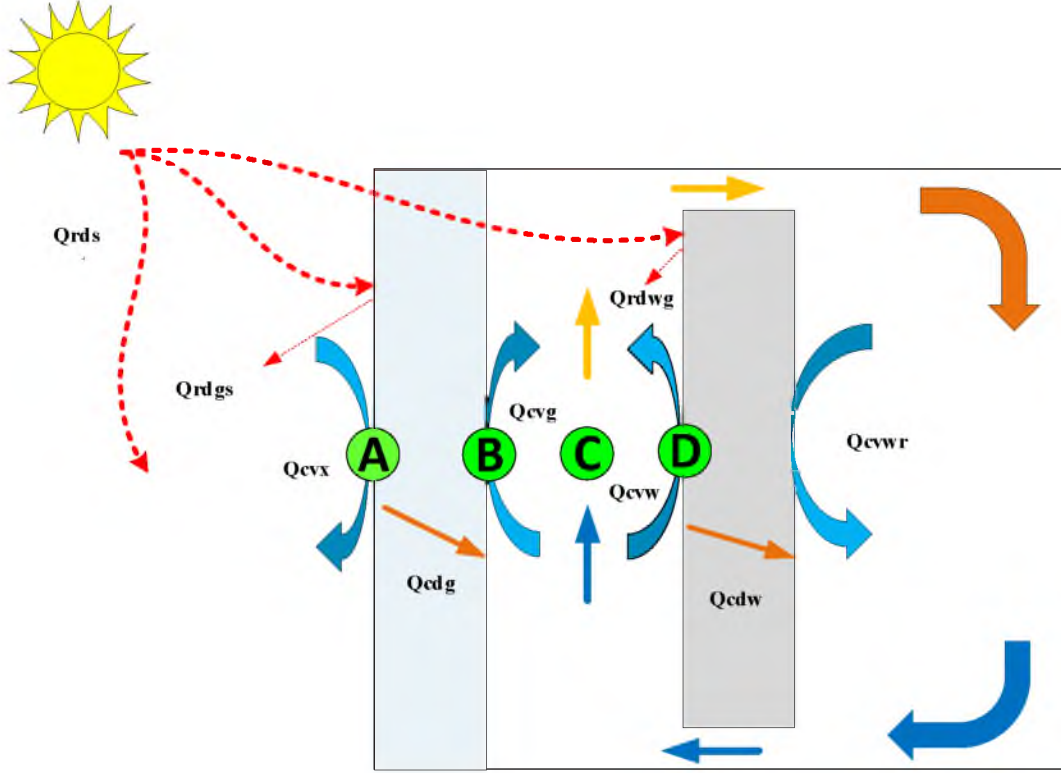
$U_{LOSF} =$  Logaritmik sıcaklık farkı hatası %3,45

$U_k =$  Havanın ısı iletim katsayısı hatası %2

$U_{Nu} =$  %6,04

### 3.2. Matematiksel Hesaplamalar

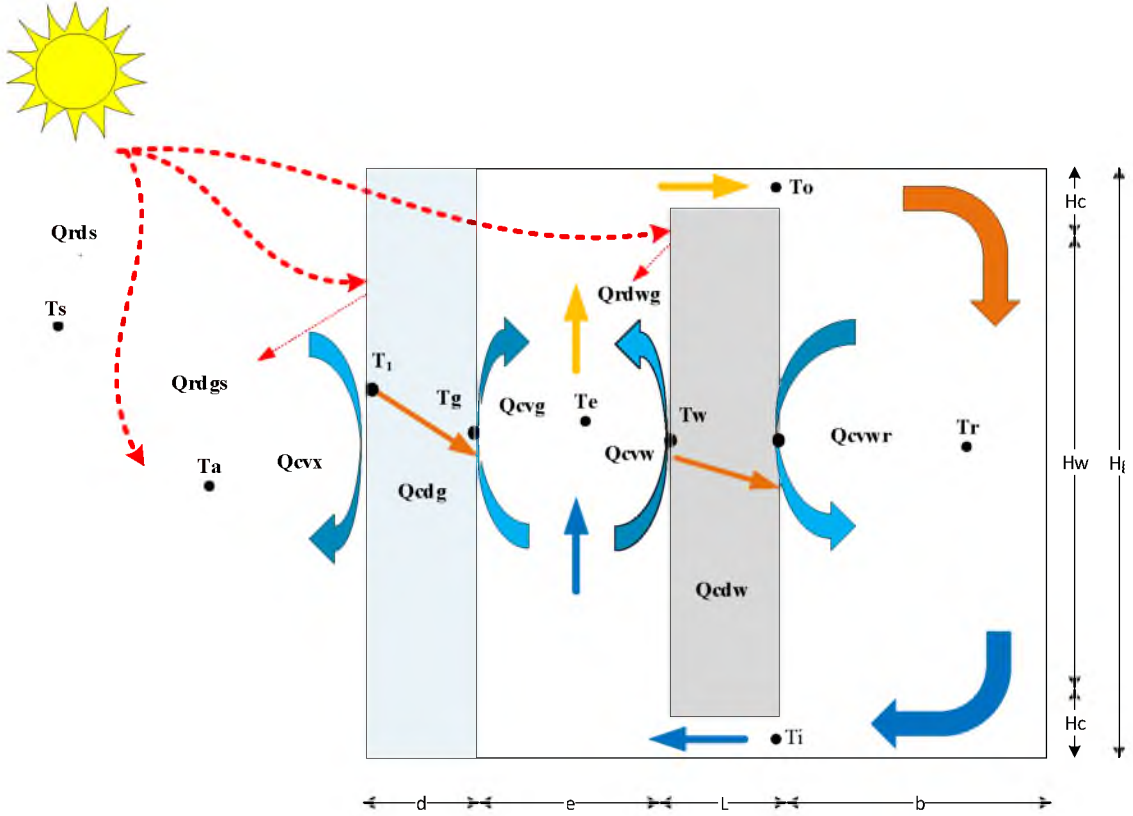
Bu tez çalışmasında kullanılan Güneş Duvarı Modelinin tek boyutlu enerji dengesi 4 farklı noktada, 3 bölüm de yapılacaktır. Bu bölümler camın dış yüzeyi, hava kanalı ve güneş paneli yüzeyidir. Bölüm 1.4.1’de bahsedilen ısı enerji dengesi bileşenleri Şekil 3.34. ‘de iletim, taşınım ve ışıma bağlı olarak sentezlenmiştir.



Şekil 3.38. Güneş duvarına etkiyen ısı bileşenleri

- $Q_{rds}$ : Güneş ışımasının ısı enerjisi
- $Q_{cvx}$ : Çevreden, cam dış yüzeyine taşınım ile etki eden ısı enerjisi
- $Q_{rdgs}$ : Camdan, çevreye yansıyan ışımanın ısı enerjisi
- $Q_{cdg}$ : Camdan, hava kanalına iletilen ısı enerjisi
- $Q_{cvg}$ : Camın iç yüzeyinden, hava kanalına taşınım ile etki eden ısı enerjisi
- $Q_{cww}$ : Güneş duvarı iç yüzeyinden, hava kanalına taşınım ile etki eden ısı enerjisi
- $Q_{rdwg}$ : Güneş duvarı iç yüzeyinden, cam-hava kanalına yansıyan ışımanın ısı enerjisi
- $Q_{cdw}$ : Güneş duvarından, odaya iletilen ısı enerjisi
- $Q_{cvwr}$ : Güneş duvarı dış yüzeyinden odaya taşınım ile iletilen ısı enerjisi

Güneş duvarının enerji dengesi, her bölümün iç ve dış sıcaklıkların birer fonksiyonudur. Bu bölümler arasında meydana gelen enerji değişimi sıcaklık farklılıklarına sebep olmaktadır. Güneş Duvarı hesaplamalarında sistemin enerjisine etki eden en önemli bileşen hava olmaktadır. Isı transfer türlerinden iletim katılarda, taşınım katı ve havalarda, ışıınım katı yüzeylerde gerçekleşmektedir. Şekil 3.39.'da sıcaklık bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 3.39. Güneş duvarına etkiyen ısı parametreleri

- d: Cam yüzey
- e: Hava kanalı
- L: Masif kütle
- b: Deney odası genişliği
- H<sub>c</sub>: Menfez yüksekliği
- H<sub>w</sub>: Masif kütle yüksekliği
- H<sub>g</sub>: Deney odası yüksekliği

### 3.2.1. A Noktası Enerji Dengesi

Bu bölümde yer alan ısı bileşenler dış ortamda bulunan cam yüzeyinde gerçekleşen ısı, radyasyon ve termal bileşenlerden oluşmaktadır (Cengel 2014; Kalogirou 2013; 2004; Bergman vd. 2011; John A. Duffie, Beckman, ve Blair 2020).

$$Q_{rds} + Q_{cvx} = Q_{cdg} + Q_{rdgs} \quad (3.7)$$

$$Q_{rds} = \alpha_g A_g H_T \quad (3.8)$$

$$Q_{cvx} = h_{cvx} A_g (T_1 - T_a) \quad (3.9)$$

$$Q_{cdg} = \frac{k_g}{d} A_g (T_1 - T_g) \quad (3.10)$$

$$Q_{rdgs} = h_{rdgs} A_g (T_1 - T_a) \quad (3.11)$$

$$\alpha_g H_T A_g + h_{cvx} A_g (T_1 - T_a) = \frac{k_g}{d} A_g (T_1 - T_a) + h_{rdgs} A_g (T_1 - T_a) \quad (3.12)$$

$$\alpha_g H_T + h_{cvx} (T_1 - T_a) = \frac{k_g}{d} (T_1 - T_a) + h_{rdgs} (T_1 - T_a) \quad (3.13)$$

$$h_{rdgs} = \varepsilon_g \sigma (T_s^2 + T_1^2)(T_s + T_1) \frac{(T_1 + T_s)}{(T_1 + T_a)} \quad (3.14)$$

$$T_s = 0,0552 T_a^{1,5} \quad (3.15)$$

- $\alpha_g$  = Cam soğurma (absorbe) miktarı
- $H_T$  = Global güneş ışınımı miktarı
- $\varepsilon_g$  = Cam yayma (emissivity) miktarı (0,94)
- $T_s$  = Güneş sıcaklığı (6000 °K)
- $T_a$  = Atmosfer sıcaklığı

### 3.2.2. B Noktası Enerji Dengesi

Bu bölümde yer alan ısı bileşenler termal bölgede bulunan cam yüzeyinde gerçekleşen ısı, radyasyon ve termal bileşenlerden oluşmaktadır (Cengel 2014; Kalogirou 2013; 2004; Bergman vd. 2011; John A. Duffie, Beckman, ve Blair 2020; Kays 2011; Faghri, Zhang, ve Howell 2010).

$$Q_{cdg} + Q_{rdwg} - Q_{cvg} = 0 \quad (3.16)$$

$$Q_{cdg} = \frac{k_g}{d} A_g (T_1 - T_g) \quad (3.17)$$

$$Q_{rdwg} = h_{rdwg} A_k (T_w - T_g) \quad (3.18)$$

$$Q_{cvg} = h_{cvg} A_g (T_g - T_e) \quad (3.19)$$

$$\frac{k_g}{d} A_g (T_1 - T_g) + h_{rdwg} A_k (T_w - T_g) - h_{cvg} A_g (T_g - T_e) = 0 \quad (3.20)$$

$$h_{cvg} = \frac{Nu_g k_g}{H_g} \quad (3.21)$$

$$Nu_g = f(Ra) \quad (3.22)$$

$$Ra_g = f(Gr Pr) \quad (3.23)$$

$$Gr = \frac{\beta g \rho^2 H_g^3 (T_g - T_e)}{\mu^2} \quad (3.24)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{Cp \mu}{k} \quad (3.25)$$

$$\beta = f(T_e); \rho = f(T_e); \mu = f(T_e); k = f(T_e); Cp = f(T_e) \quad (3.26)$$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{\rho} \frac{p}{R T_e^2} = \frac{1}{T_e} \quad (3.27)$$

$$T_e = \frac{T_g + T_w}{2} \quad (3.28)$$

$$h_{rdwg} = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_g \sigma A_k (T_w^2 + T_g^2)(T_w + T_g)}{\varepsilon_w + \varepsilon_g - \varepsilon_w \varepsilon_g} \quad (3.29)$$

- Nu = Nusselt sayısı
- Ra<sub>g</sub> = Cam-hava rayleigh sayısı
- Pr = Te sıcaklığına bağlı prandtl sayısı
- ε<sub>w</sub> = Duvar yayma (emissivity) miktarı (0,98- siyah metal)
- β = Genleşme katsayısı (1/°C)

- $\alpha$  = Havanın ısı yayılım katsayısı ( $m^2/s$ )
- $\nu$  = Havanın kinematik viskozite ( $m^2/s$ )
- $\rho$  = Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
- $\mu$  = Havanın dinamik viskozite ( $kgm^{-1}s^{-1}$ )
- $k$  = Havanın ısı iletkenlik katsayısı ( $W/m.K$ )
- $C_p$  = Havanın özgül ısı kapasitesi ( $J/kg.K$ )
- $T_e$  = Hava kanalındaki akışkanın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
- $A_g$  = Cam yüzeyinin alanı ( $m^2$ )

### 3.2.3. C Noktası Enerji Dengesi

Bu bölümde yer alan ısı bileşenler hava kanalı ortamında gerçekleşen ısı, radyasyon ve termal bileşenlerden oluşmaktadır (Cengel 2014; Kalogirou 2013; 2004; Bergman vd. 2011; John A. Duffie, Beckman, ve Blair 2020).

$$Q_{cvg} + q_c - Q_{cvw} = 0 \quad (3.30)$$

$$Q_{cvg} = h_{cvg} A_g (T_e - T_g) \quad (3.31)$$

$$\dot{q}_c = \frac{\dot{m} C_p}{\gamma A_c} (T_e - T_i) \quad (3.32)$$

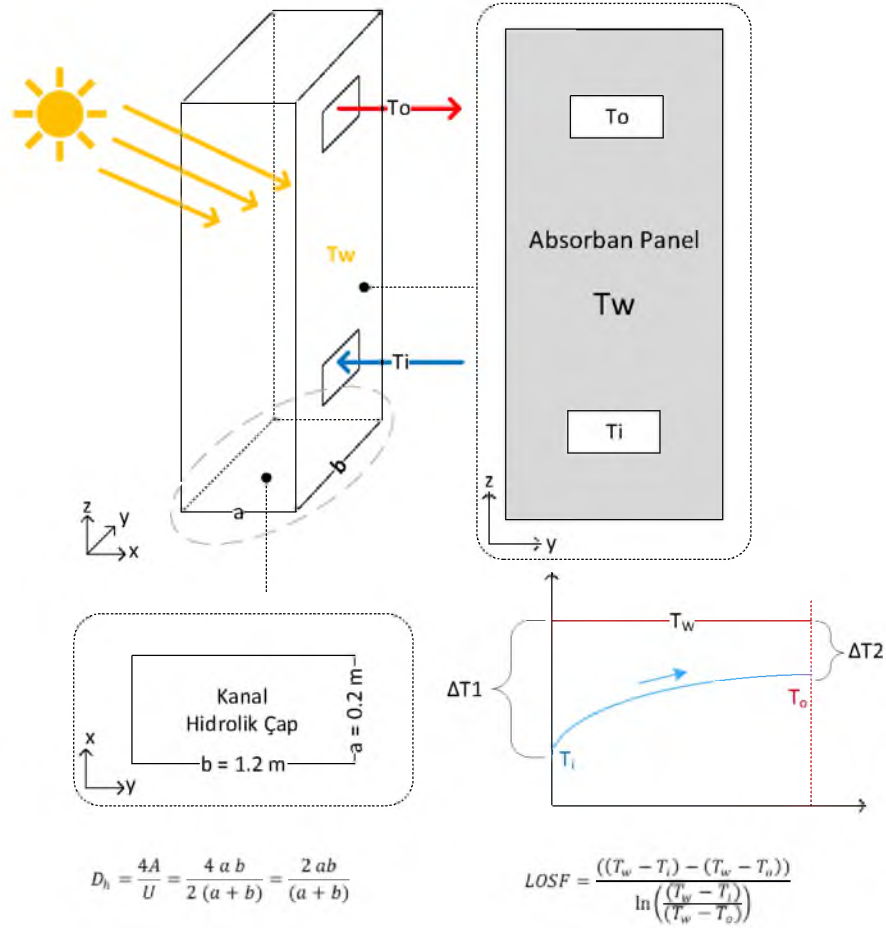
$$Q_{cvw} = h_{cvw} A_w (T_w - T_e) \quad (3.33)$$

$$h_{cvg} A_g (T_e - T_g) + \frac{\dot{m} C_p}{\gamma A_c} (T_e - T_i) - h_{cvw} A_k (T_w - T_e) = 0 \quad (3.34)$$

$$T_e = T_o \gamma + (1 - \gamma) T_i \quad (3.35)$$

$$\dot{m} = C_d H_c^2 \sqrt{\frac{2 g (H_g - H_c)(T_e - T_r)}{T_r}} \quad (3.36)$$

- $\dot{q}_c$  = Hava kanalındaki ortalama ısı akışı
- $C_d$  = Direnç katsayısı (0,6)
- $\gamma$  = Hava kanalındaki hız (m/s)
- $T_r$  = Odanın sıcaklığı



Şekil 3.40. C noktası kanal hidrolik çap

Şekil 3.40.'da Nusselt değerinin bulunmasına yönelik hesaplanan ısı bileşenler gösterilmektedir. İlk aşamada iki menfez arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan  $Q_u$  ısı bileşeni debi ve  $C_p$  değerleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Daha sonra ikinci aşamada bu değer Newtonun soğuma yasası olarak adlandırılan bağıntıya eşitlenir ve  $h$  taşınım katsayısı hesaplanır. Üçüncü aşamada boyutsuz olarak tanımlanan Nusselt ( $Nu$ ) bağıntısında formülüne edilir.

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (3.37)$$

$$Nu = \frac{\partial\theta}{\partial y} = \frac{h_{cv} g D_h}{k} \quad (3.38)$$

$$Q_u = h A_k LOSF = \dot{m} C_p (\Delta T) \quad (3.39)$$

$$D_h = \frac{4A}{U} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{(a+b)} \quad (3.40)$$

$$LOSF = \frac{((T_w - T_i) - (T_w - T_o))}{\ln\left(\frac{(T_w - T_i)}{(T_w - T_o)}\right)} \quad (3.41)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{A_k H} \quad (3.42)$$

- $\dot{m}$  = Havanı kütlelel debisi (kg/s)
- $C_p$  = Havanın özgül ısısı (J/kg K)
- $T_o$  = Havanın kanaldan çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}$ K)
- $T_i$  = Havanın kanala giriş sıcaklığı ( $^{\circ}$ K)
- $\theta$  = Sıcaklık farkı
- $h$  = Havanın taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup> K)
- $k$  = Havanın ısı iletim katsayısı (W/m<sup>2</sup> K)
- $LOSF$  = Logaritmik sıcaklık farkı
- $D_h$  = Hidrolik çap
- $A_k$  = Kolektör alanı (m<sup>2</sup>)
- $\eta$  = Verim

### 3.2.4. D Noktası Enerji Dengesi

Bu bölümde yer alan ısı bileşenler termal bölgede bulunan absorban plakada gerçekleşen ısı, radyasyon ve termal bileşenlerden oluşmaktadır (Cengel 2014; Kalogirou 2013; 2004; Bergman vd. 2011; John A. Duffie, Beckman, ve Blair 2020; Kays 2011; Faghri, Zhang, ve Howell 2010).

$$Q_{rds} = Q_{rdwg} + Q_{cvw} - Q_{Ub} \quad (3.43)$$

$$Q_{rds} = A_g \alpha_g \tau_g H_T \quad (3.44)$$

$$Q_{rdwg} = h_{rdwg} A_w (T_w - T_g) \quad (3.45)$$

$$Q_{cvw} = h_{cvw} A_w (T_w - T_e) \quad (3.46)$$

$$h_{cvg} = \frac{Nu_w k_w}{H_w} \quad (3.47)$$

$$Q_{Ub} = U_b A_w (T_w - T_e) \quad (3.48)$$

$$A_g \alpha_g \tau_g H_T = h_{rdwg} A_w (T_w - T_g) + h_{cvw} A_w (T_w - T_e) + U_b A_w (T_w - T_e) \quad (3.49)$$

$$h_{rdwg} = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_g A_w (T_w^2 - T_g^2) (T_w + T_g)}{\varepsilon_w + \varepsilon_g - \varepsilon_w \varepsilon_g} \quad (3.50)$$

$$U_b = \frac{1}{\left( \frac{L}{k_w} + \frac{1}{h_{cvwr}} \right)} \quad (3.51)$$

$$h_{cvwr} = \frac{k_w}{b A_w} \quad (3.52)$$

- $\tau_g$  = Cam geçirgenlik miktarı (0,80)

### 3.2.5. Havanın Termodinamik Özellikleri

Güneş Duvarı sistemindeki ısı akışkan havanın sahip olduğu temel özellikler sıcaklık dalgalanmalarıyla değişmektedir. Değişen bu değerler; yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ), özgül ısı ( $\text{J/kg K}$ ), ısı iletim katsayısı ( $\text{W/m.K}$ ), ısı yayılım katsayısı ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), dinamik viskozite ( $\text{kg/m.s}$ ), kinematik viskozite ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ve prandtl sayısı olmaktadır. Deneysel çalışmadaki 1 atm basınçta ve  $0^\circ\text{C}$  ile  $120^\circ\text{C}$  arasında değişen sıcaklık koşullarının özellikleri geliştirilen eğrilerle daha kararlı tahminler yapılmıştır. Geliştirilen denklemlerin ( $R^2 \geq 1$ ) istatistiksel açıdan mükemmelere yakındır. EK-2'de tablo değerleri ve korelasyonlar mevcuttur.

### 3.3. Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE)

Bilgisayar destekli mühendisliğin doğrulama, iyileştirme, optimizasyon tasarım çıktılarının doğrulanması ve/veya alternatiflerinin karşılaştırması olup bu alandaki uygulamalarda kullanılan araçlardır. Genel matematiksel eşitliklerden oluşturulan basit hesaplayıcılardan, kompleks kapsamlı paket programlara kadar çeşitli matematik araçlarını kapsamaktadır. Mühendislik açısından avantajları;

- Tasarımlar, fiziksel prototip testi yerine simülasyonlarla değerlendirilebilir ve geliştirilebilir böylece ekonomiklik ve zaman tasarrufu sağlanır.
- CAE, tasarım değişikliklerinin yapılması daha düşük maliyetli olduğunda geliştirme sürecinde daha önce performans bilgileri sağlayabilir.

- CAE, mühendislik ekiplerinin riski yönetmelerine ve tasarımlarının performans etkilerini anlamalarına yardımcı olur.
- Entegre CAE verileri ve süreç yönetimi, performans analizlerinden etkin bir şekilde faydalanma ve tasarımları daha geniş bir topluluğa geliştirme yeteneğini genişletir.
- Potansiyel sorunların tespit edilmesi ve ortadan kaldırılmasıyla garantiye maruz kalma riski azalır. Ürüne ve üretim gelişimine uygun şekilde entegre edildiğinde, CAE daha erken bir problem çözümünü mümkün kılabilir ve bu, ürün yaşam döngüsü ile ilişkili maliyetleri önemli ölçüde azaltabilir.

CAE için belirtilen tüm bu nedenlerden dolayı bu tezin konusunda güneş duvarına etkileyen parametrelerin analizine ANSYS-FLUENT yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım sayesinde optimum koşul ve olanaklar imkân dahilinde uyarlanabilecek ve yorumlanabilecektir. Böylece uygun ve yeterli ileri mühendislik uygulaması ile son haline getirilen bir üründe üretim sonrası sürprizler, malzeme israfı, fonksiyon eksikliği ortaya çıkmaz. Ayrıca bu sayede deneysel doğrulu sağlanan fiziksel prototipin parametrik çalışmayla ürün alternatifi oluşturabilecektir.

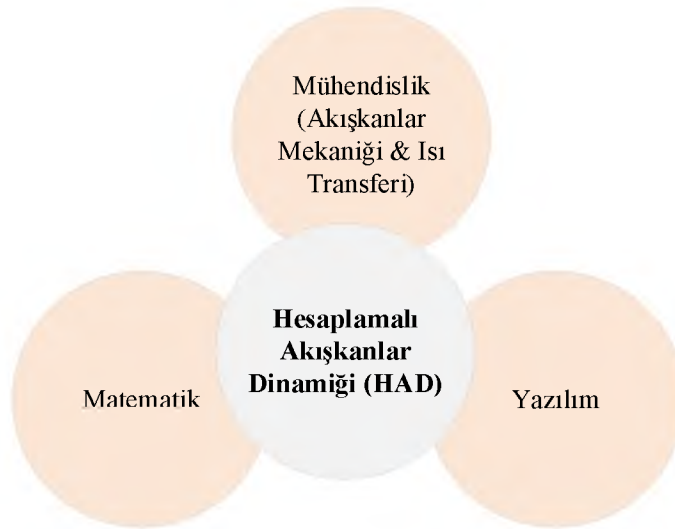
### **3.3.1 Hesaplamalı Akışkanla Dinamiği (HAD)**

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) 1980'lerde sadece aerodinamiğin havacılık ve uzay çalışmalarında yüksek teknolojik mühendislik alanlarında biliniyordu, ancak günümüzde modern mühendislik uygulamalarında karmaşık problemleri çözmek için hızla benimsenen bir metodoloji haline gelmiştir (Tu, Yeoh, ve Liu 2018).

Akışkanlar Dinamiği esasen akışkanın hareketlerinin incelenmesidir (statik-kinematik). HAD analizlerinde özellikle hareket halindeki akışkanların hareket ve davranışları incelenmekte olup, momentum, ısı transferi, türbülans, madde ve faz transferleri, yanma ve diğer kimyasal reaksiyonlar gibi birçok fiziksel durum içermektedir. Böylece HAD modellemesi bir veya birden çok alt temel bilim dalını (fizik, kimya vb.) içermektedir ve bu süreçlerin matematiksel çözümlerinin bilinmesini gerektirmektedir. Yazılımcılar bu matematiksel denklemleri çözmek için bilgisayar programlarına veya paket programa dönüştürürler.

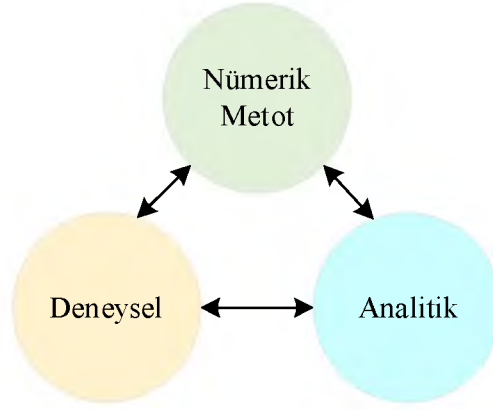
"Hesaplamalı" kısım, sayısal çözümlere ulaşmak için yüksek hızlı dijital bilgisayarlarda gerçekleştirilen bilgisayar programlarının veya yazılım paketlerinin kullanılmasını içeren sayısal simülasyonlar kullanılarak sıvı akışının incelenmesi anlamına gelir (Soğancı ve Tutkun 2019; Blazek 2015). Şekil 3.41.'de HAD etkileşimde olduğu disiplinler gösterilmektedir.

HAD çok yönlülüğü yalnızca temel bilimlere başvurudaki zenginlik ile sınırlı olmayıp, ayrıca çok disiplinli bir alan olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Yine birçok vakada başvuru yüksek başarılı hesaplama yöntemlerinden azami faydalanmak bilgi işlem alanıyla etkin bir iş birliği ve vaka donanım gereksinim ilişkilerinin kurulmasıyla mümkün olmaktadır.



Şekil 3.41. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ilgili farklı disiplinler (Tu, Yeoh, ve Liu 2018)

Mühendislikte fiziksel olayların modellenmesi için temel fenomenlerin bilinmesi gerekir. Isı transferi ve akışkanlar mekaniğinde geçerli bileşenler sıcaklık ve hız alanlarıdır. Güneş enerjisi eksenli tasarimsal modelin analizinde hacimdeki sıcaklık ve hız dağılımı problemi belirlenmelidir. HAD (nümerik metot), ısı transferi ve akışkanlar dinamiğindeki sorunları çözmek için kullanılacak üç temel yöntem veya yaklaşımdan biri haline gelmiştir. Şekil 3.42.'de gösterildiği gibi, birbiriyle güçlü bir şekilde bağlantılı olan yaklaşımlar görülmektedir. Diğer iki yöntemse ölçüm yapılması (deneysel yöntem) ve hareketi temsil eden diferansiyel denklemlerin belirlenen matematiksel yöntem dahilinde çözülmesidir (analitik yöntem).



Şekil 3.42. Tez çalışmasında kullanılan üç temel bileşen

Tez çalışmasında deneysel yöntemle elde edilen verilerin sayısal yöntem kullanılarak karşılaştırılması problemin yorumunda oldukça önemlidir. Bu sayede deneysel doğrulaması yapılan sistemde parametrik çalışmaya imkan tanımaktadır. Diğer taraftan, literatürde bir çok kişi tarafından analitik yöntemle laminer sınır tabaka problemleri (Cooke 1951; Launder 1964; Pohlhausen 1921) çözülebilsede karmaşık türbülanslı doğal taşınımın olduğu problemlerde analitik yöntemleri kullanmak imkansızdır. Çünkü doğal taşınım problemlerinde sıcaklık alanı ile hız alanı birbiriyle ilintilidir (coupled equation) ve denklemler birbirinin sebep sonuç basamağını oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu tez konusunda hem deneysel hem de sayısal metot birlikte ele alınmalıdır.

Sayısal yöntemde problemin çözümünde kartezyen koordinatlarda kontrol hacmi için korunum denkleminin genel ifadesi eşitlik 3.53 ile gösterilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\partial}{\partial x}(\Gamma\phi)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\partial}{\partial y}(\Gamma\phi)\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial}{\partial z}(\Gamma\phi)\right] + S_\phi \quad (3.53)$$

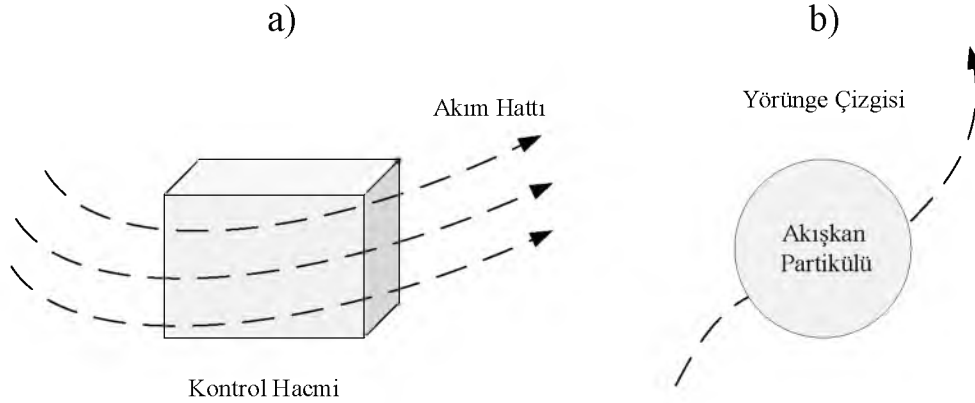
Denklemdaki,  $\phi$  bağımlı değişkeni (yoğunluk, sıcaklık, hız, konsantrasyon, dissipasyon vb.), eşitliğin sol taraftaki ilk terim bağımlı değişkenin zamana bağımlı değişimini, sol taraftaki diğer terimler bağımlı değişkenin kütle taşıma (advection) hareketini; eşitliğin sağ tarafındaki ilk üç terim bağımlı değişkenin yayılımı (diffusion), son terim ise kaynak olarak ifade edilir.  $\Gamma$  difüzyon katsayısıdır momentum denkleminde viskozite, enerji denkleminde ise ısı yayılım katsayısı değerini belirtmektedir. Tablo 3.9.'da katsayılı terimlerin değişkenleri gösterilmektedir (Wah-Yen vd. 2017; Tu, Yeoh, ve Liu 2018)

**Tablo 3.9.** Denklem 3.53'deki katsayılı terimlerin değişkenleri

| Denklem    | $\phi$ | $\Gamma$ | $S_\phi$     |
|------------|--------|----------|--------------|
| Süreklilik | 1      | 0        | $S_S$        |
| x-momentum | u      | $\mu$    | $-dp/dx+S_U$ |
| y-momentum | v      | $\mu$    | $-dp/dx+S_V$ |
| z-momentum | w      | $\mu$    | $-dp/dx+S_W$ |
| Enerji     | h      | k        | $S_T$        |

### 3.3.2 Akışkanlar Mekaniği Prensipleri

Akışkan mekaniği problemlerini analiz etmede iki farklı yaklaşım vardır. Şekil 3.43.'de birincisi alan kavramını (Kontrol Hacmi) kullanan Eulerian metodudur. Bu yaklaşımda akışkan hareketi, gerekli parametrelerin (basınç, yoğunluk, hız, vb.) basıncın ve zamanın fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Böylece, akışkan partikülleri akış alanı içindeki kontrol hacminden geçerken bu konumda neler olduğunu belirleyerek akışla ilgili bilgi ediniriz (Young vd. 2010).

**Şekil 3.43.** Akmakta olan bir akışta a) Eulerian b) Lagrangian tanımı

İkinci metod, Lagrangian metodu olarak adlandırılır. Bu metotta akmakta olan akışkan partikülünün takibine dayalıdır. Partiküllerin akışın özelliklerini nasıl değiştiği zamanın fonksiyonu olarak belirlenir. Bu amaçla, hareket halindeki akışkan partikülleri etiketlenir ve özellikleri belirlenir. Genel denklemler belirtilen her iki yöntem içinde türetilmektedir.

Güneş duvarı modelinde akışkan davranışı temel fiziksel kanunlara bağlıdır. Bu kanunlara uygun matematiksel formda ifade edilen kütle korunumu kanunu, Newton'un hareket kanunu ve termodinamik kanunların kullanılması problem çözümünde temeli oluşturmaktadır.

### 3.3.2.1 Genel Denklemler

*Kütlenin Korunumu (Süreklilik Denklemi);*

Üç boyutlu kartezyen koordinatlarda sıkıştırılmaz akışkanlar için hacim elemanına giren, çıkan ve biriken (veya azalan) kütle miktarlarının dengesi denklem 3.54'de gösterilmektedir.

$$\frac{\partial(u)}{\partial x} + \frac{\partial(v)}{\partial y} + \frac{\partial(w)}{\partial z} = 0 \quad (3.54)$$

- $u, v, w = \vec{V}$  hızının bileşenleri

*Momentum Denklemi;*

Kontrol hacmi için momentum denklemi eşitlik 3.55, eşitlik 3.56 ve eşitlik 3.57'de görülmektedir. Bu denklemlerdeki  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $t$  zaman ve  $P$  basıncı göstermektedir.

$$\rho \left( \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) = \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \quad (3.55)$$

$$\rho \left( \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) = \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y \quad (3.56)$$

$$\rho \left( \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z \quad (3.57)$$

*Enerji Denklemi;*

Termodinamiğin 1. Kanunu bir kontrol hacmi sisteminde denklem 3.58 şeklinde ifade edilmektedir. Denklemdaki  $T$  sıcaklık,  $C_p$  sabit basınçta özgül ısı,  $k$  ısı iletim katsayısı ve  $\phi$  ise disipasyon terimidir.

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho C_p T_u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho C_p T_v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho C_p T_w) = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \phi \quad (3.58)$$

### 3.3.2.2 Türbülans Modeli

Laminer rejimdeki akışlar, süreklilik, momentum ve enerji denklemleriyle analitik olarak çözümlenebilmektedir. Bir laminar akışın akım çizgilerindeki bozulmalarla ilişkili değişimlerin kaotik ve rastgele bir hareket durumuna yani türbülansa yol açabileceği bilinmektedir. Bu dalgalı akış bozuklukları yüzeylerin pürüzlülüğünden veya akışkanın serbest hareketinden meydana gelebilmektedir. Güneş duvarı modelinde sisteminin performansını belirlemede kullanılacak ısı transfer katsayısı bu dalgalanmanın seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği teknikleriyle dalgalı akışların seviyesini sayısal olarak tahmin etmek mümkündür. Bu sayede kurulacak sistemin ısı performansını test edilebilecektir.

Türbülanslı akımı çözümlerde geliştirilen sayısal yaklaşımlardan bazıları DNS (Direct Numerical Simulation), LES ve RANS yaklaşımlarıdır. Bu tez çalışmasında Reynold-Ortalama Navier-Stokes yaklaşımı (RANS) yöntemi tercih edilmiştir. Bu yaklaşım metodu daha az hesaplama süresi gerektiren ve nispeten daha az karmaşık akış türleri için kullanılmaktadır. RANS denklemlerinin çözümü için önerilen ve iç mekan hava simülasyon tercihlerinde literatürde de sıklıkla kullanılan RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Bu model standart k-ε modeline benzemekle birlikte üstünlükleri; türbülans kinetik enerji denklemlerinde daha kararludur, değişken Prandtl sayısında analitik çözüm sağlamaktadır, efektif viskozite teriminde analitik çözüm sağlamaktadır, girdabın türbülans akışındaki etkisinde daha doğru sonuçlar sağlamaktadır (Yakhot vd. 1992). RNG k-ε türbülans modelindeki, türbülans kinetik enerjisi (k) denklem 3.59'de ve kayıp oranı (ε) da denklem 3.60'da gösterilmektedir.

$$k: \rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} + w \frac{\partial k}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3.59)$$

$$\varepsilon: \rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + w \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.60)$$

Bu denklemlerdeki;  $G_k$  ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerji üretimini (Denklem 3.61),  $G_b$  kaldırma kuvvetleri tarafında oluşan türbülanslı kinetik enerjiyi (Denklem 3.62) ifade etmektedirler. Türbülans viskozitesi ise denklem 3.63 da belirtilmiştir.

$$Gk = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (3.61)$$

$$Gb = \beta g_i \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3.62)$$

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.63)$$

Bu denklemlerdeki ifadelerden  $c_\mu$ ,  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  ve  $\beta$  türbülanslı modelin sabitleri,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\varepsilon$  sırasıyla kinetik enerji ve kayıp oranı denklemlerindeki Prandtl sayılarıdır (Long vd. 2019).

- $c_\mu = 0,0845$
- $C_{1\varepsilon} = 1,42$
- $C_{2\varepsilon} = 1,68$
- $\beta = 0,012$
- $\sigma_k = 0,85$
- $\sigma_\varepsilon = 0,85$

### 3.3.2.3 Bousineq Yaklaşımı

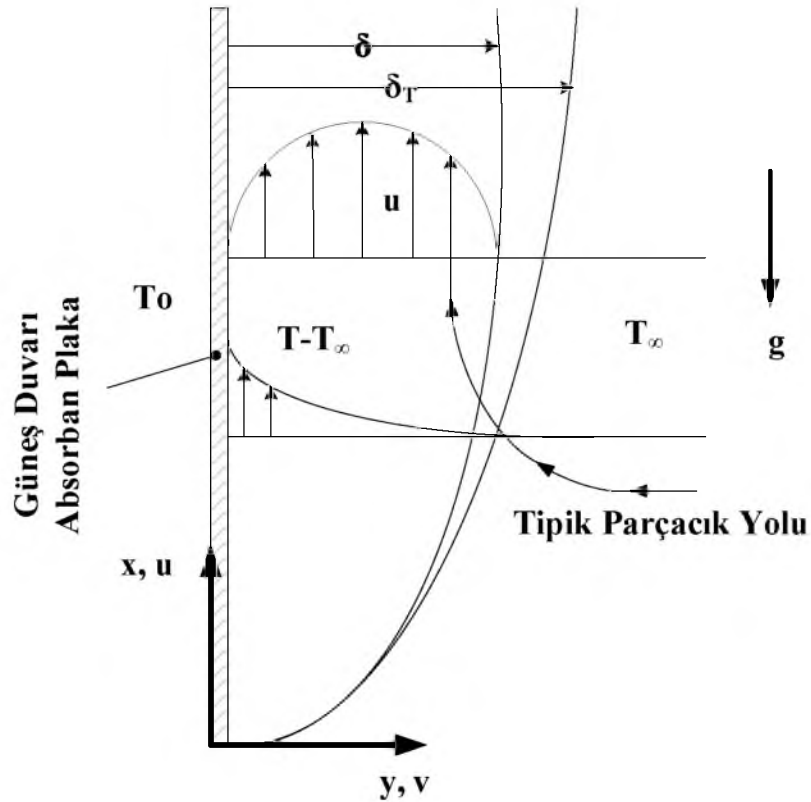
Sıvılarda, hareketi tanımlamak için tipik olarak gereken dinamik değişkenler hız, basınç, viskozite ve yoğunluktur. Yoğunluk, sıkıştırılabilirlik gibi akışkan özelliklerini belirlediği için akışkanlarda önemli kriterdir. Akışkanlardaki yoğunluk değişimlerinin karmaşıklığından dolayı bazı varsayımlar getirilmiştir. Bu varsayımlardan biri, kaldırma kuvvetine dayalı akışlar alanında kullanılan Boussinesq yaklaşımıdır (Boussinesq 1904). Tez çalışmasında oluşturulan Güneş duvarı modelinde akış hareketinin tek parametresi, sıcaklık farklarından kaynaklanan kaldırma kuvvetidir. Gerçekçi akış parametrelerini gözlemlemek için kaldırma kuvveti analiz edilmelidir. Bu amaçla literatürde ve CFD programın tavsiye ettiği yöntem olan “doğal taşınımında Boussinesq yaklaşımı teorisi” kullanılmıştır (Fluent 2011).

Boussinesq yaklaşımında akışkanlarda yoğunlukları daha ağır ve daha hafif olan sırasıyla  $\rho_1$  ve  $\rho_2$  olan iki akışkanın oranları boyutsuz Atwood (At) sayısı ile denklem 3.64’de gösterilmektedir.

Boussinesq yaklaşımı bu yoğunluk farkıyla alakalıdır ve aynı zamanda akışın tüm ivmelerinin yerçekimi ivmesine ( $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ ) kıyasla küçük olduğu varsayımını kabul etmektedir.

$$At = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (3.64)$$

Şekil 3.44.'de güneş duvarının etrafında akışkanın hareketinin doğal taşınım etkisi görülmektedir. Levha etrafındaki doğal ısı taşınımı, sıcaklıkla değişen akışkan yoğunluğunun yerçekimi etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Gerçekte yoğunluğun  $\Delta\rho$  kadar değişiminin, sonsuzdaki  $\rho_\infty$  yoğunluğuna oranı çok küçüktür ( $\Delta\rho/\rho_\infty \ll 1$ ). Fakat bu küçük değişim momentum denklemindeki dış kuvveti oluşturmaktadır (O. F. Genceli 2002).



Şekil 3.44. Sıcak düşey levha etrafında laminar doğal ısı taşınımı

Boussinesq yaklaşımı doğal ısı taşınımında temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki momentum denklemindeki yoğunluk terimi ( $\rho$ ) dışındaki bütün terimlere sıcaklığın etkisi göz ardı edilmesi. İkincisi ise yoğunluğun sıcaklıkla değişimidir ve denklem 3.65 ile gösterilmektedir.

Bu eşitlikteki ısı genleşme katsayısı ( $\beta$ ) denklem 3.66 ile gösterilmektedir. İdeal gazlarda  $\beta$  değeri denklem 3.67’de gösterilmektedir.

$$\Delta\rho = \rho_\infty - \rho = \rho\beta(T - T_\infty) \quad (3.65)$$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial\rho}{\partial t} \right)_p \quad (3.66)$$

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (3.67)$$

Boussinesq yaklaşımı uygulanan Güneş duvarı modelinde; panel sabit sıcaklıkta akış, sürekli rejimde-Newtonien-iki boyutlu laminar-dış akış kabulünde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri türetilmiştir.

Sürekli rejimde iki boyutlu laminar doğal ısı taşınımı halinde süreklilik denklemi 3.68’de gösterilmektedir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.68)$$

Momentum denkleminde gövde kuvveti x doğrultusunda olup  $F_x = -\rho g$  alınmaktadır. Bu durumda momentum denklemi eşitlik 3.69’da gösterilmektedir. y yönünde gövde kuvveti sıfır alınır. Cidar şartları Tablo 3.10. de gösterilmektedir.

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\rho g - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3.69)$$

**Tablo 3.10.** Levha üzerindeki cidar şartları

| X-Y | U-V   | T                |
|-----|-------|------------------|
| x=0 | u=0   | T=T <sub>∞</sub> |
| y=0 | u=v=0 | T=T <sub>0</sub> |
| y=∞ | u=0   | T=T <sub>∞</sub> |

Eşitlik 3.69 ‘a  $x=y \rightarrow \infty$  için  $u=v=(\partial^2 u)/(\partial y^2) = 0$  ve  $\rho = \rho_\infty$  olduğu uygulanırsa.  $\partial P/\partial x = -\rho_\infty g$  ifadesi elde edilir. Bu durumda momentum denklem 3.70’da gösterilmektedir. Enerji denklemi 3.71 ile ifade edilmektedir.

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -g(\rho - \rho_\infty) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3.70)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3.71)$$

Benzerlik yaklaşımıyla denklem 3.69, 3.70 ve 3.71'deki ile Tablo 3.11.'deki cidar şartlarına göre benzerlik yaklaşımı yapılabilmektedir. Bu yaklaşımdaki  $\Psi$  cereyan fonksiyonu olup süreklilik denklemi sağlanmış olmaktadır. Momentum ve Enerji eşitlikleri sırasıyla denklem 3.72 ve 3.73'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.11.** Boyutsuz cidar şartları

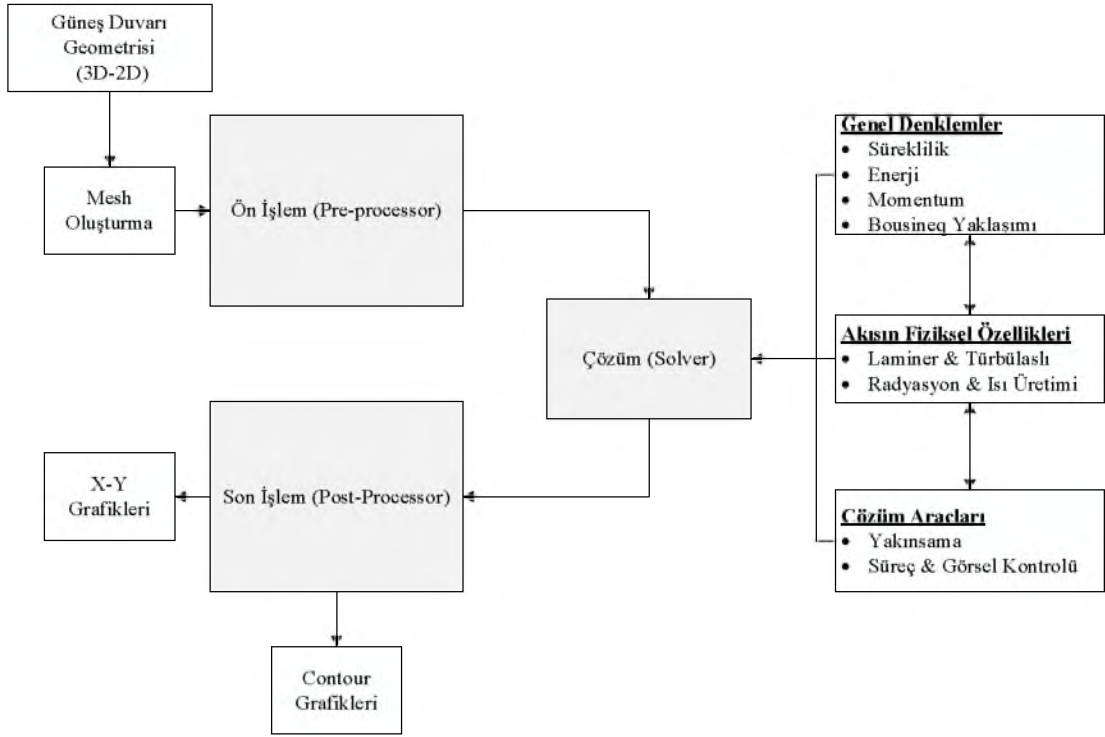
| Birim    | Değer                             |
|----------|-----------------------------------|
| u        | $\partial\psi/\partial y$         |
| v        | $\partial\psi/\partial x$         |
| $\theta$ | $(T - T_\infty)/(T_0 - T_\infty)$ |

$$\frac{\partial\psi}{\partial y} \frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial y} - \frac{\partial\psi}{\partial x} \frac{\partial^2\psi}{\partial x\partial y^2} = g\beta(T_0 - T_\infty)\theta + \nu \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} \quad (3.72)$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial y} \frac{\partial\theta}{\partial x} - \frac{\partial\psi}{\partial x} \frac{\partial\theta}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} \quad (3.73)$$

### 3.3.3 Model Simülasyonu

Tezde kullanılan Güneş Duvarının simülasyon modelinin geliştirilmesi deneysel verilerden elde edilen bilgilerin doğrulmasında kullanılmaktadır. Bu amaçla üç aşamada gerçekleşen sayısal metot süreci sırasıyla ön işlemler (pre-processing), çözüm (solution/run) ve son işlemler (post-processing) olmaktadır. Şekil 3.45.'de akış diyagramı gösterilmektedir.

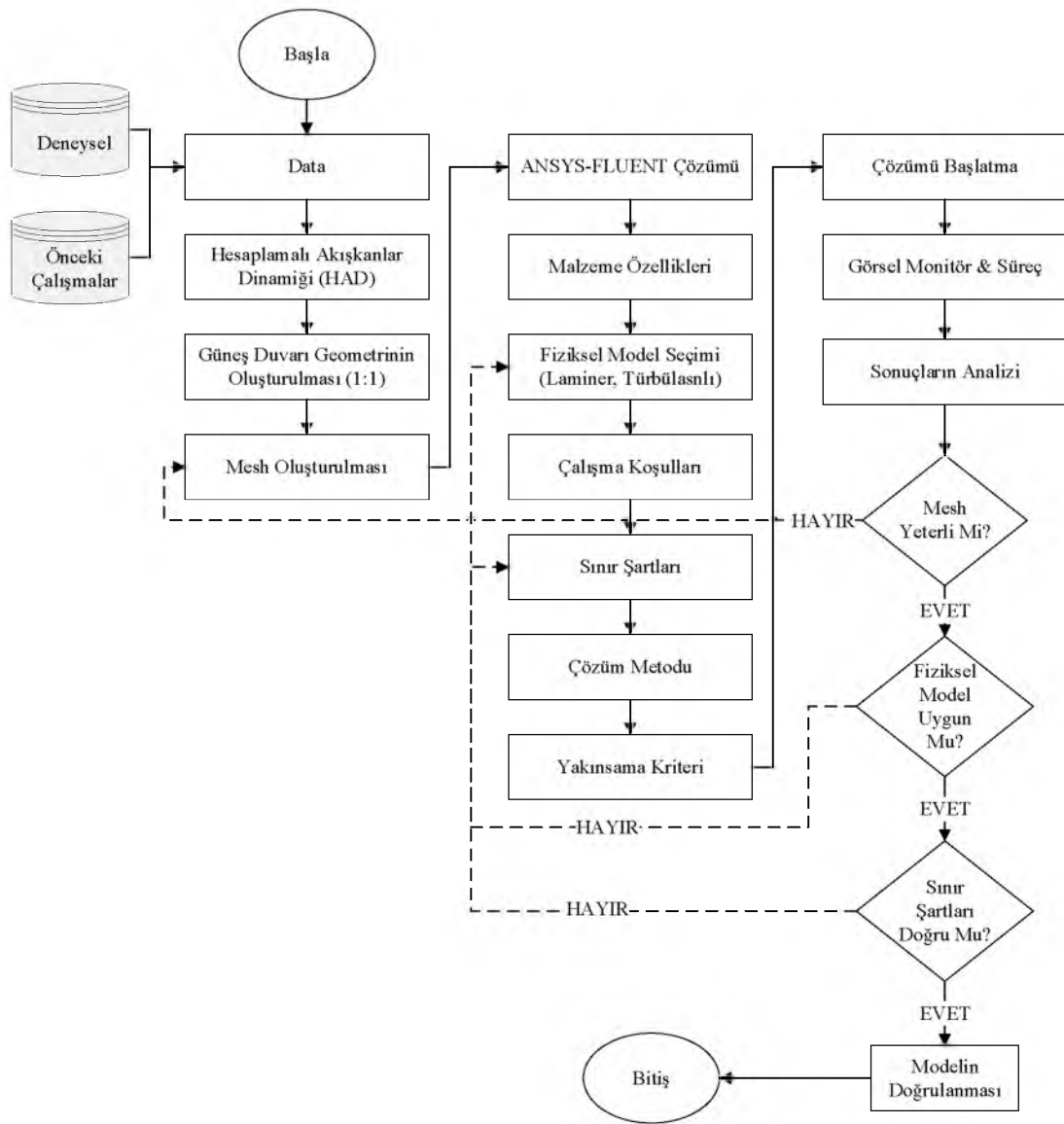


Şekil 3.45. HAD çözüm basamakları

Ön işlemler, kısmında geometri ve sayısal ağ (mesh) ayarlarından oluşmaktadır. Bu bölümlerin çözüm hacmini ayrıştırarak (discretization) hesaplamaktadır. En yaygın metotlar sonlu eleman ve sonlu hacim yöntemleridir. Ayrıştırma yaparken mevcut modelin parçalara bölünmesi gerekir. Bölünen her parça kendi içinde bir bütün olmakla beraber içerdiği tüm fiziksel ve kimyasal sonuçlar aynıdır. Bu ayrıştırılan her bir parçaya sayısal ağ (mesh) elemanı denir. Sayısal ağ, doğru ve hassas çözüm yapmak için en önemli unsurlardandır. Nihai analize geçilmeden önce mutlaka sayısal ağdan bağımsızlık elde ederek, sonuçların sayısal ağ miktarı ve kalitesine göre anlamlı miktarda değişmediğinden emin olmak gerekmektedir. Aksi takdirde elde edilecek sonuçlar güvenli olmayacaktır. Zaman ve donanım faktörlerini ele aldığımızda sayısal ağ bunlara en çok etki eden unsurdur.

Çözüm, bu aşamaya etki eden bileşenler ayrıklaştırma, enerji denklemleri ve akış özellikleridir. Hesaplama adımlarında hem fiziksel hem numerik açılardan sonuçların takip edilmesi, değerlendirilmesi ve gerekli görüldüğü hallede müdahale edilmesi gerekmektedir. Yinelemeler arası değişimler ve zamana bağlı çözümlerde birbirini takip eden zaman adımlarında elde edilen sonuçlar arasındaki farklar kullanılarak yakınsama değerlendirmesi yapılması oldukça önemlidir.

Son işlemler, yakınsama kriteri sağlanıp çözüm sona erdikten sonra hesaplamaların kontrol edilmelidir. Uygulama prensibi olarak; son işlemlere başlanmasıyla beraber deneysel-literatürden elde edilen kazanımların gerçekçi, şartlara ve beklentilere anlamlılığı sorgulanmalıdır. Öngörülme-yen fiziksel veya numerik bir sürecin ya da farkında olunmayan bir modelleme hatasının sonuçlar üzerinde anlamlı miktarda bozucu etkisi olabileceği hep göz önünde bulundurulmalıdır. Son işlem öğelerinin seçimi, niteliği ve niceliği; özellikle yapılan işin amacına göre değişiklikler gösterebilmektedir. Tez çalışmasında kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği akış şeması Şekil 3.46.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.46. Güneş duvarı HAD aşamaları

### 3.3.3.1 Yazılım-Donanım

Güneş duvar sistemi için hesaplamaları gerçekleştirmek üzere ticari bir CFD programı seçilmiştir. Güçlü bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılım aracı olan ANSYS Fluent programı çok çeşitli multifizik uygulamalarında hızlı ve doğru sonuçları sağlamada kararlı fiziksel modellemeler içermektedir (Fluent 2011).

Kullanılan ANSYS Fluent sürümü 18.1'dir. Analizlerde kullanılan lisans Dokuz Eylül Üniversitesi kampüs alanı içinde temin edilmiştir. Programa eklenen yazılım paketlerinde oluşturulan geometrilerde ANSYS® Mechanical™, ANSYS® CFD™, ANSYS®Autodyn®, ANSYS® Workbench™, ANSYS® DesignModeler™ ve ANSYS® FLUENT DesignXplorer™ işlemleri yapılabilmektedir. Fluent yazılımına yapılan bu eklentiler, geometrinin, malzemelerin konfigürasyonunun ve modeli oluşturan elemanların termal özelliklerinin ve fiziksel özelliklerinin önceden tanımlanmasına izin vermektedir. Ayrıca, ağ yapısının belirlenmesine, modelin parametrelendirilmesine, sınır koşullarının konfigürasyonuna işleme ve sayısal hesaplama olanak tanır.

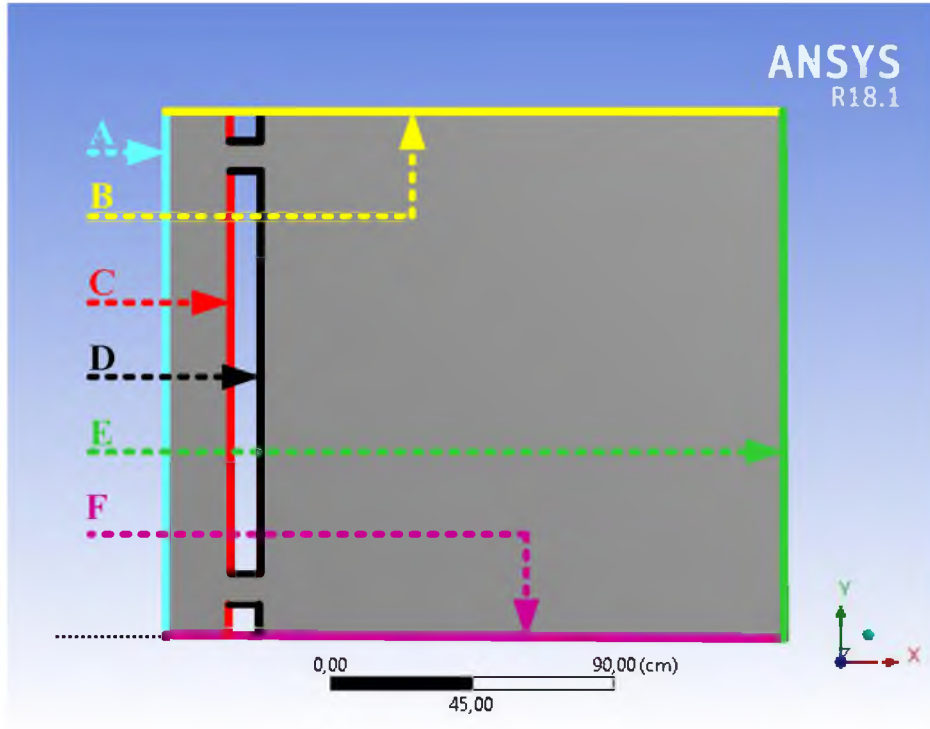
Programda tüm denklemleri tek seferde veya ayrıık olarak çözüm arasında imkan tanımaktadır. Sabit değişkenlerin hassas çözümünden yüksek mertebeden denklem takımını tanımlanabilmektedir. Akışkanlarda farklı türbülans ve yüzeylerdeki radyasyon modellerine de olanak tanımaktadır. Elde edilen sonuçların işlenmesi, elde edilen değişkenlerin grafiklerini ve temsillerini oluşturmaya ve bu bilgilerle diziler ve grafiksel animasyonlar oluşturmaya izin verir.

ANSYS 18.1 yazılımı Windows 10 işletim sistemi altında çalışmaktadır. Donanım özellikleri, Intel (R) Core (TM) i7- 9750H, CPU @ 2,66 GHz ve 16 GB RAM bulunmaktadır.

### 3.3.3.2 Geometri

Simülasyon geometrisi, modelin şeklini ve boyutlarını, akışkan yüzeylerinin ve termal kütleinin belirlenmesinin yanı sıra sistemi oluşturan elemanların termal ve fiziksel özelliklerinin konfigürasyonunu içerir. Değişken parametrelerin belirlenmesi inşa edilmiş Güneş Duvarının boyutlarına ve yapıım özelliklerine dayanmaktadır.

Model Ansys Fluent yazılımının kendi çizim aracında çizimi yapılmıştır. Programda oluşturulan değişkenlerin biçim ve boyutları Şekil 3.47. ve Tablo 3.12.'de gösterilmiştir. 2D olarak çizilen geometride doğu ve batı yönlerden enerji kayıp-kazancı ihmal edilmiştir.



Şekil 3.47. Tanımlanan yapı bileşenleri

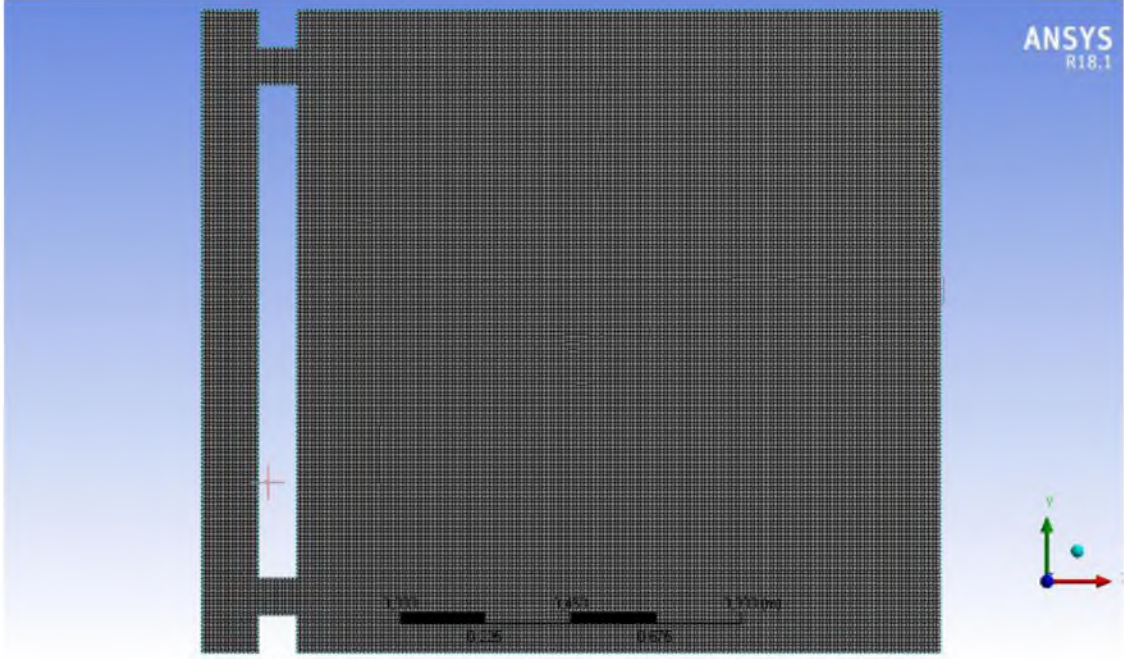
Tablo 3.12. Yapı bileşenlerinin özellikleri

| No | Değer | Değişken     | Ölçü (mm) |
|----|-------|--------------|-----------|
| 1  | A     | Cam          | 1950      |
| 2  | B     | Tavan        | 2350      |
| 3  | C     | Güneş Duvarı | 1750      |
| 4  | D     | Duvar-İç     | 2015      |
| 5  | E     | Kuzey Duvar  | 1950      |
| 6  | F     | Zemin        | 2350      |

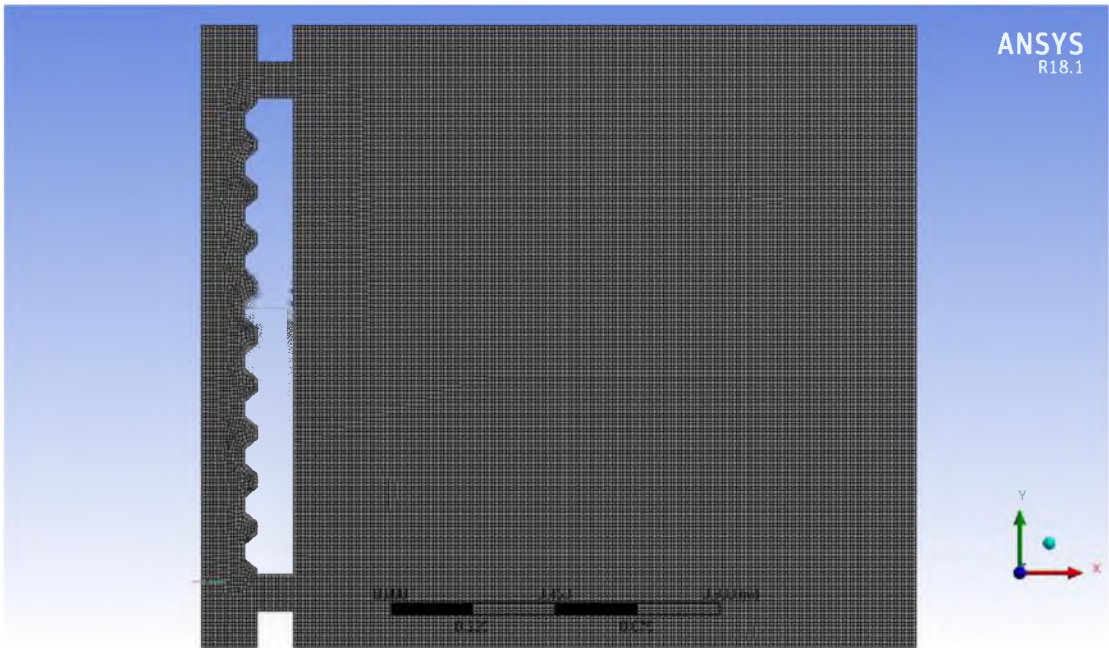
### 3.3.3.3 Mesh

Mesh (Ağ) problemin geometrik alanının ayrı bir temsilidir ve sınırlı sayıda alt alana ayrılmaktadır. Mesh seçimindeki temel kriter her bir elemanın geometrik özellikleri ve analiz edilen akışın türüdür. Ansys Fluent 18.1 programındaki meshin konfigürasyonu, yüzeylerin seçilmesi ve ağın otomatik olarak oluşturulmasıyla başlar. Program varsayılan olarak yapılandırılmış ağı kullanır. Ağ oluşturulduktan sonra, modelin her yüzeyinde iyileştirmeler yapılmaktadır. İyileştirmelerle elde edilen meshteki düğüm noktası (nodes) ve hacim elemanı (elements) sayısı düz panel, 27/200 Trapez panel ve Sinüs Oluklu 76/18 Trapez panel için sırasıyla 32175-31650, 32086-31548 ve 32776-32148 olmaktadır

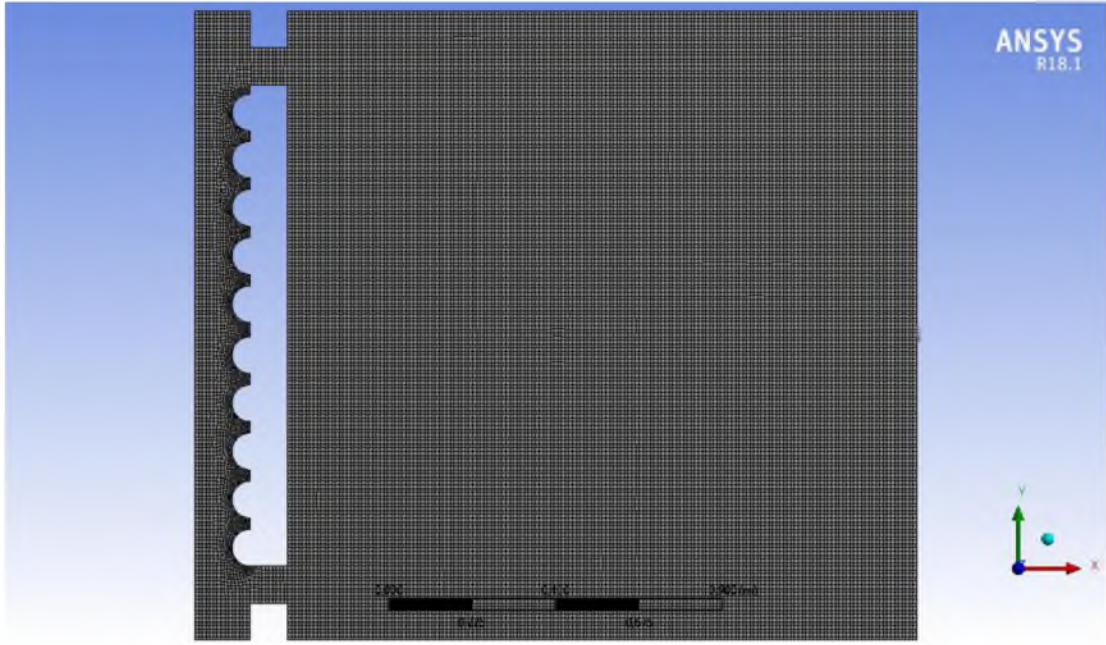
Mesh (grid) en küçük elamanına hücre, hücreyi çeviren bölge yüzey, yüzeylerin ortak noktalarına da düğüm (nod) denir. Bir modelin ideal bölümlenmesi, en boy oranının 1 olduğu modeldir. Bir modelin yeterli kabul edilebilmesi için, ortalama en-boy oranı bire yakın ve üçten az olmalıdır. Şekil 3.48.' Şekil 3.49. ve Şekil 3.50.'de görüleceği üzere farklı Güneş Duvarı modellerinde en-boy oranı eşit kare (2D-hexahedron) mesh tercih edilmiştir.



Şekil 3.48. Düz panel ağ yapısı



Şekil 3.49. 27/200 Trapez panel



Şekil 3.50. Sintis Oluklu 76/18 Trapez

Modelde oluşturulan ağ yapısının kalitesinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar Skewness, Element Quality ve Orthogonal Quality olmaktadır. Skewness değerinin ideali sıfıra yakın olmasıdır ve kare meslerde 0,85'den fazla olmamalıdır. Modellerde kullanılan ortalama değerler  $1,7155e-004$ ,  $6,2075e-003$  ve  $1,1475e-002$  ile mükemmel kategorisindedir.

Element Quality değeri ideali 1,0'a yakın olmalıdır ve modelde ortalama değer 0,9999 olmaktadır. Hücre ortogonalitesinin minimum değeri, ağın kalitesi için önemli bir göstergedir. Ortogonalite değerleri 0 ile 1 arasında değişebilir ve daha düşük değerler daha düşük kaliteyi gösterir. Genel olarak, sağlam bir simülasyon gerçekleştirirken minimum ortogonalite 0,01'den az olmamalı ve ortalama değer bu değerden çok uzak olmamalıdır. Paneller için mesh istatistikleri tüm değerler Tablo 3.13., Tablo 3.14. ve Tablo 3.15.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.13. Düz panel mesh istatistikleri

| Mesh Metrik    | Skewness    | Element Quality | Orthogonal Quality |
|----------------|-------------|-----------------|--------------------|
| Minimum        | 1,3057e-010 | 0,98089         | 0,99939            |
| Maksimum       | 2,3165e-002 | 0,99947         | 1                  |
| Ortalama       | 1,7155e-004 | 0,99934         | 1                  |
| Standart Sapma | 1,0492e-003 | 8,0567e-004     | 1,6465e-005        |

**Tablo 3.14.** 27/200 Trapez panel mesh istatistikleri

| Mesh Metrik    | Skewness    | Element Quality | Orthogonal Quality |
|----------------|-------------|-----------------|--------------------|
| Minumum        | 1,3057e-010 | 0,3955          | 0,67447            |
| Maksimum       | 0,61489     | 0,99995         | 1                  |
| Ortalama       | 6,2075e-003 | 0,99409         | 0,99               |
| Standart Sapma | 3,6861e-002 | 3,3383e-002     | 9,6545e-003        |

**Tablo 3.15.** Sinüs oluklu 76/18 trapez mesh istatistikleri

| Mesh Metrik    | Skewness    | Element Quality | Orthogonal Quality |
|----------------|-------------|-----------------|--------------------|
| Minumum        | 1,3057e-010 | 0,47709         | 0,77004            |
| Maksimum       | 0,50788     | 0,99947         | 1                  |
| Ortalama       | 1,1475e-002 | 0,98901         | 0,99789            |
| Standart Sapma | 5,2386e-002 | 4,9067e-002     | 1,2732e-002        |

### 3.3.3.4 Sınır Koşulları

Model çalışmasında en önemli sınır koşulu güneye bakan güneş duvarı yüzeyidir. Bu duvar ısı akısı olarak tanımlanır. Hava kanalındaki ısı transfer kazancı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısına, ışıyım yoğunluğuna, atmosfer sıcaklığına ve malzemelerin opak-saydam olmasına göre değişecektir. Işıyımın en yüksek olduğu saatlerde cam malzemesi ışıyım, iletim ve taşıyım ile kazanç-kayıplar gerçekleşir. Işıyım etkileri hem içeriden hem de duvardan yansımayla olmakta, iletim ve taşıyım da hem hava kanalı hem de atmosfere olmaktadır. Tüm bu bileşenlerin HAD’de modellenmesi simülasyonun kararlılığını etkileyecektir. Bu nedenle uyumluluğu artırmak ve yakınsamayı kolaylaştırmak için belirli kabuller yapılmıştır. Analiz sonuçlarının doğruluğunu etkileyen bir diğer etmen de sınır koşullarının doğru girilmesidir. Sayısal modelde kullanılan sınır şartları güneş duvarında elde edilen deneysel veriler ve literatürdeki sabit değerlerdir. Sınır koşulları (boundary conditions) sekmesinden girilebilmektedir. Tablo 3.16., Tablo 3.17. ve Tablo 3.18.’de model çalışmasında kullanılan sınır koşulları gösterilmektedir.

**Tablo 3.16.** Düz panel sınır şartları

| Sınır | Yüzey        | Sınır Şartı                    | U (W/m <sup>2</sup> K)- | H (W/m <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| A     | Cam          | Taşıyım                        | 5,6                     | -                     |
| B     | Tavan        | Taşıyım                        | 0,33                    | -                     |
| C     | Güneş Duvarı | Işıyım<br>(Zamana Bağlı-3600s) | -                       | 453                   |
| D     | İç-Duvar     | Adyabatik                      | (dT/dn)=0               | -                     |
| E     | Kuzey Duvar  | Taşıyım                        | 0,33                    | -                     |
| F     | Zemin        | Sabit Sıcaklık                 | 5 °C                    | -                     |

**Tablo 3.17.** 27/200 Trapez panel sınır şartları

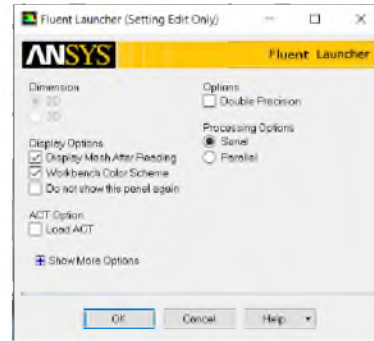
| Sınır | Yüzey        | Sınır Şartı                    | U (W/m <sup>2</sup> K)- | H (W/m <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| A     | Cam          | Taşınım                        | 5,6                     | -                     |
| B     | Tavan        | Taşınım                        | 0,33                    | -                     |
| C     | Güneş Duvarı | Işınım<br>(Zamana Bağlı-3600s) | -                       | 508                   |
| D     | İç-Duvar     | Adyabatik                      | (dT/dn)=0               | -                     |
| E     | Kuzey Duvar  | Taşınım                        | 0,33                    | -                     |
| F     | Zemin        | Sabit Sıcaklık                 | 5 °C                    | -                     |

**Tablo 3.18.** Sinüs oluklu 76/18 trapez sınır şartları

| Sınır | Yüzey        | Sınır Şartı                    | U (W/m <sup>2</sup> K)- | H (W/m <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| A     | Cam          | Taşınım                        | 5,6                     | -                     |
| B     | Tavan        | Taşınım                        | 0,33                    | -                     |
| C     | Güneş Duvarı | Işınım<br>(Zamana Bağlı-3600s) | -                       | 472                   |
| D     | İç-Duvar     | Adyabatik                      | (dT/dn)=0               | -                     |
| E     | Kuzey Duvar  | Taşınım                        | 0,33                    | -                     |
| F     | Zemin        | Sabit Sıcaklık                 | 5 °C                    | -                     |

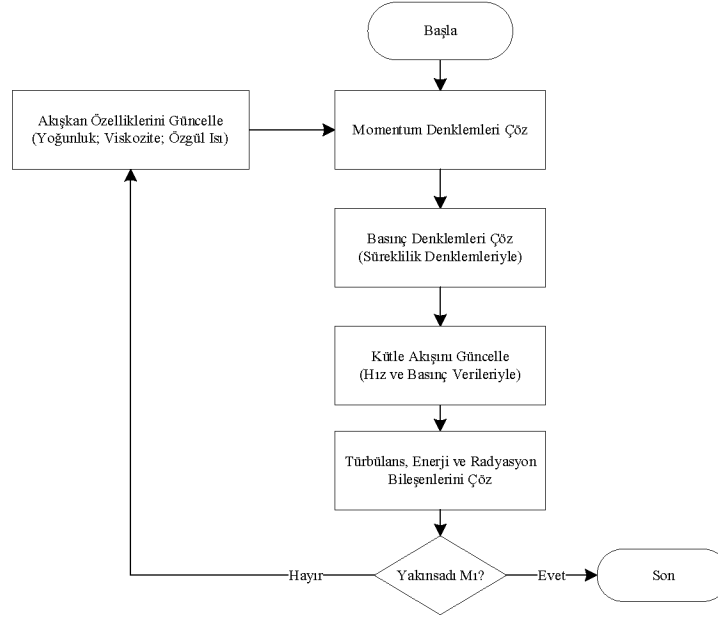
### 3.3.4 Çözüm Aşamaları

Mesh yapısı oluşturulduktan sonraki adımda, ANSYS FLUENT 18.1 programında kurulum (setup) bölümünde verileri ve yöntem seçilmektedir. Modelin ilk kurulumu, geometrinin 2 boyutlu (2D) veya 3 boyutlu (3D) tanımlanmasıdır. Program, tasarlanan geometriyi otomatik olarak tanır ve gerekli olmayan seçenekleri devre dışı bırakır. Şekil 3.51.'de başlangıç ekranı görülmektedir.

**Şekil 3.51.** Fluent başlangıç ekranı

Analizi çözümünde general sekmesinden akışkanın basınç tabanlı (pressure-based), zamanın ise kararlı (steady) olacağı seçilir. Model çalışmasında kullanılan akışkanın hassas ölçüm kriterlerini karşılayabilmesi için gerçek gaz koşullu (pressure-based) çözücünün kullanılmıştır.

Bu çözücüde sıkıştırılmaz, ses altı akış ve düşük hızlı akış özelliklerinde kararlı sonuçlar vermektedir. Şekil 3.52.'de çözüm algoritması görülmektedir.



Şekil 3.52. Basınç tabanlı çözüm algoritması

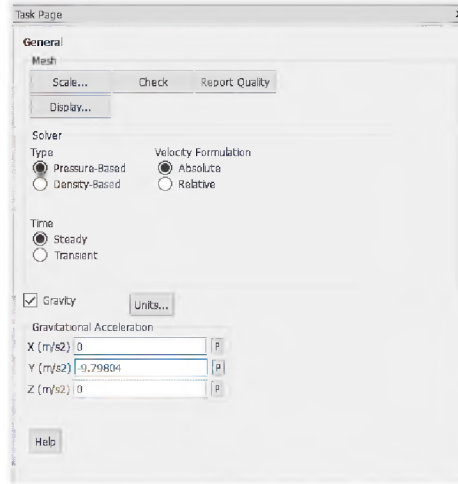
Doğal konveksiyon ile kaldırma kuvvetinin etkisine dayanan boyutsuz parametreler, yerçekimi ivmesinin değeri ile ayarlanır. Bu değer Dünya üzerinde konuma ve rakıma bağlı olarak değişmektedir. Bu oran kutuplarda ekvatora göre %0,5 oranında daha fazla olmaktadır. Deneysel konumun enlemi 37,781 ve deniz seviyesinde 550 m yükseklikte olduğu kabulüyle denklem 3.74, 3.75 ve 3.76'nın hesabı yerçekimi ivmesi  $9,79804 \text{ ms}^{-2}$  olarak tespit edilmiştir (Smith 1987). Şekil 3.53.'de general sekmesinde girdi parametreleri görülmektedir.

$$IGF = 9,780327(1 + 0,0053024 \sin^2\phi - 0,0000058 \sin^2 2\phi) \quad (3.74)$$

$$FAC = -3,086 \times 10^{-6} x h \quad (3.75)$$

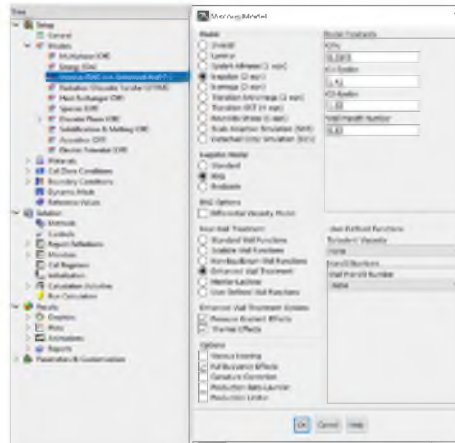
$$g = IGF + FAC \quad (3.76)$$

- g= Teorik Yerçekimi
- IGF= Uluslararası Yerçekimi Eşitliği (International Gravity Formula)
- FAC= Serbest Hava Düzenlemesi (Free Air Correction)
- $\phi$  = Enlem
- h = Rakım



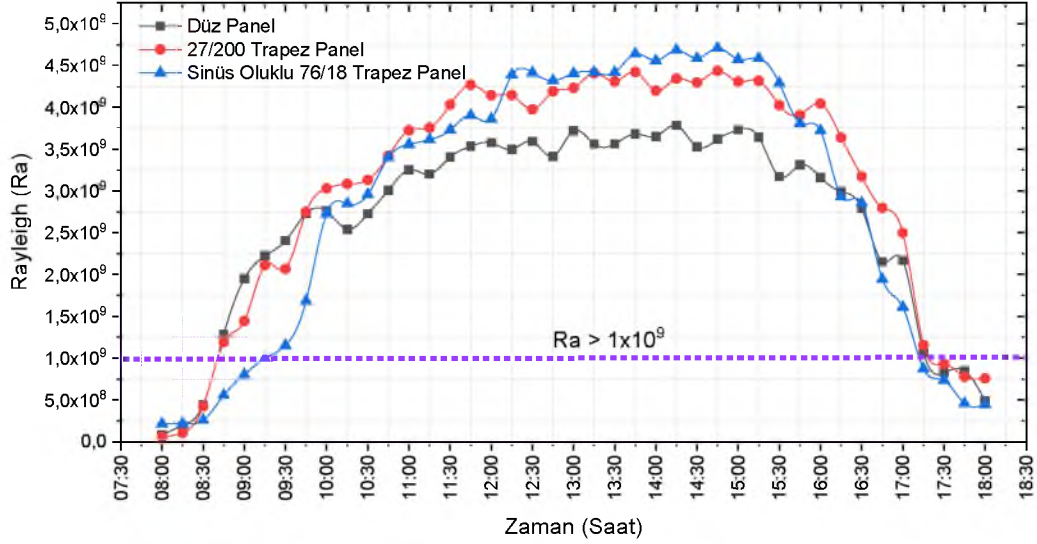
Şekil 3.53. Genel girdi veri sekmesi

HAD hesabında model sekmesinde Şekil 3.54.’de gösterilen çözüm metoduduna göre “Energy, viscous ve radiation” sekmeleri etkinleştirilebilir.



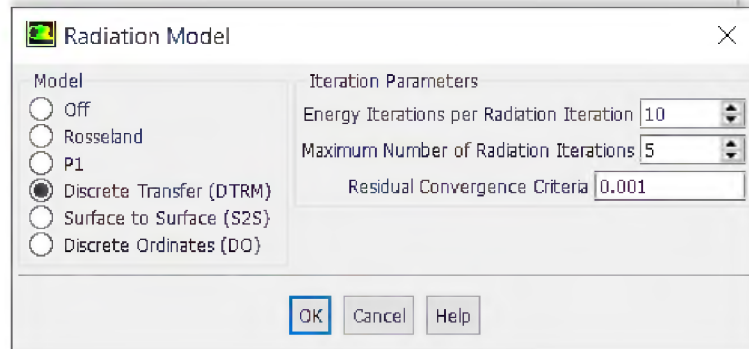
Şekil 3.54. Energy, viskoz ve radyasyon sekmeleri

Bu sekmede viskoz model, viskoz olmayan, laminar ve türbülanslı akış için parametrelerin ayarlanmasına izin verir Güneş Duvarı deneysel verilerden elde edilen zaman bağılı Rayleigh değişimi Şekil 3.55.’de gösterilmektedir. Saat 08:00 ile 18:00 arasındaki ölçümlerde boyutsuz  $Rayleigh > 10^9$  biriminin genellikle üstündedir. Bu durumda akış türbülanslı biçimde olmaktadır. Bu akışları çözmek için sınır tabaka akışkanlarında ve düşük Rayleigh değerlerinde başarılı sonuçlar veren iki denklemlilik “RNG k-ε türbülanslı modeli” seçilmiştir. Ayrıca absorban plaka cidarına yakın sıkı mesh yüzeylerde daha kararlı sonuçlar veren “Enhanced Wall Treatment” seçilerek basınç ve hız grandyentlerindeki değişimlerin diğer modellere göre daha kararlı hesaplaması yapılmıştır.



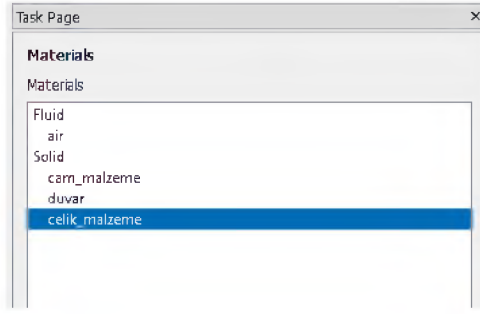
Şekil 3.55. Termal bölgedeki akışkanın Rayleigh sayısı değişimi

Hesaplamalarda radyasyon modeli olarak DTRM modeli kullanılmıştır (Discrete Transfer Radiation Model). Bu model bütün yüzeyleri yansıtıcı ve yüzeylerdeki anlık radyasyon saçılmasını izotropik kabul etmektedir. Cam yüzeyin yansıtma açısını  $\varepsilon=0,86$ , absorban plaka  $\varepsilon=0,96$  ve duvarları  $\varepsilon=0,91$  kabul edilmiştir. Şekil 3.56.'da programdaki radyasyon sekmesi görülmektedir.



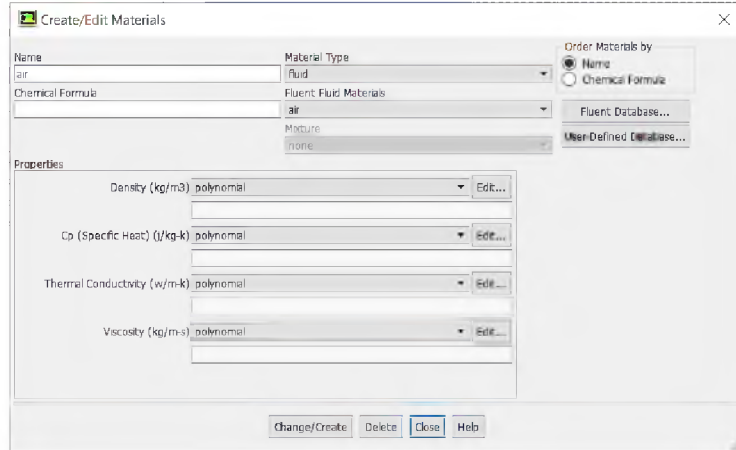
Şekil 3.56. Fluent radyasyon modeli

Hesaplamada kullanılan malzemelerin özellikleri katı ve akışkan olarak materials sekmesinin altında tanımlanmaktadır. Rijit malzemelerden olan cam, duvar ve çelik'in özellikleri Şekil 3.57.'de gösterildiği gibi yapılandırılmıştır.



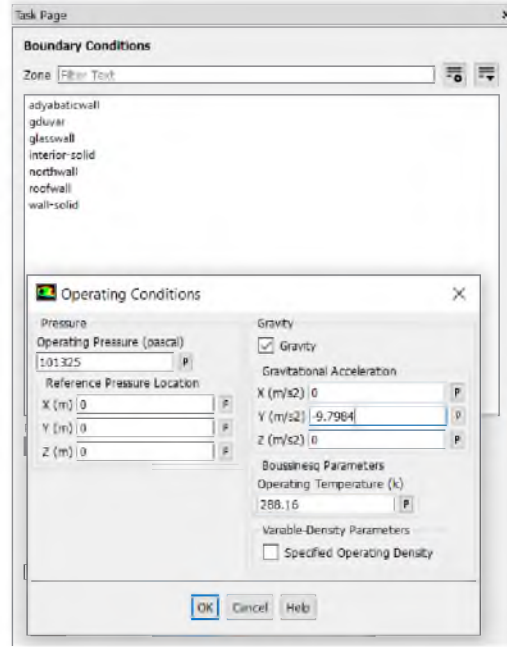
Şekil 3.57. Fluent malzeme yapıları

Akışkan malzemelerden olan havanın termodinamik özellikleri sıcaklığa bağlı değişkenler olarak belirlenir ve polinom şeklinde ifade edilir. Kullanılan sıcaklık aralığı 1 [atm] 'da 0 [°C] ile 120 [°C] arasındadır. Şekil 3.58.'da havaya ait girdi ekranı gösterilmektedir.



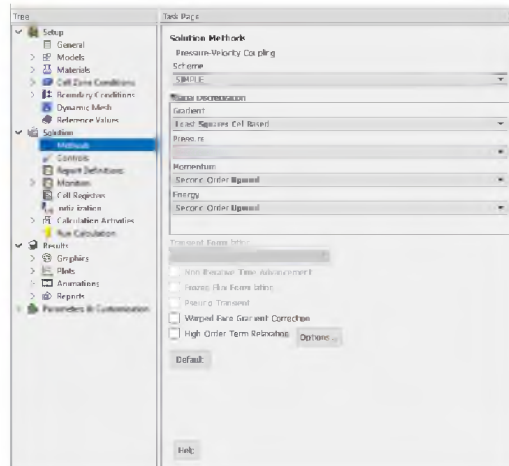
Şekil 3.58. Havanın termo-fiziksel özelliklerinin tanılanması

Hesaplama kullanılacak ilk ortam değerleri simülasyonun geliştirileceği alanın bilgilerinden oluşmaktadır. Boundary Conditions>Operating Conditions sekmesi altında yerçekimi, Basınç ve sıcaklık değerlerinin girdi ekranı Şekil 3.59.'da gösterilmektedir. Bu ekranda yerçekimi seçeneği etkinleştirilir ve koordinata göre hesaplanmış değer atanır. Basınç değeri 101325 pascal [1 atm] olarak girilir. Odanın ortalama sıcaklık değeri ise 288,6 K olarak kaydedilmiştir.

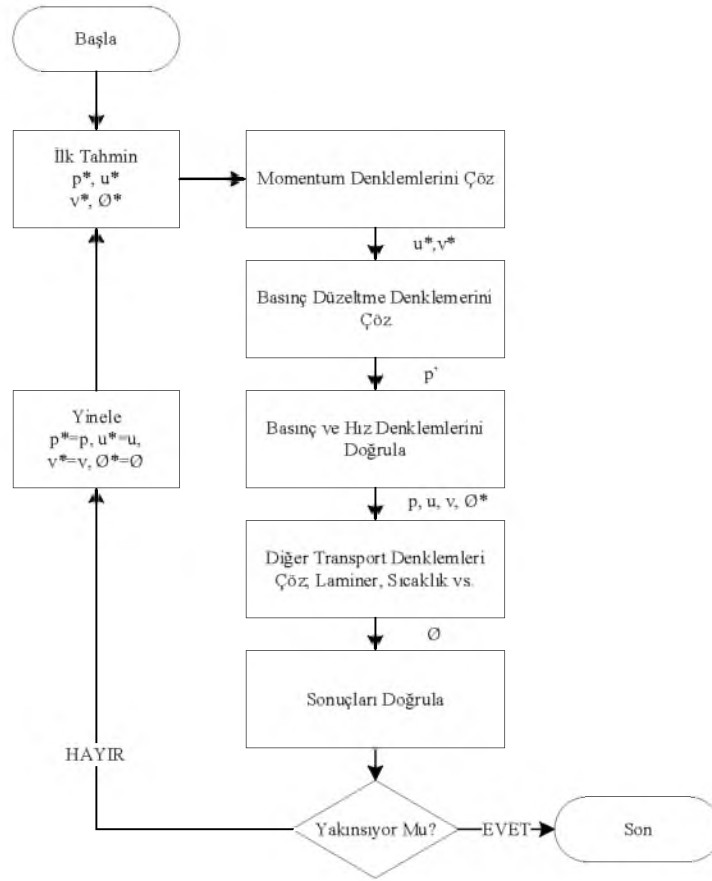


Şekil 3.59. Başlangıç çalışma sekmesi

Ansyes Fluent programı, sıkıştırılamaz akışkanlarda basınç-hız bağlaşımı yöntemine dayalı modellerin çözümü için dört algoritma Solutions Method sekmesinin altında bulunmaktadır bunlar: SIMPLE, SIMPLEC, PISO ve Coupled. Modelin iterasyonun da SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) metodu seçilmiştir ve Şekil 3.60.'da görülmektedir. Bu metotla momentum denklemlerini çözmek için tahmini bir basınç alanı oluşturulur. Sonrasında süreklilik denkleminde elde edilen düzeltilmiş basınç denklemiyle hız ve basınç alanlarını güncellemek için kullanılan bir basınç düzeltme alanı elde etmek için çözülmektedir. Bu tahmin edilen alanlar, hız ve basınç alanları için yakınsama elde edilene kadar yineleme süreci boyunca aşamalı olarak geliştirilir (Lee ve Abdel-Moneim 2001). Şekil 3.61'de SIMPLE çözüm akış şeması görülmektedir.

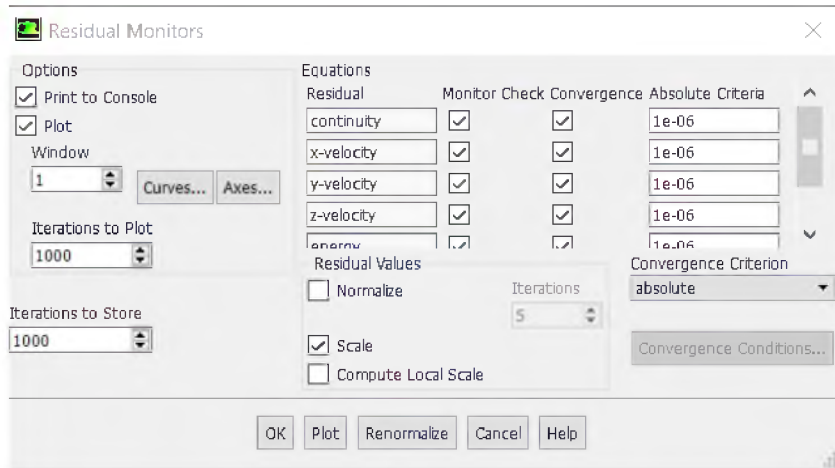


Şekil 3.60. SIMPLE girdi sekmesi



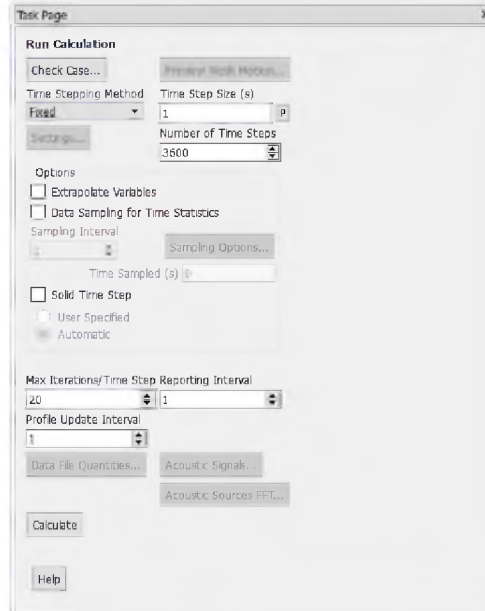
Şekil 3.61. SIMPLE çözüm algoritması

Residuals sekmesi altında sayısal çözümlerde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri  $10^{-6}$  'ye kadar yakınsama yapmaktadır. Bu sayede modelin doğruluğu pekiştirilmiştir. Şekil 3.62.'de yakınsama girdi verileri görülmektedir.



Şekil 3.62. Yakınsama girdi ekranı

Çözüm sekmesinde zamana bağlı çözüm için panellerdeki ışınlımın en yüksek olduğu 12:30-13:30 zaman dilimi seçilmiştir. Zamana bağlı çözümde 1 saniye aralıklarla 3600 kademe girilmiştir. Her zaman dilimi için 20 iterasyon gerçekleştirilmiş ve toplamada 72000 iterasyonda çözüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.63’de son çözüm işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.63. Zamana bağlı çözüm girdi sekmesi

### 3.4. İstatistiksel Analiz Metotları

Literatürde, tahmin modellerinin performansını değerlendirmek amacıyla birçok istatistiksel test yöntemi vardır. Bunlar arasında en yaygın olanları; bağıl hata yüzdesi ( $e$ ), hata kareler toplamı (SSE), belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve karekök hatası (RMSE) olmaktadır.

#### 3.4.1. Bağıl Hata Yüzdesi ( $e$ %)

Bağıl hata 3.77’deki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$e = \left( \frac{mi - ci}{mi} \right) \times 100 \quad (3.77)$$

Hesaplanan ve ölçülen veri arasındaki yüzdesel sapma miktarı  $e$  ile ifade edilmekte olup ideal değeri sıfıra eşittir. Denklemdaki,  $ci$  (calculated) hesaplanan değeri gösterirken  $mi$  (measured) de ölçülen değeri belirtmektedir.

### 3.4.2 Hata Kareler Toplamı (SSE)

Hata Kareler Toplamı. SSE, her bir gözlem ile grubun ortalaması arasındaki kare farkların toplamıdır ve eşitlik 3.78'de gösterilmektedir. Bir küme içindeki varyasyon ölçüsü olarak kullanılabilir. Bir küme içindeki tüm durumlar aynıysa, SSE 0'a eşit olacaktır bu da bize ideal değeri göstermektedir.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (c_i - m_i)^2 \quad (3.78)$$

### 3.4.3 Belirlilik (Determinasyon) Katsayısı ( $R^2$ )

Belirlilik katsayısı bir değişkenin diğerine hangi oranda bağlı olduğunu göstermektedir ve eşitlik 3.79 da gösterilmektedir. Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemede kullanılmaktadır. Bu katsayının değeri 0 ile 1 ( $0 < R^2 < 1$ ) arasında değişmektedir ve ideal değeri 1'e yakın olanıdır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - ca)x(mi - ma)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (c_i - ca)^2]x[\sum_{i=1}^n (mi - ma)^2]}} \quad (3.79)$$

Burada, ca ve ma sırasıyla hesaplanan ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

### 3.4.4 Ortalama Hata Kareleri Kökü (RMSE)

Bu istatistiksel veri bize kısa dönem ölçülen ve tahmin edilen model performans kıyaslanmasında önem teşkil etmektedir ve eşitlik 3.80'de gösterilmektedir. Her zaman pozitif değer almakla birlikte ideal değeri sıfıra yakın olanıdır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - m_i)^2} \quad (3.80)$$

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde hesaplaması yapılan Güneş Duvarı Modelinin performans sonuçları deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel bölümde ölçümlerle elde edilen sonuçlar farklı malzeme türleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca deneysel verilerden elde edilen sonuçlar boyutsuzlaştırılmış ve formüle edilmiştir. Teorik bölümde ise Güneş Duvarı Modelinin sayısal çözümü Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile çözümlenmiş ve dönemsel ısı davranışı ise Bina Enerji Simülasyonu ile analiz edilmiştir. Sayısal ve Deneysel sonuçlar aynı ortam şartları için mukayese edilmiş ve doğrulaması yapılmıştır.

### 4.1. Güneş Duvarı Modelinin Deneysel Sonuçları

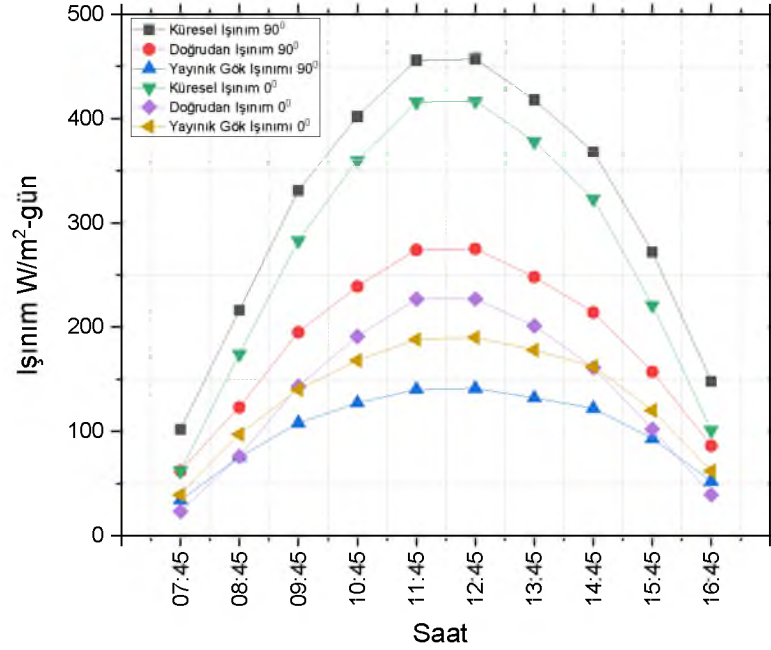
Deneysel çalışmada ölçülen temel değerler sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), akış hızı (m/s) ve ışınlama ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) oluşturmaktadır. Sıcaklık değerleri 20 farklı bölgeden 1 dakikalık ve 30 dakikalık periyotlarla, akış hızı değerleri 1 dakikalık periyotlarla (m/s) alt menfez ve üst menfezden 24 saatlik dilim boyunca kaydedilmiştir. Işınlama değerleri 08:00-18:00 saatleri arasında 30 dakikalık periyotlarda kaydedilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan absorban panellerinden elde edilen verilerin daha net anlaşılabilmesi ve gün içindeki değişken atmosferik koşulların etkisini asgari düzeyde tutabilmek için kurulan sistemlerde en az 72 en fazla ise 144 saat arasında değişen kayıtlar alınmıştır. Elde edilen verilerden oluşturulan grafikler ve tablolar ölçüm noktalarındaki günlere bağlı ortalama sıcaklık değerini göstermektedir. Sıcaklık değerleri kurulan modelde üç farklı hacimdeki termal bölge, deney odası ve test odası şeklinde tanımlanmıştır.

#### 4.1.1 Düz Panel Sonuçları

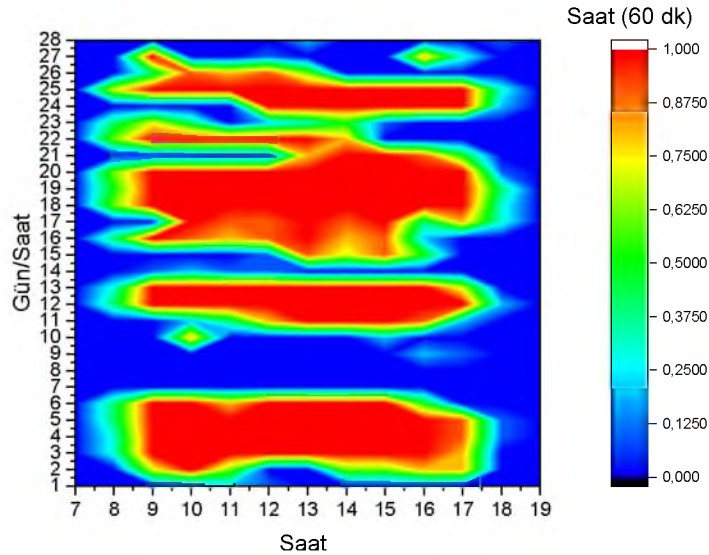
Güneş duvarı sisteminde absorban plaka olarak kullanılan düz panelin ölçüm değerleri 2019/Şubat ayında alınmıştır. Ölçümlerde sıcaklık değişimi Güneş ışınlamının model üzerinde etkili olduğu sabah 07:30'dan akşam 17:30'a kadar değişkenlik göstermektedir. Şekil 4.1.'de  $90^{\circ}$  ve  $0^{\circ}$  üzerine gelen küresel (global), doğrudan (beam) ve yayınlık (diffuse) ışınlama şiddeti görülmektedir. Deklinasyon açısının yıllık değişiminden dolayı Şubat ayında güneş paneli optimum eğim açısı  $48^{\circ}$  olmaktadır. Bu sebeple dik yüzeye gelen ışınlama şiddeti yatay yüzeye nazaran daha yoğun olmaktadır.

Güneş duvarı sisteminin de cam yüzeye gelen küresel ışınım şiddeti 11:30 ile 13:30 arasında pik değerine ulaşmakta ve  $453 \text{ W/m}^2$  olmaktadır. Bunu sırasıyla doğrudan ışınım ve yayınlık ışınım takip etmektedir. EK-3'de düz panel termal kamera görüntüleri gösterilmektedir.



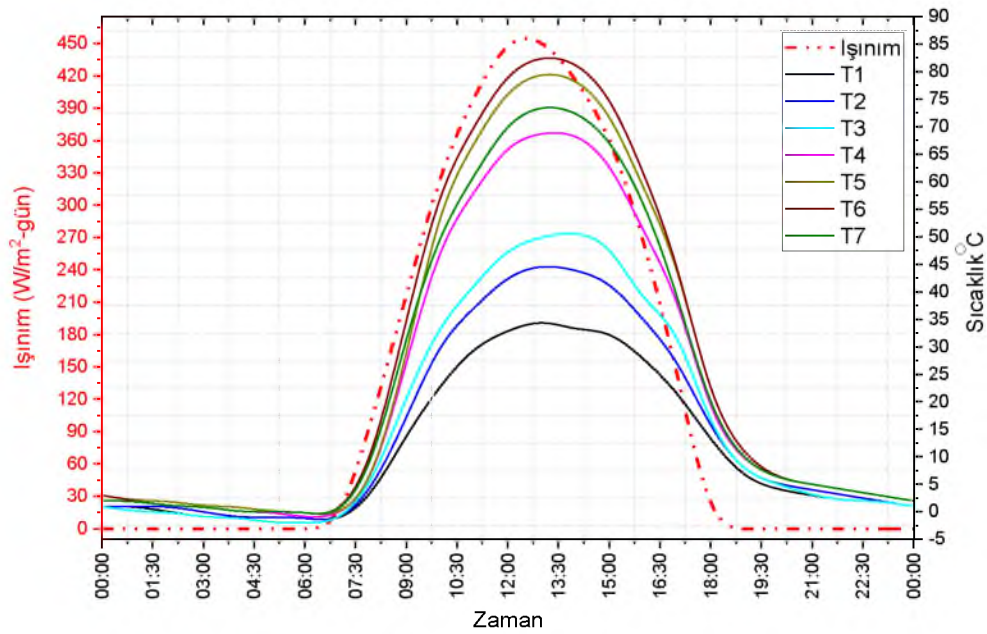
Şekil 4.1. Şubat ayı ışınım türleri saatlik değişimi

Ay boyunca ışınımın en yoğun zaman dilimi 11:00 ile 14:00 arasında maksimum  $420 \text{ W/m}^2$  olduğu gözlenmektedir. Şekil 4.2.'de Şubat ayı boyunca güneşlenme süresi görülmektedir. Güneş ışınımı sabah 07:30 gibi başlayıp akşam 18:30 gibi sonlanmaktadır. 09:00 ile 17:00 saatleri arasında açık günlerde tam güneşlenme periyodu oluşmaktadır.



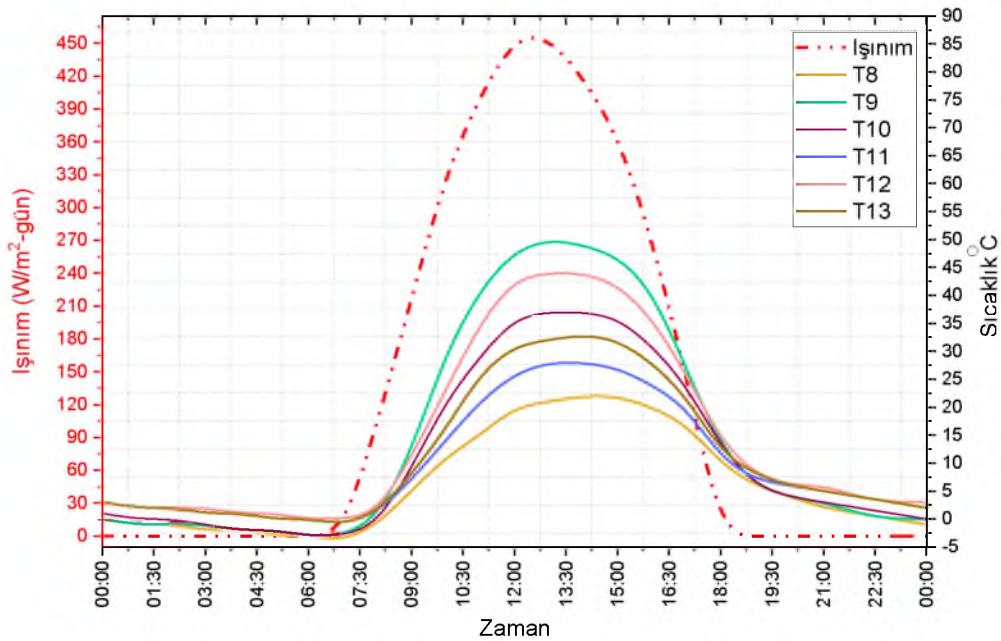
Şekil 4.2. Şubat ayı güneşlenme süresi

Şekil 4.3.'de Termal bölgedeki 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, dış cam (T1)  $-2^{\circ}\text{C}$ -04:57 ve  $39^{\circ}\text{C}$  -12:58; iç cam (T2)  $-2^{\circ}\text{C}$  -06:49 ve  $47^{\circ}\text{C}$  -12:38; hava kanalı (T3)  $-2^{\circ}\text{C}$  -04:40 ve  $52^{\circ}\text{C}$  -13:20; T4 absorban panel  $-1^{\circ}\text{C}$  -05:11 ve  $70^{\circ}\text{C}$  -12:41; T5 absorban panel  $-1^{\circ}\text{C}$  -06:52 ve  $81^{\circ}\text{C}$  -13:22; T6 absorban panel  $-1^{\circ}\text{C}$  -05:44 ve  $84^{\circ}\text{C}$  -13:23; T7 absorban panel  $-1^{\circ}\text{C}$  -05:32 ve  $75^{\circ}\text{C}$  -13:23 olmaktadır. Bu değerlere göre absorban paneldeki en yüksek sıcaklık değerleri güneş ışınımının en yüksek olduğu öğle saatlerinde (11:30-14:30) gerçekleşmektedir. Panel üzerinde z yönünde ve x doğrultusunda artan sıcaklık eğilimi gözlenmektedir. 12:30 itibariyle z-30 ile z-60 ve x-37,5;116,25 konumlarında sıcaklık değerleri sırasıyla  $68^{\circ}\text{C}$ ,  $79^{\circ}\text{C}$ ,  $73^{\circ}\text{C}$  ve  $82^{\circ}\text{C}$  olmaktadır. Belirgin sıcaklık farkı paneldeki ölçüm noktalarının yükseklik değişkenleri ve ilk güneş ışınımının doğudan doğmasıyla z-120 konumdaki panel yüzeyine en dik açıyla gelmesiyle ilişkilidir. Bir diğer etmen ise akışın laminar geçiş formda olması hacim içindeki kademeli sıcaklık katmanlarına olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.3. Düz absorban panel termal bölge sonuçları

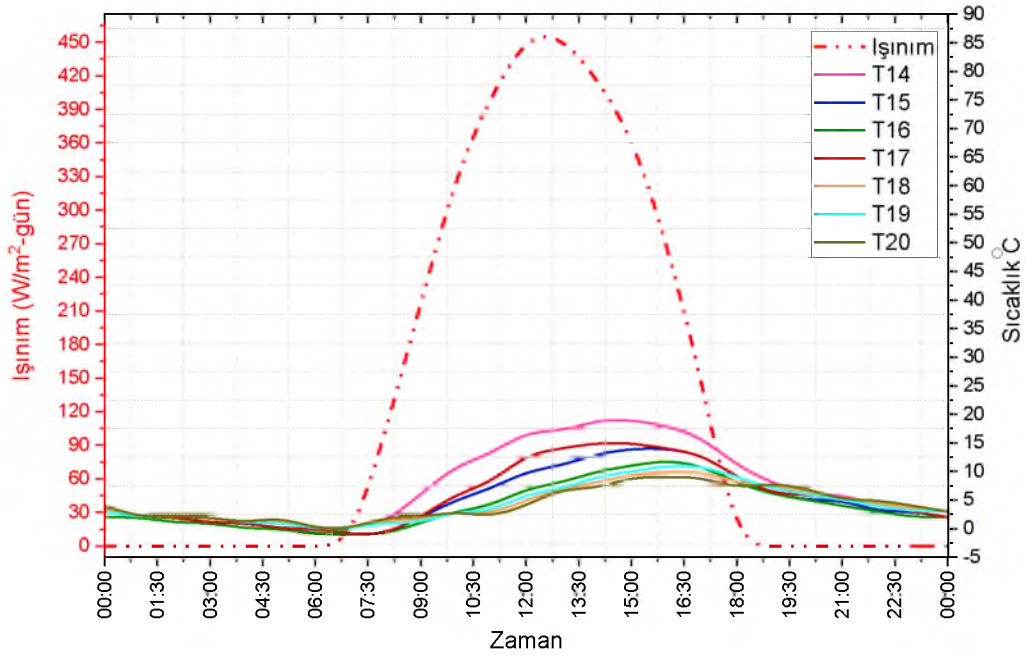
Şekil 4.4.'de Deney odasında kaydedilen 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, menfez girişi (T8)  $-4^{\circ}\text{C}$  -06:51 ve  $22^{\circ}\text{C}$  -13:06; menfez çıkış (T9)  $-4^{\circ}\text{C}$  -07:21 ve  $51^{\circ}\text{C}$  -13:31; güney duvar (T10)  $-3^{\circ}\text{C}$  -05:31 ve  $38^{\circ}\text{C}$  -13:45; kuzey duvar (T11)  $-1^{\circ}\text{C}$  -06:50 ve  $28^{\circ}\text{C}$  -12:43; üst nokta (T12-Tmak)  $-1^{\circ}\text{C}$  -06:57 ve  $45^{\circ}\text{C}$  -12:38; Orta nokta (T13-Tort)  $-1^{\circ}\text{C}$  -06:50 ve  $33^{\circ}\text{C}$  -12:41; Alt nokta (T14-Tmin)  $-1^{\circ}\text{C}$  -07:03 ve  $19^{\circ}\text{C}$  -13:23 olmaktadır. Oda içindeki kuzey ve güney duvarlar arasındaki maksimum değerdeki  $10^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkı absorban panel üzerinde oluşan yüksek sıcaklığın bir kısmının masif kütleyle ısı iletimiyle aktarılmasından kaynaklanmaktadır. Deney odası ile termal bölge arasında hava sirkülasyonunu sağlayan kademeli sıcaklık farkı belirgin bir biçimde görülmektedir. Oda içindeki en yüksek sıcaklık değeri termal bölgeden hemen sonra ölçüm alınan üst havalandırma menfezinde olmaktadır. Bu değeri sırasıyla T12, T10, T13, T11 ve T8 takip etmektedir.



Şekil 4.4. Düz absorban panel deney odası sonuçları

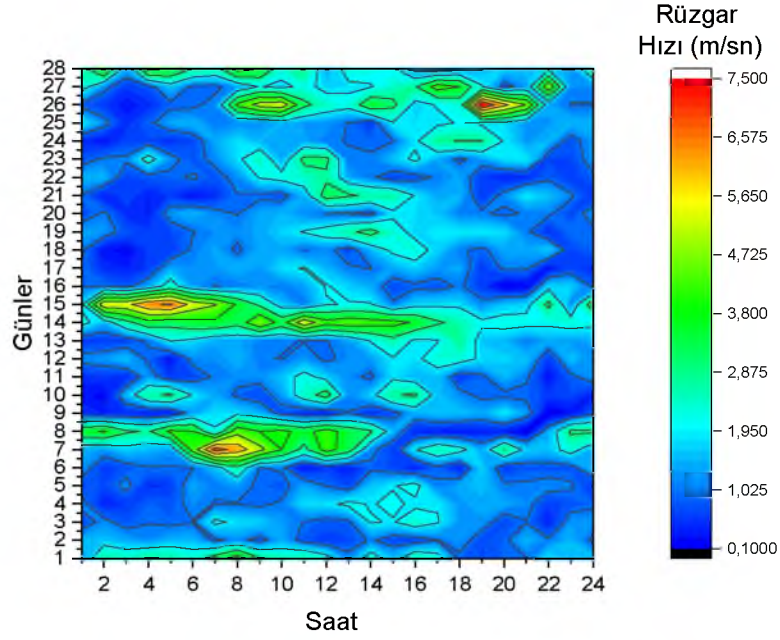
Şekil 4.5.'de Test odasında kaydedilen 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, güney duvar (T15)  $-1^{\circ}\text{C}$  -06:37 ve  $14^{\circ}\text{C}$  -14:23; kuzey duvar (T16)  $-2^{\circ}\text{C}$  -07:16 ve  $12^{\circ}\text{C}$  -15:04; üst nokta (T17-Tmak)  $-1^{\circ}\text{C}$  -05:58 ve  $16^{\circ}\text{C}$  -14:23; Orta nokta (T18-Tort)  $-1^{\circ}\text{C}$  -05:47 ve  $12^{\circ}\text{C}$  -15:40; Alt nokta (T19-Tmin)  $-1^{\circ}\text{C}$  -07:03 ve  $11^{\circ}\text{C}$  -15:16 olmaktadır ve dış ortam sıcaklığı (T20)  $-1^{\circ}\text{C}$  -05:47 ve  $9^{\circ}\text{C}$  -15:40.

Test odasındaki sıcaklık dağılımı deney odası ile benzerlik göstermektedir. Bu dağılımın oluşmasında dış ortam sıcaklığı en etkin parametredir. Gün içinde öğleden sonra 15:00 ile 16:00 saatleri arasında pik yapan dış ortam sıcaklığı oda içindeki ölçüm noktalarında en yüksek değere ulaşmasında önemli bir göstergedir. Fakat güneş ışınımına doğrudan maruz kalan güney duvarı (T15) ve tavan (T17) bölgesindeki ölçüm sonuçları 14:23'te azami değerine ulaşmıştır.



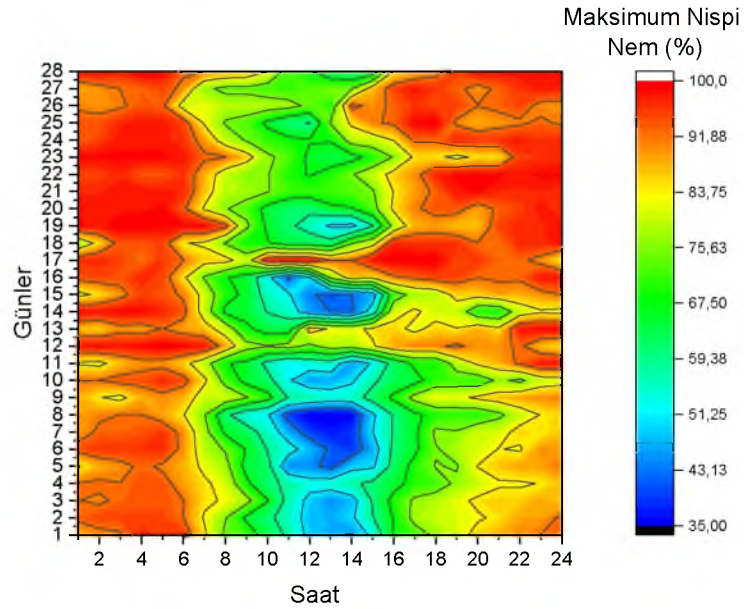
Şekil 4.5. Düz absorban panel test odası sonuçları

Şekil 4.6.'da şubat ayı boyunca ölçülen rüzgar hızı değerleri gösterilmektedir. Deneysel ölçümlerin yapıldığı ilk haftada nispeten diğer günlere nazaran daha düşük hız değerleri ölçülmüştür. Öyle ki ortalama hız değeri 1,6 m/s civarında olmaktadır. Bu durum ay içindeki en düşük infilasyon kayıplarının göstermektedir.



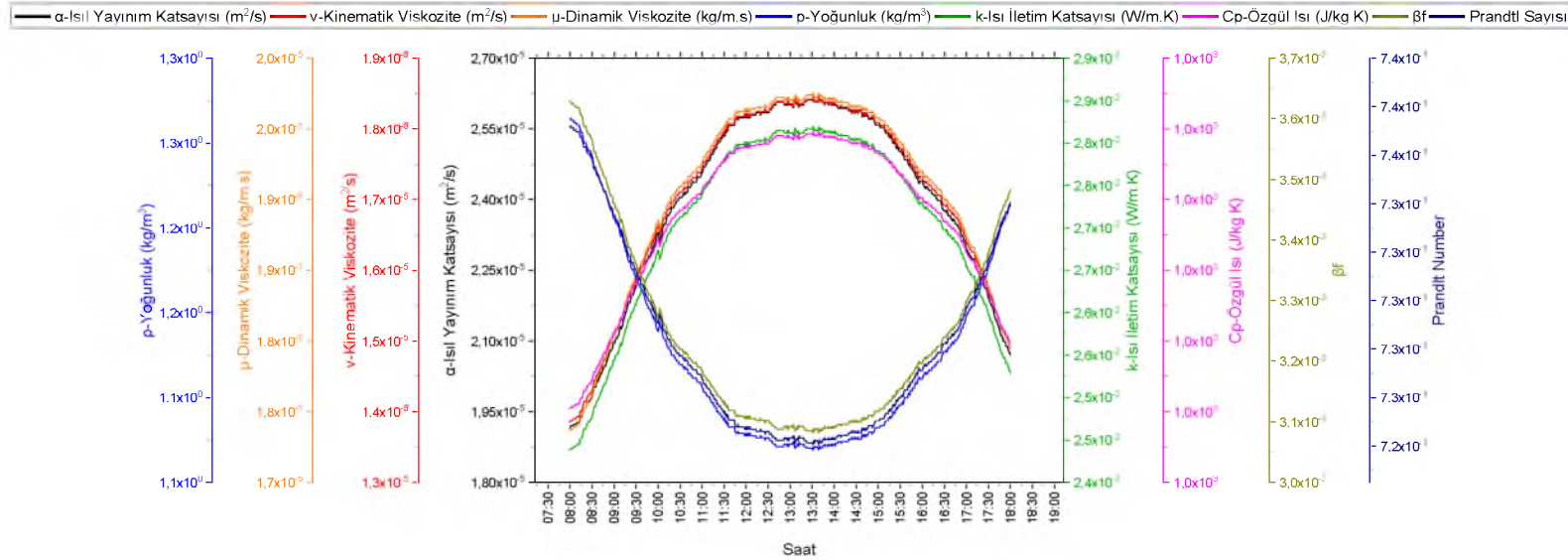
Şekil 4.6. Şubat ayı atmosferik hız değerleri

Şekil 4.7.'de Şubat ayına ait Nispi nem miktarı görülmektedir. Nem değeri gece %100 değerine ulaşırken gündüz ışınımın en yoğun olduğu saatlerde %35'e kadar düşmektedir.



Şekil 4.7. Şubat ayı nispi nem miktarı

## Düz Panel

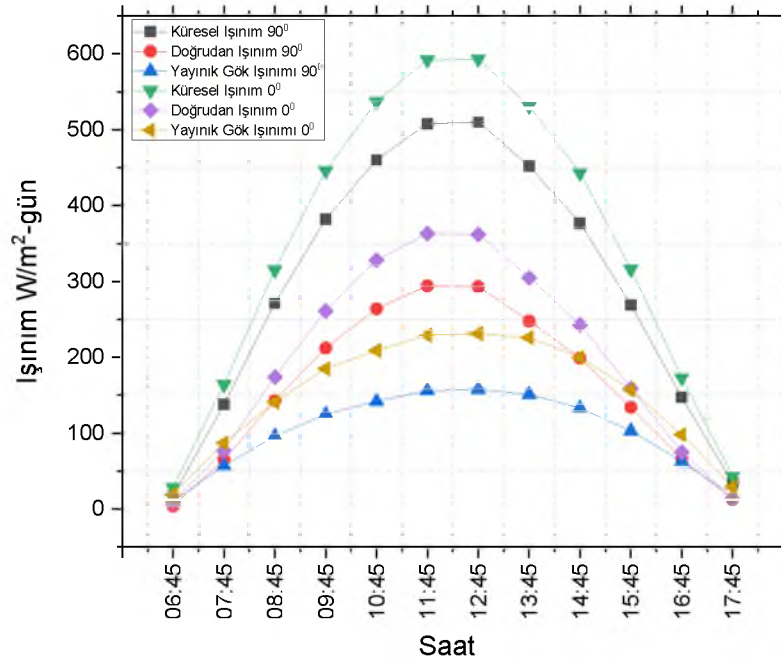


Şekil 4.8. Düz panel termal bölge hava özellikleri

Şekil 4.8.'de atmosfer basıncına bağlı havanın termofiziksel özellikleri düz absorban panel için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda hava kanalındaki ortalama akışkan sıcaklığının saat 08:00 ile 18:00 arasındaki değişimi referans alınmıştır. Gün içi ortalama değerler; ısı yayılım katsayısı  $\alpha=2,3974 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , kinematik viskozite  $\nu=1,7041 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , dinamik viskozite  $\mu=1,9545 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ , yoğunluk  $\rho=1,1247 \text{ kg/m}^3$ , ısı iletim katsayısı  $k=0,0270 \text{ W/m.K}$ , özgül ısı  $C_p=1,007 \text{ J/kg.K}$ , ısıl genleşme katsayısı  $\beta=0,0032 \text{ K}^{-1}$  ve Prandtl sayısı  $Pr=0,7279$  olmaktadır.

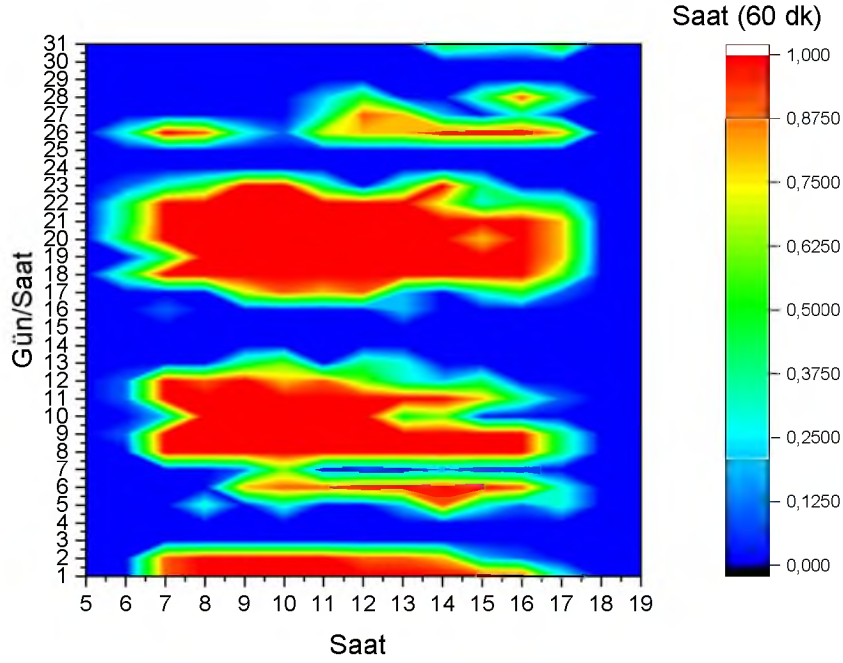
#### 4.1.2 27/200 Trapez Sac

Ölçümlerde sıcaklık değişimi Güneş ışınımının model üzerinde etkili olduğu sabah 05:30'dan akşam 18:30'a kadar değişkenlik göstermektedir. Şekil 4.9.'da  $90^0$  ve  $0^0$  üzerine gelen küresel (global), doğrudan (beam) ve yayınlık (diffuse) ışınım şiddeti görülmektedir. Azimut açısının yıllık değişiminden dolayı mart ayında güneş paneli optimum eğim açısı  $37^0$  olmaktadır. Bu durum dik yüzey ve yatay yüzeye gelen ışınım şiddetinde enlem ( $37.87^0$ ) itibariyle bahar ekinoksunda denge konumundadır. Güneş duvarı sisteminin de cam yüzeyine gelen ( $90^0$ ) küresel ışınım şiddeti 11:15 ile 13:15 arasında stabil pik değerine ulaşmakta ve  $508 \text{ W/m}^2$  olmaktadır. Bunu sırasıyla doğrudan ışınım ve yayınlık ışınım değerleri takip etmektedir.



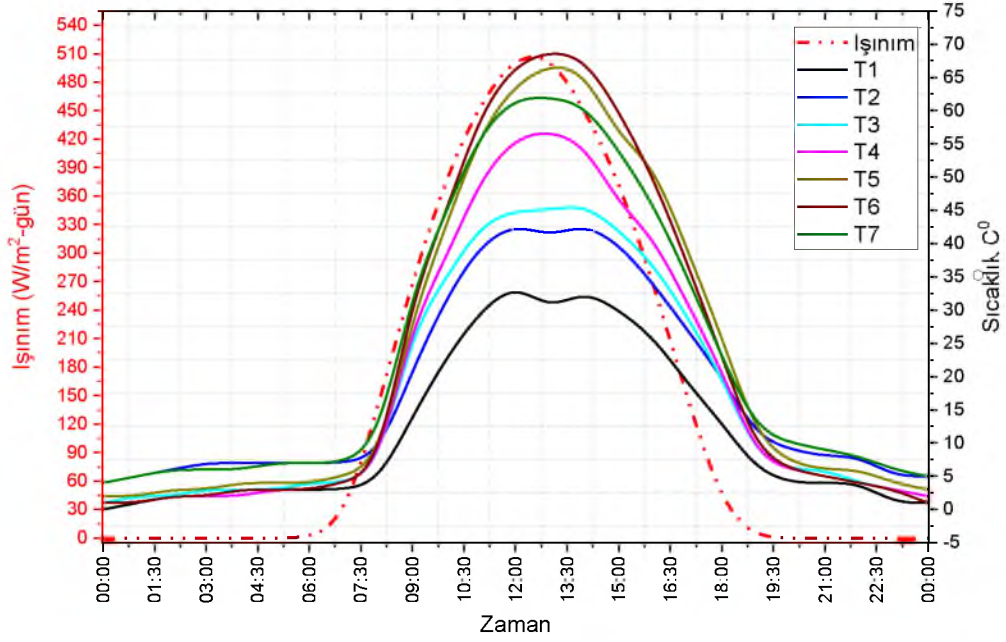
Şekil 4.9. Mart ışınım türleri ve saatlik değişimi

Şekil 4.10.'da Mart ayı boyunca kaydedilen güneşlenme süresini göstermektedir. Etkin güneş ışınımı sabah 06:30'da başlayıp akşam 18:30'da sonlanmaktadır. 07:00 ile 17:00 saatleri arasında açık günlerde tam güneşlenme periyodu kaydedilmiştir.



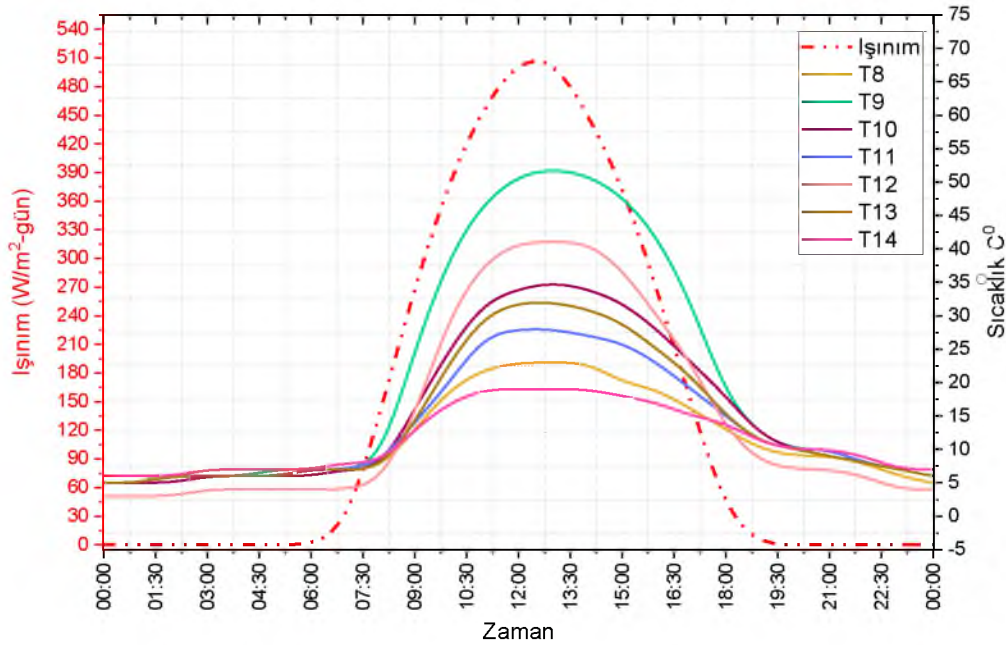
Şekil 4.10. Mart ayı güneşlenme süresi

Şekil 4.11.'de Termal bölgedeki 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, dış cam (T1) 1 °C- 00:37 ve 35 °C -12:16; iç cam (T2) 4 °C -06:49 ve 43 °C -11:42; hava kanalı (T3) 1 °C -00:23 ve 48 °C -13:48; T4 absorban panel 2 °C -00:11 ve 61 °C -12:10; T5 absorban panel 2 °C -00:52 ve 67 °C -12:50; T6 absorban panel 0 °C -00:18 ve 69 °C -12:45; T7 absorban panel 4 °C -00:44 ve 63 °C -12:09 olmaktadır. Bu değerlere göre absorban paneldeki en yüksek sıcaklık değerleri güneş ışınımının en yüksek olduğu öğle saatlerinde (12:30 ± 30 dk) gerçekleşmektedir. Panel üzerinde z yönünde ve x doğrultusunda artan sıcaklık eğilimi trapez absorban plakada düz absorban plakaya göre düşüş eğilimindedir. 12:30 itibarıyla z-30 ile z-60 ve x-37,5;116,25 konumlarında sıcaklık değerleri sırasıyla 57 °C, 65 °C, 67 °C ve 63 °C olmaktadır. Bu durum termal bölgede akışkanın dolaştığı absorban yüzey alanında değişikliğin oluşmasıyla akış hızında artışa ve yapısında düzensizliğe sebep olmaktadır. Bu sayede birim zamanda akışkana transfer edilen ısı miktarı düz panele göre artış göstermiş ve yüksekliğe bağlı ısı farkı azalmıştır.



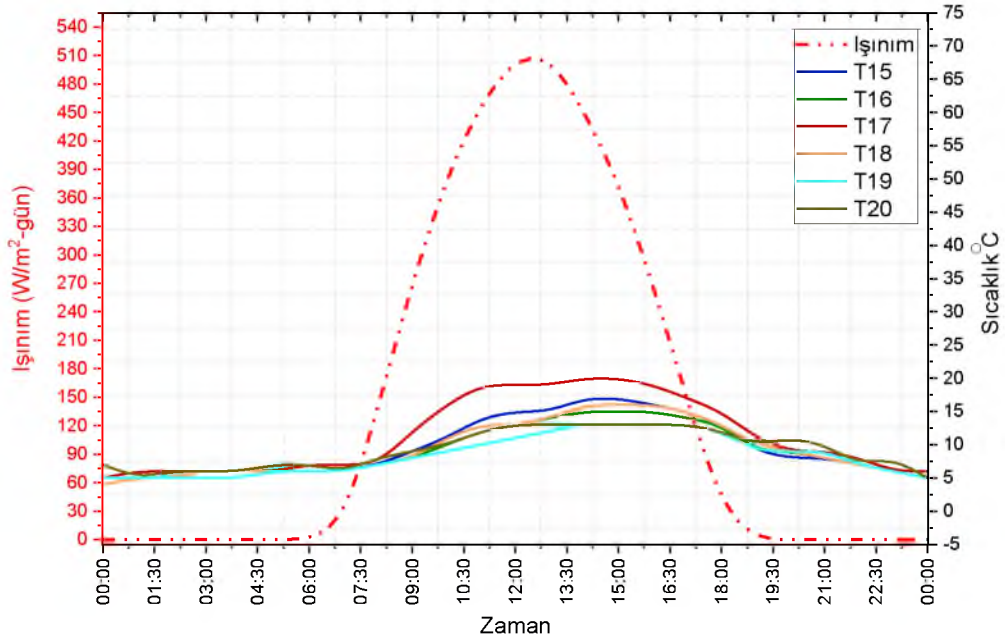
Şekil 4.11. 27/200 trapez sac termal bölge sonuçları

Şekil 4.12.'de Deney odasında kaydedilen 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, menfez girişi (T8) 4 °C 00:31 ve 24 °C -11:15; menfez çıkışı (T9) 5 °C -00:21 ve 54 °C -13:56; güney duvar (T10) 5 °C -00:39 ve 35 °C -12:07; kuzey duvar (T11) 5 °C -00:25 ve 29 °C -12:07; üst nokta (T12-Tmak) 3 °C -00:27 ve 42 °C -12:07; Orta nokta (T13-Tort) 5 °C -00:28 ve 33 °C -11:53; Alt nokta (T14-Tmin) 6 °C -00:03 ve 20 °C -11:28 olmaktadır.



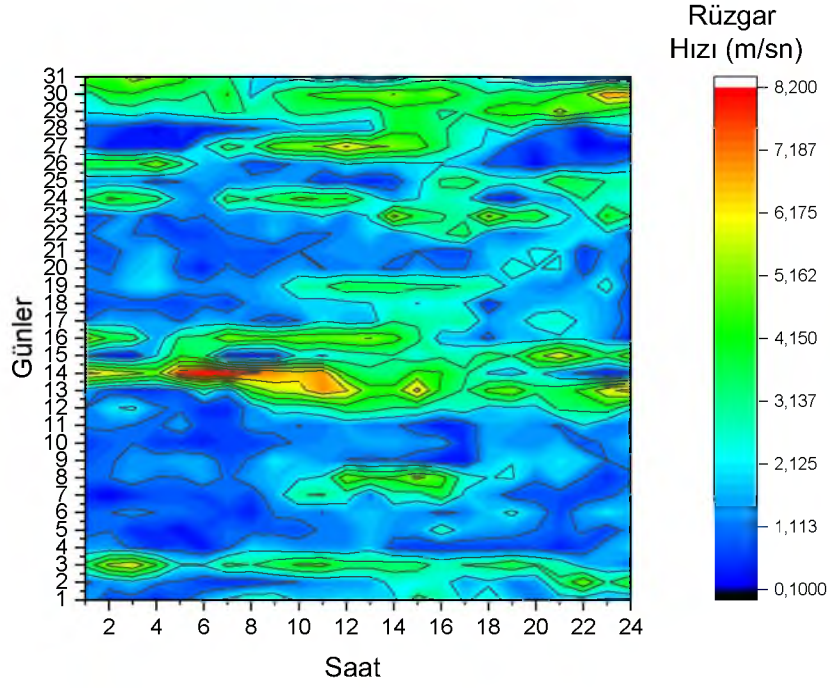
Şekil 4.12. 27/200 trapez sac deney odası sonuçları

Şekil 4.13.'de Test odasında kaydedilen 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, güney duvar (T15) 4 °C -00:27 ve 17 °C -13:51; kuzey duvar (T16) 4 °C -00:14 ve 15 °C -13:47; üst nokta (T17-Tmak) 5 °C -00:22 ve 21 °C -13:48; Orta nokta (T18-Tort) 4 °C -00:21 ve 16 °C -13:57; Alt nokta (T19-Tmin) 5 °C -00:09 ve 13 °C -13:50 olmaktadır ve dış ortam sıcaklığı (T20) 2 °C -00:27 ve 14 °C -12:46. Test odasında alınan ölçüm sonuçları dış ortam sıcaklığından dolayı olarak etkilenmektedir. Öyle ki atmosferik sıcaklığın pik yaptığı 12:46 zaman diliminden 1 saat sonra tüm ölçüm noktalarında ( $\pm 10$  dk.) eş zamanlı azami değer elde edilmiştir. Güney-Kuzey duvarlar arasındaki sıcaklık farkı Şubat ayına göre azalış içindedir. Bu durumun temel sebebi güneş ışın geliş açılarının düşmesi zenit açısının artmasıdır.



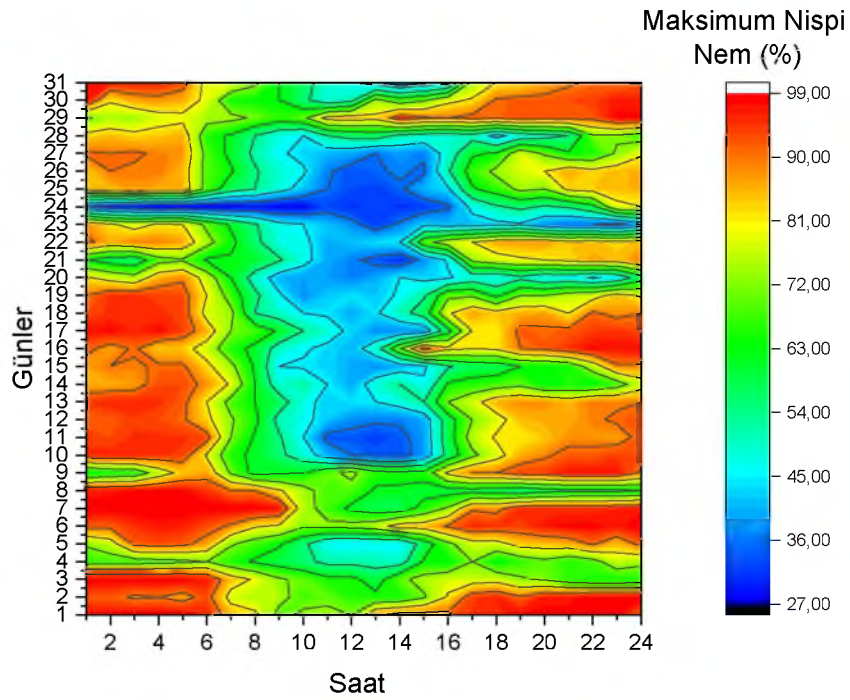
Şekil 4.13. 27/200 trapez sac test odası sonuçları

Şekil 4.14.'de Mart ayı boyunca ölçülen rüzgar hızı değerleri gösterilmektedir. Deneysel ölçümlerin yapıldığı Mart ayında ortalama hız değeri 1,3 m/s civarında olmaktadır. Bu sayede infilasyonla gerçekleşen enerji kayıpları ay içerisindeki en düşük seviyesindedir.



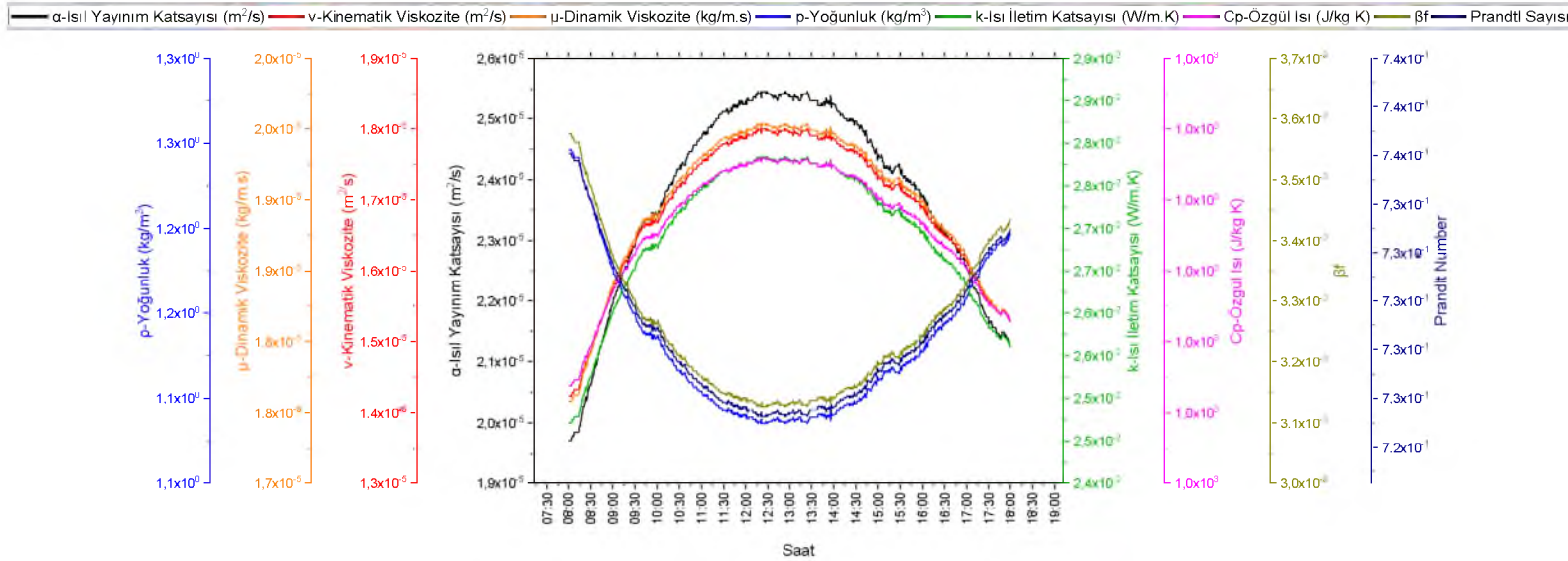
Şekil 4.14. Mart ayı atmosferik hız değerleri

Şekil 4.15.'de Mart ayına ait Nispi nem miktarı görülmektedir. Nem değeri gece %100 değerine ulaşırken gündüz ışınımın en yoğun olduğu saatlerde %27'e kadar düşmektedir. Deneysel sonuçların alındığı dönemde ışınım saçılması ay içerisindeki en düşük seviyede (%36-%27) olmaktadır.



Şekil 4.15. Mart ayı nispi nem miktarı

## 27/200 Trapez Sac

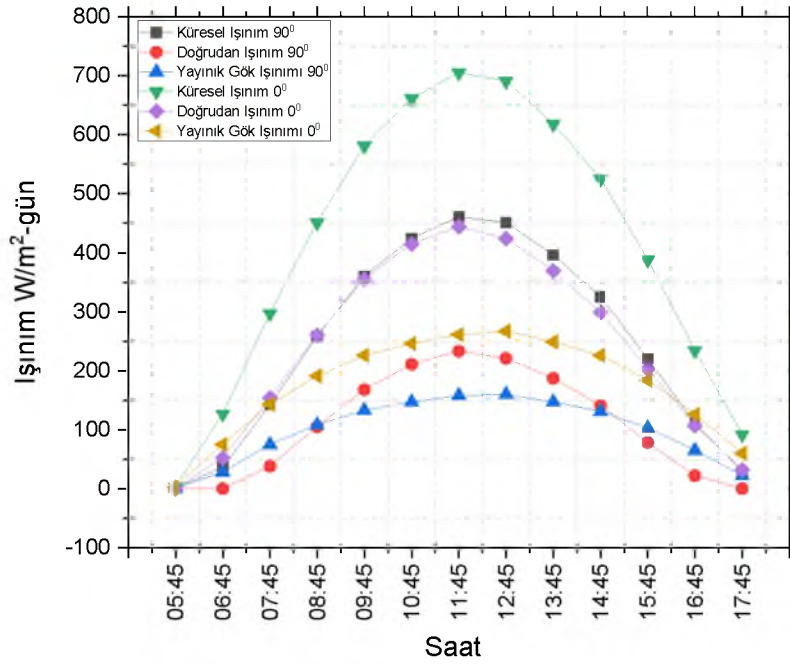


Şekil 4.16. 27/200 trapez panel termal bölge hava özellikleri

Şekil 4.16.'da atmosfer basıncına bağlı havanın termodinamik özellikleri 27/200 trapez panel için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda hava kanalındaki ortalama akışkan sıcaklığının saat 08:00 ile 18:00 arasındaki değişimi referans alınmıştır. Gün içi ortalama değerler; ısı yayılım katsayısı  $\alpha=2,3732 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , kinematik viskozite  $\nu=1,6891 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , dinamik viskozite  $\mu=1,9476 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ , yoğunluk  $\rho=1,1296 \text{ kg/m}^3$ , ısı iletim katsayısı  $k=0,0269 \text{ W/m.K}$ , özgül ısı  $C_p=1,007 \text{ J/kg.K}$ , ısı genleşme katsayısı  $\beta=0,0032 \text{ K}^{-1}$  ve Prandtl sayısı  $Pr=0,7283$  olmaktadır.

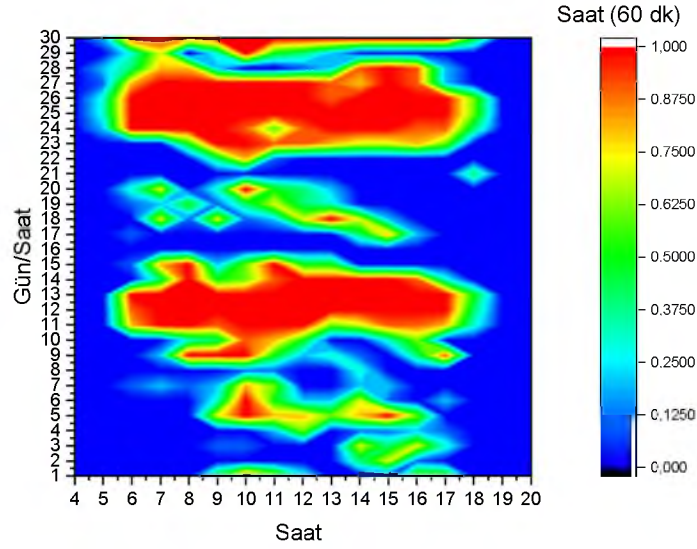
#### 4.1.3 Sinüs Oluklu 76/18 Trapez Sac

Ölçümlerde sıcaklık değişimi Güneş ışınımının model üzerinde etkili olduğu sabah 05:00'dan akşam 19:00'a kadar değişkenlik göstermektedir. Şekil 4.17.'de dik ve yatay konuma gelen küresel (global), doğrudan (beam) ve yayıncı (diffuse) ışınım şiddeti görülmektedir. Deklinsayon açısının yıllık değişiminden dolayı Nisan ayında güneş paneli optimum eğim açısı  $20^{\circ}$  olmaktadır. Güneş duvarı sisteminin de cam yüzeyine gelen ( $90^{\circ}$ ) küresel ışınım şiddeti 11:15 ile 12:15 arasında pik değerine ulaşmakta ve  $460 \text{ W/m}^2$  olmaktadır. Bunu sırasıyla doğrudan ışınım ve yayıncı ışınım değerleri takip etmektedir. Küresel ışınım değeri ise  $720 \text{ W/m}^2$  değerinde ölçülmüştür.



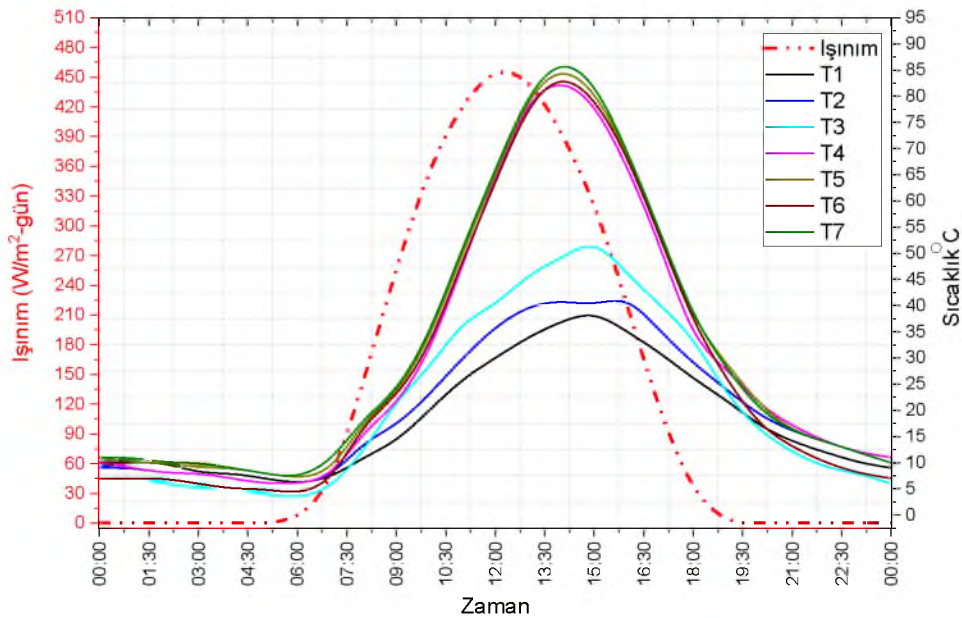
Şekil 4.17. Nisan ışınım türleri ve saatlik değişimi

Şekil 4.18.'de Nisan ayı boyunca kaydedilen güneşlenme süresini göstermektedir. Etkin güneş ışınımı sabah 05:30'da başlayıp akşam 19:00'da sonlanmaktadır. 06:00 ile 17:30 saatleri arasında açık günlerde tam güneşlenme periyodu kaydedilmiştir.



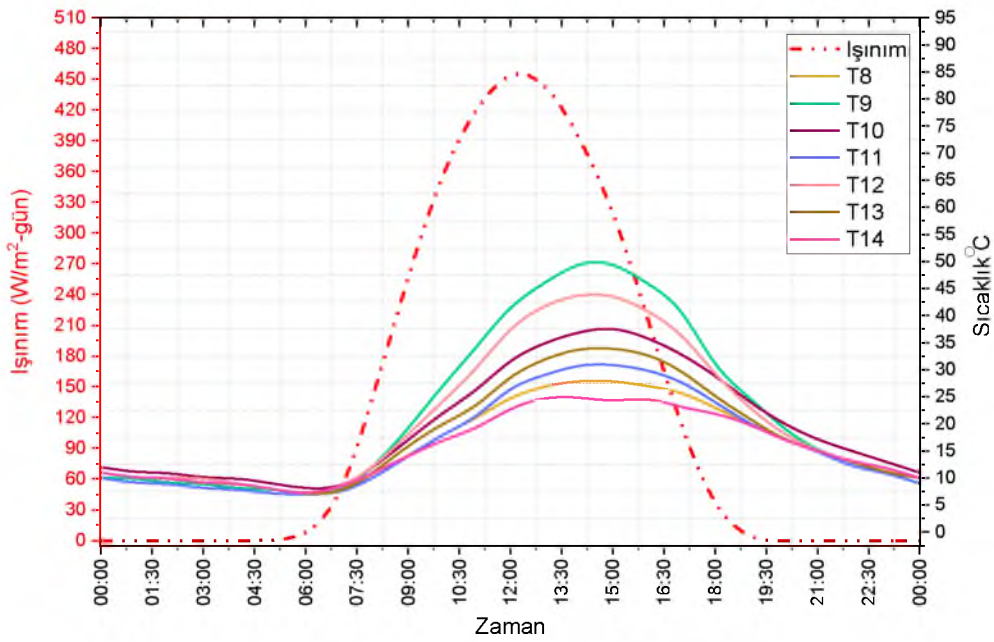
Şekil 4.18. Nisan ayı güneşlenme süresi

Şekil 4.19.'da Termal bölgedeki 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, dış cam (T1) 6 °C- 05:22 ve 40 °C-14:17; iç cam (T2) 6 °C-04:45 ve 42 °C-26; hava kanalı (T3) 3 °C- 05:36 ve 53 °C-14:11; T4 absorban panel 6 °C-04:55 ve 83 °C-14:36; T5 absorban panel 6 °C-05:12 ve 86 °C-14:36; T6 absorban panel 3 °C-06:06 ve 84 °C-14:36; T7 absorban panel 7 °C-05:47 ve 87 °C-14:36 olmaktadır. Bu değerlere göre absorban paneldeki en yüksek sıcaklık öğle saatlerinde gerçekleşmektedir. Panel üzerinde z yönünde ve x doğrultusunda artan sıcaklık eğilimi trapez absorban plakada düz absorban plakaya göre düşüş eğilimindedir. 12:30 itibariyle z-30 ile z-60 ve x-37,5;116,25 konumlarında sıcaklık değerleri sırasıyla 68 °C, 72 °C, 70 °C ve 73 °C olmaktadır.



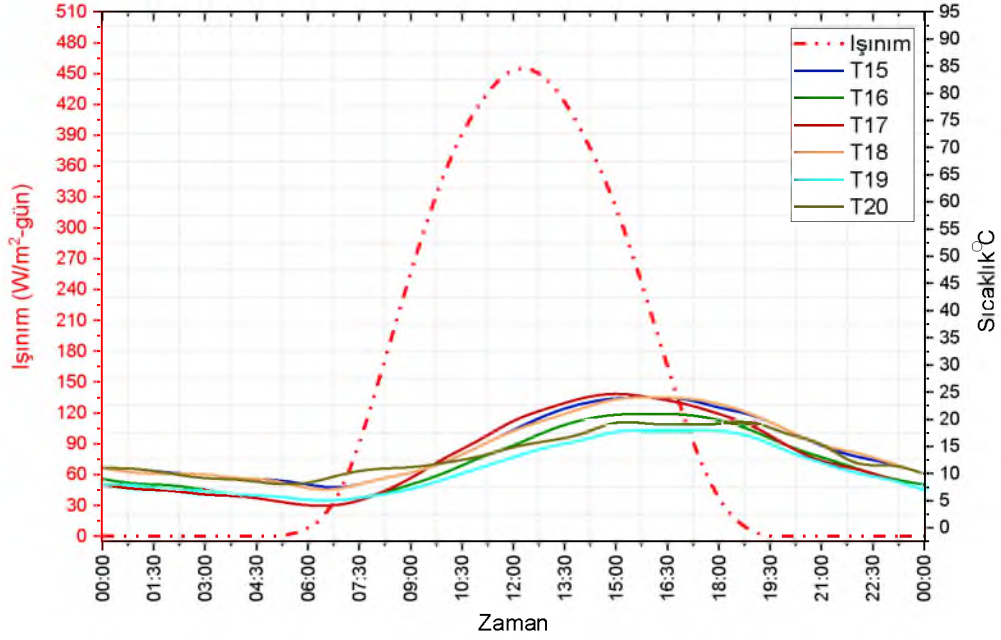
Şekil 4.19. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac termal bölge sonuçları

Şekil 4.20.'de Deney odasında kaydedilen 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, menfez girişi (T8) 6 °C-05:53 ve 31 °C-14:15; menfez çıkışı (T9) 6 °C-06:27 ve 54 °C-14:18; güney duvar (T10) 8 °C-05:35 ve 37 °C-14:06; kuzey duvar (T11) 6 °C-05:48 ve 32 °C-14:20; üst nokta (T12-Tmak) 7 °C-05:48 ve 49 °C-14:10; Orta nokta (T13-Tort) 7 °C-05:30 ve 36 °C-14:18; Alt nokta (T14-Tmin) 7 °C-05:43 ve 25 °C-12:56 olmaktadır. Oda içindeki en yüksek sıcaklık değeri termal bölgeden hemen sonra ölçüm alınan üst havalandırma menfezinde olmaktadır. Bu değeri sırasıyla T12, T10, T13, T11 ve T8 takip etmektedir.



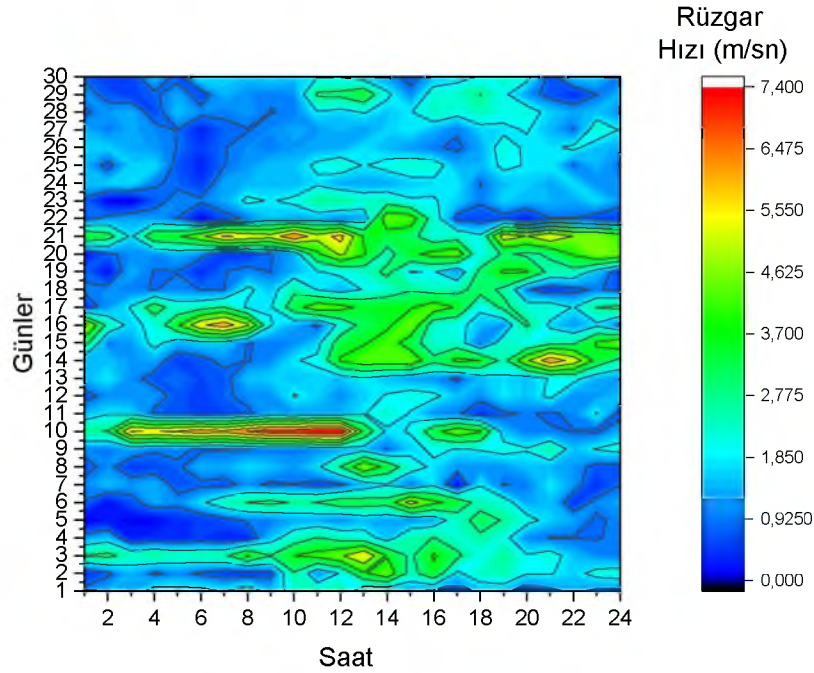
Şekil 4.20. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac deney odası sonuçları

Şekil 4.21.'de Test odasında kaydedilen 24 saatlik ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu hacimdeki ölçüm noktalarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, güney duvar (T15) 7 °C-06:17 ve 22 °C-15:14; kuzey duvar (T16) 4 °C-06:45 ve 18 °C-14:33; üst nokta (T17-Tmak) 4 °C-05:43 ve 23 °C-14:22; Orta nokta (T18-Tort) 6 °C-05:48 ve 21 °C-14:44; Alt nokta (T19-Tmin) 4 °C-06:20 ve 17 °C-14:50 olmaktadır ve dış ortam sıcaklığı (T20) 6 °C-05:03 ve 18 °C-14:54. Test odasında alınan ölçüm sonuçları dış ortam sıcaklığından dolayı olarak etkilenmektedir. Fakat Güney duvar ve Tavan için alınan ölçüm değerleri güneş ışınımının pik yaptığı 12:30 itibariyle ışınımına bağlı yükseliş trendine girmektedir.



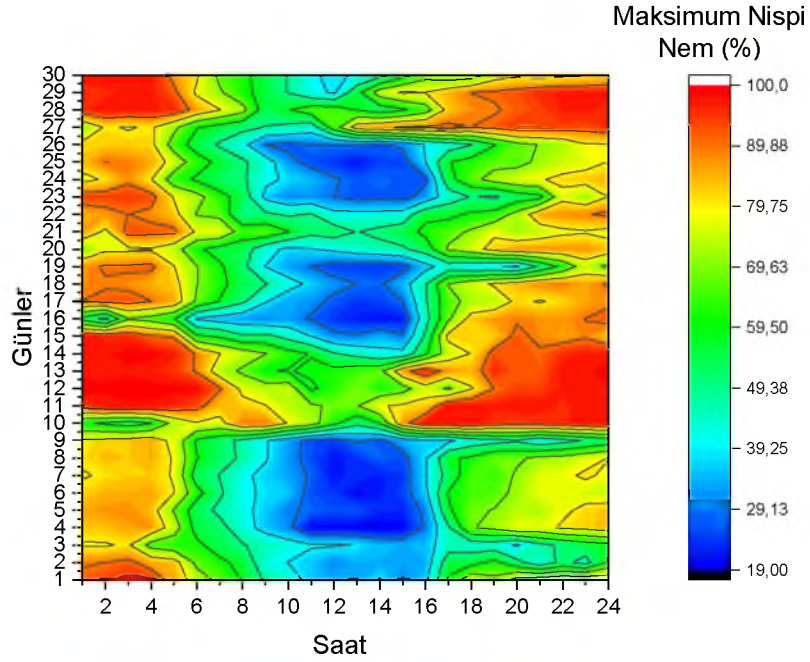
Şekil 4.21. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac test odası sonuçları

Şekil 4.22.'de Nisan ayı boyunca ölçülen rüzgar hızı değerleri gösterilmektedir. Deneysel ölçümlerin yapıldığı Nisan'ın son haftasında ortalama hız değeri 1,55 m/s civarında olmaktadır. İnfilasyonla meydana gelen enerji kayıpları ay içerisindeki diğer günlere nazaran en düşük seviyedir.

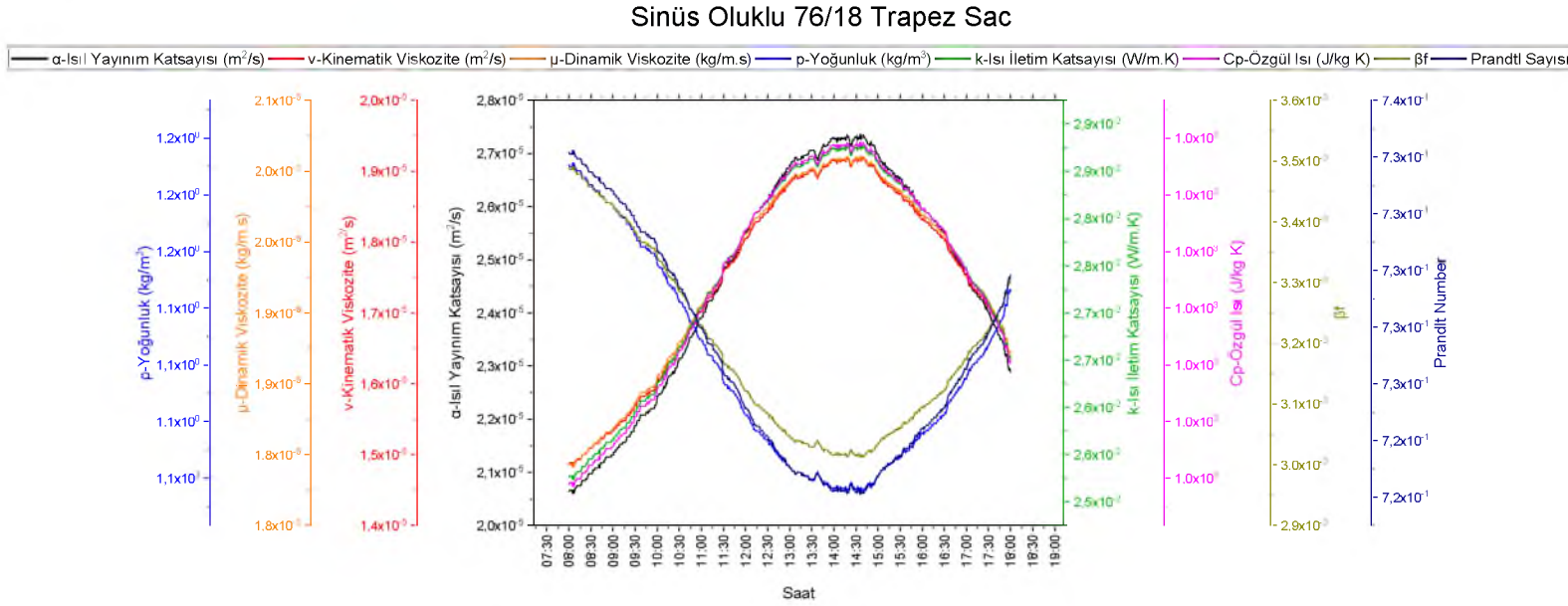


Şekil 4.22. Nisan ayı atmosferik hız değerleri

Şekil 4.23.'de Nisan ayına ait nispi nem miktarı görülmektedir. Nem değeri gece %100 değerine ulaşırken gündüz ışınımın en yoğun olduğu saatlerde %19'a kadar düşmektedir. Deneysel sonuçların alındığı dönemde ışınım saçılması ay içerisindeki en düşük seviyede (%36-%19) olmaktadır.



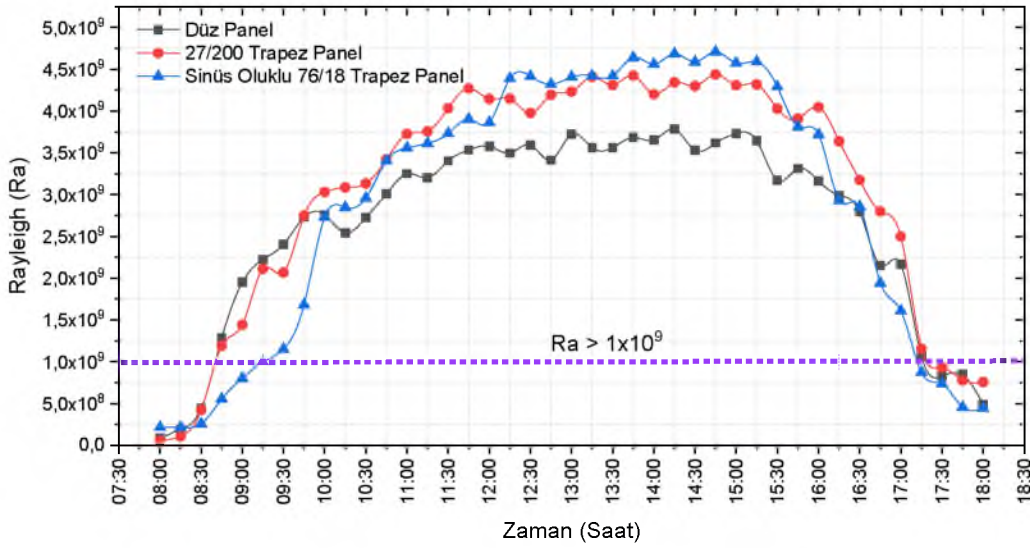
Şekil 4.23. Nisan ayı nispi nem miktarı



Şekil 4.24.'de atmosfer basıncına bağlı havanın termofiziksel özellikleri sinüs oluklu 76/18 trapez panel için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda hava kanalındaki ortalama akışkan sıcaklığının saat 08:00 ile 18:00 arasındaki değişimi referans alınmıştır. Gün içi ortalama değerler; ısı yayılım katsayısı  $\alpha=2,4683 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , kinematik viskozite  $\nu=1,7496 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , dinamik viskozite  $\mu=1,9772 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ , yoğunluk  $\rho=1,1070 \text{ kg/m}^3$ , ısı iletim katsayısı  $k=0,0274 \text{ W/m.K}$ , özgül ısı  $C_p=1,007 \text{ J/kg.K}$ , ısı genleşme katsayısı  $\beta=0,0031 \text{ K}^{-1}$  ve Prandtl sayısı  $Pr=0,7267$  olmaktadır.

## 4.2. Deneysel Karşılaştırma

Güneş duvarı modelinde kullanılan üç farklı absorban panelde elde edilen ölçüm verileri sabah 08:00 akşam 18:00 saatleri arasında analiz edilmiştir. Analizlerde ölçüm verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalardaki değerler 1 dakikalık aralıklarla her koşul için 600 durumu kapsamaktadır. Hesaplaması yapılan boyutsuz parametreler Rayleigh (Ra) sayısı, Grashof (Gr) sayısı, Prandtl (Pr) sayısı, Nusselt (Nu) sayısı olmaktadır. Birimli hesaplar ise ısı akısı (Q-Watt), hava kanalı ortalama hız ( $v$ -m/s), hava kanalı debisi ( $\dot{m}$ -kg/s), alt-üst menfez sıcaklık farkı ( $\Delta T$ -°C), verim ( $\eta$ -%), ısı yayılım katsayısı ( $\alpha$ -m<sup>2</sup>/s), kinematik viskozite ( $\nu$ -m<sup>2</sup>/s), dinamik viskozite ( $\mu$ -kg/m.s), yoğunluk ( $\rho$ -kg/m<sup>3</sup>), ısı iletim katsayısı (k-W/m.K), özgül ısı (Cp-J/kg.K) ve ısı genleşme katsayısı ( $\beta$ -K<sup>-1</sup>) olmaktadır.



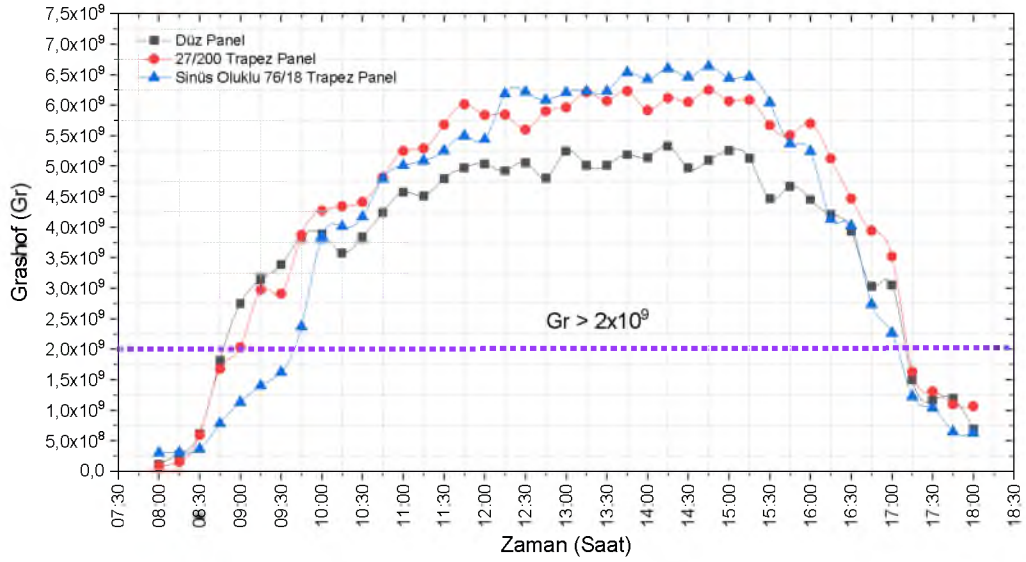
Şekil 4.25. Rayleigh değeri

Şekil 4.25.'de görüldüğü gibi 3 farklı absorban plakadan oluşan düzeltilmiş Rayleigh (Ra) sayıları hesaplanmıştır. Doğal taşınım ile ısı transferi hesaplarında simetrik veya asimetrik olarak ısıtılan sabit ısı akısı ( $q$ ) veya yüzey sıcaklığı ( $T_w$ ) olan levhalarda yerel Nusselt sayısı ve ısı akısına bağlı edilmiş Rayleigh denklem 4.1'den hesaplanmasını önermektedir (Elenbaas 1942).

$$Ra^* = \frac{g\beta qe^4}{k\alpha\nu} \quad (4.1)$$

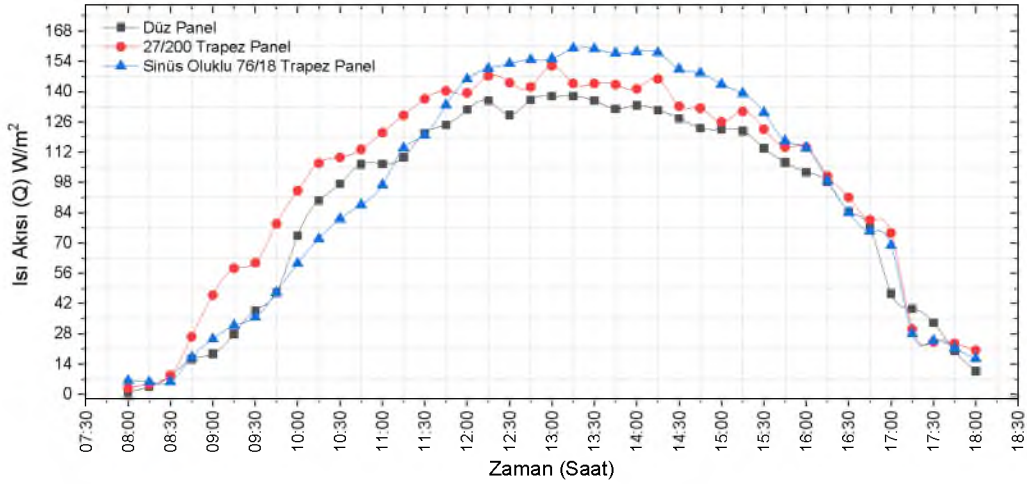
Düz panel, 27/200 Trapez Panel ve Sinüs Oluklu 76/18 trapez panel için en yüksek değerleri sırasıyla 13:43-Ra=4,09x10<sup>9</sup>, 13:56- Ra=4,81 x10<sup>9</sup>ve 14:41- Ra=4,78 x10<sup>9</sup> olmaktadır. Grashof sayısı ise sırasıyla Gr=5,65 x10<sup>9</sup>, Gr=6,63 x10<sup>9</sup> ve Gr=6,60 x10<sup>9</sup> olmaktadır.

Dikey paralel levhada doğal akış türleri tanımlanmasına göre 10<sup>4</sup><Gr<2x10<sup>9</sup> laminar sınır tabakası, 2x10<sup>9</sup><Gr<10<sup>10</sup> geçiş bölgesi ve 10<sup>10</sup><Gr türbülanslı bölge olarak ifade edilmiştir (Cheesewright 1968).



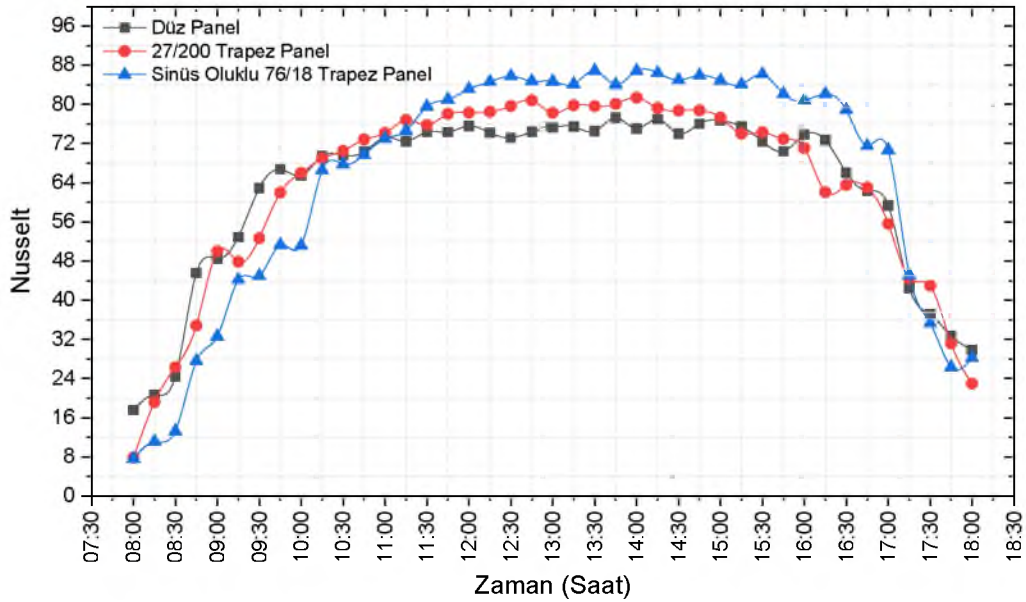
Şekil 4.26. Akış türü ve değişimi

Şekil 4.26.'da görüleceği üzere zaman dilimine bağlı Grashof sayısı ve akış türü gösterilmiştir. Tüm panel türleri için ışınlam seviyesinin düşük olduğu sabah ve öğleden sonra Gr= 2x10<sup>9</sup> seviyesinin altında olup laminardır. Akışın türbülans bölgesine geçtiği sabah zaman dilimi düz panel için 08:56, 27/200 Trapez panel için 08:57 ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel 10:06 olmaktadır. Öğleden sonraki tekrar laminar akış özelliklerinin görüldüğü zaman dilimi düz panel, 27/200 Trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel için sırasıyla 17:06, 17:08 ve 17:07 olmaktadır.



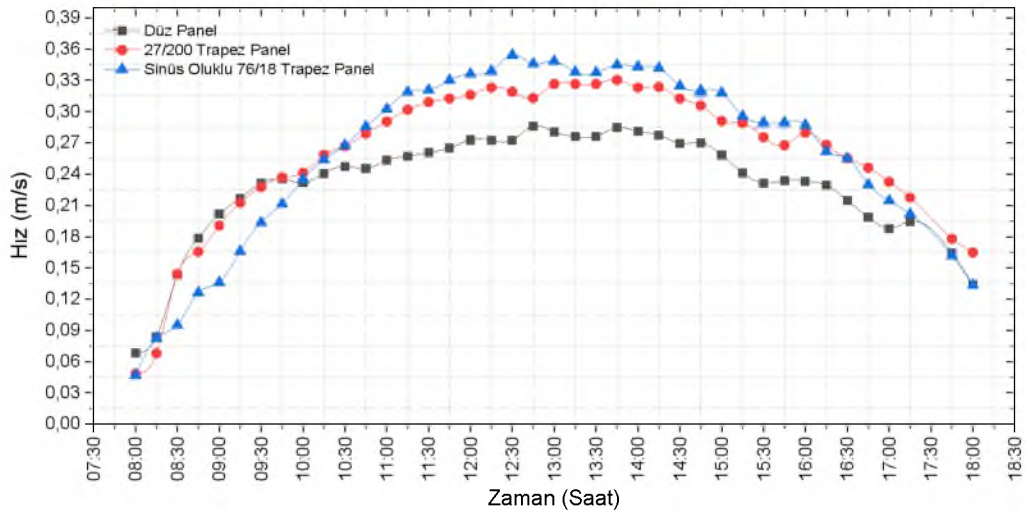
Şekil 4.27. Isı akısı değişimi

Şekil 4.27.'de Absorban panellerden hava kanalına aktarılan ısı akısı ( $Q$ )  $W/m^2$  görülmektedir. Tüm Panelleri için en düşük ve yüksek değerler ışınım ile doğrusal orantılıdır. Işınım seviyesinin en yüksek olduğu 11:30 ile 14:30 saatleri arasında ısı akısı en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Bu değer düz panel, 27/200 Trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel için sırasıyla  $13:31-Q=141 W/m^2$ ,  $13:56-Q=157 W/m^2$ ,  $14:02 Q=161 W/m^2$  olmaktadır. Ortalama değerler (08:00-18:00) ise;  $Q=89,04 W/m^2$ ,  $Q= 93,26 W/m^2$  ve  $Q= 95,14 W/m^2$  olmaktadır. Laminer rejimde bu değerler paneller için sırasıyla  $Q= 23,18 W/m^2$ ,  $Q= 27,57 W/m^2$  ve  $Q= 38,54 W/m^2$  olmaktadır. Türbülanslı rejiminde ise sırasıyla  $Q= 105,02 W/m^2$ ,  $Q= 116,29 W/m^2$  ve  $Q= 118,24 W/m^2$  olmaktadır.



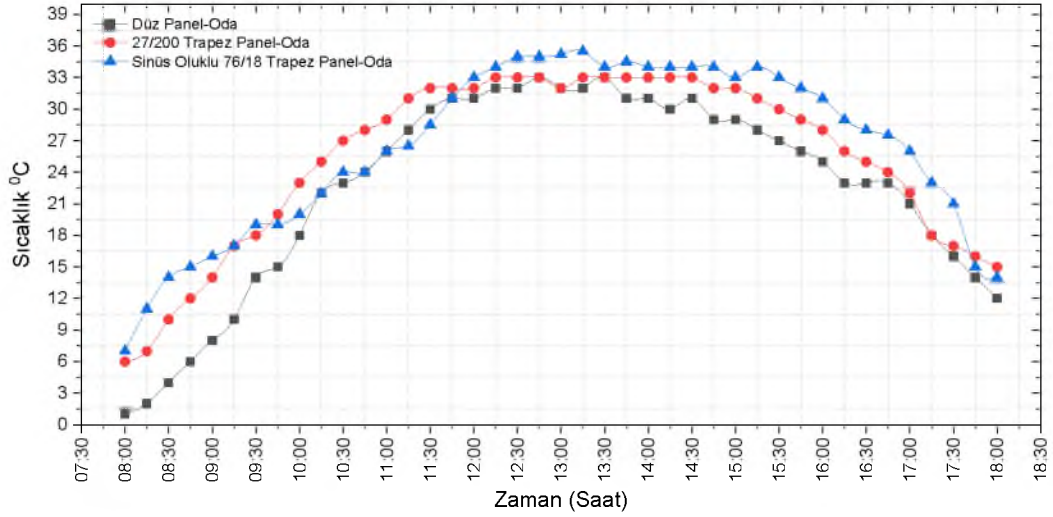
Şekil 4.28. Nusselt değişimi

Şekil 4.28.'de birim zamandaki dikey panellerden hava kanalına taşınma transfer edilen ısı'nın iletme oranı olan boyutsuz Nusselt sayısı ile tanımlanmıştır. Bu değerin en yüksek miktarı düz panel, 27/200 Trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel için sırasıyla 14:39-Nu=77,49, 13:32-Nu=80,89 ve 13:54 Nu=87,39 olmaktadır. Ortalama değerler (08:00-18:00) ise sırasıyla Nu= 63,03, Nu= 64,09 ve Nu= 65,16 olmaktadır. Laminer rejimde ortalama değerler paneller için sırasıyla Nu= 42,81, Nu= 48,83 ve Nu= 51,33 olmaktadır. Türbülanslı rejiminde ortalamalar sırasıyla Nu= 70,72, Nu= 72,56 ve Nu= 76,45 olmaktadır.



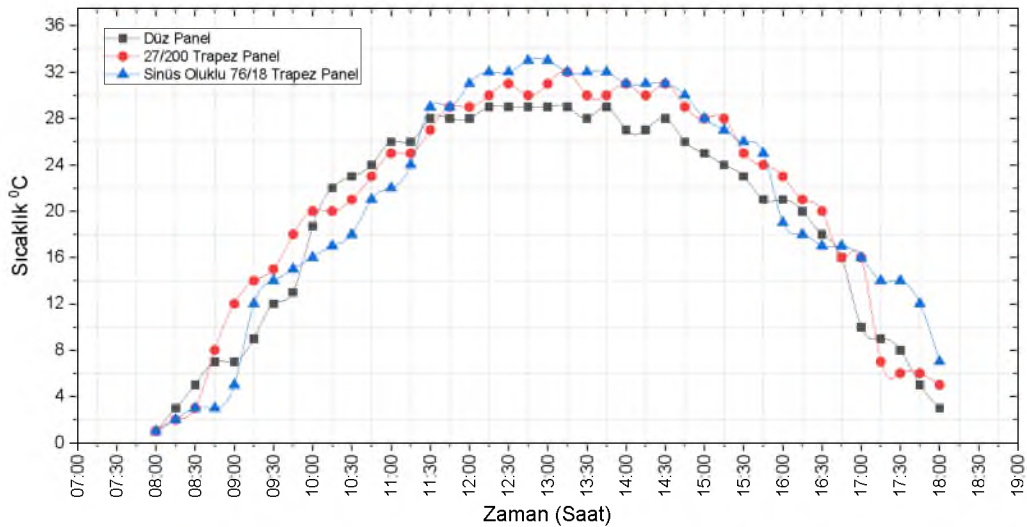
Şekil 4.29. Hava kanalı hız değişimi

Şekil 4.29.'da hava kanalındaki hız (m/s) değerleri gösterilmektedir. Bu değerler alt menfez (V1) ve üst menfez (V2) giriş ve çıkışlarından ölçülen ortalama değerlerdir. Hız için en yüksek değer düz panel, 27/200 Trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel için sırasıyla 13:40-v= 0,2847- m/s, 13:41-v= 0,3269 m/s ve 13:34-v= 0,3578 m/s olmaktadır. Ortalama değerler (08:00-18:00) ise sırasıyla v=0,2311 m/s, v=0,2436 m/s ve v=0,2557 m/s olup hava kanalındaki ortalama debi miktarları ise sırasıyla  $\dot{m} = 0,0602$  kg/s,  $\dot{m} = 0,0608$  kg/s ve  $\dot{m} = 0,0705$  kg/s olmaktadır. Laminer rejimde ortalama değerler paneller için sırasıyla v=0,2164 m/s, v=0,2180 m/s ve v=0,2072 m/s olup ortalama debi miktarı sırasıyla  $\dot{m} = 0,0630$  kg/s,  $\dot{m} = 0,0638$  kg/s ve  $\dot{m} = 0,0579$  kg/s olmaktadır. Türbülanslı rejiminde ortalamalar sırasıyla v=0,2494 m/s, v=0,2739 m/s ve v=0,2867 m/s olmakta ve ortalama debi miktarları ise sırasıyla  $\dot{m} = 0,0660$  kg/s,  $\dot{m} = 0,0706$  kg/s ve  $\dot{m} = 0,0853$  kg/s olmaktadır.



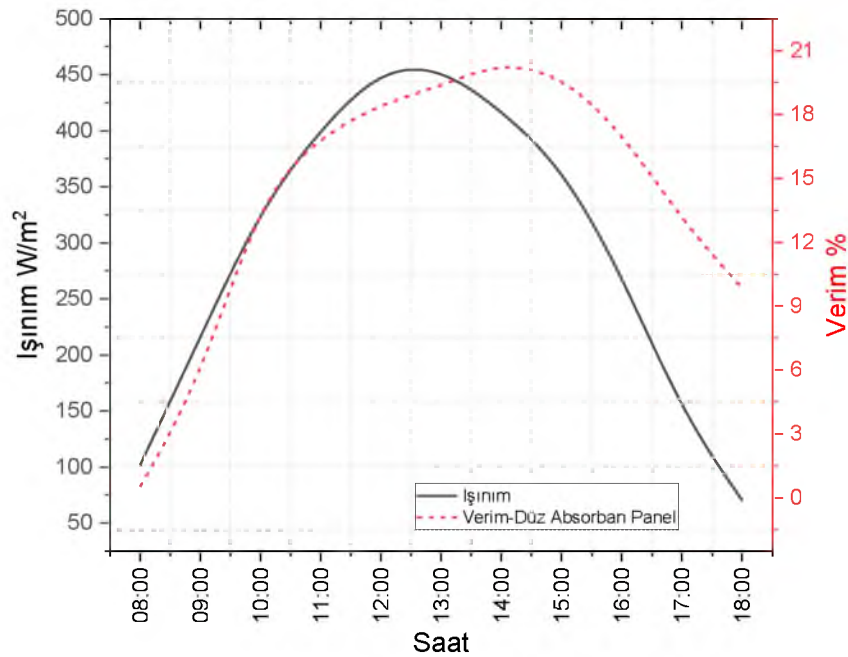
Şekil 4.30. Oda içi sıcaklık değişimi

Şekil 4.30.'da Deney odası sıcaklığı (T13) gösterilmektedir. Sıcaklık için en yüksek değer düz panel, 27/200 Trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel için sırasıyla 12:41-T13= 32 °C, 11:53- T13= 34 °C ve 14:18- T13= 35 °C olmaktadır. Ortalama değerler (08:00-18:00) ise sırasıyla T13= 23,69 °C, T13= 25,03 C<sup>0</sup>ve T13= 27,01 °C olmaktadır. Laminer rejimde ortalama değerler paneller için sırasıyla T13= 11,90 °C, T13= 18,07 °C ve T13= 27,72 °C olmaktadır. Türbülanslı rejiminde ortalamalar sırasıyla T13= 26,84 °C, T13= 27,73 °C ve T13= 30,27 °C olmaktadır.



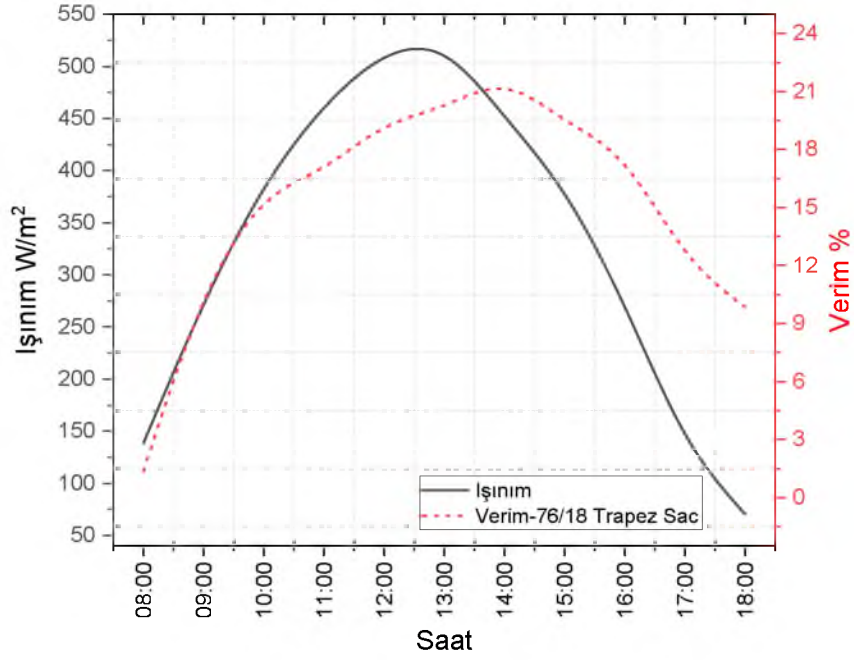
Şekil 4.31. Menfezler arası sıcaklık değişimi

Şekil 4.31.'de üst menfez (T9) ve alt menfez (T8) arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) gösterilmektedir. Delta T için en yüksek değer düz panel, 27/200 Trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panel için sırasıyla 12:35-  $\Delta T = 29$  °C, 13:56-  $\Delta T = 31$  °C ve 14:41-  $\Delta T = 30$  °C olmaktadır. Ortalama değerler (08:00-18:00) ise  $\Delta T = 18,75$  °C,  $\Delta T = 20,30$  °C ve  $\Delta T = 19,76$  °C olmaktadır. Laminer rejimde ortalama değerler paneller için sırasıyla  $\Delta T = 7,81$  °C,  $\Delta T = 7,85$  °C ve  $\Delta T = 11,36$  °C olmaktadır. Türbülanslı rejimde ortalamalar sırasıyla  $\Delta T = 20,97$  °C,  $\Delta T = 22,53$  °C ve  $\Delta T = 19,97$  °C olarak hesaplanmaktadır.



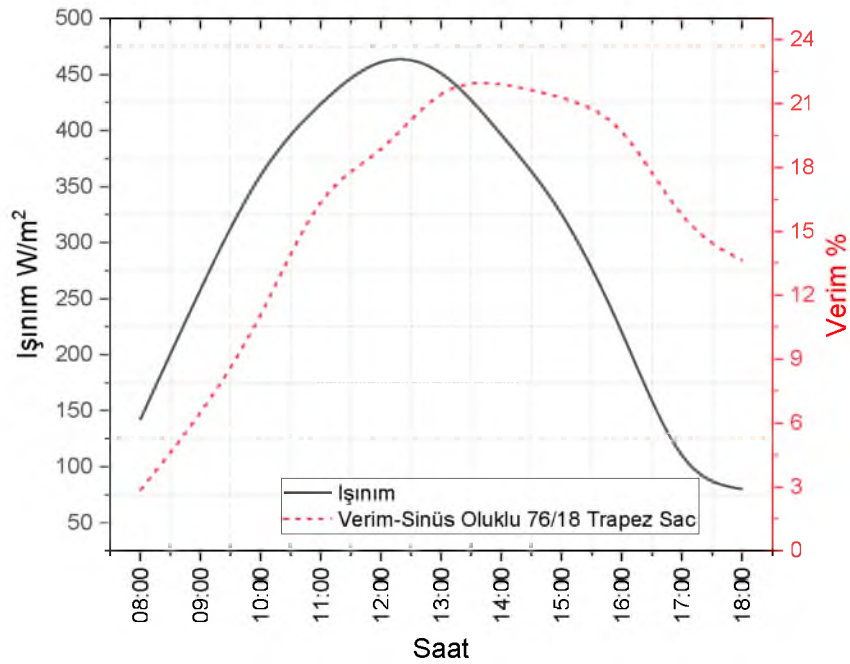
Şekil 4.32. Düz absorban panelden verim-ışınım

Şekil 4.32.'de Düz absorban panelden saatlik elde edilen verim ve dikey yüzeye gelen ışınım ilişkisi gösterilmektedir. Bu panel için en düşük, en yüksek ve ortalama değerler sırasıyla 08:00-  $\eta=0,53$ , 14:00- $\eta=20,49$  ve  $\eta=14,14$  olmaktadır.



Şekil 4.33. 27/200 Trapez panel verim-ışınım

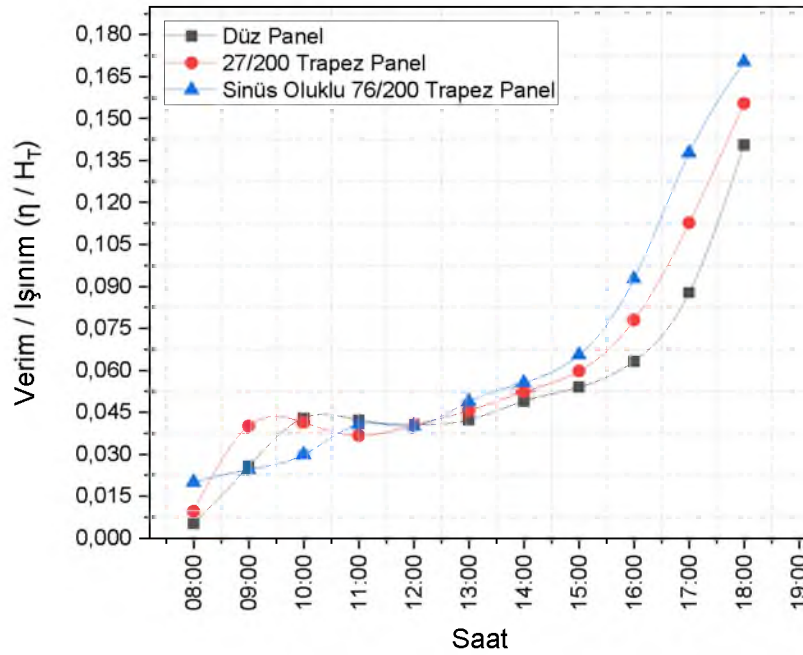
Şekil 4.33.'de 27/200 Trapez panelden elde edilen saatlik verim ve dikey yüzeye gelen ışınım ilişkisi gösterilmektedir. Bu panel için en düşük, en yüksek ve ortalama değerler sırasıyla 08:00-  $\eta=1,32$ , 14:00- $\eta=21,84$  ve  $\eta=15,12$  olmaktadır.



Şekil 4.34. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel verim-ışınım

Şekil 4.34.'de sinüs oluklu 76/200 trapez absorban panelden elde edilen saatlik verim ve dikey yüzeye gelen ışınım ilişkisi görülmektedir. Bu panel için en düşük, en yüksek ve ortalama değerler sırasıyla 08:00-  $\eta=2,85$ , 14:00- $\eta=22,03$  ve  $\eta=15,47$  olmaktadır.

Tüm absorban panellerde ışınımın en yüksek olduğu öğle saatlerinde verim en yüksek seviye çıkmaktadır. Sabah ve öğleden sonra verim miktarı ışınım ile orantılı olarak öğleye göre daha az seviyelerdedir. Panellerin performansı incelendiğinde en yüksek verim değeri sinüs oluklu 76/200 trapez de olmaktadır bunu sırasıyla 27/200 Trapez ve düz panel takip etmektedir. Genel itibariyle tüm panellerde ışınım ile ilgili verim miktarları arasındaki fark en düşük  $\pm 2,32$ , en yüksek  $\pm 1,54$  ve ortalama  $\pm 1,34$  civarında olmaktadır.



Şekil 4.35. Verim /Işınım indeksi

Şekil 4.35.'de tüm panellerin gün içinde elde edilen verim ile dikey düzleme gelen ışınım değerleri indekslenmiştir. Verim / Işınım cinsinden incelendiğinde tüm panellerde benzer eğri oluşu gözlenmektedir. Bu eğri 08:00-09:30 arasında ve 13:30 ile 18:00 arasında artış eğilimindedir. Buna karşın 09:30 ile 13:30 arasında sabit devam etmektedir. Bu durumu açıklarsak artışın olduğu bölgelerde düşük ışınım değerlerine karşı ısınan panel yüzeyinden etkili olan ısı akısı (Q-Watt) verimi arttırmakta ve yükseliş trendi oluşmaktadır. Fakat öğle saatlerinde ışınımın maksimuma ulaştığı zaman diliminde panel sıcaklığı dengeye ulaştığından değişim gözlenmemektedir. Sabah ve öğleden sonra

kıyaslandığından ise günün ilk kuşağından soğuk olan modelde üretilen ısı akısı değeri öğleden sonra dengeye ulaşmış sisteme nazaran daha düşüktür. Bu durum sisteme etki eden ışımanın iletilen ısının ( $k$ )/depolanan ısıya ( $\rho \times C_p$ ) oranıyla ifade edilen ısıl yayılım katsayısı ( $\alpha\text{-m}^2/\text{s}$ ) ile doğrudan ilişkilidir.

Absorban panellerdeki verim ilişkisi incelendiğinde geometrik dizaynın etkisi ön plana çıkmaktadır. Akışkanın hava kanalında maruz kaldığı handikap birim zamanda akış debisini ve transfer edilen ısı miktarını arttırmaktadır. Bu durum panellerde saat 13:30 dan 18:00 a kadar sonra belirgin şekilde görülmektedir. Sinüs oluklu 76/200 trapez panelde akışa karşı oluşturulan engel düz panele göre daha yüksek verim/ışınım indeksi sağlamaktadır. Böylece aynı ışıma değerlerinde absorban panellerin verimsel performansı sırasıyla Sinüs oluklu 76/200 trapez, 27/200 trapez ve düz panel olmaktadır.

### 4.3. Geliştirilen Boyutsuz Parametreler

Deneysel çalışmada Nusselt (Nu) sayısına karşılık Rayleigh (Ra), Grashof (Gr), Prandtl (Pr) ve kanal boyu/en (H/e) değerleri kullanılarak açık ve kapalı kanallar için literatürde tanımlanan altı farklı model grubundan Tablo 4.1.'de görülen lineer ve nonlineer eşitlikler geliştirilmiştir (4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7). Geliştirilen eşitlikler doğal taşınım da tanımlanan önceki 18 çalışma ile mukayese edilmiştir. Hesaplamalar ve çözümler MATLAB-R2019b yazılımının eğri uydurma (Curve Fitting) uygulamasında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen boyutsuz parametrelerde ideal katsayılı (1) denklem ve düzeltilmiş katsayılı (2) denklem sınıfı olarak iki farklı durum için eşitlikler sınıflandırılmıştır. (Boyutsuz denklemlerin referans değerlerin görselleştirmesinde kullanılan grafik programında gösterim “Eş≈Eq” şeklindedir)

**Tablo 4.1.** Güneş duvarı modeli eşitlikleri

| Geliştirilen Modeller |          |  |       |
|-----------------------|----------|--|-------|
| Açık Kanal            | I.Grup   | $Nu = a Ra^b \left(\frac{H}{e}\right)^c$ | (4.2) |
|                       | II.Grup  | $Nu = a + Ra^b$                          | (4.3) |
|                       | III.Grup | $Nu = a Ra^b$                            | (4.4) |
| Kapalı Kanal          | IV.Grup  | $Nu = a Pr^b Gr^c$                       | (4.5) |
|                       | V.Grup   | $Nu = a Gr^b$                            | (4.6) |
|                       | VI.Grup  | $Nu = a Gr^b \left(\frac{H}{e}\right)^c$ | (4.7) |

### 4.3.1 Düz Panel

Dikey ve paralel konumdaki sabit ısıdaki güneş duvarı modelinde 08:00 ile 18:00 saatleri arasında hesaplanan Rayleigh (Ra) değeri değişimi ( $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$ ) akış formuna göre üç bölgeye ayrılarak daha kararlı Nusselt değişimleri ifade edilmiştir. Rayleigh (Ra) çözüm limitleri sırasıyla düşük ( $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$ ), orta ( $16 \times 10^8 \leq Ra \leq 30 \times 10^8$ ) ve yüksek ( $30 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$ ) olmaktadır.

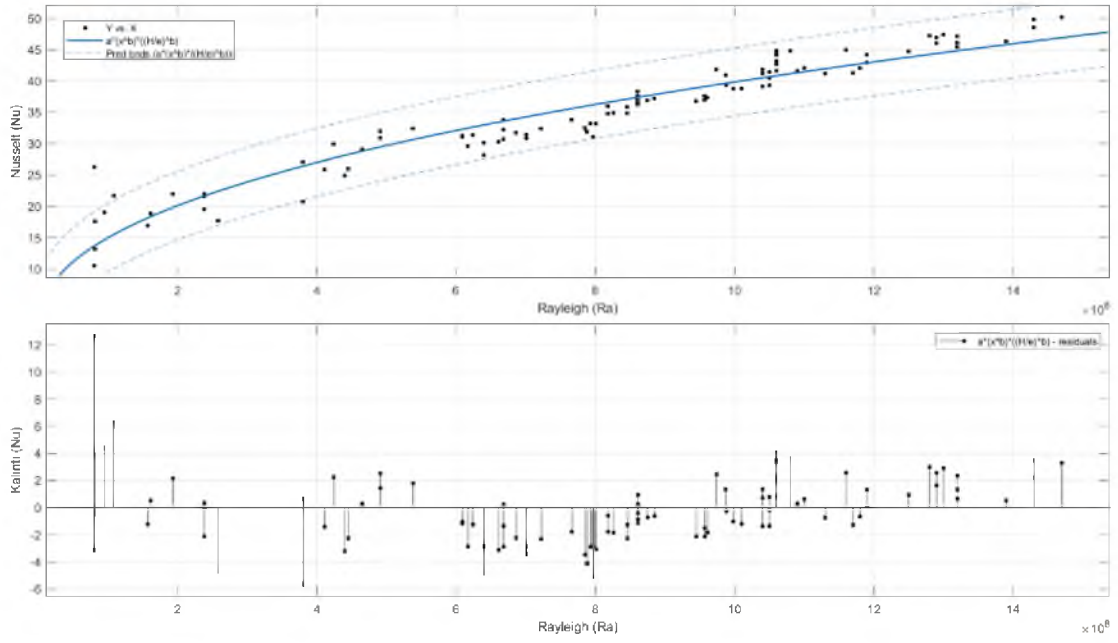
Oluşturulan 24 farklı durum için ilk aşamada istatistiksel açıdan en iyi uyum modeli oluşturulmuş daha sonra ikinci aşamada ilk eğri uydurmadaki izin verilen katsayı aralıklarında modeller yeniden düzenlenerek literatüre uygun katsayılı eşitlikler geliştirilmiştir. Bu amaçla dört farklı Rayleigh aralıkları için toplamda 48 farklı matematiksel eşitlik oluşturulmuştur. Kapalı kanal ve açık kanal istatistiksel analizleri en iyi olan denklemler bölüm içinde gösterilirken diğer eşitliklerin eğim çizgisi ve kalıntı (residuals) şekilleri EK-4’de gösterilmiştir.

#### 4.3.1.1 Rayleigh-Nusselt ( $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$ ) Sonuçları

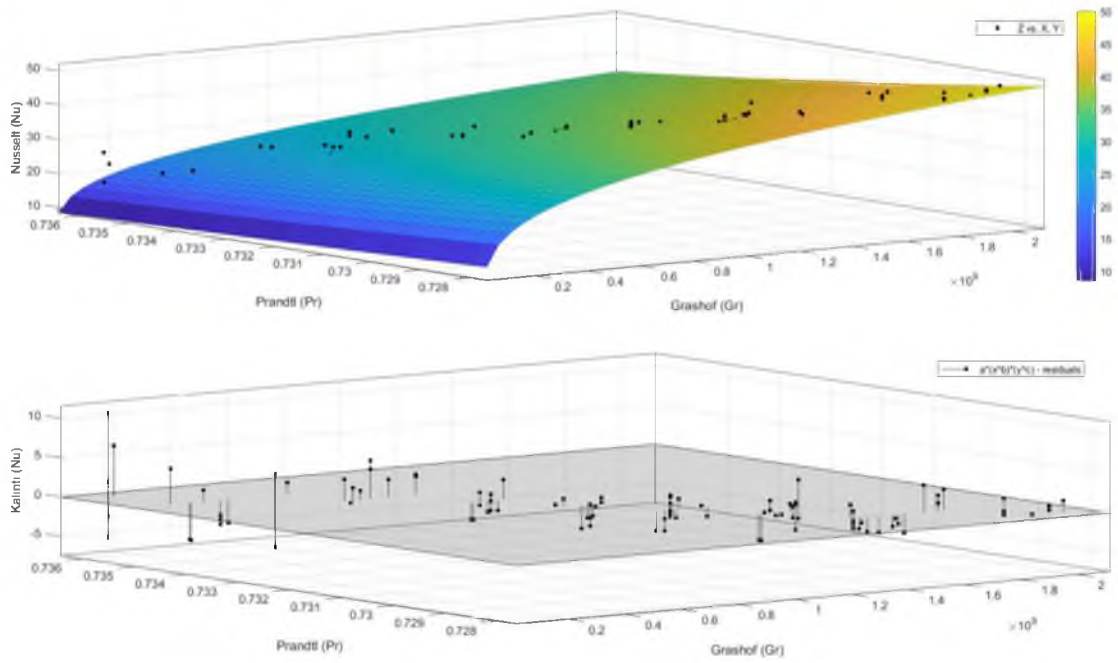
Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.1.1, Eş.1.2, Eş.2.1, Eş.2.2, Eş.3.1, Eş.3.2, Eş.4.1, Eş.4.2, Eş.5.1, Eş.1.2, Eş.6.1 ve Eş.6.2 katsayıları Tablo 4.2.’de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.1.1 (Şekil 4.36.)  $R^2=0,9289$  ve kapalı kanalda Eş.4.1 (Şekil 4.37.)  $R^2=0,9420$  olmaktadır

**Tablo 4.2.** Geliştirilen eşitlikler 1-6

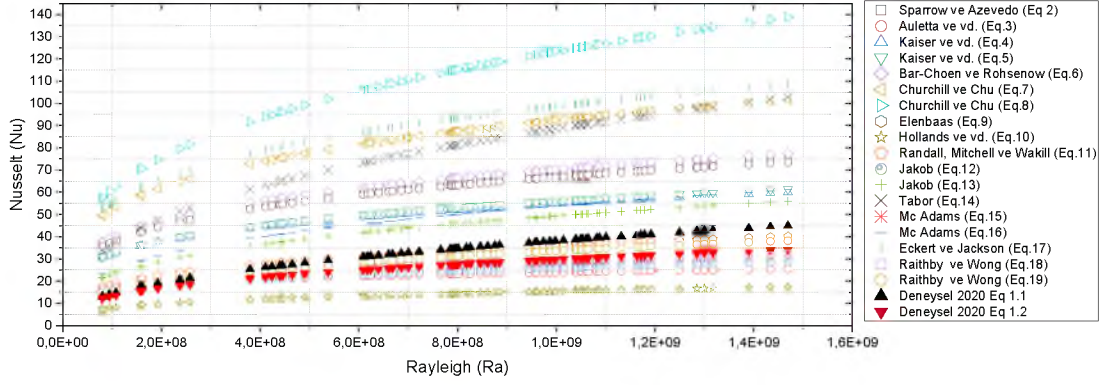
| Tür          | Model      | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                 |
|--------------|------------|--|---|
| Açık Kanal   | 1 I.Grup   | $Nu = 0,002736 Ra^{0,4243} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,4}$     | $Nu = 0,01 Ra^{0,35} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,4}$  |
|              | 2 II.Grup  | $Nu = -25,73 + Ra^{0,2017}$                                    | $Nu = -20 + Ra^{0,20}$                                |
|              | 3 III.Grup | $Nu = 0,006052 Ra^{0,4243}$                                    | $Nu = 0,01 Ra^{0,4}$                                  |
| Kapalı Kanal | 4 IV.Grup  | $Nu = 7,192e - 06 Gr^{0,2737} Pr^{-31,07}$                     | $Nu = 0,1 Gr^{0,45} Pr^{11}$                          |
|              | 5 V.Grup   | $Nu = 0,005542 Gr^{0,4221}$                                    | $Nu = 0,025 Gr^{0,35}$                                |
|              | 6 VI.Grup  | $Nu = 0,0001438 Gr^{0,5173} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,8866}$ | $Nu = 0,1 Gr^{0,35} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,75}$ |



Şekil. 4.36. Eş 1.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

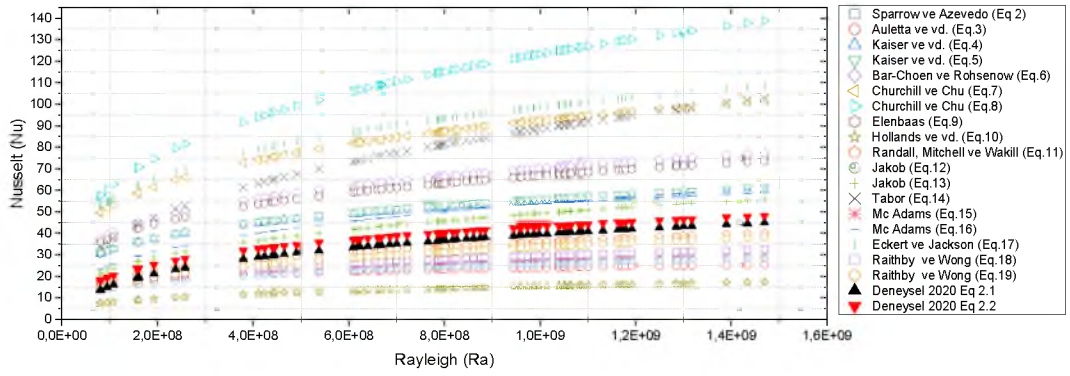


Şekil. 4.37. Eş 4.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



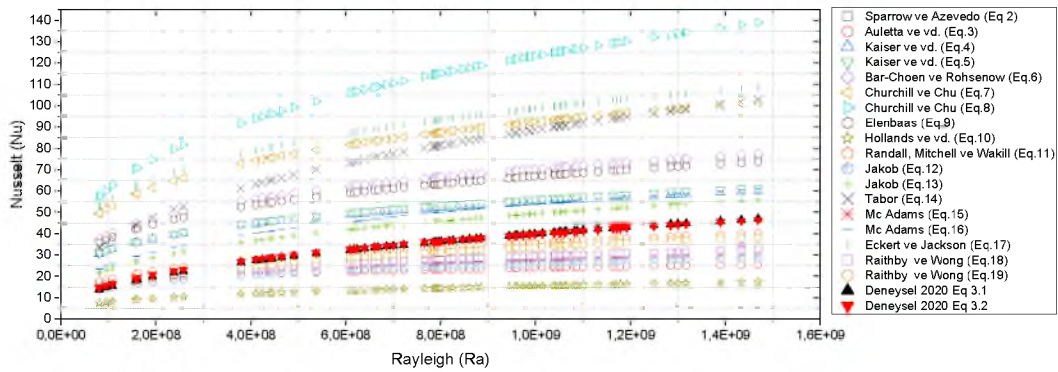
Şekil 4.38. Deneysel Eş. 1.1 & Eş. 1.2 karşılaştırması

Açık Kanal I.Grup modellerden Eş.1.1ve Eş.1.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.38.) Eş.11 ve Eş.13 eşitlikleri arasındaki bölgede uyum içerisindedirler.



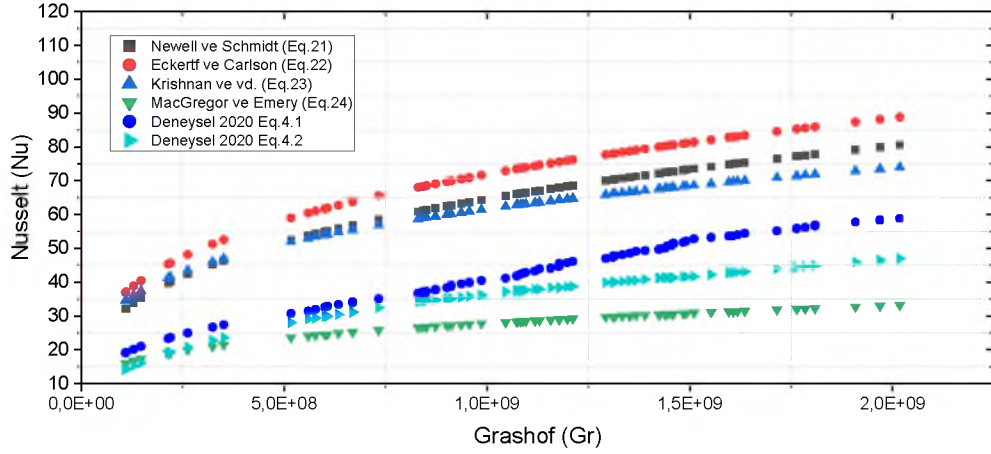
Şekil 4.39. Deneysel Eş.2.1 & Eş.2.2 karşılaştırması

Açık Kanal II.Grup modellerden Eş.2.1 ve Eş.2.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.39.) Eş.11 ve Eş.13 eşitlikleri en yakın sonuçları vermiştir.



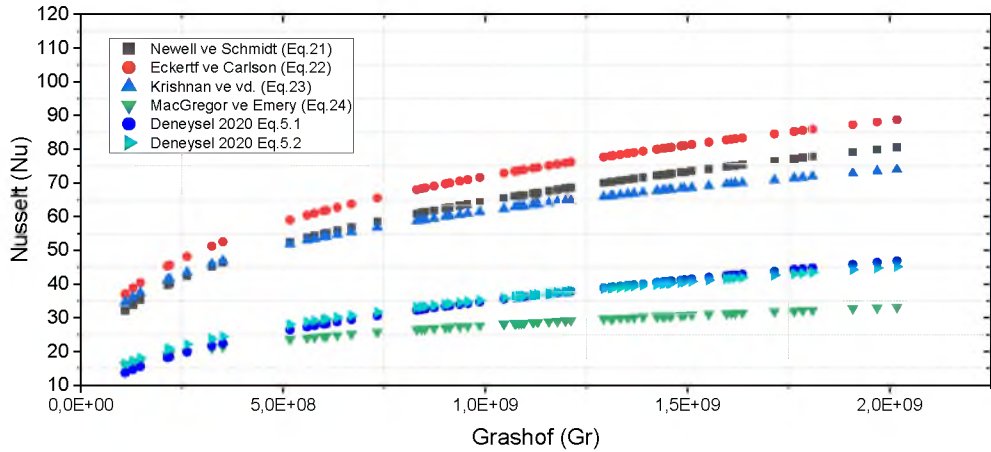
Şekil 4.40. Deneysel Eş.3.1 & Eş.3.2 karşılaştırması

Açık Kanal III.Grup modellerden Eş.2.1ve Eş.2.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.40.) Eş.11 ve Eş.19 eşitlikleri en yakın sonuçları vermiştir.



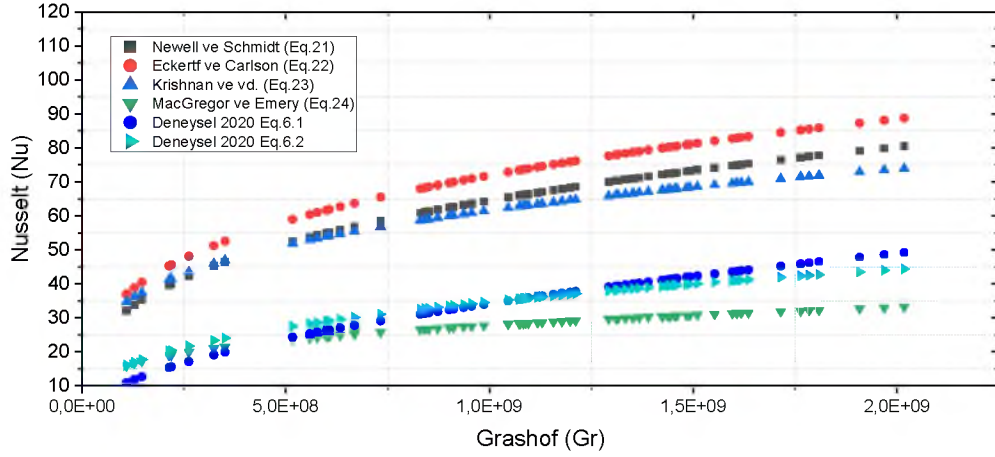
Şekil 4.41. Deneyel Eş.4.1 & Eş.4.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal I.Grup modellerden Eş.4.1ve Eş.4.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.41.) Eş.24 en yakın sonuçları göstermektedir.



Şekil 4.42. Deneyel Eş.5.1 & Eş.5.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal II.Grup modellerden Eş.5.1ve Eş.5.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.42.) Eş.24 en yakın sonuçları vermektedir.



Şekil 4.43. Deneysel Eş.6.1 & Eş.6.2 karşılaştırması

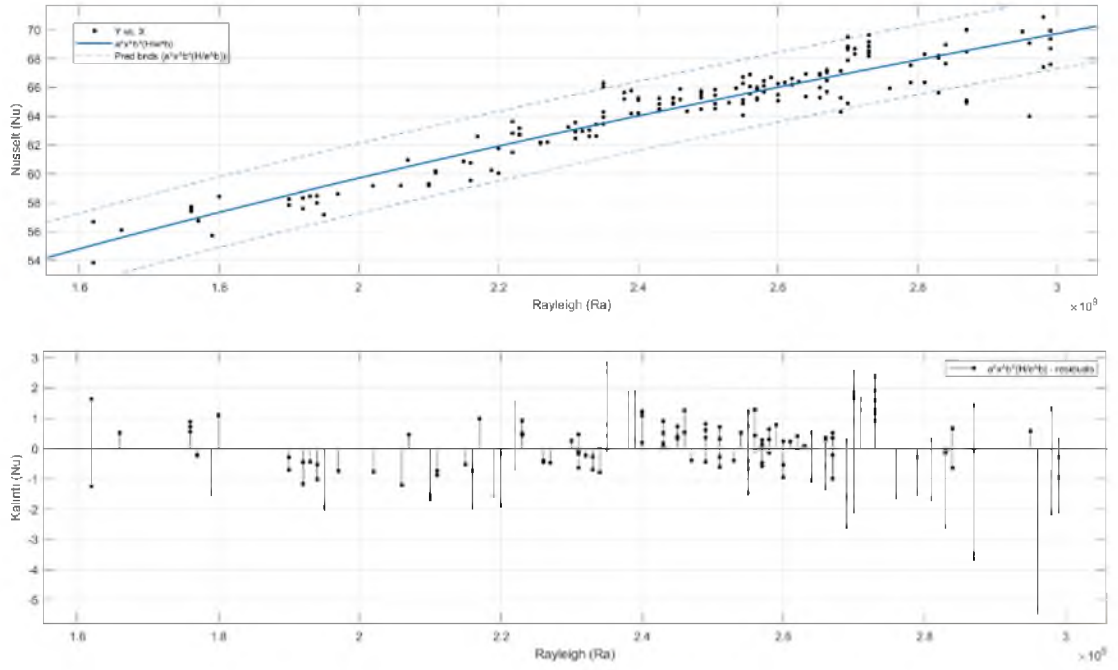
Kapalı Kanal III.Grup modellerden Eş.6.1 ve Eş.6.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.43.) Eş.24 en yakın sonuçları vermektedir.

#### 4.3.1.3 Rayleigh-Nusselt ( $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 30 \times 10^8$ ) Sonuçları

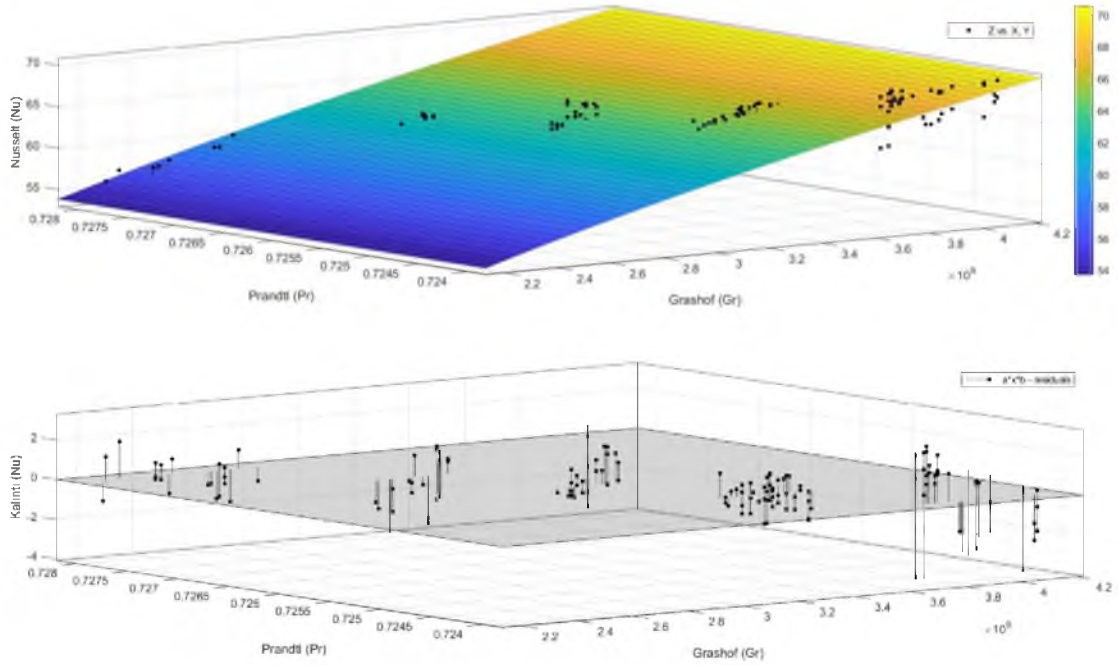
Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.7.1, Eş.7.2, Eş.8.1, Eş.8.2, Eş.9.1, Eş.9.2, Eş.10.1, Eş.10.2, Eş.11.1, Eş.11.2, Eş.12.1 ve Eş.12.2 katsayıları Tablo 4.3.'de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.7.1 (Şekil 4.44.)  $R^2=0,8863$  ve kapalı kanalda Eş.10.1 (Şekil 4.45.)  $R^2=0,8826$  olmaktadır.

Tablo 4.3. Geliştirilen eşitlikler 7-12

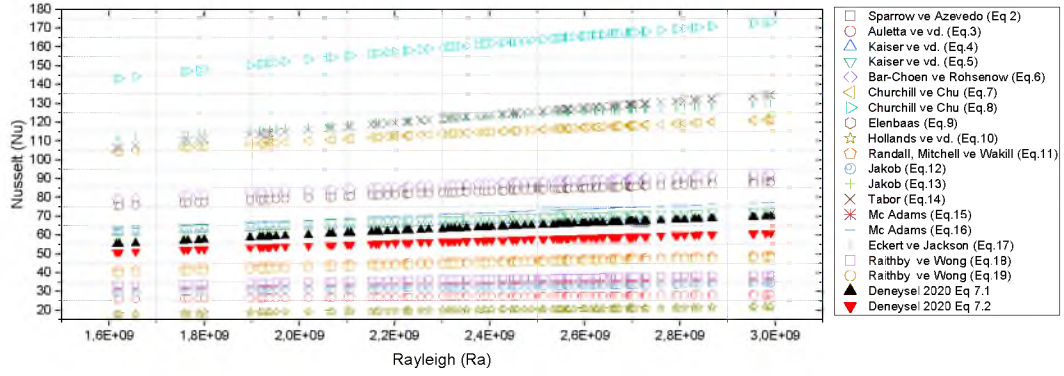
| Tür          | Model      | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                |
|--------------|------------|--|--|
| Açık Kanal   | 7 I.Grup   | $Nu = 0,009232 Ra^{0,3835} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,3}$ | $Nu = 0,05 Ra^{0,3} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,3}$  |
|              | 8 II.Grup  | $Nu = -47,81 + Ra^{0,2184}$                                | $Nu = -45 + Ra^{0,2172}$                             |
|              | 9 III.Grup | $Nu = 0,01619 Ra^{0,3835}$                                 | $Nu = 0,033 Ra^{0,35}$                               |
| Kapalı Kanal | 10 IV.Grup | $Nu = 0,009644 Gr^{0,2965} Pr^{-7,175}$                    | $Nu = 0,01 Gr^{0,3} Pr^{-7}$                         |
|              | 11 V.Grup  | $Nu = 0,01288 Gr^{0,3883}$                                 | $Nu = 0,01 Gr^{0,4}$                                 |
|              | 12 VI.Grup | $Nu = 0,008855 Gr^{0,3883} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ | $Nu = 0,01 Gr^{0,4} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,2}$ |



Şekil. 4.44. Eş 7.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

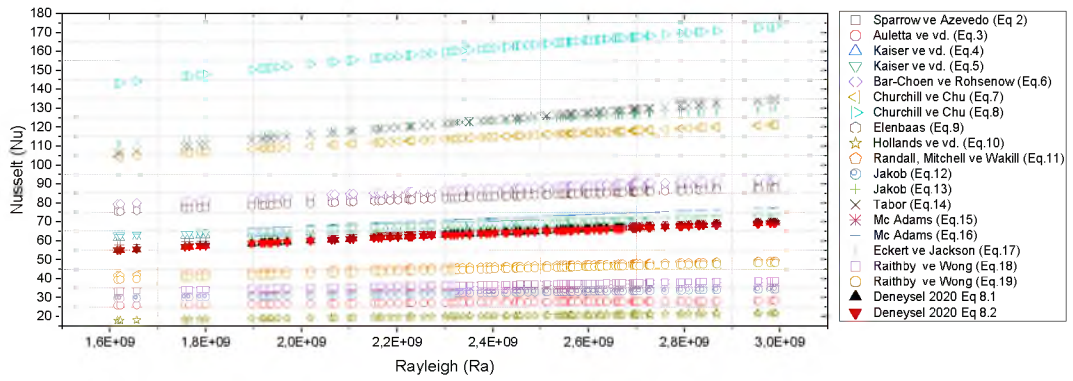


Şekil. 4.45. Eş 10.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



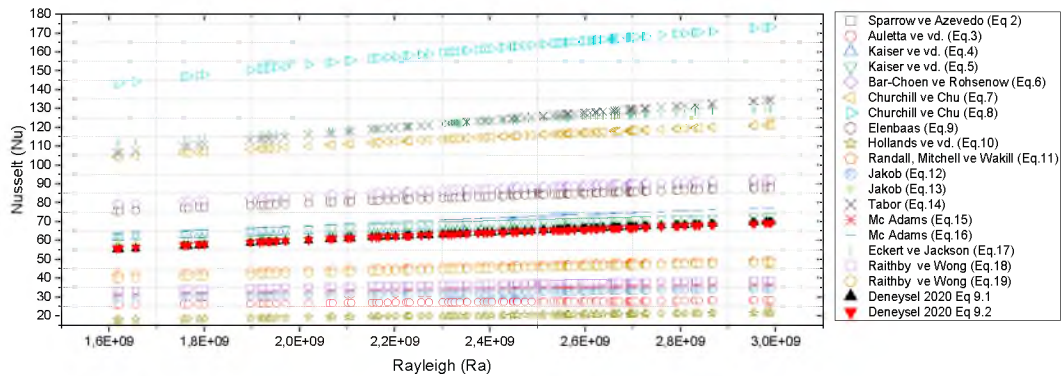
Şekil 4.46. Deneysel Eş.7.1 & Eş.7.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal I.Grup modellerden Eş.7.1ve Eş.7.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.46.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile benzerdirler .



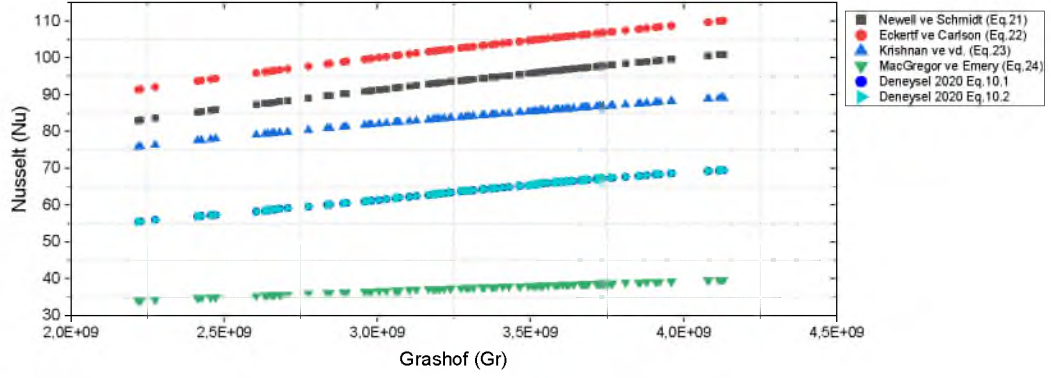
Şekil 4.47. Deneysel Eş.8.1 & Eş.8.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal II.Grup modellerden Eş.8.1 ve Eş.8.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.47.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri benzer sonuçları vermiştir.



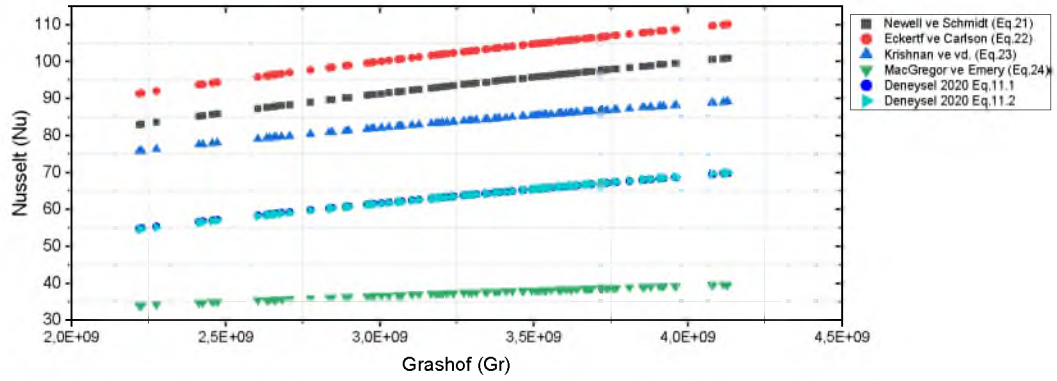
Şekil 4.48. Deneysel Eş.9.1 & Eş.9.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal III.Grup modellerden Eş.9.1ve Eş.9.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.48.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile kararlı sonuçları vermiştir.



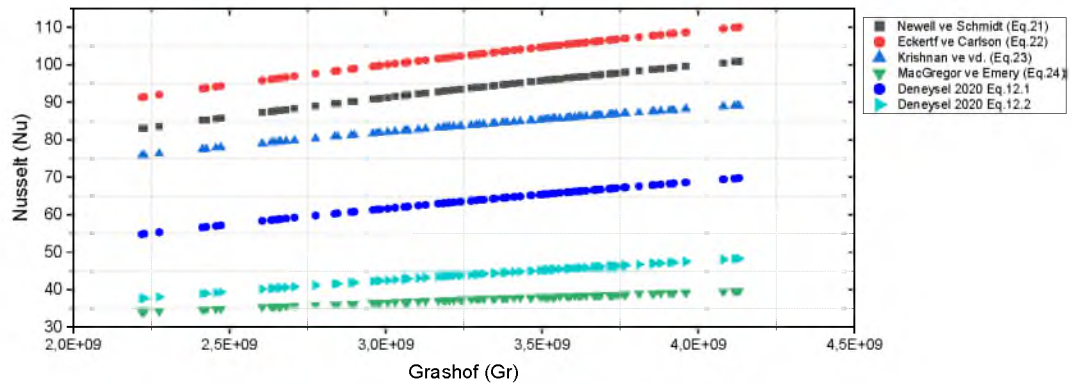
Şekil 4.49. Deneyel Eş.10.1 & Eş.10.2 karşılaştırması

Açık Kanal I.Grup modellerden Eş.10.1 ve Eş.10.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.49.) Eş.23 ve Eş.24 eğrileri arasında kalmaktadır.



Şekil 4.50. Deneyel Eş.11.1 & Eş.11.2 karşılaştırması

Açık Kanal II.Grup modellerden Eş.11.1 ve Eş.11.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.50.) Eş.23 ve Eş.24 eğrileri arasında kalmaktadır.



Şekil 4.51. Deneyel Eş.12.1 & Eş.12.2 karşılaştırması

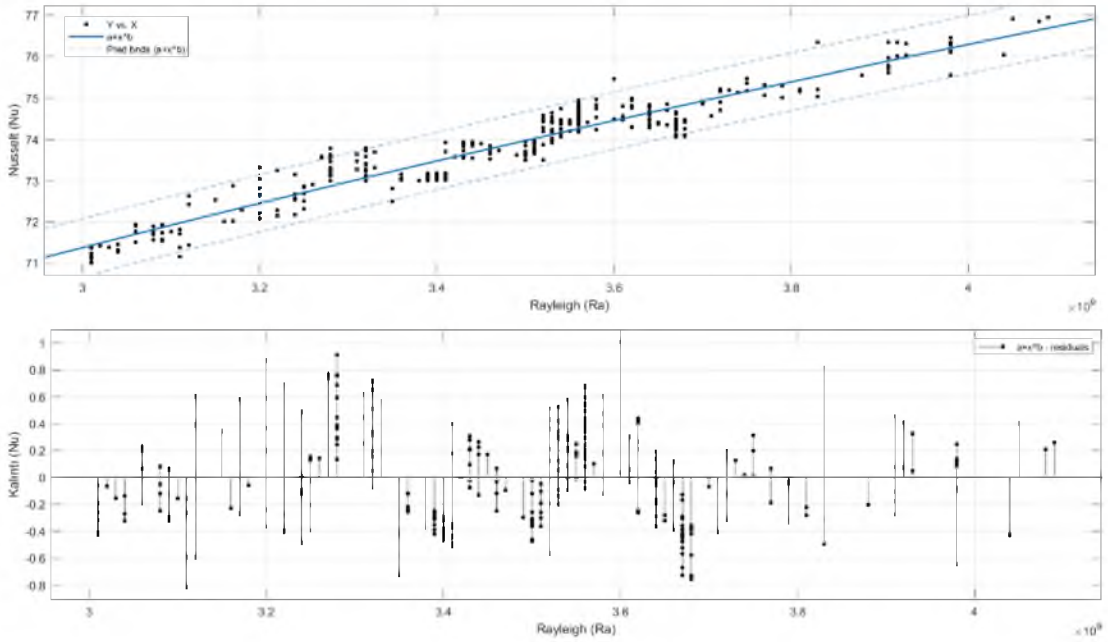
Açık Kanal III.Grup modellerden Eş. 12.1 ve Eş. 12.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.51.) Eş.23 ve Eş.24 eğrileri arasında kalmaktadır. Fakat Eş.24 geliştirilen Eş.12.2 ile sonuç değerleri daha tutarlıdır.

#### 4.3.1.4 Rayleigh-Nusselt ( $30 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$ ) Sonuçları

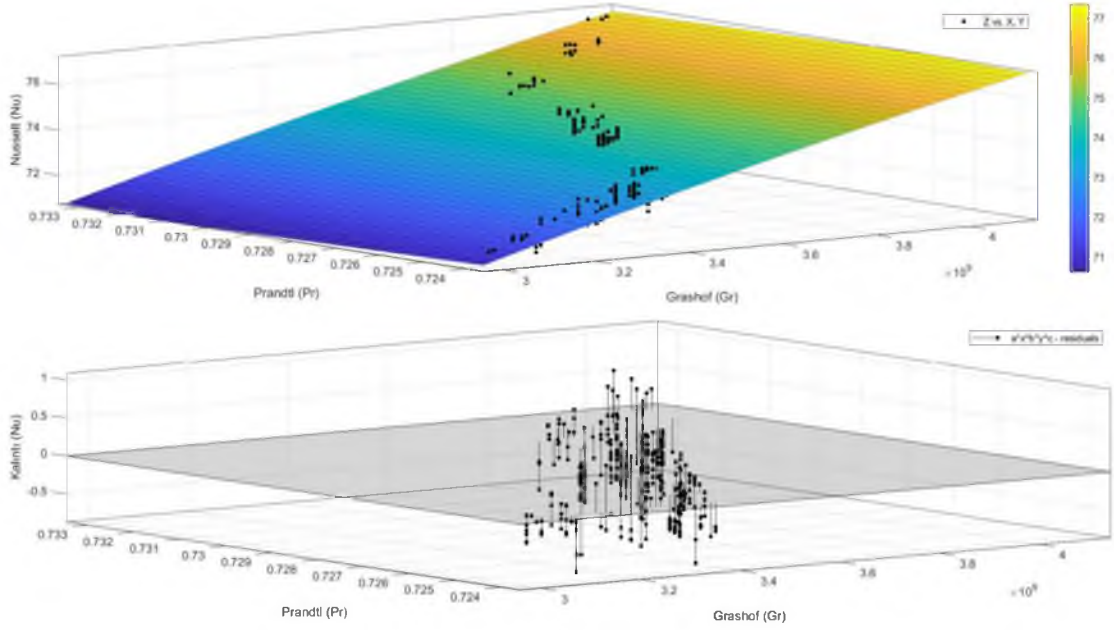
Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş. 13.1, Eş. 13.2, Eş. 14.1, Eş. 14.2, Eş. 15.1, Eş. 15.2, Eş. 16.1, Eş. 16.2, Eş. 17.1, Eş. 17.2, Eş. 18.1 ve Eş. 18.2 katsayıları Tablo 4.4.'de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş. 15.1 (Şekil 4.52.)  $R^2=0,9151$  ve kapalı kanalda Eş. 16.1 (Şekil 4.53.)  $R^2=0,9165$  olmaktadır.

Tablo 4.4. Geliştirilen eşitlikler 13-18

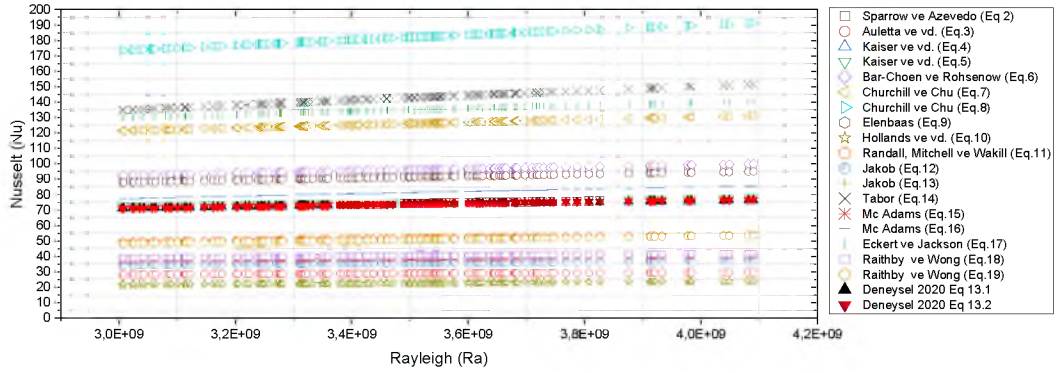
| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                |
|--------------|-------------|--|--|
| Açık Kanal   | 13 I.Grup   | $Nu = 0,3165 Ra^{0,2311} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ | $Nu = 0,20 Ra^{0,25} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ |
|              | 14 II.Grup  | $Nu = -10,68 + Ra^{0,202}$                               | $Nu = -5 + Ra^{0,2}$                                 |
|              | 15 III.Grup | $Nu = 0,4603 Ra^{0,2311}$                                | $Nu = 0,3042 Ra^{0,25}$                              |
| Kapalı Kanal | 16 IV.Grup  | $Nu = 0,2503 Gr^{0,2528} Pr^{-0,4185}$                   | $Nu = 0,25 Gr^{0,25} Pr^{-0,4}$                      |
|              | 17 V.Grup   | $Nu = 0,4603 Gr^{0,2311}$                                | $Nu = 0,3045 Gr^{0,25}$                              |
|              | 18 VI.Grup  | $Nu = 0,2625 Gr^{0,2311} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,3}$ | $Nu = 0,25 Gr^{0,23} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,3}$ |



Şekil. 4.52. Eş. 15.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

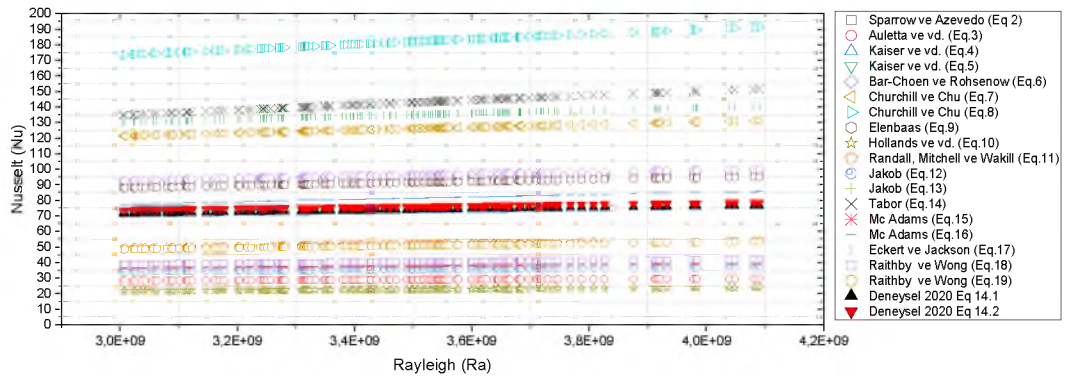


Şekil. 4.53. Eş 16.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



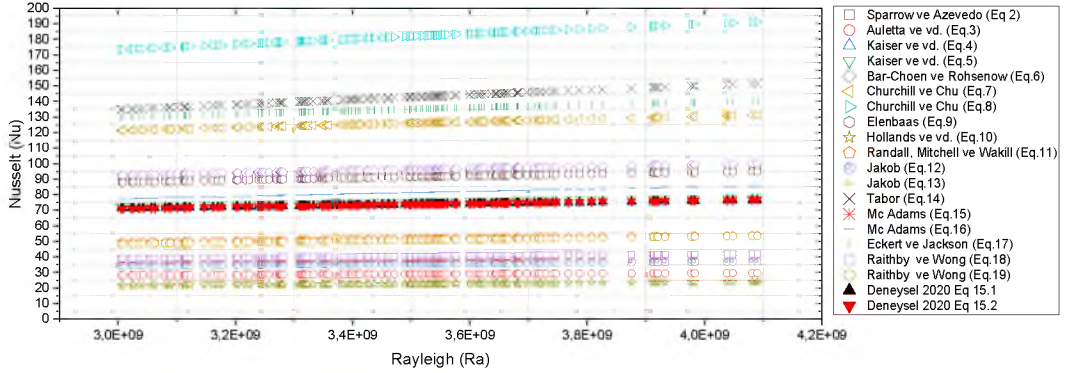
Şekil 4.54. Deneysel Eş.13.1 & Eş.13.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal I.Grup modellerden Eş.13.1 ve Eş.13.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.54.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile benzerdirler .



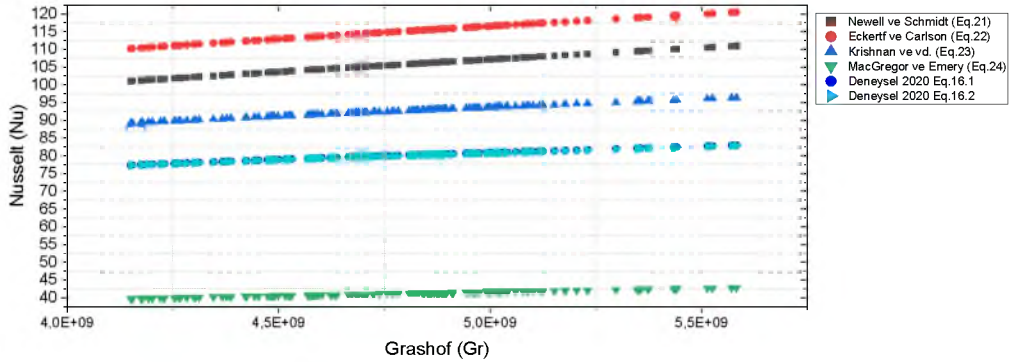
Şekil 4.55. Deneysel Eş.14.1 & Eş.14.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal II.Grup modellerden Eş.14.1 ve Eş.14.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.55.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile aynı sonuçları göstermektedirler.



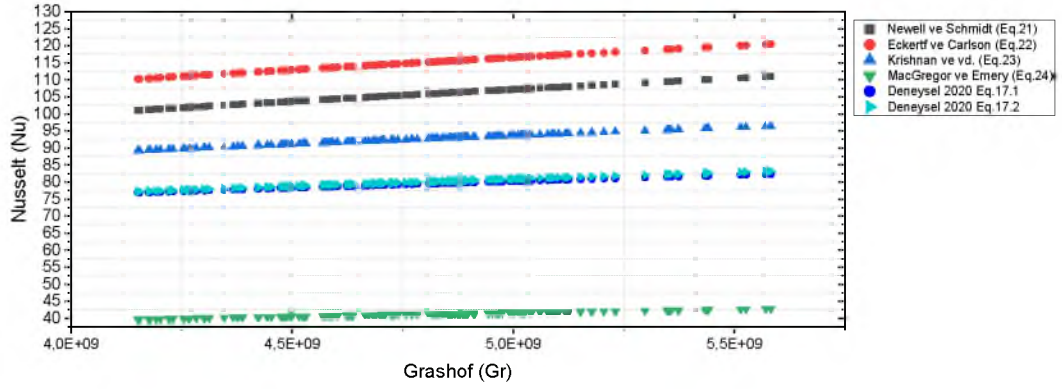
Şekil 4.56. Deneysel Eş. 15.1 & Eş. 15.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal III.Grup modellerden Eş.15.1 ve Eş.15.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.56.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile uyum içerisindedirler.



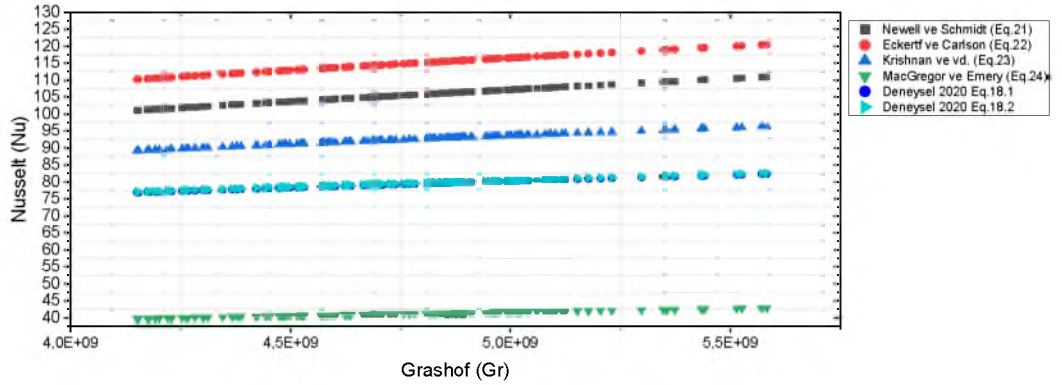
Şekil 4.57. Deneysel Eş. 16.1 & Eş. 16.2 karşılaştırması

Açık Kanal I.Grup modellerden Eş.16.1 ve Eş.16.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.57.) Eş.23, eşitliği ile yakın sonuçlar göstermektedirler.



Şekil 4.58. Deneysel Eş. 17.1 & Eş. 17.2 karşılaştırması

Açık Kanal II.Grup modellerden Eş.17.1 ve Eş.17.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.58.) Eş.23 eşitliği ile yakın sonuçlar göstermektedirler.



Şekil 4.59. Deneysel Eş. 18.1 & Eş. 18.2 karşılaştırması

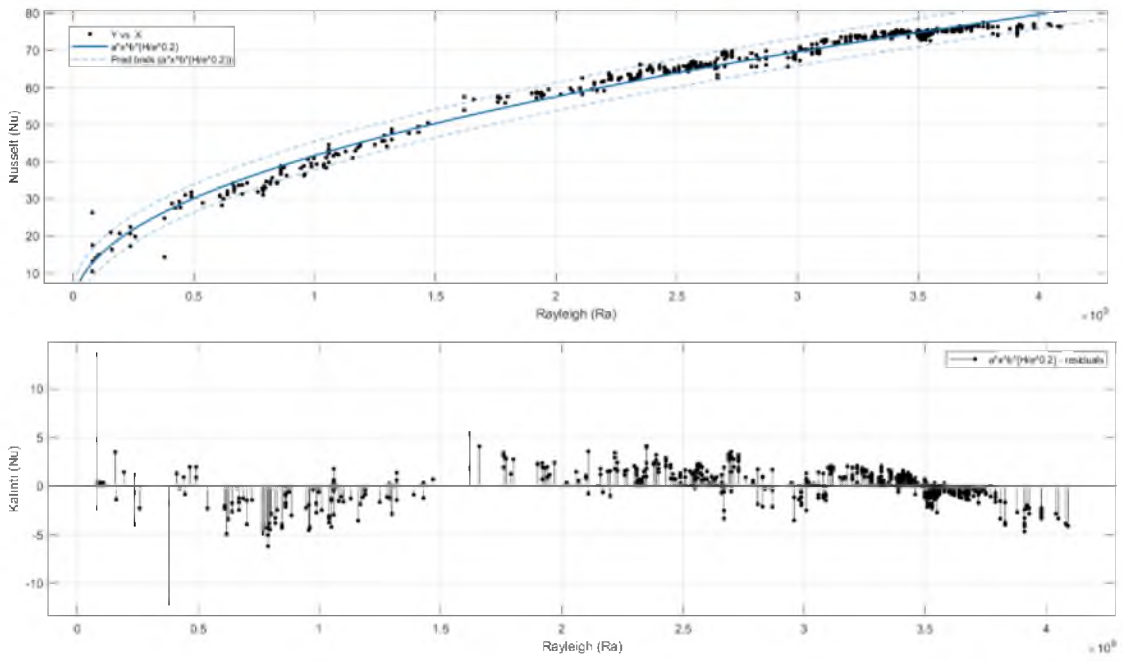
Açık Kanal III.Grup modellerden Eş. 18.1 ve Eş.18.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.59.) Eş.23 eşitliği ile yakın sonuçlar göstermektedirler.

#### 4.3.1.1 Rayleigh-Nusselt ( $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$ ) Sonuçları

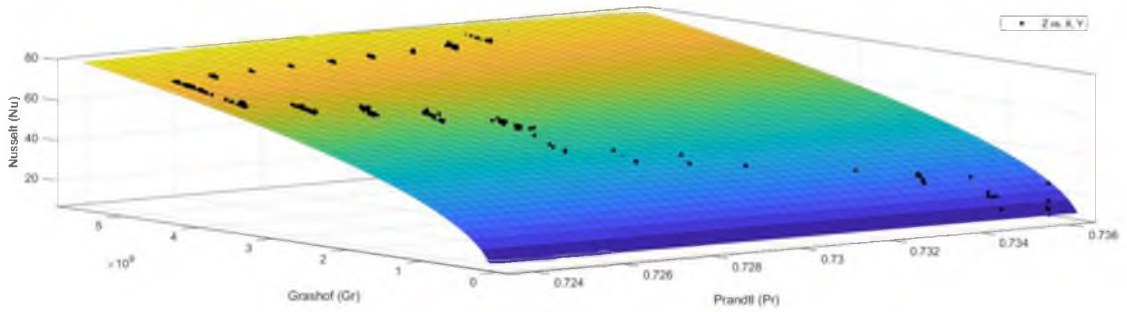
Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş. 19.1, Eş.19.2, Eş.20.1, Eş.20.2, Eş.21.1, Eş.21.2, Eş.22.1, Eş.22.2, Eş.23.1, Eş.23.2, Eş.24.1 ve Eş.24.2 katsayıları Tablo 4.5.'de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş. 19.1 (Şekil 4.60.)  $R^2=0,9859$  ve kapalı kanalda Eş.22.1 (Şekil 4.61.)  $R^2=0,9894$  olmaktadır.

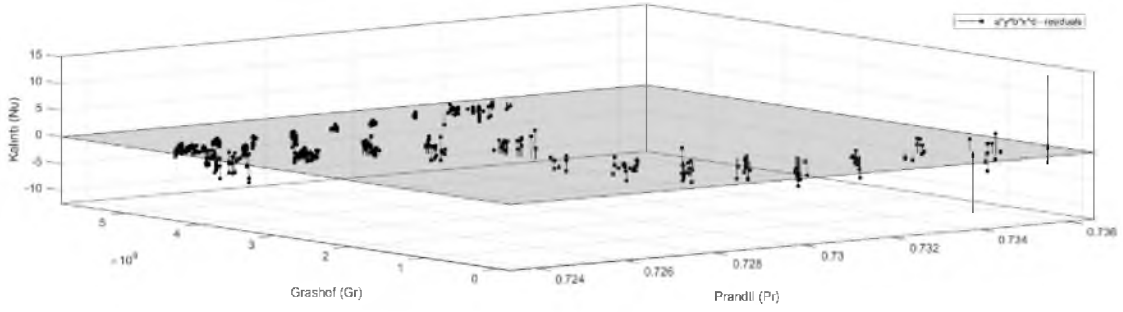
Tablo 4.5. Geliştirilen eşitlikler 19-24

| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                |
|--------------|-------------|--|--|
| Açık Kanal   | 19 I.Grup   | $Nu = 0,001759 Ra^{0,4679} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ | $Nu = 0,02 Ra^{0,35} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ |
|              | 20 II.Grup  | $Nu = -48,73 + Ra^{0,2188}$                                | $Nu = -50 + Ra^{0,22}$                               |
|              | 21 III.Grup | $Nu = 0,002558 Ra^{0,4679}$                                | $Nu = 0,025 Ra^{0,36}$                               |
| Kapalı Kanal | 22 IV.Grup  | $Nu = 0,0008165 Gr^{-3,522} Pr^{0,462}$                    | $Nu = 0,01 Gr^{-0,4} Pr^{0,03}$                      |
|              | 23 V.Grup   | $Nu = 0,002214 Gr^{0,4677}$                                | $Nu = 0,003 Gr^{0,45}$                               |
|              | 24 VI.Grup  | $Nu = 0,608 Gr^{0,4677} \left(\frac{H}{e}\right)^{-3}$     | $Nu = 0,3 Gr^{0,5} \left(\frac{H}{e}\right)^{-3}$    |

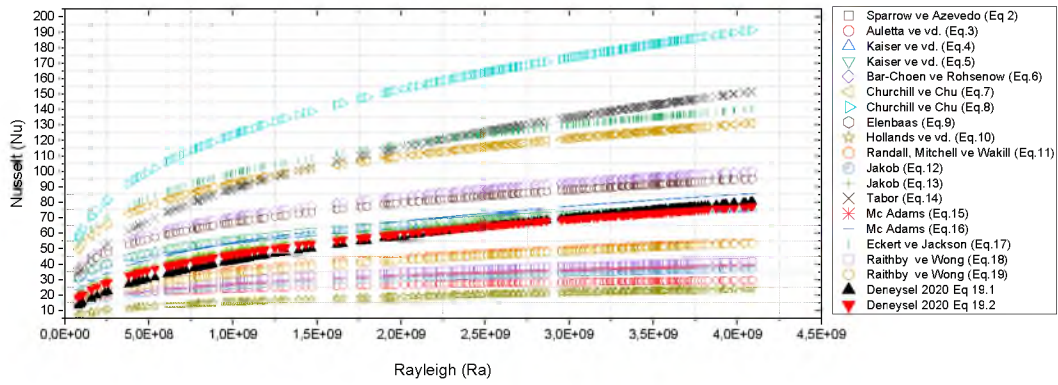


Şekil. 4.60. Eş 19.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



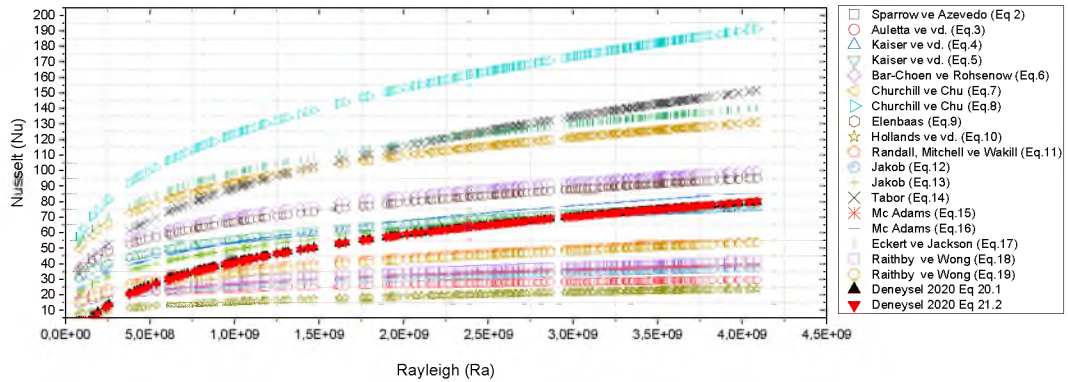


Şekil 4.61. Eş 22.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



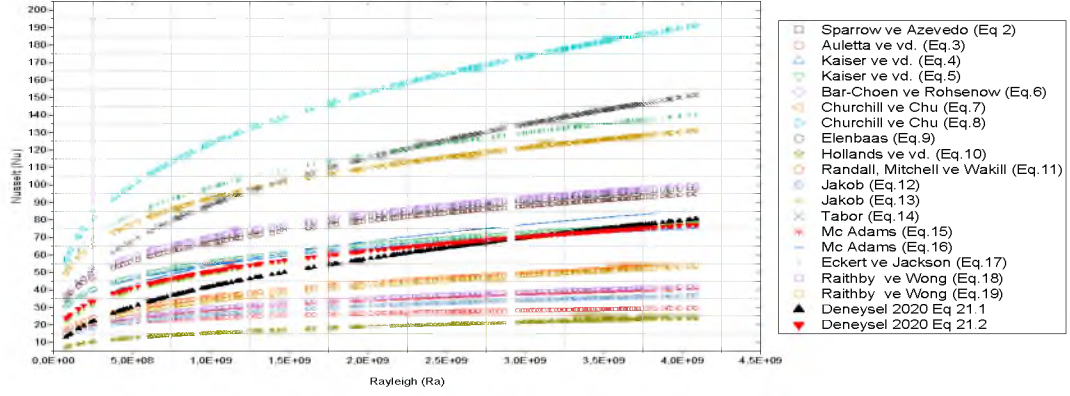
Şekil 4.62. Deneysel Eş. 19.1 & Eş. 19.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal I.Grup modellerden Eş. 19.1 ve Eş. 19.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.62.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile benzerdirler .



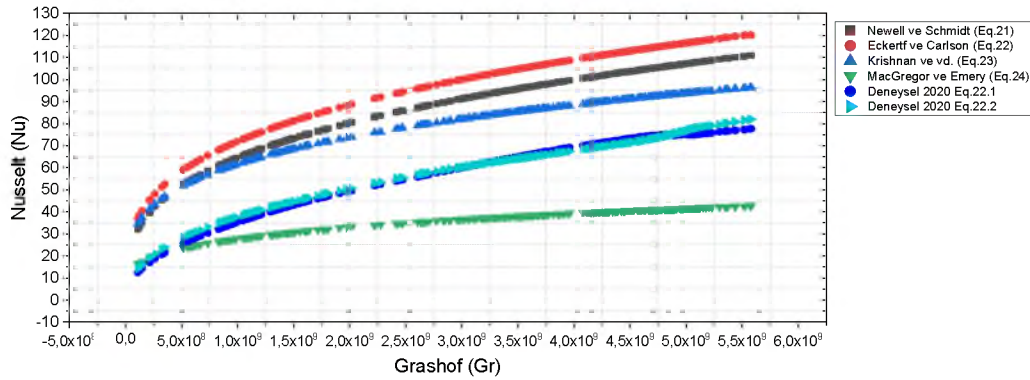
Şekil 4.63. Deneysel Eş.20.1 & Eş.20.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal II.Grup modellerden Eş.20.1 ve Eş.20.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.63.) Ra değeri  $1,5 \times 10^9$  dan sonrasında Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri uyum içerisindedirler.



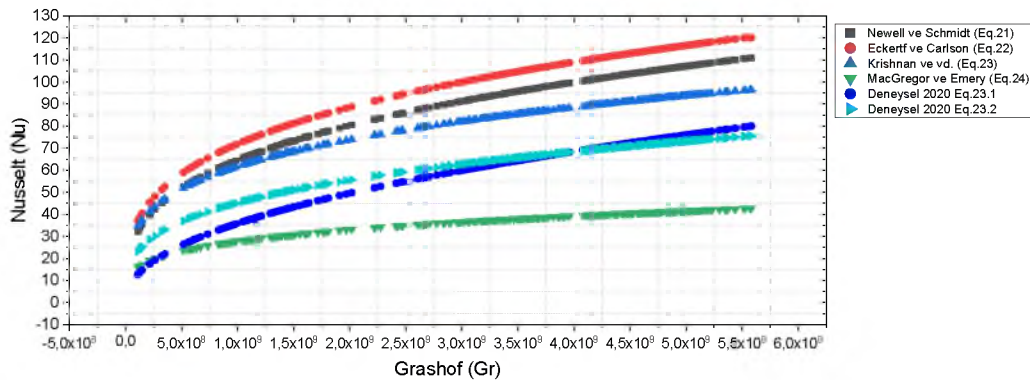
Şekil 4.64. Deneysel Eş.21.1 & Eş.21.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal III.Grup modellerden Eş.21.1 ve Eş.21.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.64.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri uyum içerisinde olmaktadır. Eş.21.2 denklemi  $1 \times 10^8 < Ra < 40 \times 10^8$  arasında kararlı sonuçlar gösterirken. Eş.21.1 ise  $Ra < 25 \times 10^8$  sonra benzer değerleri göstermektedir.



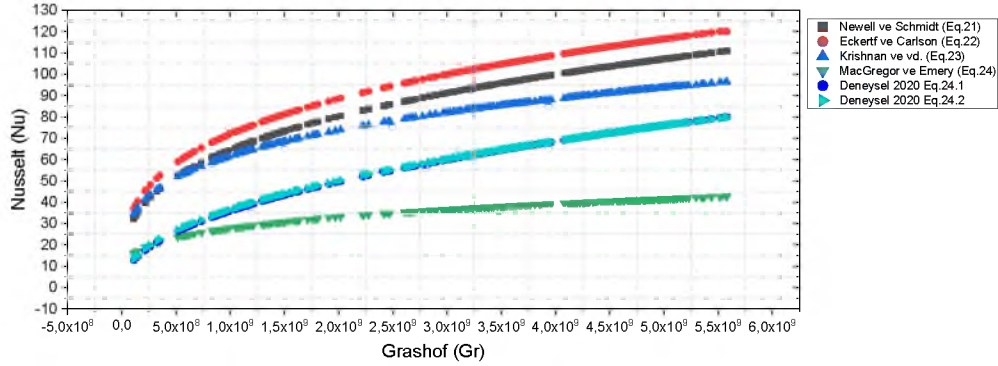
Şekil 4.65. Deneysel Eş.22.1 & Eş.22.2 karşılaştırması

Açık Kanal I.Grup modellerden Eş.22.1 ve Eş.22.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.65.) Eş.23 ve Eş.24 eğrileri arasında kalmaktadırlar.



Şekil 4.66. Deneysel Eş.23.1 & Eş.23.2 karşılaştırması

Açık Kanal II.Grup modellerden Eş.23.1 ve Eş.23.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.66.) Eş.23 ve Eş.24 eğrileri arasında bölgede Nusselt (Nu) değerlerini vermektedirler.



Şekil 4.67. Deneysel Eş.24.1 & Eş.24.2 karşılaştırması

Açık Kanal III.Grup modellerden Eş.24.1 ve Eş.24.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.67.) düşük Grashof (Gr) sayısında Eş.24 ile uyumlu iken orta ve yüksek değerlerde Eş.23 ile uyumludurlar.

#### 4.3.2. Trapez Panel

Değişken geometrideki dikey ve paralel konumdaki sabit ısıdaki güneş duvarı modelinde 08:00 ile 18:00 saatleri arasında hesaplanan Rayleigh (Ra) değeri değişimi ( $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$ ) akış formuna göre iki bölgeye ayrılarak laminar ve türbülanslı bölge olmak üzere daha kararlı Nusselt değişimleri ifade edilmiştir. Rayleigh (Ra) çözüm limitleri sırasıyla düşük ( $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$ ) ve yüksek ( $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$ ) olmaktadır.

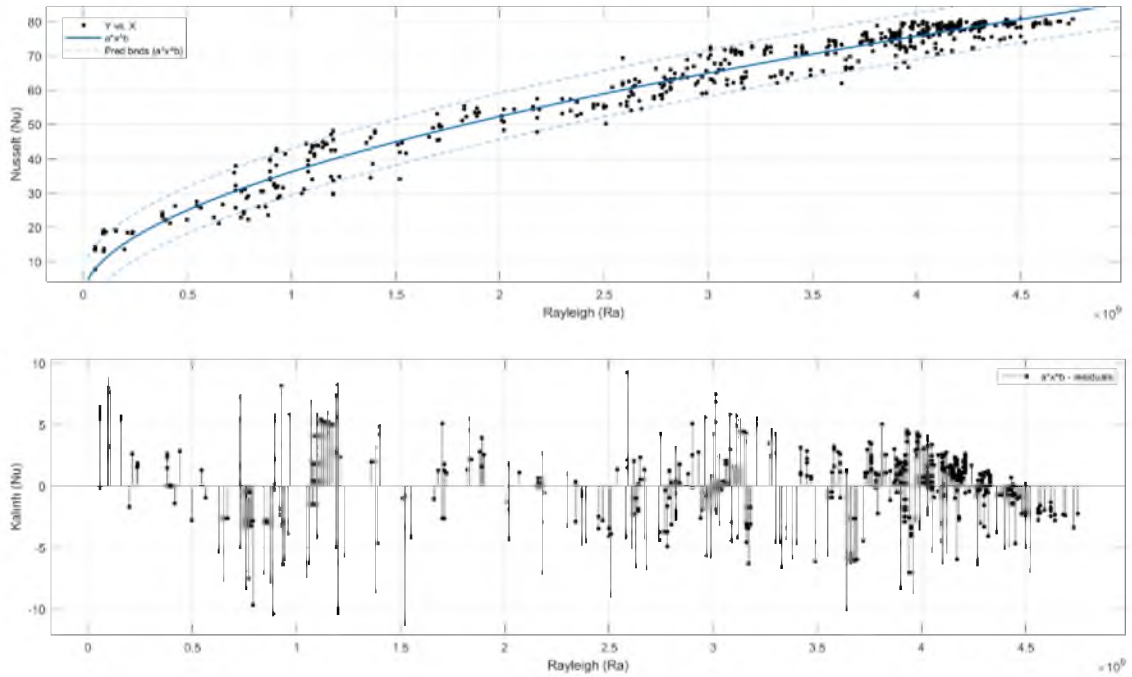
Oluşturulan 18 farklı durum için ilk aşamada istatistiksel açıdan en iyi uyum modeli oluşturulmuş daha sonra ikinci aşamada ilk eğri uydurmadaki izin verilen katsayı aralıklarında modeller yeniden düzenlenerek literatüre uygun katsayılı eşitlikler geliştirilmiştir. Bu amaçla üç farklı Rayleigh aralıkları için toplamda 36 farklı matematiksel eşitlik oluşturulmuştur. Kapalı kanal ve Açık kanal istatistiksel analizleri en iyi olan denklemler bölüm içinde gösterilirken diğer eşitliklerin eğim çizgisi ve kalıntı (residuals) şekilleri EK-5’de gösterilmiştir.

#### 4.3.2.1 Rayleigh-Nusselt ( $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$ ) Sonuçları

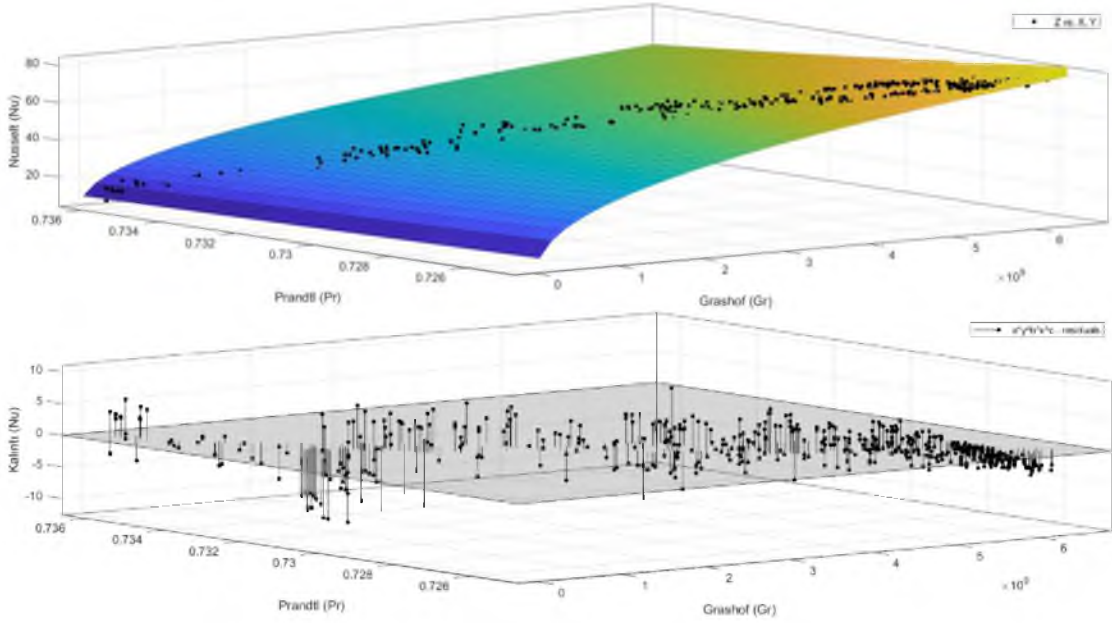
Maksimum ve minimum Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.25.1, Eş.25.2, Eş.26.1, Eş.26.2, Eş.27.1, Eş.27.2, Eş.28.1, Eş.28.2, Eş.29.1, Eş.29.2, Eş.30.1 ve Eş.30.2 katsayıları Tablo 4.6.'da gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.27.1 (Şekil 4.68.)  $R^2=0,9661$  ve kapalı kanalda Eş.28.1 (Şekil 4.69.)  $R^2=0,9666$  olmaktadır.

**Tablo 4.6.** Geliştirilen eşitlikler 25-30

| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı   | Düzeltilmiş Katsayılı                                 |
|--------------|-------------|---|---|
| Açık Kanal   | 25 I.Grup   | $Nu = 0,0007064 Ra^{0,5324} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ | $Nu = 0,01 Ra^{0,41} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,1}$ |
|              | 26 II.Grup  | $Nu = -54,51 + Ra^{0,2199}$                                 | $Nu = -50 + Ra^{0,21}$                                |
|              | 27 III.Grup | $Nu = 0,0005858 Ra^{0,5324}$                                | $Nu = 0,01 Ra^{0,4}$                                  |
| Kapalı Kanal | 28 IV.Grup  | $Nu = 0,0003387 Gr^{0,5314} Pr^{-1,256}$                    | $Nu = 0,1 Gr^{0,45} Pr^{12}$                          |
|              | 29 V.Grup   | $Nu = 0,0005313 Gr^{0,5292}$                                | $Nu = 0,009 Gr^{0,4}$                                 |
|              | 30 VI.Grup  | $Nu = 0,0004406 Gr^{0,5292} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ | $Nu = 0,01 Gr^{0,39} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$  |

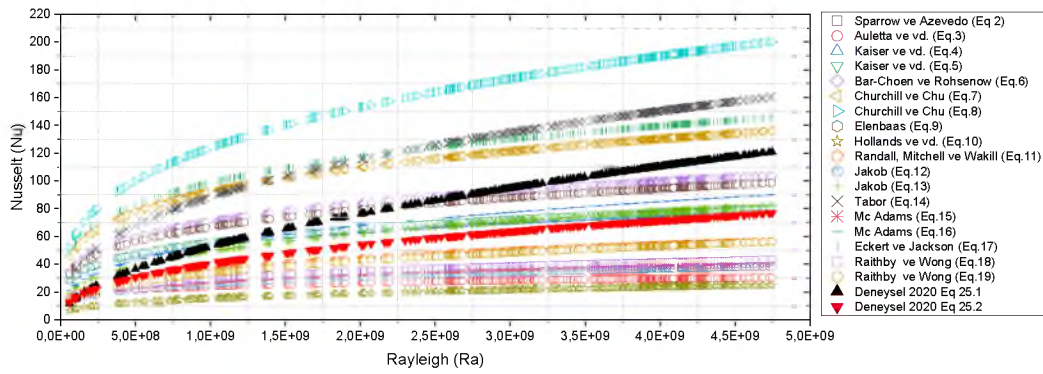


**Şekil. 4.68.** Eş.27.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



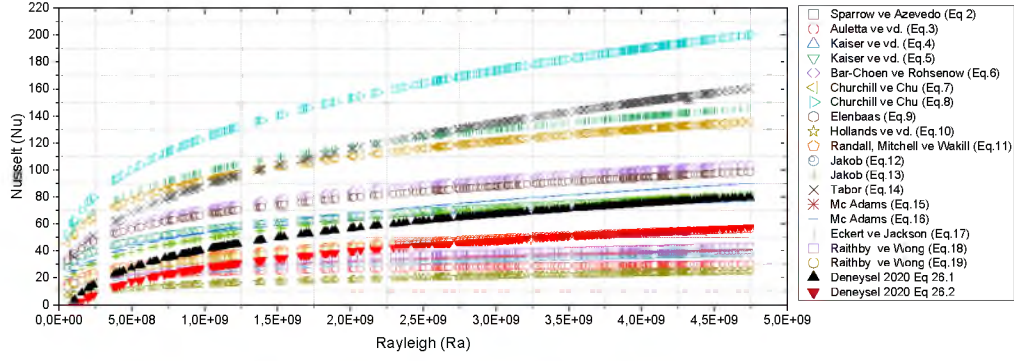
Şekil. 4.69. Eş 28.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Açık Kanal I.Grup modellerden Eş.25.1 ve Eş.25.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.70.) Eş.5, Eş.6, Eş.9, Eş.13 ve Eş.16 eşitlikleri ile benzer sonuçlar göstermektedirler.



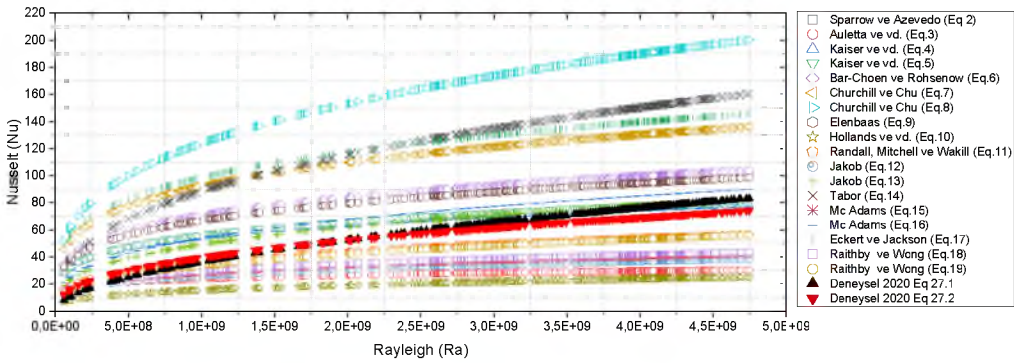
Şekil 4.70. Deneysel Eş.25.1 & Eş.25.2 karşılaştırması

Açık Kanal II.Grup modellerden Eş.26.1 ve Eş.26.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.71.) Eş.3, Eş.5 ve Eş.11 eşitlikleri ile benzer sonuçlar göstermektedirler.



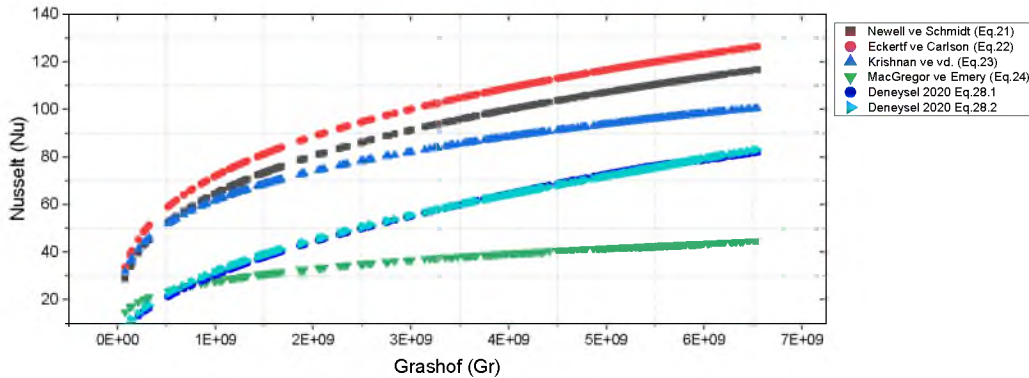
Şekil 4.71. Deneyel Eş.26.1 & Eş.26.2 karşılaştırması

Açık Kanal III.Grup modellerden Eş.27.1 ve Eş.27.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.72.) Eş.5 ve Eş.13 eşitlikleri ile benzer sonuçlar göstermektedirler.



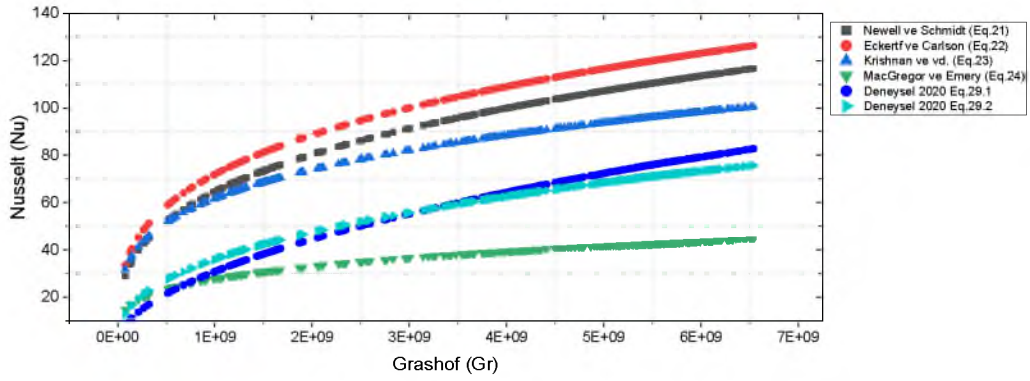
Şekil 4.72. Deneyel Eş.27.1 & Eş.27.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal IV.Grup modellerden Eş.28.1 ve Eş.28.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.73.) tüm eğriler ile benzer eğilim göstermektedirler



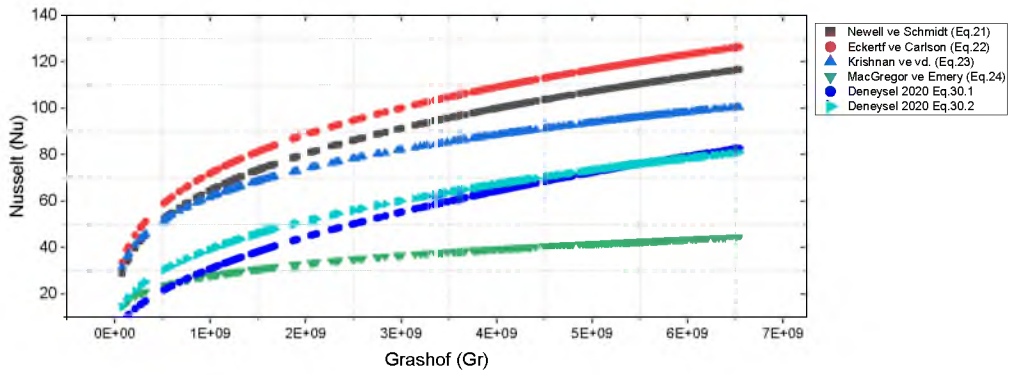
Şekil 4.73. Deneyel Eş.28.1 & Eş.28.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal V.Grup modellerden Eş.29.1 ve Eş.29.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.74.) literatür denklemleri ile benzer eğilim göstermektedirler



Şekil 4.74. Deneysel Eş.29.1 & Eş.29.2 karşılaştırması

Kapalı Kanal VI.Grup modellerden Eş.30.1 ve Eş.30.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.75.) literatür denklemleri ile benzer eğilim göstermektedirler



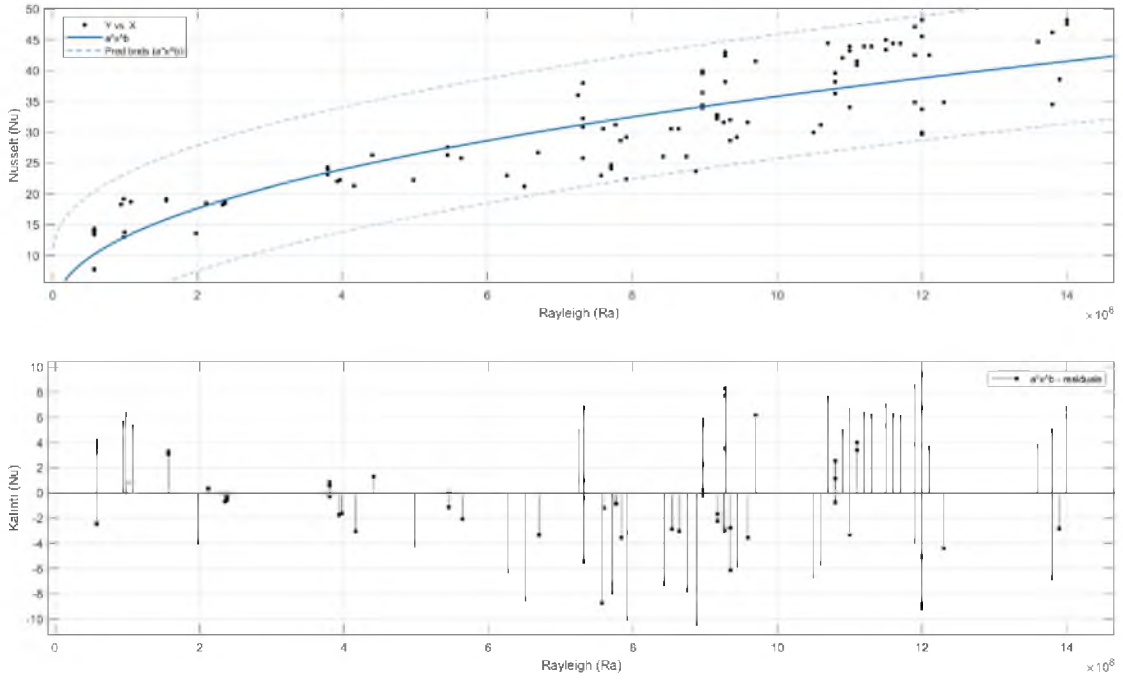
Şekil 4.75. Deneysel Eş.30.1 & Eş.30.2 karşılaştırması

#### 4.3.2.2 Rayleigh-Nusselt ( $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$ ) Sonuçları

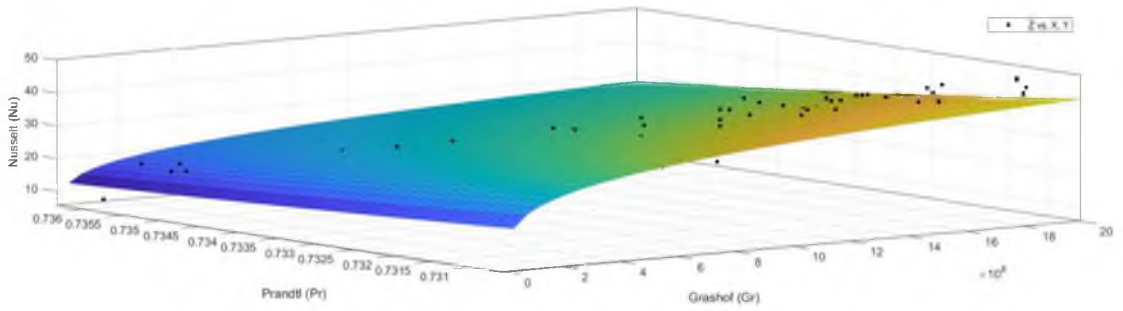
Düşük Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.31.1, Eş.31.2, Eş.32.1, Eş.32.2, Eş.33.1, Eş.33.2, Eş.34.1, Eş.34.2, Eş.35a.1, Eş.35a.2, Eş.35b.1 ve Eş.35b.2 katsayıları Tablo 4.7.'de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.33.1 (Şekil 4.76.)  $R^2=0,7791$  ve kapalı kanalda Eş.34.1 (Şekil 4.77.)  $R^2=0,8097$  olmaktadır.

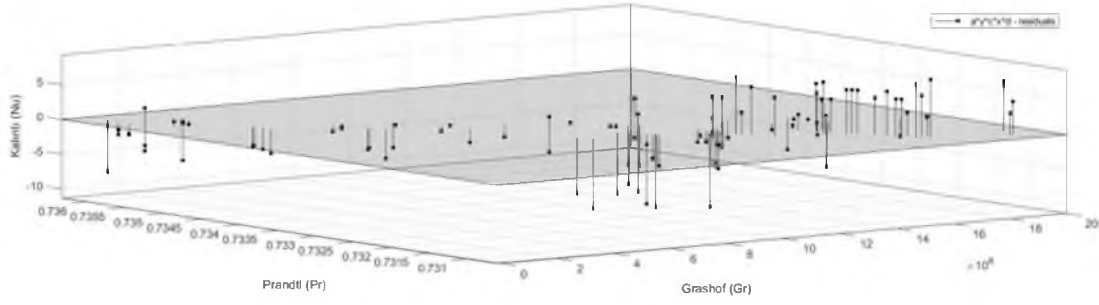
Tablo 4.7. Geliştirilen eşitlikler 31-36

| Tür          | Model        | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                   |
|--------------|--------------|--|---|
| Açık Kanal   | 31 I.Grup    | $Nu = 0,002775 Ra^{0,4387} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ | $Nu = 0,01 Ra^{0,3764} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$  |
|              | 32 II.Grup   | $Nu = -23,82 + Ra^{0,1971}$                                | $Nu = -27 + Ra^{0,2}$                                   |
|              | 33 III.Grup  | $Nu = 0,004035 Ra^{0,4387}$                                | $Nu = 0,01 Ra^{0,4}$                                    |
| Kapalı Kanal | 34 IV.Grup   | $Nu = 2,33e - 08 Gr^{0,233} Pr^{-51,71}$                   | $Nu = 0,01 Gr^{0,4} Pr^{0,7558}$                        |
|              | 35.a V.Grup  | $Nu = 0,003567 Gr^{0,438}$                                 | $Nu = 0,003567 Gr^{0,438}$                              |
|              | 35.b VI.Grup | $Nu = 0,002453 Gr^{0,438} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$  | $Nu = 0,001 Gr^{0,4809} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$ |



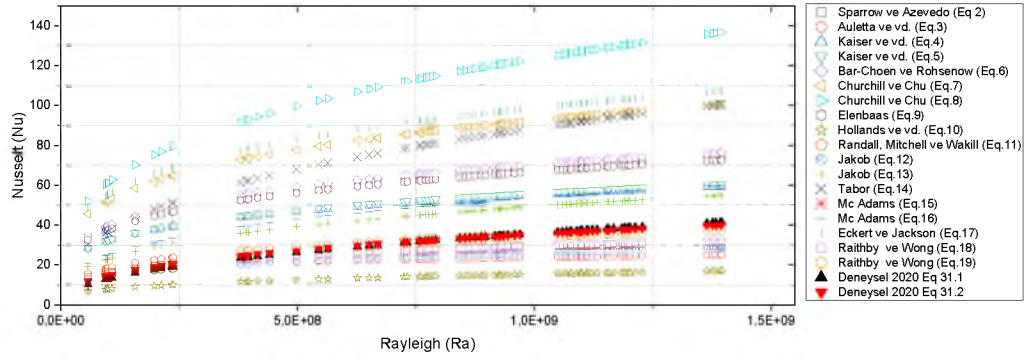
Şekil. 4.76. Eş 33.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri





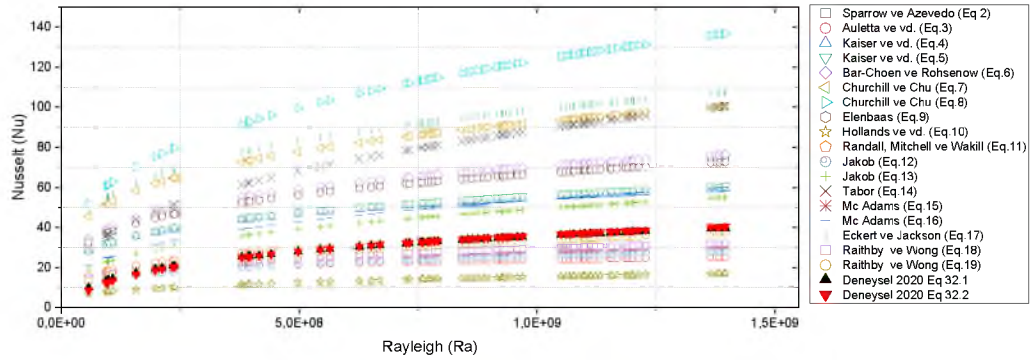
Şekil. 4.77. Eş 34.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Açık Kanal I.Grup modellerden Eş.31.1 ve Eş.31.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.78.) Eş.11, ve Eş.19 eşitlikleri ile benzer sonuçlar göstermektedirler.



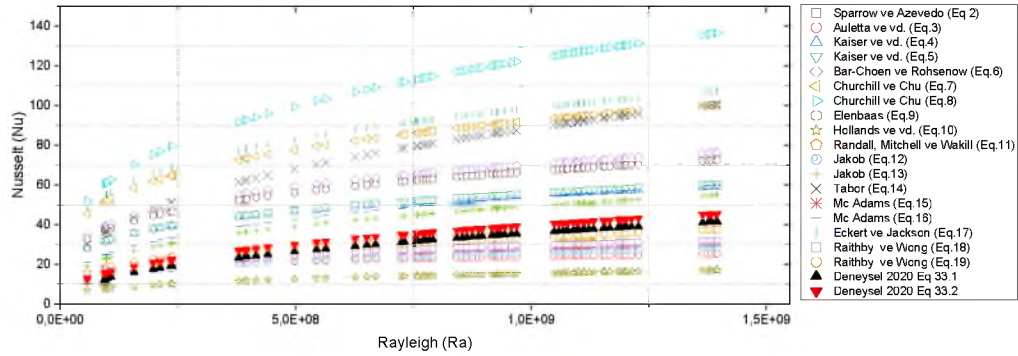
Şekil. 4.78. Deneysel Eş.31.1 & Eş.31.2 karşılaştırması

Açık Kanal II.Grup modellerden Eş.32.1 ve Eş.32.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.79.) Eş. 11, Eş. 18 ve Eş. 19 eşitlikleri ile benzer sonuçlar göstermektedirler.



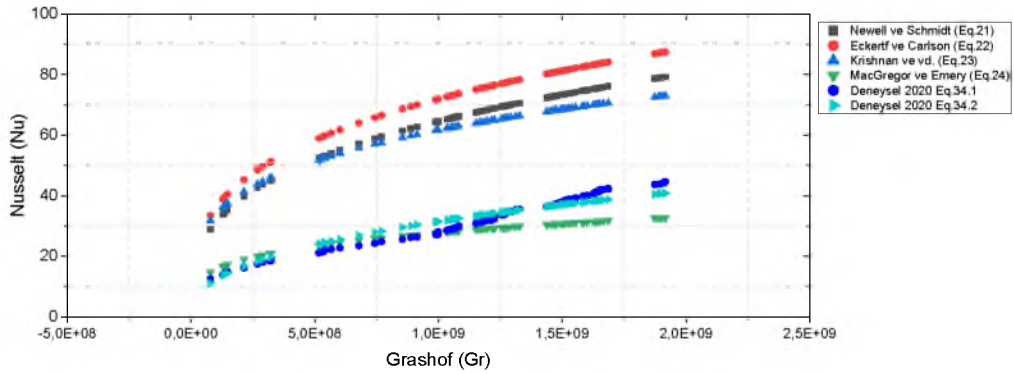
Şekil. 4.79. Deneysel Eş.32.1 & Eş.32.2 karşılaştırması

Açık Kanal III.Grup modellerden Eş.33.1 ve Eş.33.2 literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.80.) Eş.11 ve Eş.19 eşitlikleri ile benzer sonuçlar göstermektedirler.

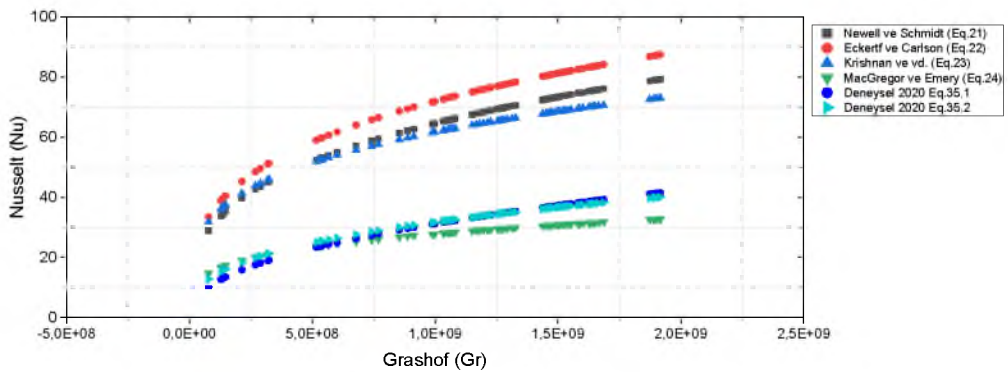


Şekil. 4.80. Deneyel Eş.33.1 & Eş.33.2 karşılaştırması

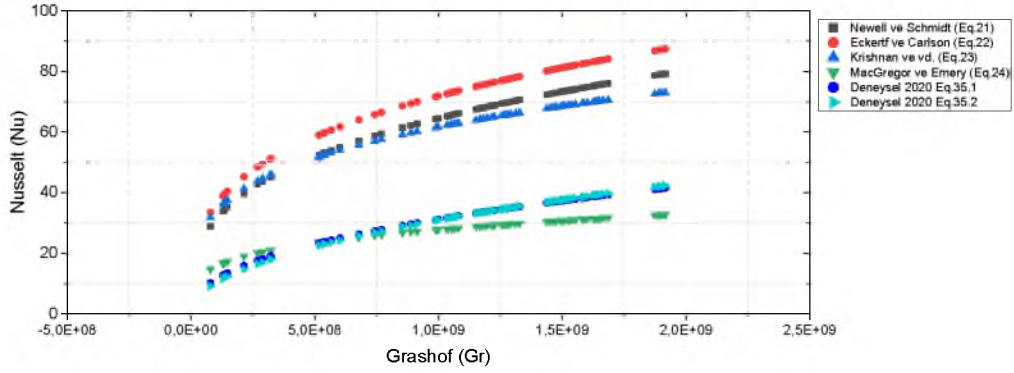
Açık Kanal eşitlikleri incelendiğinde modellerden denklemler literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.81.- Şekil 4.82.- ve Şekil 4.83.) Eş.24 ile uyum içerisinde oldukları görülmüştür. Aynı Grashoff değerine karşılık benzer Nusselt verilerini göstermektedirler.



Şekil. 4.81. Deneyel Eş.34.1 & Eş.34.2 karşılaştırması



Şekil. 4.82. Deneyel Eş.35a.1 & Eş.35a.2 karşılaştırması



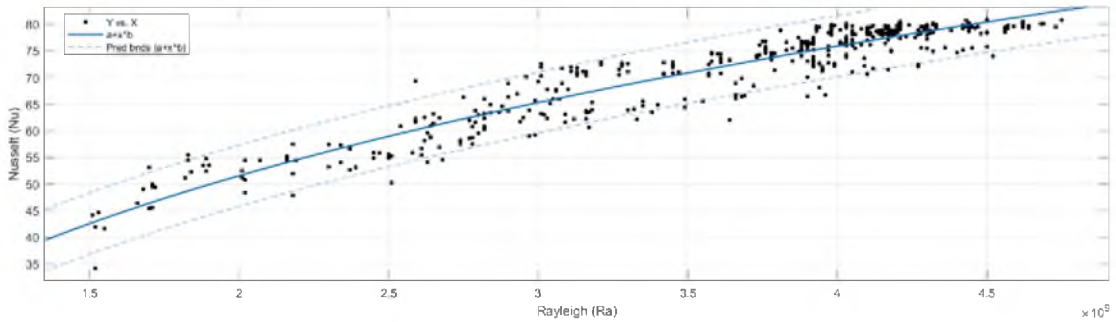
Şekil 4.83. Deneysel Eş.35b.1 & Eş.35b.2 karşılaştırması

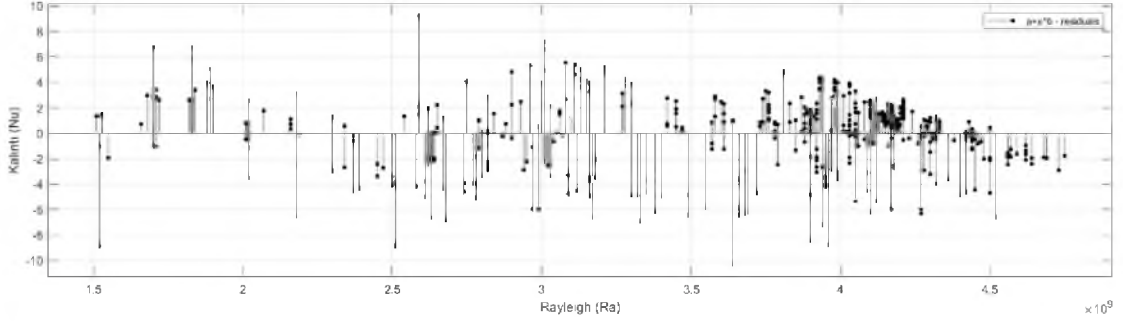
#### 4.3.2.3 Rayleigh-Nusselt ( $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$ ) Sonuçları

Yüksek Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.36.1, Eş.36.2, Eş.37.1, Eş.37.2, Eş.38.1, Eş.38.2, Eş.39.1, Eş.39.2, Eş.40.1, Eş.40.2, Eş.41.1 ve Eş.41.2 katsayıları Tablo 4.8.'de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.37.1 (Şekil 4.84.)  $R^2=0,9013$  ve kapalı kanalda Eş.39.1 (Şekil 4.85.)  $R^2=0,9423$  olmaktadır.

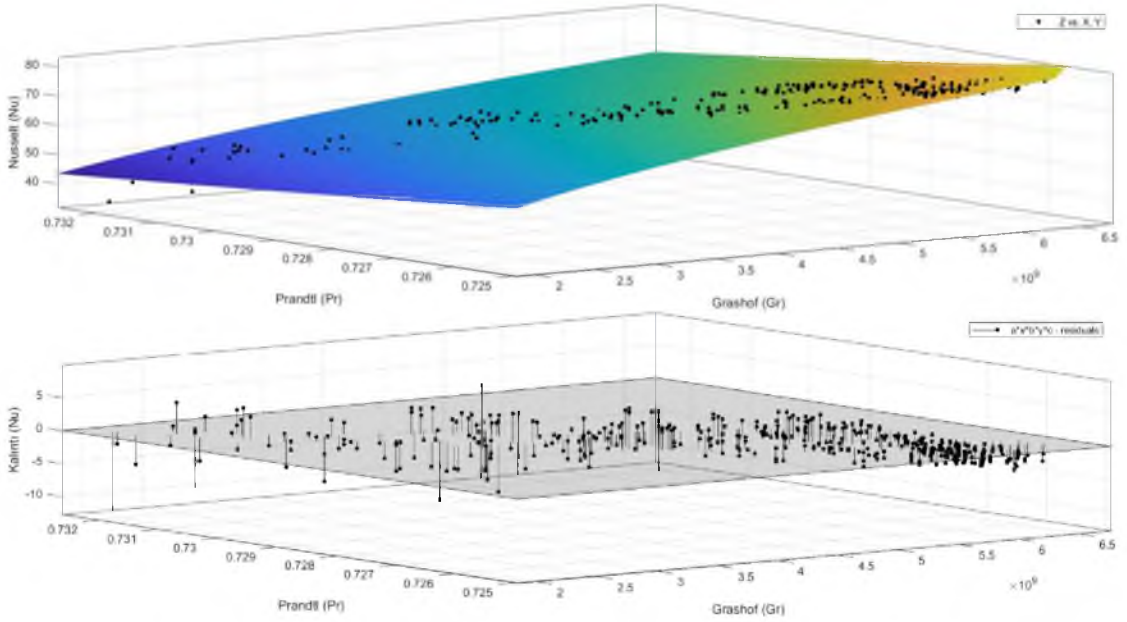
Tablo 4.8. Geliştirilen eşitlikler 37-42

| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı   | Düzeltilmiş Katsayılı                                    |
|--------------|-------------|---|--|
| Açık Kanal   | 36 I.Grup   | $Nu = 0,0002892Ra^{0,5432} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,25}$ | $Nu = 0,001 Ra^{0,4869} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,25}$ |
|              | 37 II.Grup  | $Nu = -88,65 + Ra^{0,2308}$                                 | $Nu = -90 + Ra^{0,2312}$                                 |
|              | 38 III.Grup | $Nu = 0,0004618 Ra^{0,5432}$                                | $Nu = 0,01 Ra^{0,40}$                                    |
| Kapalı Kanal | 39 IV.Grup  | $Nu = 3,044e - 05 Gr^{0,331} Pr^{-22,86}$                   | $Nu = 0,01 Gr^{0,3725} Pr^{-9}$                          |
|              | 40 V.Grup   | $Nu = 0,0004272 Gr^{0,5389}$                                | $Nu = 0,001 Gr^{0,5}$                                    |
|              | 41 VI.Grup  | $Nu = 0,0002938Gr^{0,5389} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$  | $Nu = 0,001 Gr^{0,4841} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$  |



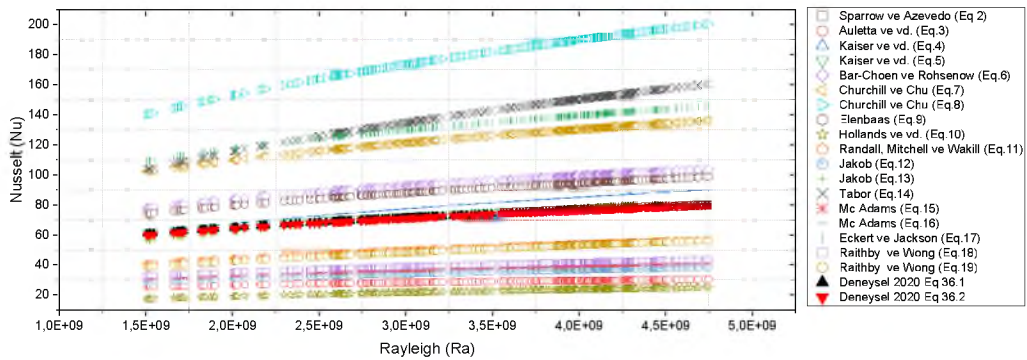


Şekil. 4.84. Eş 37.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

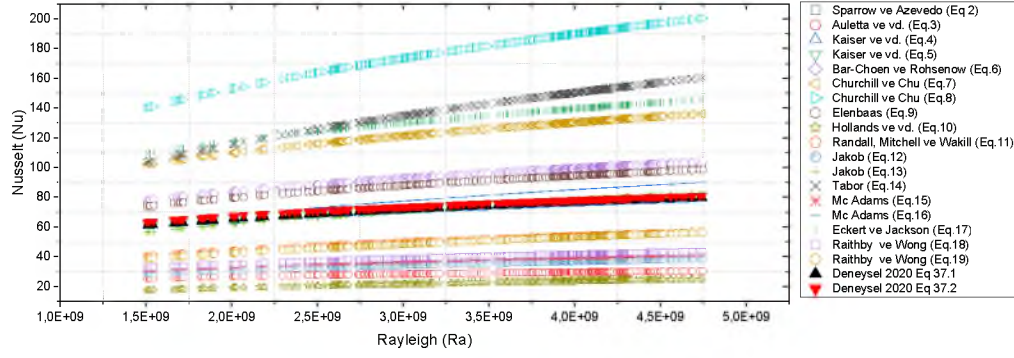


Şekil. 4.85. Eş 39.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

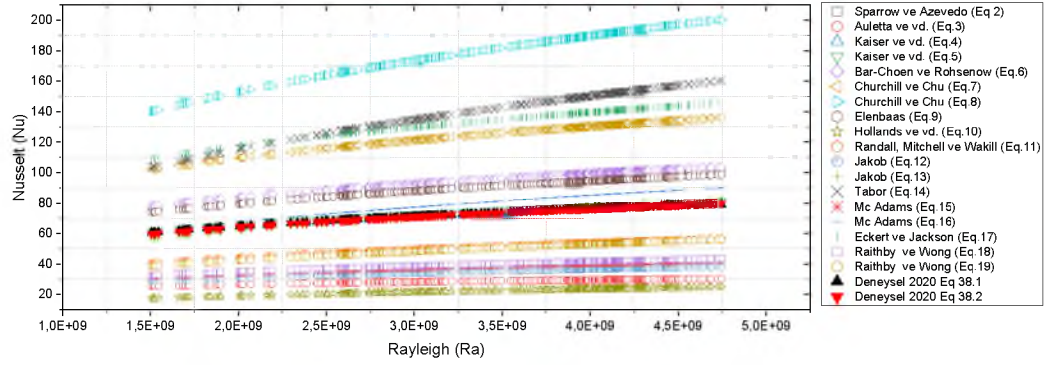
Açık kanal modelleri literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.86-Şekil 4.87 ve Şekil 4.88.) Eş.4, Eş.5, Eş.13 ve Eş.16 literatür eşitlikleri ile benzer değerleri ifade etmektedirler.



Şekil. 4.86. Deneysel Eş.36.1 & Eş.36.2 karşılaştırması

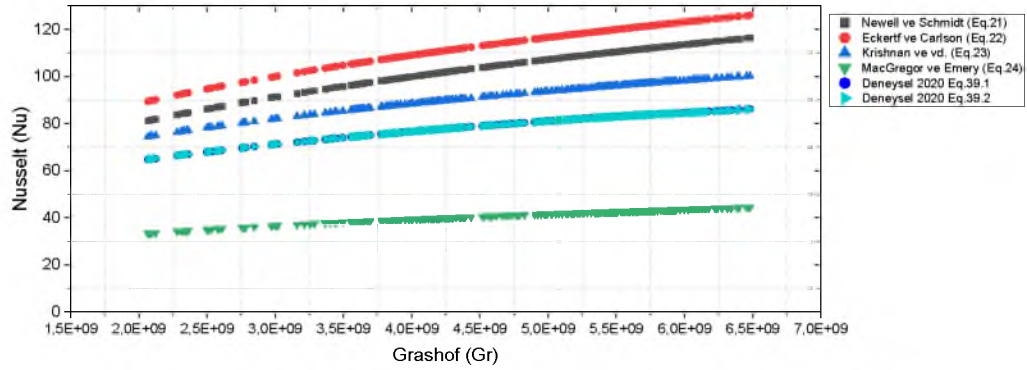


Şekil. 4.87. Deneysel Eş.37.1 & Eş.37.2 karşılaştırması

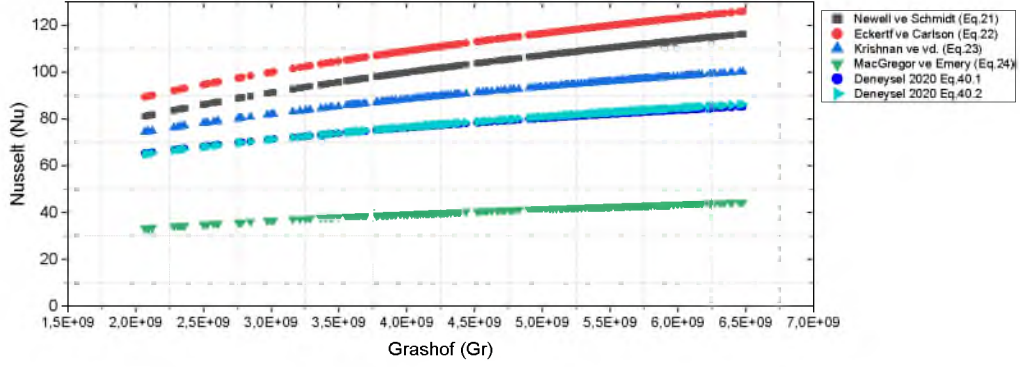


Şekil. 4.88. Deneysel Eş.38.1 & Eş.38.2 karşılaştırması

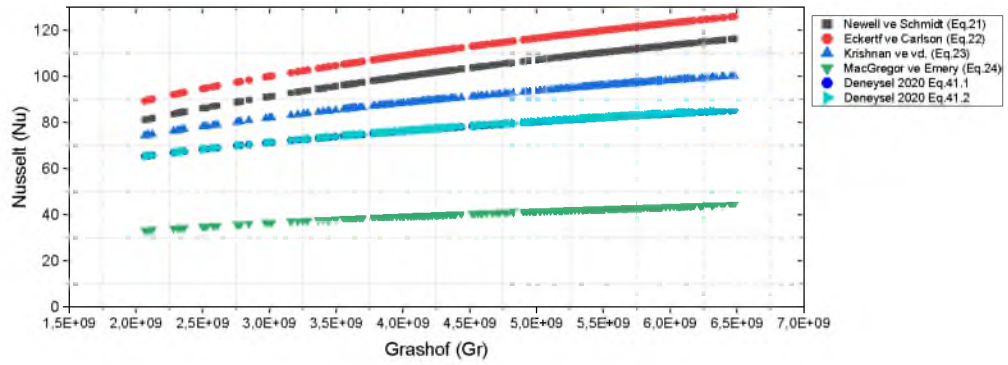
Kapalı kanal modelleri literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.89., Şekil 4.90. ve Şekil 4.91.) en yakın ifadeyi Eş.23 vermektedir.



Şekil. 4.89. Deneysel Eş.39.1 & Eş.39.2 karşılaştırması



Şekil. 4.90. Deneysel Eş.40.1 & Eş.40.2 karşılaştırması



Şekil. 4.91. Deneysel Eş.41.1 & Eş.41.2 karşılaştırması

### 4.3.3 Sinüs Panel

Değişken geometrideki dikey ve paralel konumdaki sabit ısıdaki güneş duvarı modelinde 08:00 ile 18:00 saatleri arasında hesaplanan Rayleigh (Ra) değeri değişimi maksimum-minimum ( $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$ ) ve akış formuna göre iki bölgeye ayrılarak laminer ve türbülans bölgesi olmak üzere daha kararlı Nusselt değişimleri ifade edilmiştir. Rayleigh (Ra) çözüm limitleri sırasıyla düşük ( $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$ ) ve yüksek ( $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$ ) olmaktadır.

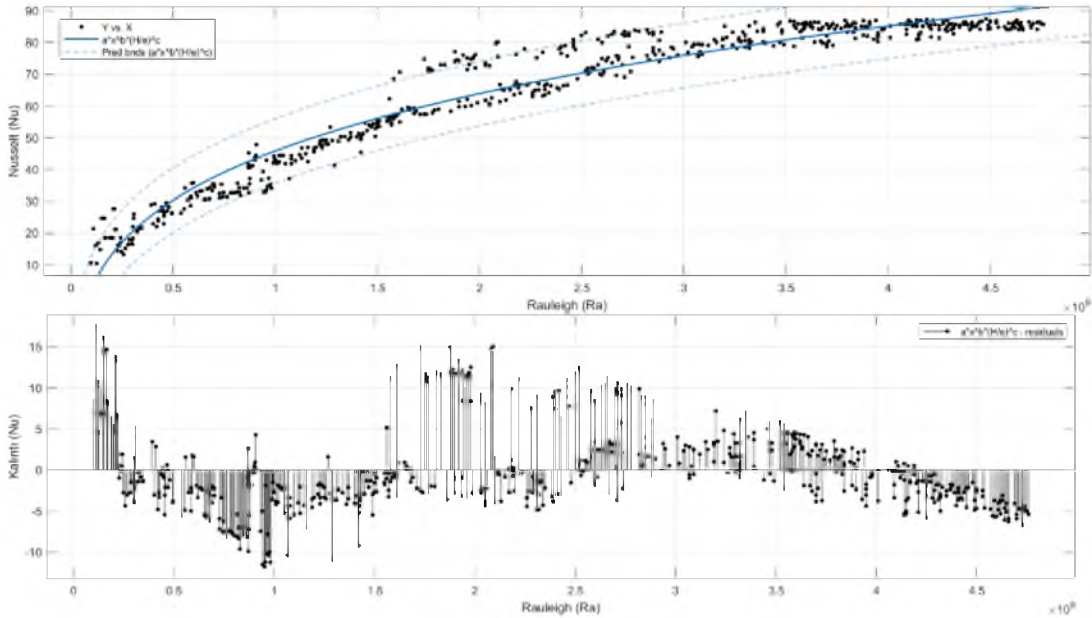
Oluşturulan 18 farklı durum için ilk aşamada istatistiksel açıdan en iyi uyum modeli oluşturulmuş daha sonra ikinci aşamada ilk eğri uydurmadaki izin verilen katsayı aralıklarında modeller yeniden düzenlenerek literatüre uygun katsayılı eşitlikler geliştirilmiştir. Bu amaçla dört farklı Rayleigh aralıkları için toplamda 36 farklı matematiksel eşitlik oluşturulmuştur. Kapalı kanal ve Açık kanal istatistiksel analizleri en iyi olan denklemler bölüm içinde gösterilirken diğer eşitliklerin eğim çizgisi ve kalıntı (residuals) şekilleri EK-6'da gösterilmiştir.

### 4.3.3.1 Rayleigh-Nusselt ( $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$ ) Sonuçları

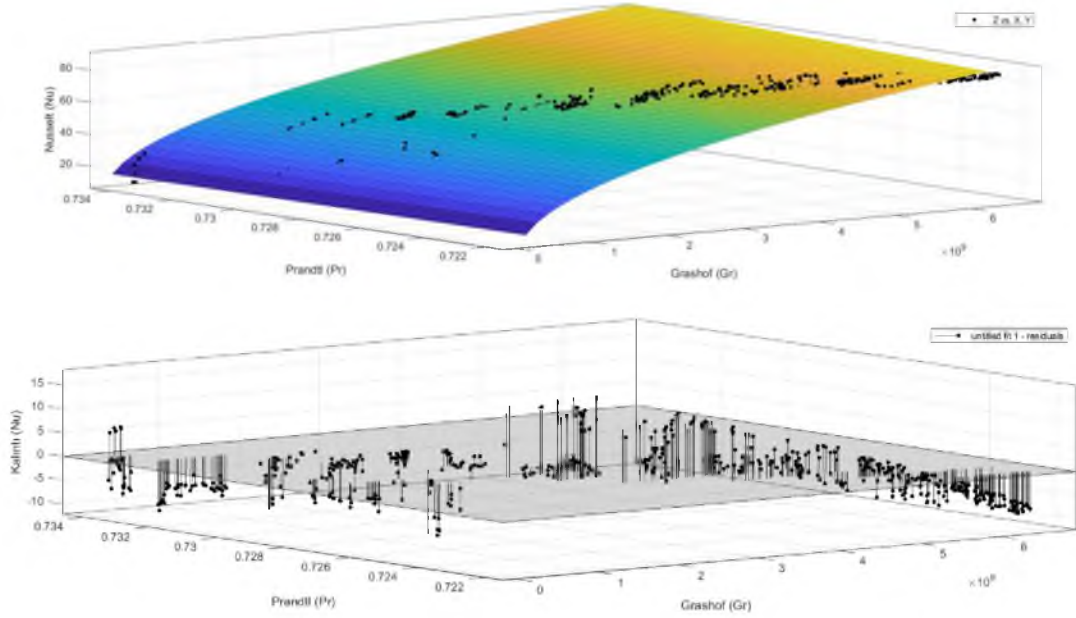
Maksimum ve minimum Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.42.1, Eş.42.2, Eş.43.1, Eş.43.2, Eş.44.1, Eş.44.2, Eş.45.1, Eş.45.2, Eş.46.1, Eş.46.2, Eş.47.1 ve Eş.47.2 katsayıları Tablo 4.9'da gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.43.1 (Şekil 4.92.)  $R^2=0,9461$  ve kapalı kanalda Eş.45.1 (Şekil 4.93.)  $R^2=0,9378$  olmaktadır.

**Tablo 4.9.** Geliştirilen eşitlikler 42-47

| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                  |
|--------------|-------------|--|--|
| Açık Kanal   | 42 I.Grup   | $Nu = 0,001969 Ra^{0,4748} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ | $Nu = 0,001 Ra^{0,5} \left(\frac{H}{e}\right)^{-0,1}$  |
|              | 43 II.Grup  | $Nu = -61,38 + Ra^{0,2256}$                                | $Nu = -47 + Ra^{0,22}$                                 |
|              | 44 III.Grup | $Nu = 0,002374 Ra^{0,4748}$                                | $Nu = 0,001 Ra^{0,5145}$                               |
| Kapalı Kanal | 45 IV.Grup  | $Nu = 0,001318 Gr^{0,4515} Pr^{-2,955}$                    | $Nu = 0,1 Gr^{0,57} Pr^{-19,19}$                       |
|              | 46 V.Grup   | $Nu = 0,002187 Gr^{0,4716}$                                | $Nu = 0,01 Gr^{0,4028}$                                |
|              | 47 VI.Grup  | $Nu = 0,00137 Gr^{0,4716} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,25}$ | $Nu = 0,01 Gr^{0,3816} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ |

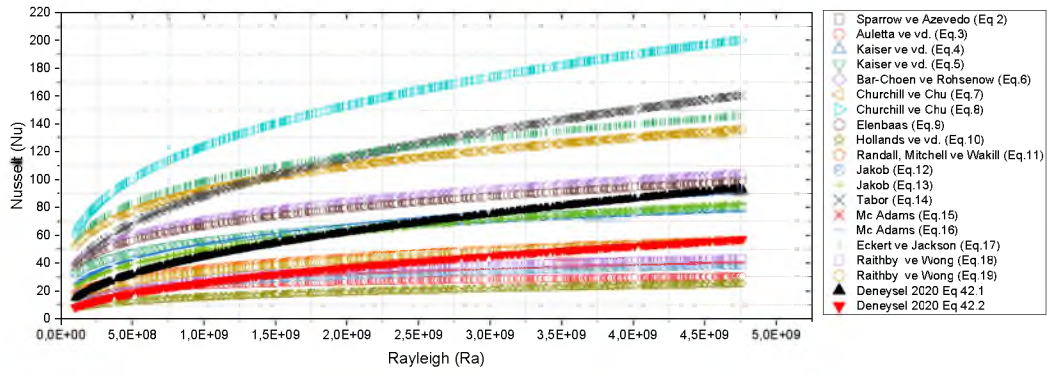


**Şekil. 4.92.** Eş 43.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

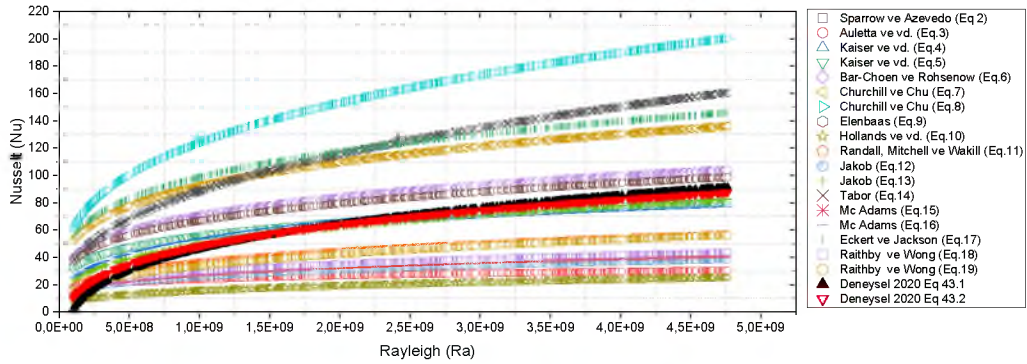


Şekil. 4.93. Eş 45.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

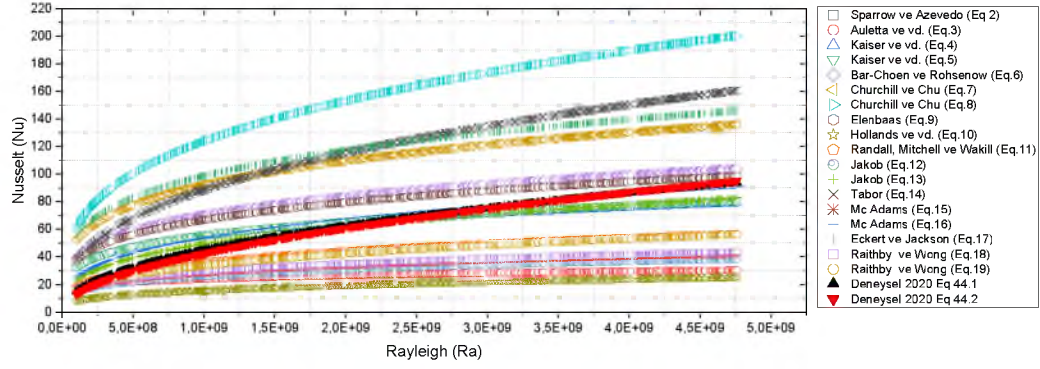
Açık kanal modelleri literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.94.-Şekil 4.95. ve Şekil 4.96.) Eş.4, Eş.5, Eş.11, Eş.13, ve Eş.19 literatür eşitlikleri ile benzer değerleri ifade etmektedirler.



Şekil. 4.94. Deneysel Eş.42.1 & Eş.42.2 karşılaştırması

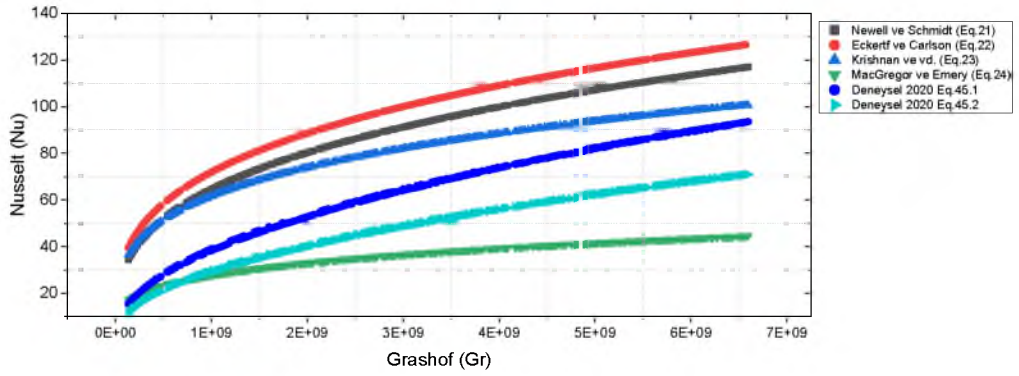


Şekil. 4.95. Deneysel Eş.43.1 & Eş.43.2 karşılaştırması

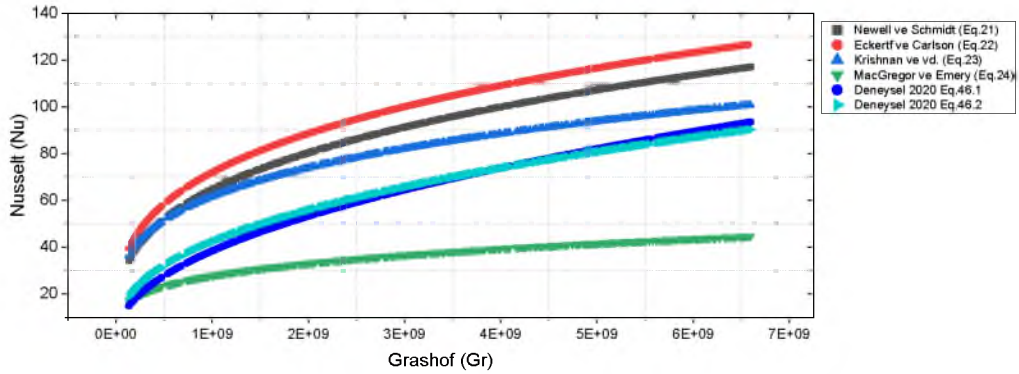


Şekil. 4.96. Deneysel Eş.44.1 & Eş.44.2 karşılaştırması

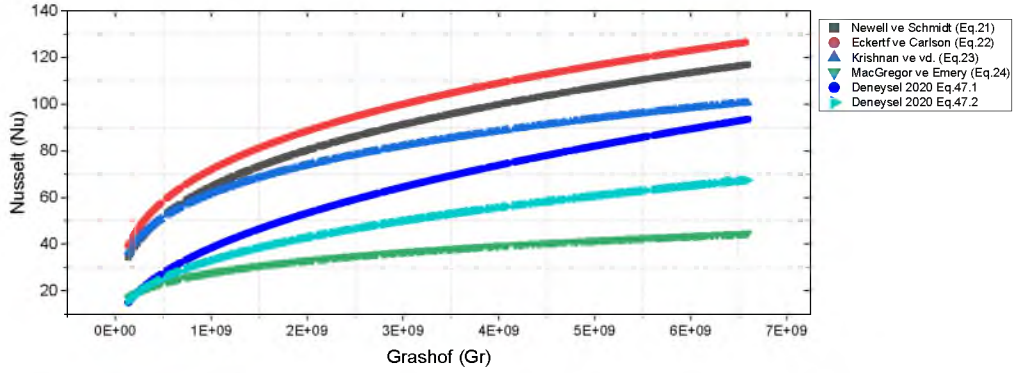
Kapalı kanal modelleri literatürle karşılaştırıldığında (Şekil 4.97.-Şekil 4.98. ve Şekil 4.99.) Eş.23 ile Eş.24 arasındaki değerleri karşılamaktadır.



Şekil. 4.97. Deneysel Eş.45.1 & Eş.45.2 karşılaştırması



Şekil. 4.98. Deneysel Eş.46.1 & Eş.46.2 karşılaştırması



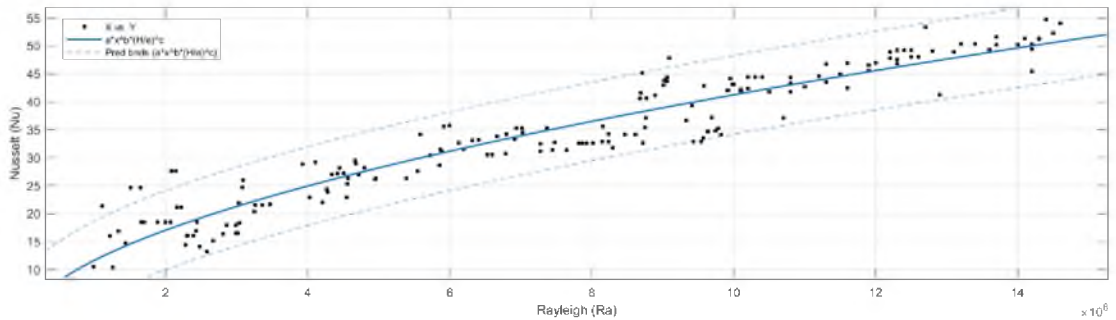
Şekil 4.99. Deneysel Eş.47.1 & Eş.47.2 karşılaştırması

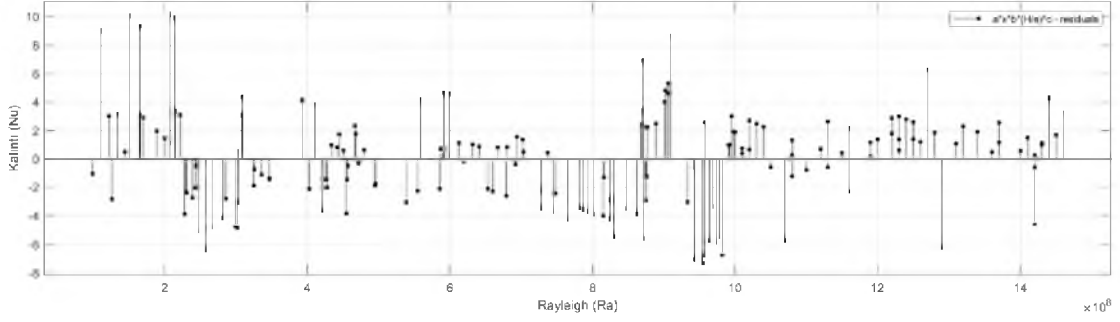
#### 4.3.3.2 Rayleigh-Nusselt ( $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$ ) Sonuçları

Düşük Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.48.1, Eş.48.2, Eş.49.1, Eş.49.2, Eş.50.1, Eş.50.2, Eş.51.1, Eş.51.2, Eş.52.1, Eş.52.2, Eş.53.1 ve Eş.53.2 katsayıları Tablo 4.10.'da gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.48.1 (Şekil 4.100.)  $R^2=0,8998$  ve kapalı kanalda Eş.51.1 (Şekil 4.101.)  $R^2=0,9026$  olmaktadır.

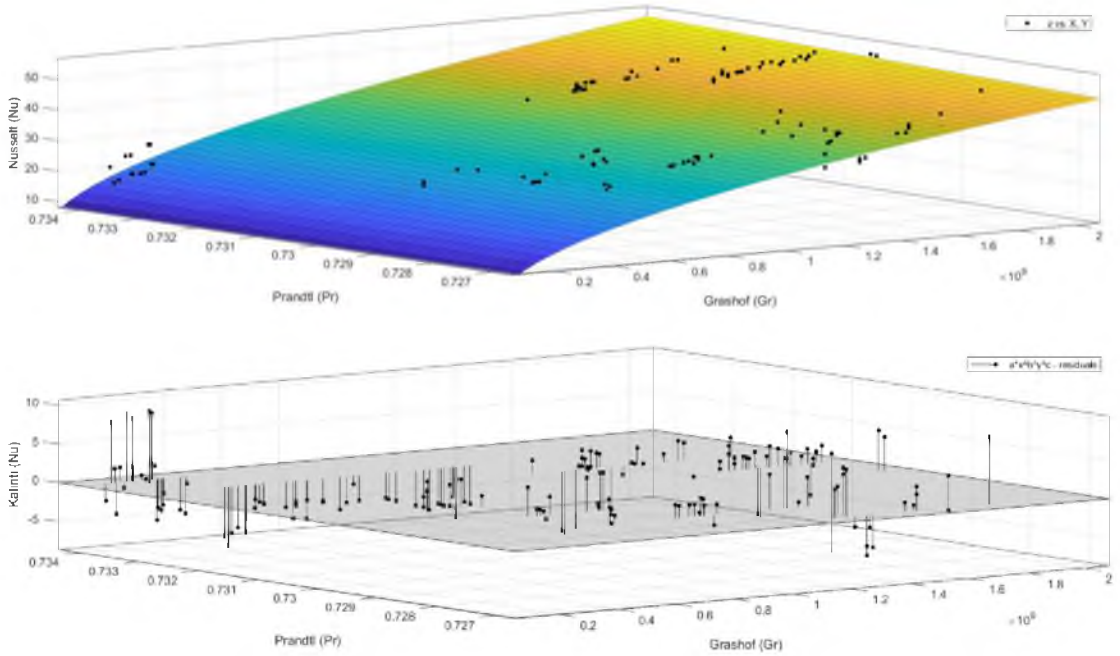
Tablo 4.10. Geliştirilen eşitlikler 48-53

| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı   | Düzeltilmiş Katsayılı                                   |
|--------------|-------------|---|---|
| Açık Kanal   | 48 I.Grup   | $Nu = 0,0003905 Ra^{0,5492} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ | $Nu = 0,001 Ra^{0,5036} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ |
|              | 49 II.Grup  | $Nu = -43,33 + Ra^{0,2142}$                                 | $Nu = -43,33 + Ra^{0,2142}$                             |
|              | 50 III.Grup | $Nu = 0,0004709 Ra^{0,5492}$                                | $Nu = 0,001 Ra^{0,5126}$                                |
| Kapalı Kanal | 51 IV.Grup  | $Nu = 9,355e - 05 Gr^{0,5421} Pr^{-5,072}$                  | $Nu = 0,01 Gr^{0,5224} Pr^{8,5}$                        |
|              | 52 V.Grup   | $Nu = 0,0003998 Gr^{0,5488}$                                | $Nu = 0,001 Gr^{0,505}$                                 |
|              | 53 VI.Grup  | $Nu = 0,000228 Gr^{0,5488} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,3}$  | $Nu = 0,001 Gr^{0,4781} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,3}$ |



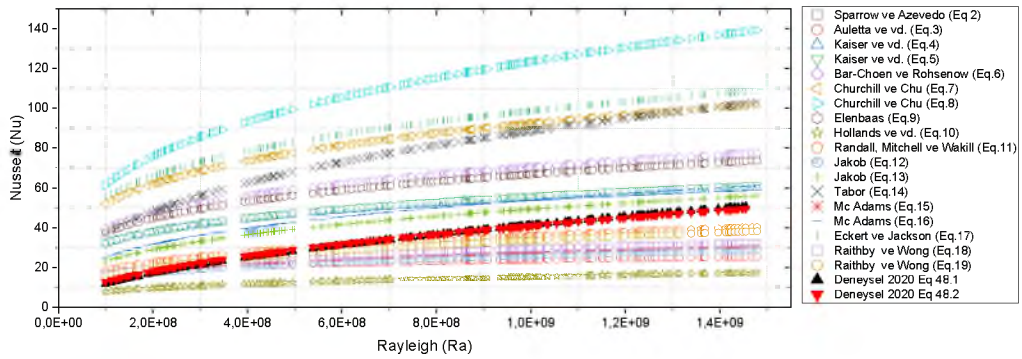


Şekil. 4.100. Eş 48.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

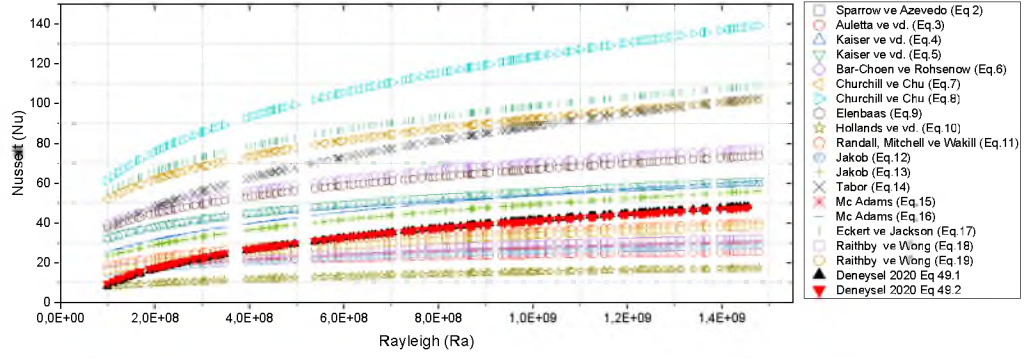


Şekil. 4.101. Eş 51.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

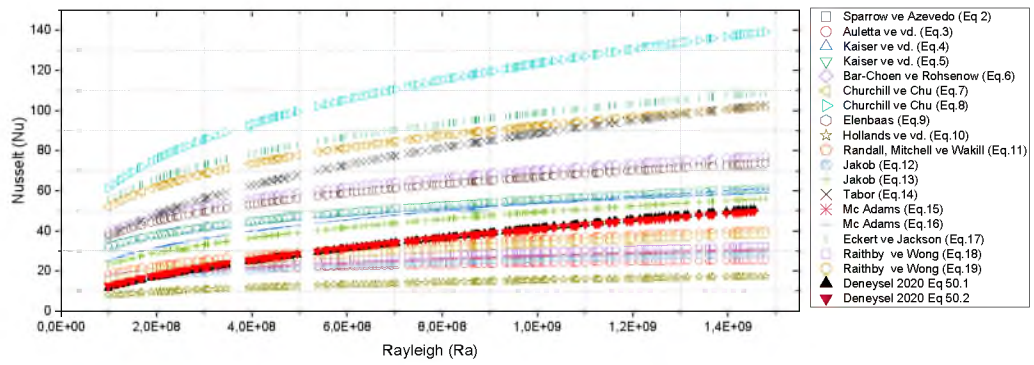
Düşük Rayleigh değerleri literatürdeki açık kanal modelleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 4.102.-Şekil 4.103. ve Şekil 4.104.), Eş.11, Eş.13, ve Eş.19 literatür eşitlikleri ile uyumludurlar.



Şekil. 4.102. Deneysel Eş.48.1 & Eş.48.2 karşılaştırması

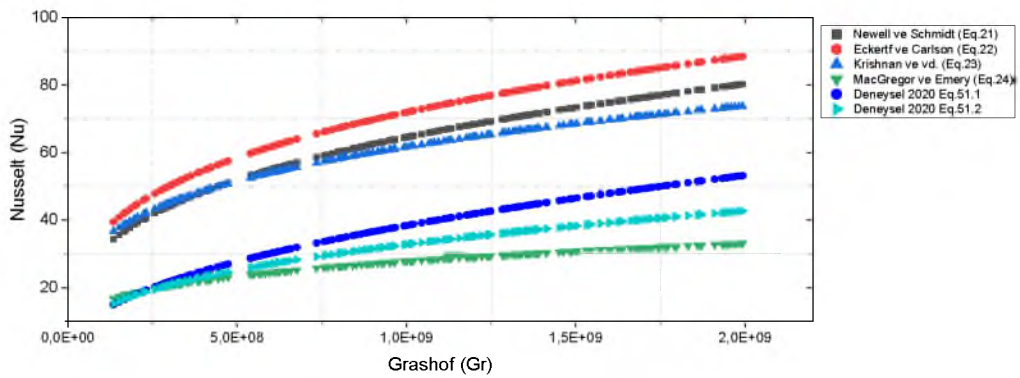


Şekil. 4.103. Deneyel Eş.49.1 & Eş.49.2 karşılaştırması

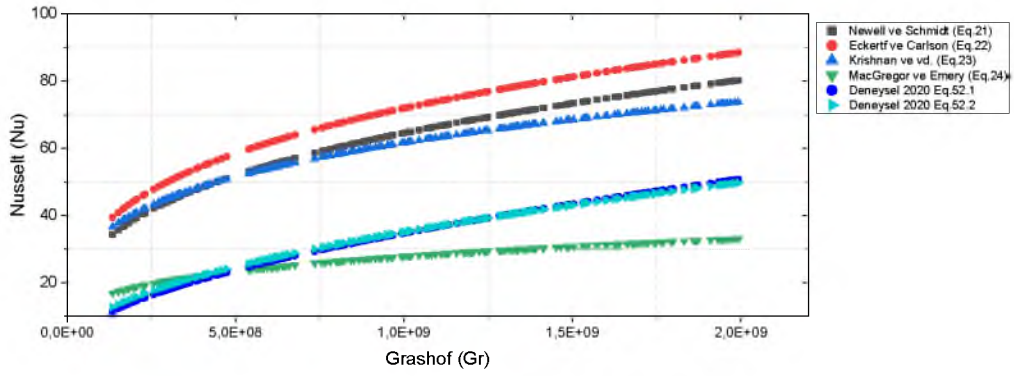


Şekil. 4.104. Deneyel Eş.50.1 & Eş.50.2 karşılaştırması

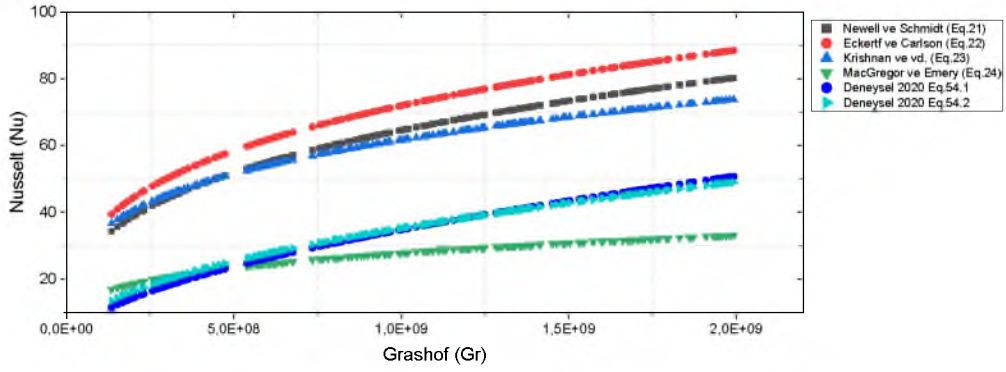
Düşük Rayleigh değerleri literatürdeki kapalı kanal modelleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 4.105., Şekil 4.106. ve Şekil 4.107.), Eş.24 denklemi ile uyumludurlar.



Şekil. 4.105. Deneyel Eş.51.1 & Eş.51.2 karşılaştırması



Şekil 4.106. Deneysel Eş.52.1 &amp; Eş.52.2 karşılaştırması



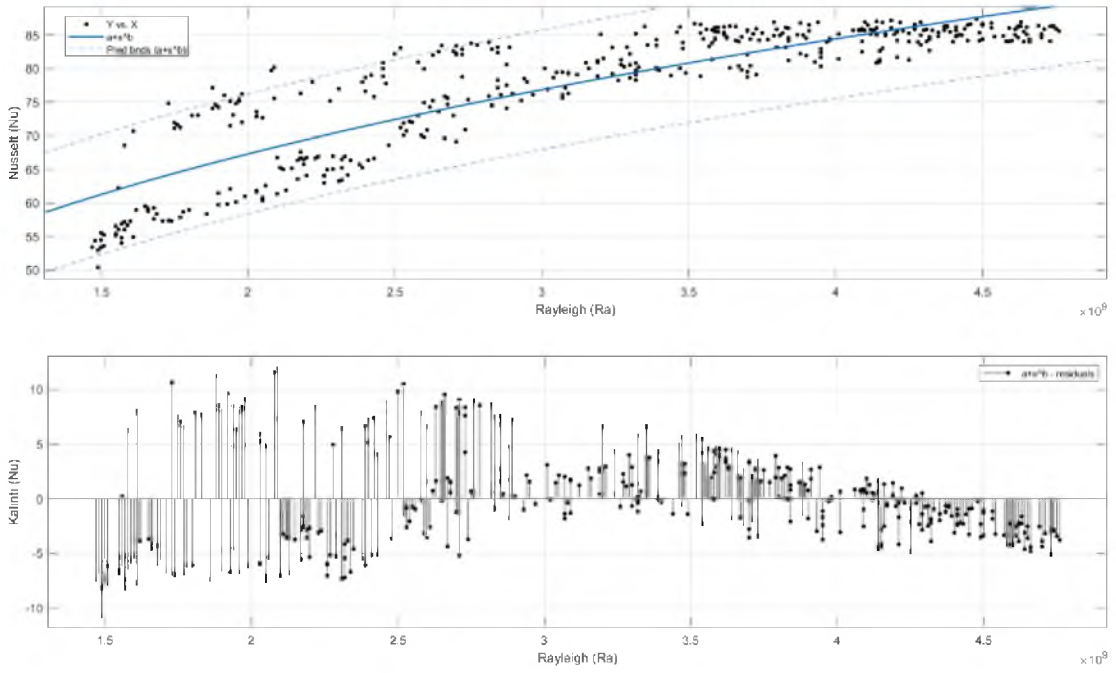
Şekil 4.107. Deneysel Eş.53.1 &amp; Eş.53.2 karşılaştırması

#### 4.3.3.3 Rayleigh-Nusselt ( $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$ ) Sonuçları

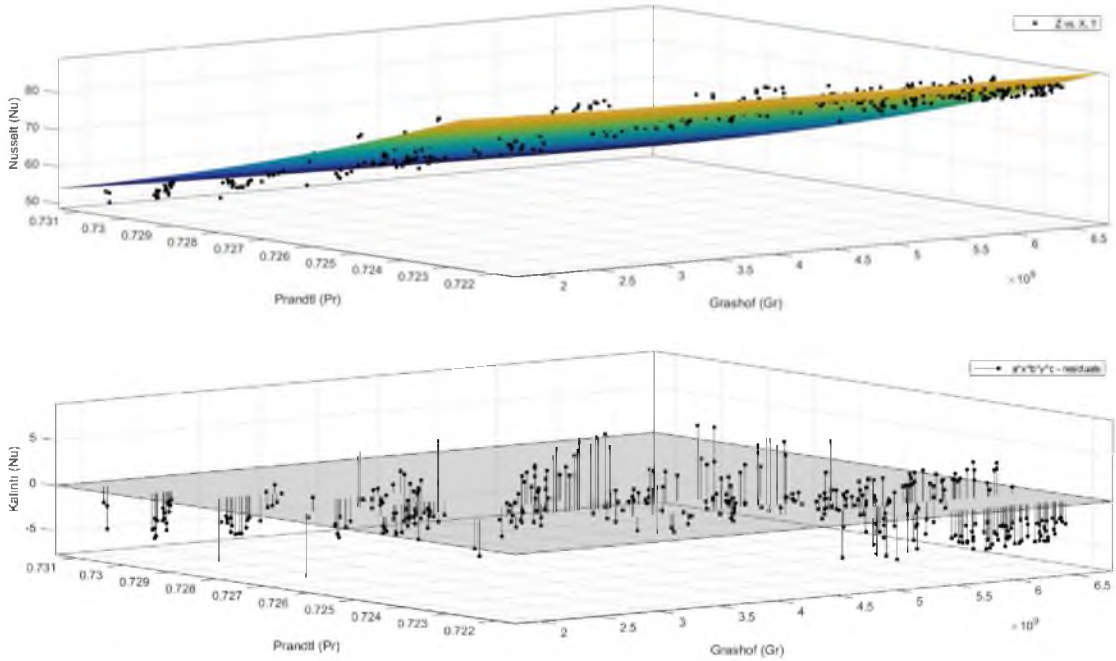
Yüksek Rayleigh Sayısına karşılık oluşturulan Eş.54.1, Eş.54.2, Eş.55.1, Eş.55.2, Eş.56.1, Eş.56.2, Eş.57.1, Eş.57.2, Eş.58.1, Eş.58.2, Eş.59.1 ve Eş.59.2 katsayıları Tablo 4.11.'de gösterilmektedir. Bu eşitliklerden istatistiksel analizlerde en uyumlusu açık kanalda Eş.56.1 (Şekil 4.108.)  $R^2=0,7816$  ve kapalı kanalda Eş.58.1 (Şekil 4.109.)  $R^2=0,9037$  olmaktadır.

Tablo 4.11. Geliştirilen eşitlikler 54-59

| Tür          | Model       | İdeal Katsayılı  | Düzeltilmiş Katsayılı                                   |
|--------------|-------------|--|---|
| Açık Kanal   | 54 I.Grup   | $Nu = 0,0419 Ra^{0,3272} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$   | $Nu = 0,05 Ra^{0,32} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,2}$    |
|              | 55 II.Grup  | $Nu = -39,38 + Ra^{0,218}$                                 | $Nu = -40 + Ra^{0,22}$                                  |
|              | 56 III.Grup | $Nu = 0,06093 Ra^{0,3272}$                                 | $Nu = 0,05731 Ra^{0,33}$                                |
| Kapalı Kanal | 57 IV.Grup  | $Nu = 0,0002852 Gr^{-0,03892} Pr^{-41,51}$                 | $Nu = 0,01 Gr^{0,1038} Pr^{-20,66}$                     |
|              | 58 V.Grup   | $Nu = 0,05785 Gr^{0,3248}$                                 | $Nu = 0,1003 Gr^{0,3}$                                  |
|              | 59 VI.Grup  | $Nu = 0,04708 Gr^{0,3248} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,11}$ | $Nu = 0,04193 Gr^{0,33} \left(\frac{H}{e}\right)^{0,1}$ |

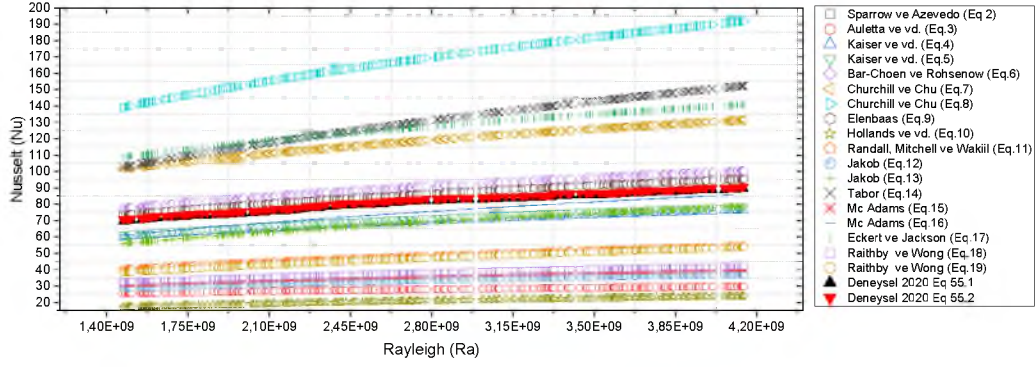


Şekil. 4.108. Eş 56.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

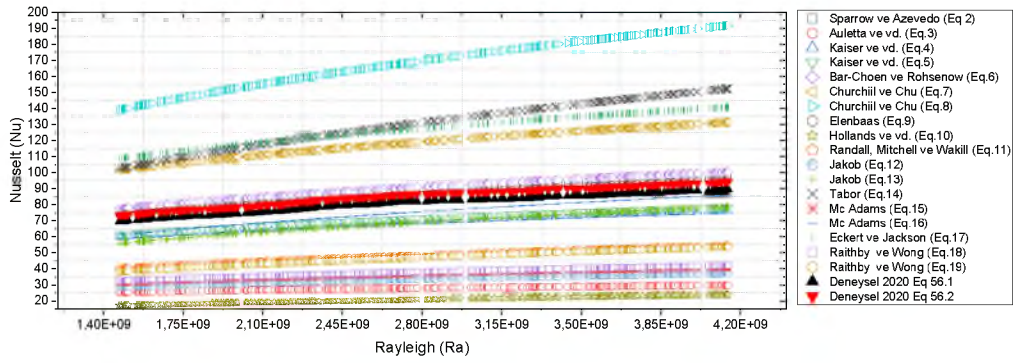


Şekil. 4.109. Eş 58.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

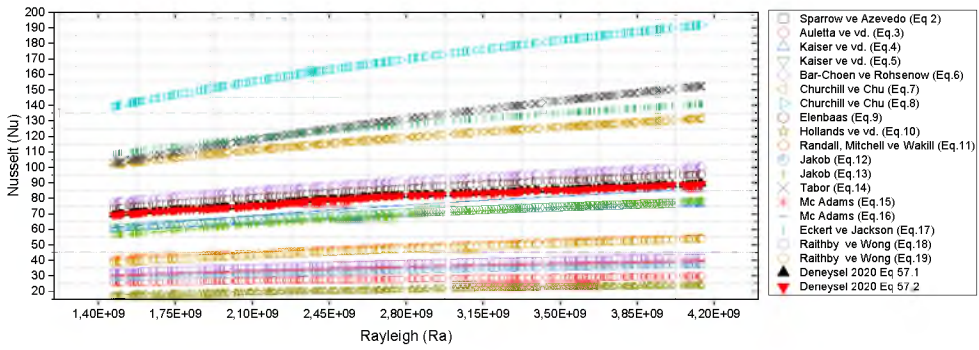
Yüksek Rayleigh değerleri literatürdeki açık kanal modelleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 4.110., Şekil 4.111. ve Şekil 4.112.), Eş.6, Eş.9, ve Eş.16 literatür eşitlikleri ile uyumludurlar.



Şekil. 4.110. Deneyel Eş.55.1 & Eş.55.2 karşılaştırması

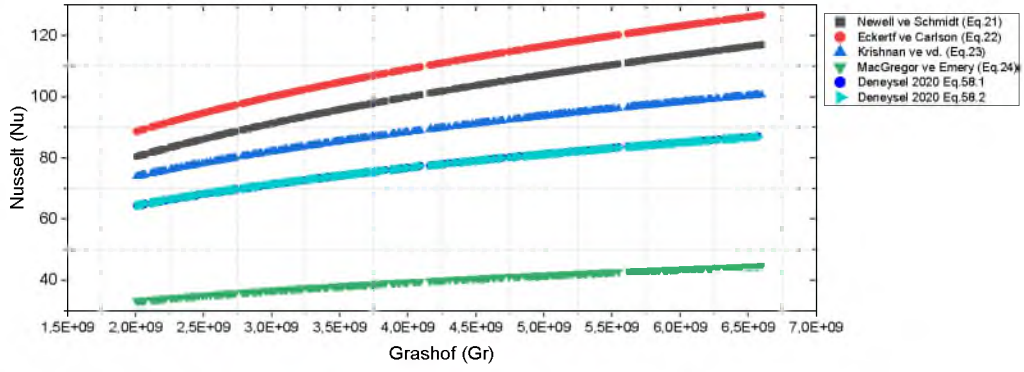


Şekil. 4.111. Deneyel Eş.56.1 & Eş.56.2 karşılaştırması

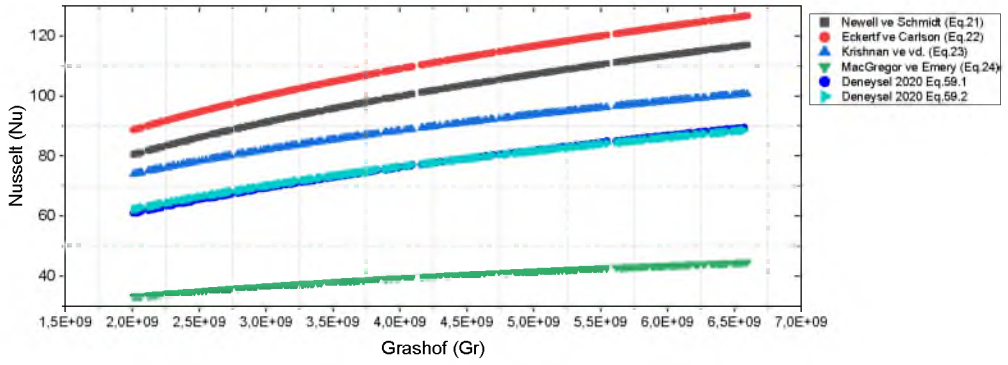


Şekil. 4.112. Deneyel Eş.57.1 & Eş.57.2 karşılaştırması

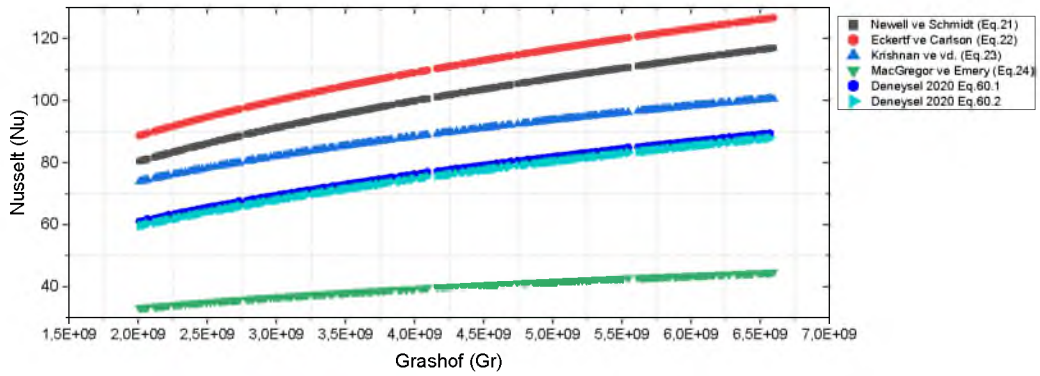
Yüksek Rayleigh değerleri literatürdeki kapalı kanal modelleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 4.113.-Şekil 4.114. ve Şekil 4.115.) Eş.23 matematiksel modeli ile uyumludurlar.



Şekil. 4.113. Deneysel Eş.58.1 & Eş.58.2 karşılaştırması



Şekil. 4.114. Deneysel Eş.59.1 & Eş.59.2 karşılaştırması



Şekil. 4.115. Deneysel Eş.60.1 & Eş.60.2 karşılaştırması

#### 4.3.4 İstatiksel Sonuçlar

Tablo 4.12. de geliştirilen modellerin istatiksel analizleri gösterilmektedir. Bu analizler hata kareler toplamı (SSE), belirlilik (determinasyon) katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama hata kareleri kökü (RMSE) olmaktadır.

##### *Düz Panel;*

- $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 665,4-1251,  $R^2$ : 0,8896-0,9420 ve RMSE: 2,4630-3,373 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.1.1 ve kapalı kanalda Eş.4.1 en kararlı modeldir.
- $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 30 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 308,5-232,5,  $R^2$ : 0,8509-0,8869 ve RMSE: 1,389-1,209 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.7.1 ve kapalı kanalda Eş.10.1 en uyumlu eşitliklerdir.
- $30 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 308,5-232,5,  $R^2$ : 0,9090-0,9165 ve RMSE: 1,389-1,209 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.13.1- Eş.15.1 ve kapalı kanalda Eş.16.1 en uygun eşitliklerdir.
- $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 7088-2074,  $R^2$ : 0,9543-0,9894 ve RMSE: 3,437-1,655 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.19.1- Eş.21.1 ve kapalı kanalda Eş.22.1 en iyi modeldir.

##### *Trapez Panel;*

- $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 1,476e+04-5126,  $R^2$ : 0,9288-0,9753 ve RMSE: 4,972-2,933 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.27.1 ve kapalı kanalda Eş.28.1 en kararlı modeldir.
- $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 3098-2328,  $R^2$ : 0,7467-0,8097 ve RMSE: 5,381-4,708 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.33.1 ve kapalı kanalda Eş.34.1 en uyumlu eşitliklerdir.
- $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 4481-2408,  $R^2$ : 0,8927-0,9423 ve RMSE: 3,024-2,221 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.37.1 ve kapalı kanalda Eş.39.1 en uygun eşitliklerdir.

**Sinüs Panel;**

- $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE:  $2,565e+04-1,6e+04$ ,  $R^2$ :  $0,9136-0,9461$  ve RMSE:  $6,543-5,172$  olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.43.1 ve kapalı kanalda Eş.45.1 en kararlı modeldir.
- $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE:  $2959-2224$ ,  $R^2$ :  $0,8704-0,9026$  ve RMSE:  $4,021-3,505$  olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.48.1 ve kapalı kanalda Eş.51.1 en uyumlu eşitliklerdir.
- $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE:  $8531-3633$ ,  $R^2$ :  $0,7739-0,9037$  ve RMSE:  $4,534-2,966$  olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.56.1 ve kapalı kanalda Eş.58.1 en uygun eşitliklerdir.

Tüm durumlar için geliştirilen modeller istatistiksel açıdan kararlı sonuçlar göstermektedir. Bu durum geliştirilen eşitliklerin doğal taşınımında Nusselt (Nu) tahmininde açık hacimlerde ve kapalı hacimlerde kullanılabileceğini göstermektedir.

**Tablo 4.12.** Geliştirilen modellerin istatistiksel analizi

| No        | Denklem | SSE   | R <sup>2</sup> | RMSE  |
|-----------|---------|-------|----------------|-------|
| Düz Panel |         |       |                |       |
| 1         | Eş 1,1  | 805,6 | 0,9289         | 2,719 |
|           | Eş 1,2  | 933,9 | 0,9176         | 2,914 |
| 2         | Eş 2,1  | 1116  | 0,9006         | 3,200 |
|           | Eş 2,2  | 1251  | 0,8896         | 3,373 |
| 3         | Eş 3,1  | 805,6 | 0,9283         | 2,719 |
|           | Eş 3,2  | 825,2 | 0,9272         | 2,739 |
| 4         | Eş 4,1  | 655,4 | 0,9420         | 2,463 |
|           | Eş 4,2  | 1085  | 0,9057         | 3,14  |
| 5         | Eş 5,1  | 800,6 | 0,9293         | 2,71  |
|           | Eş 5,2  | 986,1 | 0,9130         | 2,994 |
| 6         | Eş 6,1  | 986,1 | 0,913          | 2,994 |
|           | Eş 6,2  | 1056  | 0,9068         | 3,127 |
| 7         | Eş 7,1  | 235,2 | 0,8863         | 1,216 |
|           | Eş 7,2  | 308,5 | 0,8509         | 1,389 |
| 8         | Eş 8,1  | 232,5 | 0,8869         | 1,209 |
|           | Eş 8,2  | 234,2 | 0,8868         | 1,21  |
| 9         | Eş 9,1  | 235,2 | 0,8856         | 1,216 |
|           | Eş 9,2  | 248,6 | 0,8798         | 1,247 |
| 10        | Eş 10,1 | 256,3 | 0,8826         | 1,274 |
|           | Eş 10,2 | 246,3 | 0,8811         | 1,286 |
| 11        | Eş 11,1 | 265,8 | 0,8780         | 1,293 |
|           | Eş 11,2 | 267,5 | 0,8770         | 1,293 |
| 12        | Eş 12,1 | 265,8 | 0,8788         | 1,293 |

|    |         |       |        |        |
|----|---------|-------|--------|--------|
|    | Eş 12,2 | 275,7 | 0,8743 | 1,313  |
| 13 | Eş 13,1 | 40,59 | 0,9151 | 0,3523 |
|    | Eş 13,2 | 43,5  | 0,9090 | 0,3642 |
| 14 | Eş 14,1 | 40,57 | 0,9149 | 0,3522 |
|    | Eş 14,2 | 43,5  | 0,909  | 0,3642 |
| 15 | Eş 15,1 | 40,59 | 0,9151 | 0,3523 |
|    | Eş 15,2 | 43,5  | 0,9090 | 0,3642 |
| 16 | Eş 16,1 | 39,92 | 0,9165 | 0,3489 |
|    | Eş 16,2 | 39,93 | 0,9160 | 0,3499 |
| 17 | Eş 17,1 | 40,59 | 0,9151 | 0,3523 |
|    | Eş 17,2 | 43,5  | 0,9090 | 0,3642 |
| 18 | Eş 18,1 | 40,59 | 0,9151 | 0,3523 |
|    | Eş 18,2 | 40,63 | 0,9150 | 0,3520 |
| 19 | Eş 19,1 | 2190  | 0,9859 | 1,912  |
|    | Eş 19,2 | 7088  | 0,9543 | 3,437  |
| 20 | Eş 20,1 | 4764  | 0,9693 | 2,82   |
|    | Eş 20,2 | 4789  | 0,9691 | 2,825  |
| 21 | Eş 21,1 | 2190  | 0,9859 | 1,912  |
|    | Eş 21,2 | 6456  | 0,9583 | 3,28   |
| 22 | Eş 22,1 | 1639  | 0,9894 | 1,655  |
|    | Eş 22,2 | 3780  | 0,9756 | 2,51   |
| 23 | Eş 23,1 | 2074  | 0,9866 | 1,861  |
|    | Eş 23,2 | 2153  | 0,9859 | 1,907  |
| 24 | Eş 24,1 | 2074  | 0,9866 | 1,861  |
|    | Eş 24,2 | 2413  | 0,9844 | 2,006  |

**Sinüs Panel**

| No | Denklem  | SSE       | R <sup>2</sup> | RMSE  |
|----|----------|-----------|----------------|-------|
| 25 | Eş 25,1  | 7035      | 0,9661         | 3,433 |
|    | Eş 25,2  | 1,237e+04 | 0,9403         | 4,549 |
| 26 | Eş 26,1  | 1,476e+04 | 0,9288         | 4,972 |
|    | Eş 26,2  | 1,513e+04 | 0,927          | 5,029 |
| 27 | Eş 27,1  | 7035      | 0,9661         | 3,433 |
|    | Eş 27,2  | 1,356e+04 | 0,9346         | 4,761 |
| 28 | Eş 28,1  | 5126      | 0,9753         | 2,933 |
|    | Eş 28,2  | 1,444e+04 | 0,9303         | 4,914 |
| 29 | Eş 29,1  | 6931      | 0,9666         | 3,407 |
|    | Eş 29,2  | 1,321e+04 | 0,9363         | 4,701 |
| 30 | Eş 30,1  | 6931      | 0,9666         | 3,407 |
|    | Eş 30,2  | 1,444e+04 | 0,9304         | 4,914 |
| 31 | Eş 31,1  | 2701      | 0,7791         | 5,048 |
|    | Eş 31,2  | 2802      | 0,7709         | 5,118 |
| 32 | Eş 32,1  | 3047      | 0,7509         | 5,361 |
|    | Eş 32,2  | 3098      | 0,7467         | 5,381 |
| 33 | Eş 33,1  | 2701      | 0,7791         | 5,048 |
|    | Eş 33,2  | 2750      | 0,7751         | 5,07  |
| 34 | Eş 34,1  | 2328      | 0,8097         | 4,708 |
|    | Eş 34,2  | 2744      | 0,7757         | 5,064 |
| 35 | Eş 35a,1 | 2690      | 0,7780         | 5,038 |
|    | Eş 35a,2 | 2875      | 0,7649         | 5,184 |
| 35 | Eş 35b,1 | 2690      | 0,7800         | 5,038 |
|    | Eş 35b,2 | 2731      | 0,7767         | 5,052 |
| 36 | Eş 36,1  | 4141      | 0,9008         | 2,91  |
|    | Eş 36,2  | 4481      | 0,8927         | 3,024 |
| 37 | Eş 37,1  | 4124      | 0,9013         | 2,904 |
|    | Eş 37,2  | 4128      | 0,9012         | 2,902 |
| 38 | Eş 38,1  | 4141      | 0,9008         | 2,91  |
|    | Eş 38,2  | 6293      | 0,8793         | 3,584 |
| 39 | Eş 39,1  | 2408      | 0,9423         | 2,221 |

|                     |                |            |                      |             |
|---------------------|----------------|------------|----------------------|-------------|
|                     | Eş 39,2        | 3806       | 0,9089               | 2,787       |
| 40                  | Eş 40,1        | 4058       | 0,9028               | 2,881       |
|                     | Eş 40,2        | 4215       | 0,8991               | 2,933       |
| 41                  | Eş 41,1        | 4058       | 0,9028               | 2,881       |
|                     | Eş 41,2        | 4385       | 0,895                | 2,992       |
| <b>Trapez Panel</b> |                |            |                      |             |
| <b>No</b>           | <b>Denklem</b> | <b>SSE</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>RMSE</b> |
| 42                  | Eş 42,1        | 1,857e+04  | 0,9374               | 5,573       |
|                     | Eş 42,2        | 1,932e+04  | 0,9349               | 5,679       |
| 43                  | Eş 43,1        | 1,6e+04    | 0,9461               | 5,172       |
|                     | Eş 43,2        | 2,092e+04  | 0,9295               | 5,910       |
| 44                  | Eş 44,1        | 1,857e+04  | 0,9374               | 5,573       |
|                     | Eş 44,2        | 1,978e+04  | 0,9334               | 5,746       |
| 45                  | Eş 45,1        | 1,846e+04  | 0,9378               | 5,56        |
|                     | Eş 45,2        | 2,286e+04  | 0,9230               | 6,183       |
| 46                  | Eş 46,1        | 1,852e+04  | 0,9376               | 5,566       |
|                     | Eş 46,2        | 2,26e+04   | 0,9238               | 6,142       |
| 47                  | Eş 47,1        | 1,852e+04  | 0,9376               | 5,566       |
|                     | Eş 47,2        | 2,565e+04  | 0,9136               | 6,543       |
| 48                  | Eş 48,1        | 2289       | 0,8998               | 3,546       |
|                     | Eş 48,2        | 2389       | 0,8954               | 3,613       |
| 49                  | Eş 49,1        | 2906       | 0,8727               | 3,996       |
|                     | Eş 49,2        | 2959       | 0,8704               | 4,021       |
| 50                  | Eş 50,1        | 2289       | 0,8998               | 3,546       |
|                     | Eş 50,2        | 2353       | 0,8970               | 3,585       |
| 51                  | Eş 51,1        | 2224       | 0,9026               | 3,505       |
|                     | Eş 51,2        | 2654       | 0,8838               | 3,808       |
| 52                  | Eş 52,1        | 2275       | 0,9004               | 3,535       |
|                     | Eş 52,2        | 2367       | 0,8963               | 3,596       |
| 53                  | Eş 53,1        | 2275       | 0,9004               | 3,535       |
|                     | Eş 53,2        | 2520       | 0,8896               | 3,711       |
| 54                  | Eş 54,1        | 8461       | 0,7757               | 4,521       |
|                     | Eş 54,2        | 8477       | 0,7753               | 4,52        |
| 55                  | Eş 55,1        | 8236       | 0,7817               | 4,4500      |
|                     | Eş 55,2        | 8237       | 0,7816               | 4,4600      |
| 56                  | Eş 56,1        | 8461       | 0,7757               | 4,521       |
|                     | Eş 56,2        | 8463       | 0,7757               | 4,516       |
| 57                  | Eş 57,1        | 3633       | 0,9037               | 2,966       |
|                     | Eş 57,2        | 5218       | 0,8617               | 3,55        |
| 58                  | Eş 58,1        | 8370       | 0,7781               | 4,496       |
|                     | Eş 58,2        | 8531       | 0,7739               | 4,534       |
| 59                  | Eş 59,1        | 8370       | 0,7781               | 4,496       |
|                     | Eş 59,2        | 8377       | 0,7780               | 4,493       |

#### 4.4. HAD Sayısal Model Sonuçları

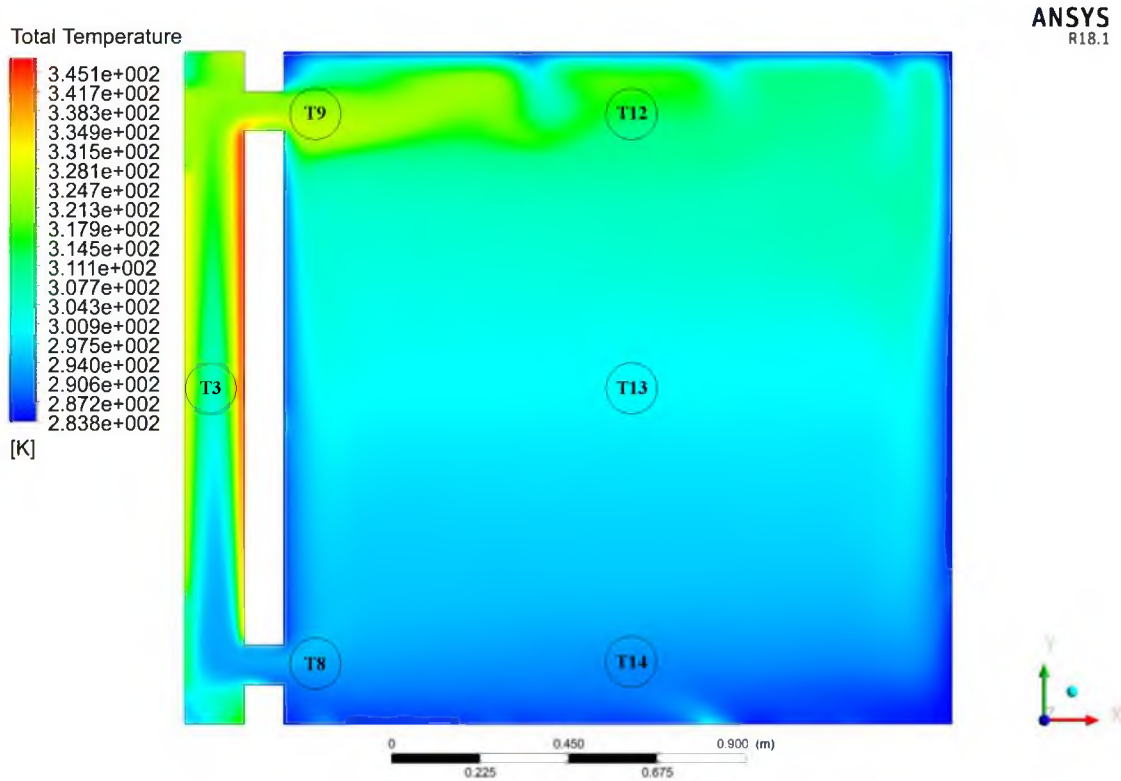
Deney sisteminde oluşturulan geometrik dizaynın 1:1 ölçeğinde oluşturulan sayısal modelleme çözümü ANSYS-FLUENT 18.1 programı ile analiz edilmiştir. Absorban panellerin sayısal model çözümünde için gerekli kabuller, sınır değerleri, enerji denklemleri, ışınım modeli ve hesaplama yöntemleri vs. detaylı olarak Bölüm 3.2’de açıklanmıştır. Sayısal çözüm ile elde edilmek istenen hız, sıcaklık, basınç, Nusselt ve ısı akısı dağılımları için zamana bağlı çözüm metodu kullanılmıştır.

Hesaplamalarda yakınsama kriteri olarak  $10^{-6}$  değerine kadar çözüm yinelenmiştir. Absorban panellerin bir saatlik zaman periyodundaki performans analizinde; zaman dilimi (number of time steps) 3600, zaman kademesi (time step size) 1, ve her bir kademe için (max iteration/ time step reporting interval) iterasyon değeri 20 olarak seçilmiştir. Bu değerler neticesinde 72000 iterasyonda analizler sonuçlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan mesh sayısının bağımsızlık testi EK-7’de gösterilmiştir. (Program çıktısında grafiklerdeki sayıların kesirsel değerleri nokta ile ayrılmıştır)

##### 4.4.1 Sıcaklık

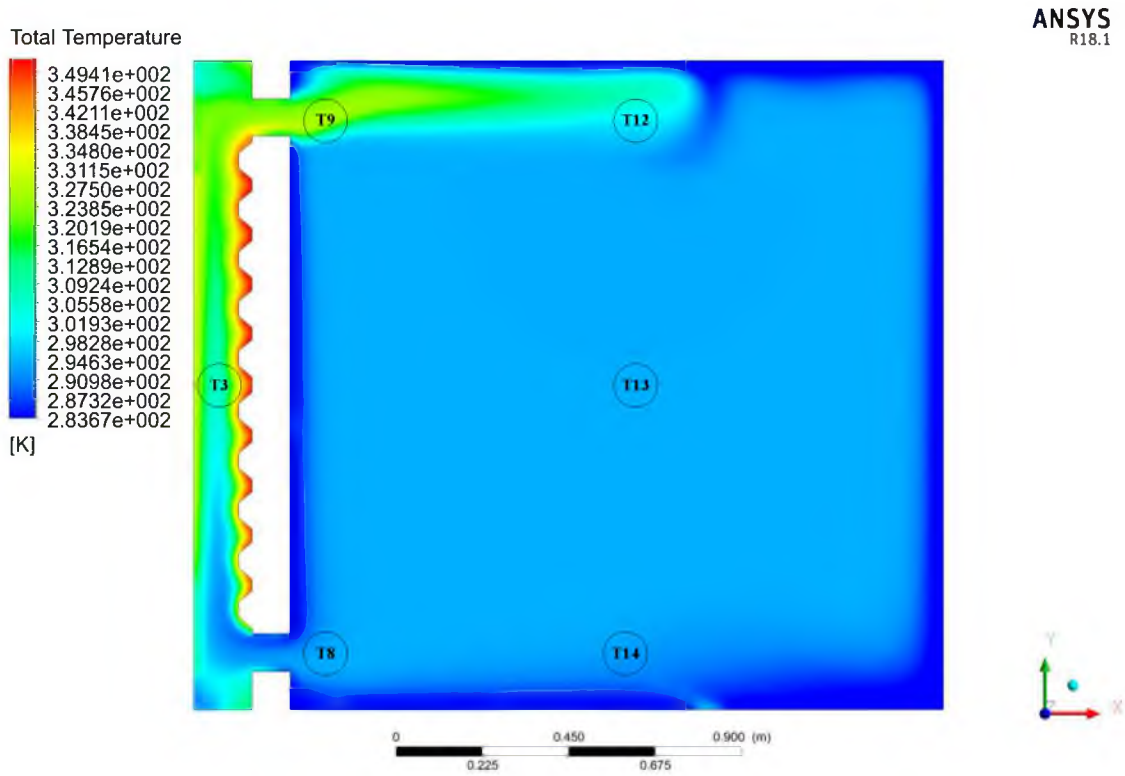
Güneş duvarı modelinde kullanılan düz absorban panelde çözümlenen sıcaklık ( $^{\circ}\text{K}$ ) dağılımları farklı paneller için analiz edilmiştir. Tüm paneller için sıcaklık dağılımı model içinde kademeli değişken düzen içindedir. Doğal taşınımında etkili olan Boussinesq yaklaşımı belirgin biçimde gözlenmektedir.

Bu yaklaşımla hava kanalında ısınan havanın yoğunluğu azalarak üst menfezlere doğru ilerlemesi ve oda içindeki soğuyan havanın ise yoğunluğunun azalarak aşağıya doğru yönelmesi görülmektedir. Alt menfezden hava kanalına giren akışkan tekrar ısınarak tam bir sirkülasyon gerçekleşmektedir.



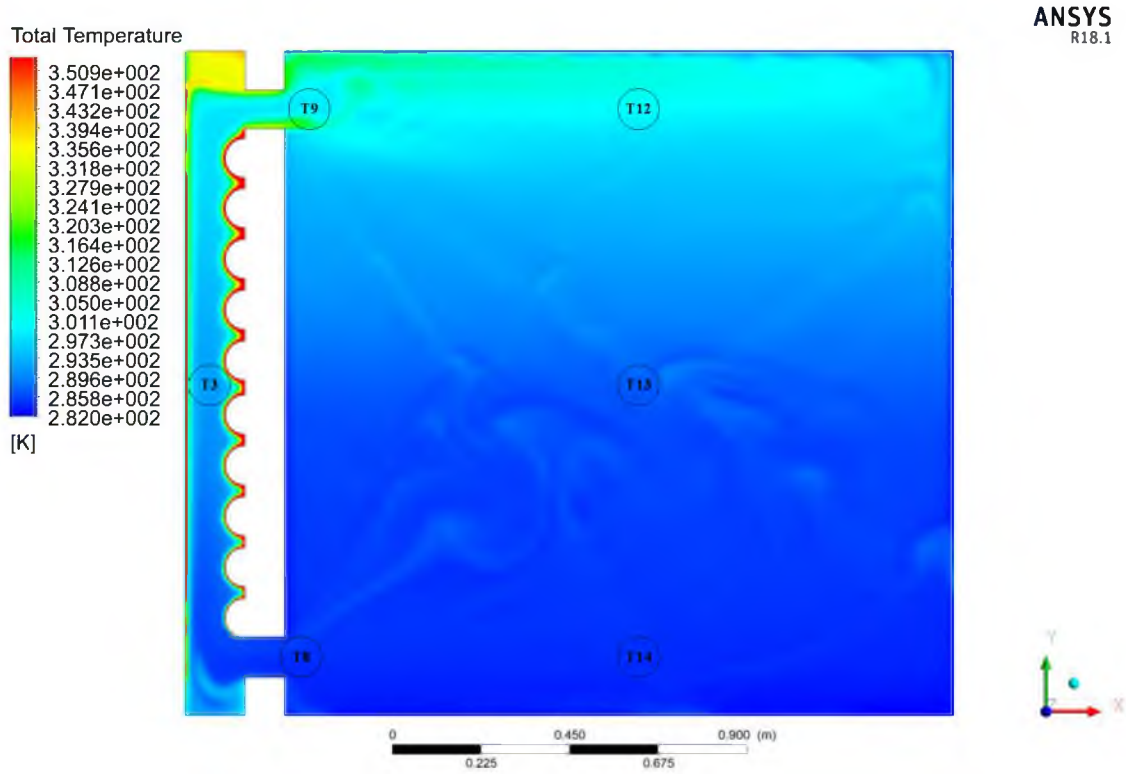
Şekil 4.116. Düz panel sıcaklık dağılımı

Şekil 4.116.'da düz panel sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bu modelde maksimum sıcaklık değeri panel üzerinde olup  $346 \text{ }^{\circ}\text{K}$ 'dir. Minimum sıcaklık değeri tabanda olup  $283 \text{ }^{\circ}\text{K}$  dir. Oda içinde ve akışkan kanalda alınan (point) sıcaklık noktalarının konumu görülmektedir. Bu noktalardan hava kanalı ortası sıcaklık ( $x/X=0,1-y/Y=0,975$ )  $T3= 312 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , alt menfez giriş ( $x/X=0,3-y/Y=0,15$ )  $T8=293 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , üst menfez çıkışı ( $x/X=0,3-y/Y=1,8$ )  $T9=322 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , oda üst sıcaklığı ( $x/X=1,325-y/Y=1,8$ )  $T12= 317 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , oda orta sıcaklığı ( $x/X=1,325-y/Y=0,975$ )  $T13= 299 \text{ }^{\circ}\text{K}$  ve oda alt sıcaklığı ( $x/X=1,325-y/Y=1,5$ )  $T14= 290 \text{ }^{\circ}\text{K}$  olmaktadır.



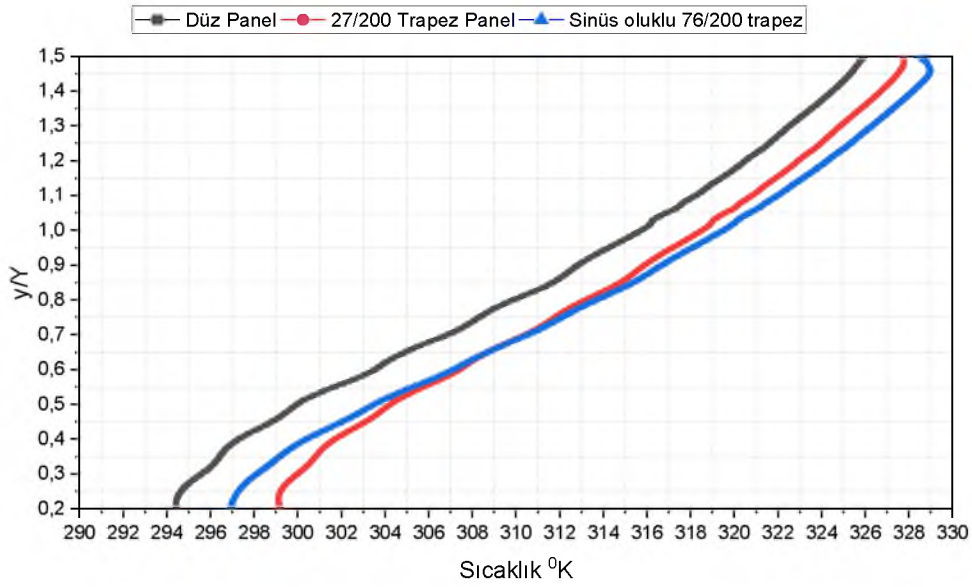
Şekil 4.117. 27/200 trapez panel sıcaklık dağılımı

Şekil 4.117.'de 27/200 trapez panel sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bu modelde maksimum sıcaklık değeri panel üzerinde olup  $351 \text{ }^{\circ}\text{K}$ 'dir. Minimum sıcaklık değeri tabanda olup  $284 \text{ }^{\circ}\text{K}$ 'dir. Oda içinde ve akışkan kanalda alınan (point) sıcaklık noktalarının konumu görülmektedir. Bu noktalardan hava kanalı ortası sıcaklık ( $x/X=0,1$ - $y/Y=0,975$ )  $T3= 316 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , alt menfez giriş ( $x/X=0,3$ - $y/Y=0,15$ )  $T8=294 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , üst menfez çıkışı ( $x/X=0,3$ - $y/Y=1,8$ )  $T9=327 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , oda üst sıcaklığı ( $x/X=1,325$ - $y/Y=1,8$ )  $T12= 318 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , oda orta sıcaklığı ( $x/X=1,325$ - $y/Y=0,975$ )  $T13= 301 \text{ }^{\circ}\text{K}$  ve oda alt sıcaklığı ( $x/X=1,325$ - $y/Y=1,5$ )  $T14= 295 \text{ }^{\circ}\text{K}$  olmaktadır.



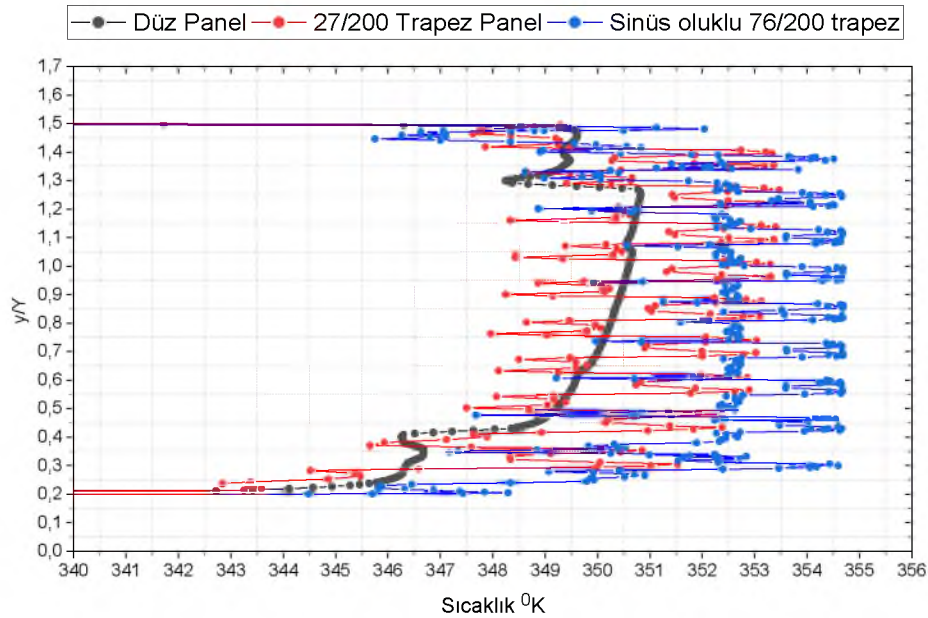
Şekil 4.118. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel sıcaklık dağılımı

Şekil 4.118.'de Sinüs oluklu 76/200 trapez panel sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bu modelde maksimum sıcaklık değeri panel üzerinde olup  $351 \text{ }^{\circ}\text{K}$ 'dir. Minimum sıcaklık değeri tabanda olup  $282 \text{ }^{\circ}\text{K}$  dir. Oda içinde ve akışkan kanalda alınan (point) sıcaklık noktalarının konumu görülmektedir. Bu noktalardan hava kanalı ortası sıcaklık ( $x/X=0,1-y/Y=0,975$ )  $T3= 315 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , alt menfez giriş ( $x/X=0,3-y/Y=0,15$ )  $T8=292 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , üst menfez çıkış ( $x/X=0,3-y/Y=1,8$ )  $T9=333 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , oda üst sıcaklığı ( $x/X=1,325-y/Y=1,8$ )  $T12= 322 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , oda orta sıcaklığı ( $x/X=1,325-y/Y=0,975$ )  $T13= 304 \text{ }^{\circ}\text{K}$  ve oda alt sıcaklığı ( $x/X=1,325-y/Y=1,5$ )  $T14= 292 \text{ }^{\circ}\text{K}$  olmaktadır.



Şekil 4.119. Hava kanalı içindeki  $y/Y$  eksenine boyunca sıcaklık dağılımı

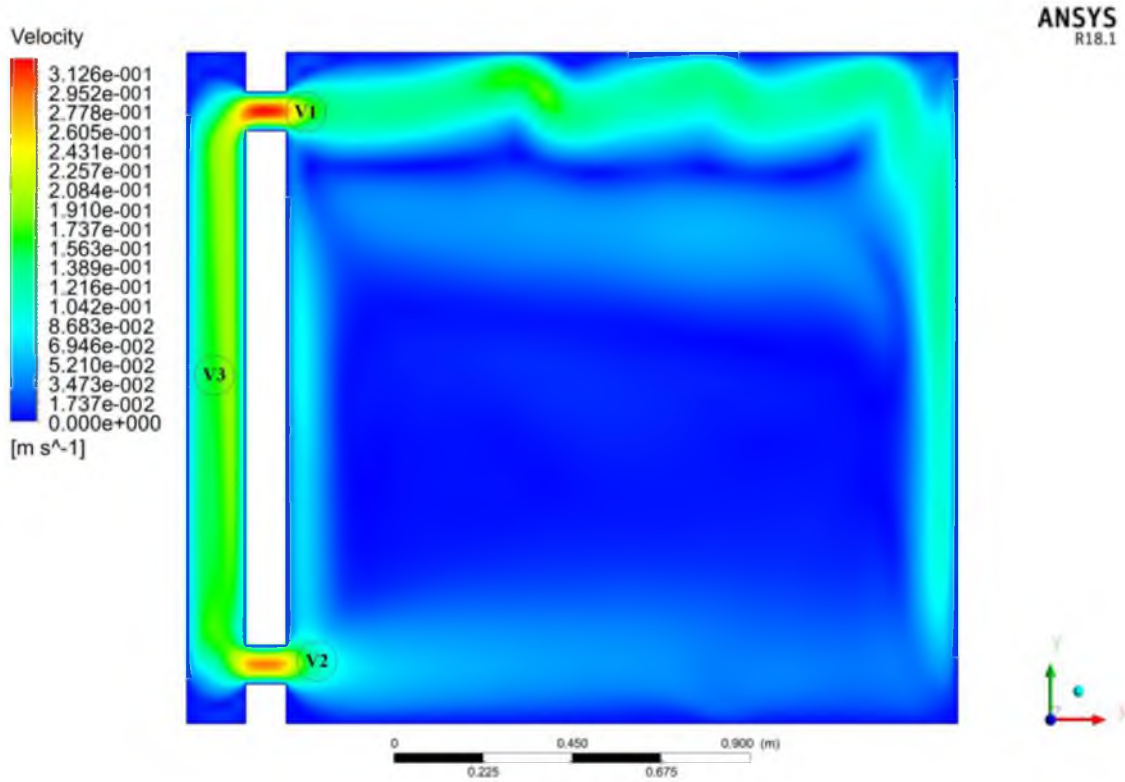
Şekil 4.119’da absorban plakaların  $y$  eksenine boyunca sıcaklık değişimleri görülmektedir. Alt menfez girişinde oda içindeki soğuk hava kanal boyunca yükselerek ısınır ve üst menfezden tekrar oda içine dönmektedir. Hava kanalındaki sıcaklık değişimi lineer formda artış göstermektedir. Şekil 4.120.’de absorban panellerin duvar boyunca sıcaklık değişimi görülmektedir. Düz paneldeki sıcaklık değişimi artan sabit formda olurken geometrik dizaynı değişken olan diğer iki panelde değişimler sinüs dalgası formunda değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4.120. Absorban plakaların  $y/Y$  eksenine boyunca sıcaklık dağılımı

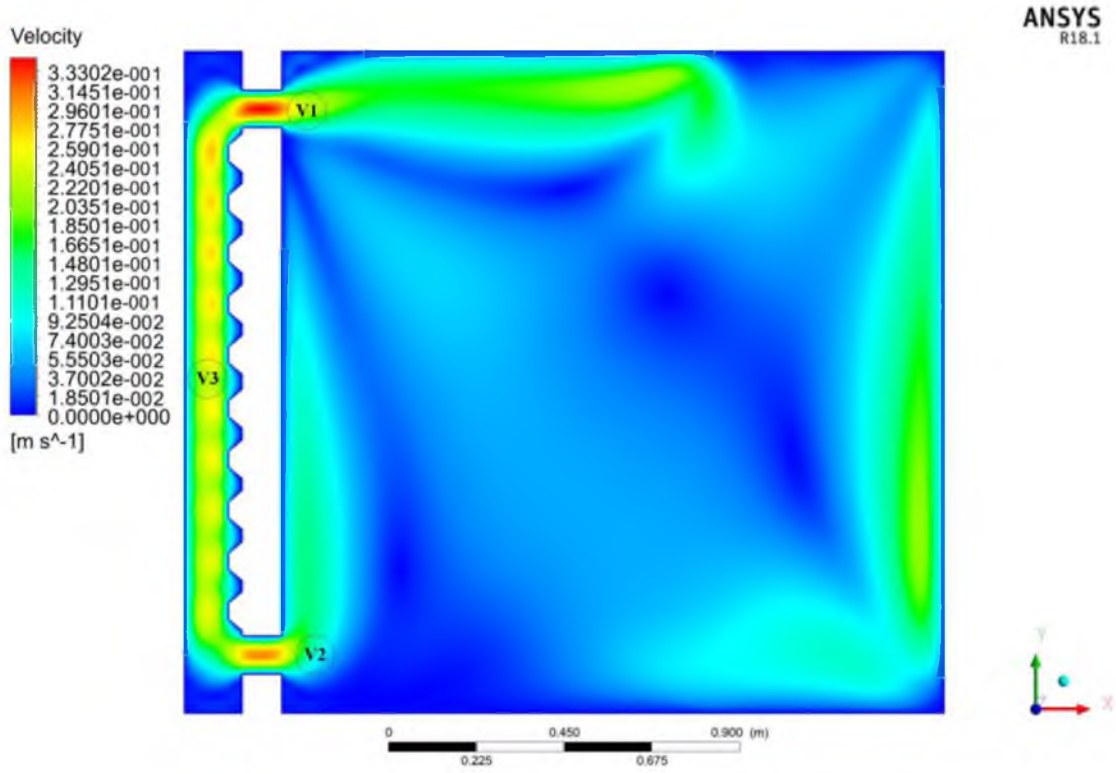
#### 4.4.2 Hız

Güneş duvarı modelinde çözümlenen hız profilleri farklı termal bölge ve oda içinde farklılıklar göstermektedir. Hız değeri alt menfez girişinde ve üst menfez çıkında gözlemlenen en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Tüm panellerde doğal taşımının etkileri görülmektedir. Alt Menfezden termal bölgeye giren akışkan y/Y doğrultusu boyunca hızı artarak üst menfezden odaya geçerek termosikülasyon akış sağlanmaktadır.



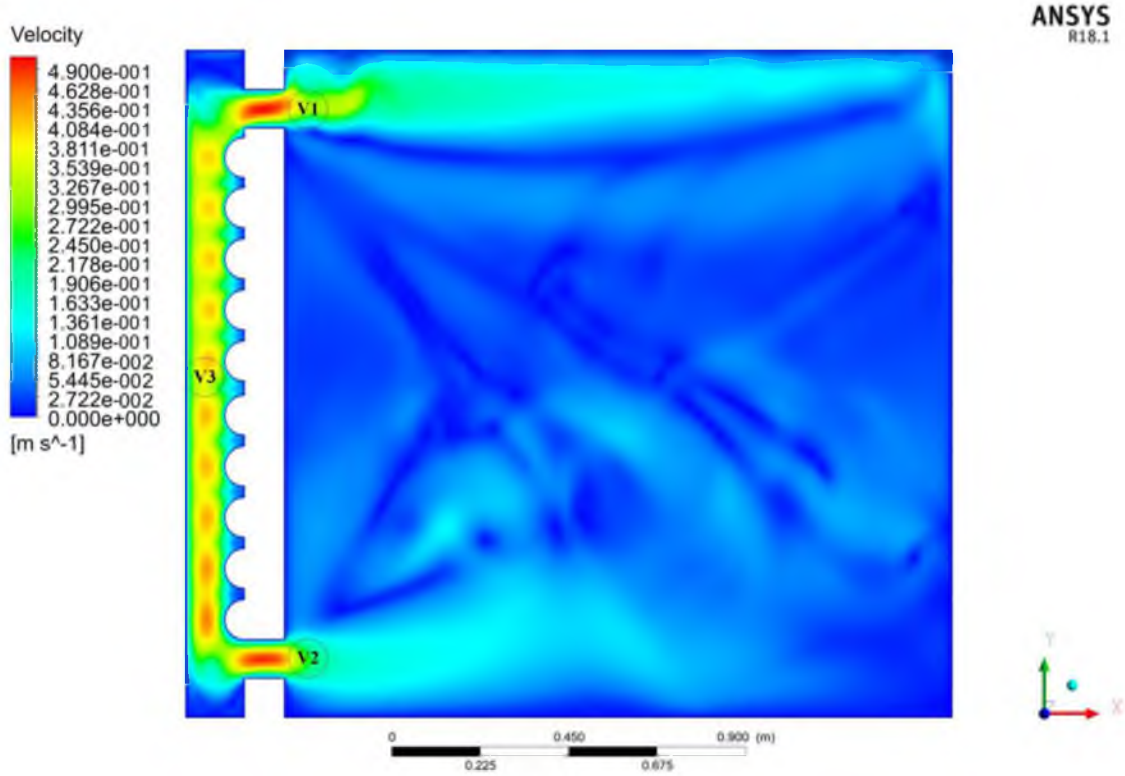
Şekil 4.121. Düz panel hız dağılımı

Şekil 4.121.'de düz panel hız dağılımı görülmektedir. Bu modelde maksimum hız değeri termal bölgede olup 0,31 m/s'dir. Oda içinde ve akışkan kanalda alınan (point) hız noktalarının konumu görülmektedir. Bu noktalardan hava kanalı ortası hız ( $x/X=0,1-y/Y=0,975$ )  $V3=0,19$  m/s, alt menfez giriş ( $x/X=0,3-y/Y=0,15$ )  $V2=0,24$  m/s, üst menfez çıkışı ( $x/X=0,3-y/Y=1,8$ )  $V3=0,31$  m/s olmaktadır.



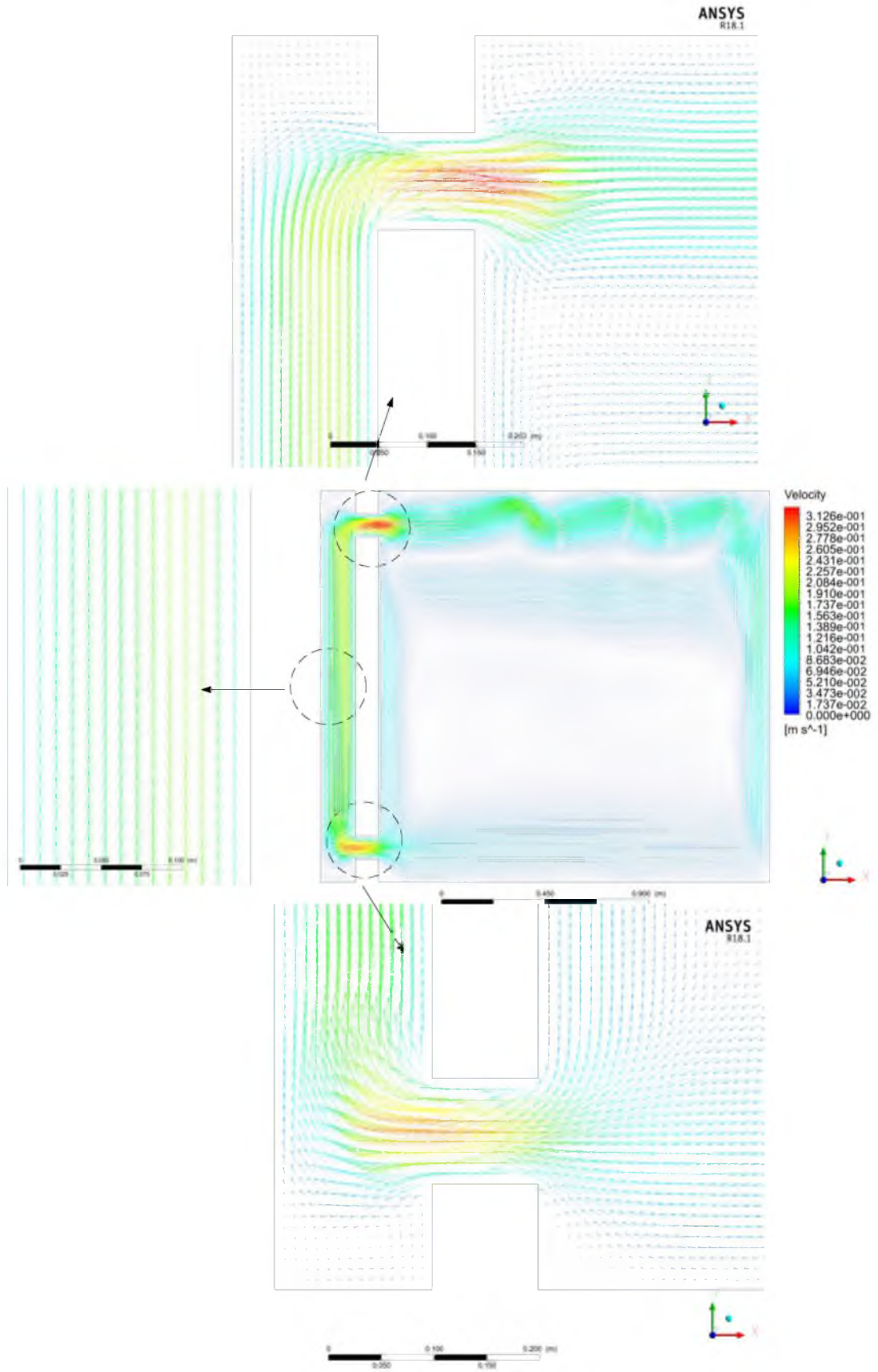
Şekil 4.122. 27/200 trapez panel hız dağılımı

Şekil 4.122.'de 27/200 trapez panel hız dağılımı görülmektedir. Bu modelde maksimum hız değeri termal bölgede olup 0,33 m/s'dir. Oda içinde ve akışkan kanalda alınan (point) hız noktalarının konumu görülmektedir. Bu noktalardan hava kanalı ortası hız ( $x/X=0,1-y/Y=0,975$ )  $V3= 0,25$  m/s, alt menfez giriş ( $x/X=0,3-y/Y=0,15$ )  $V2= 0,29$  m/s, üst menfez çıkış ( $x/X=0,3-y/Y=1,8$ )  $V3= 0,33$  m/s olmaktadır.

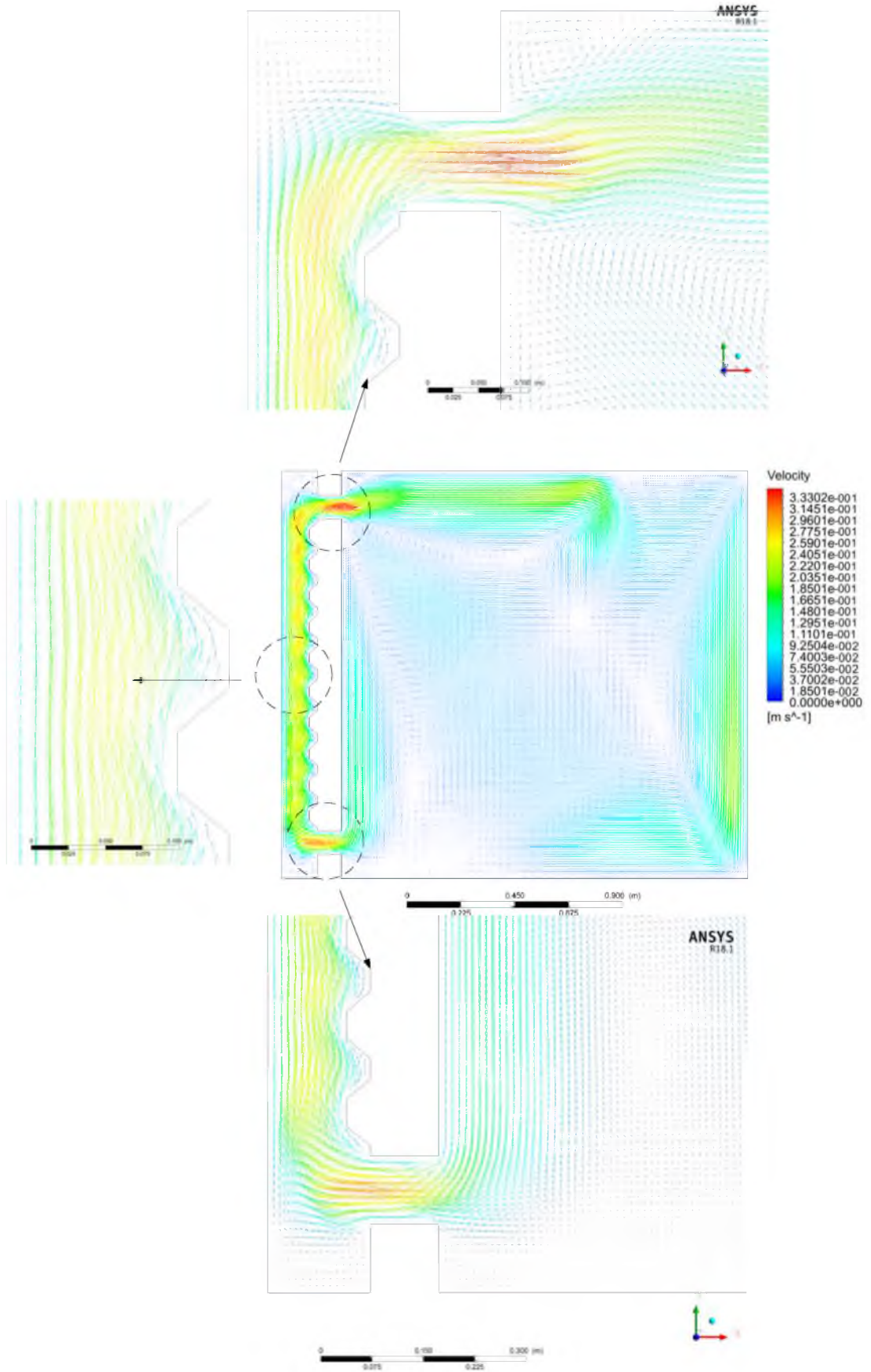


Şekil 4.123. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel hız dağılımı

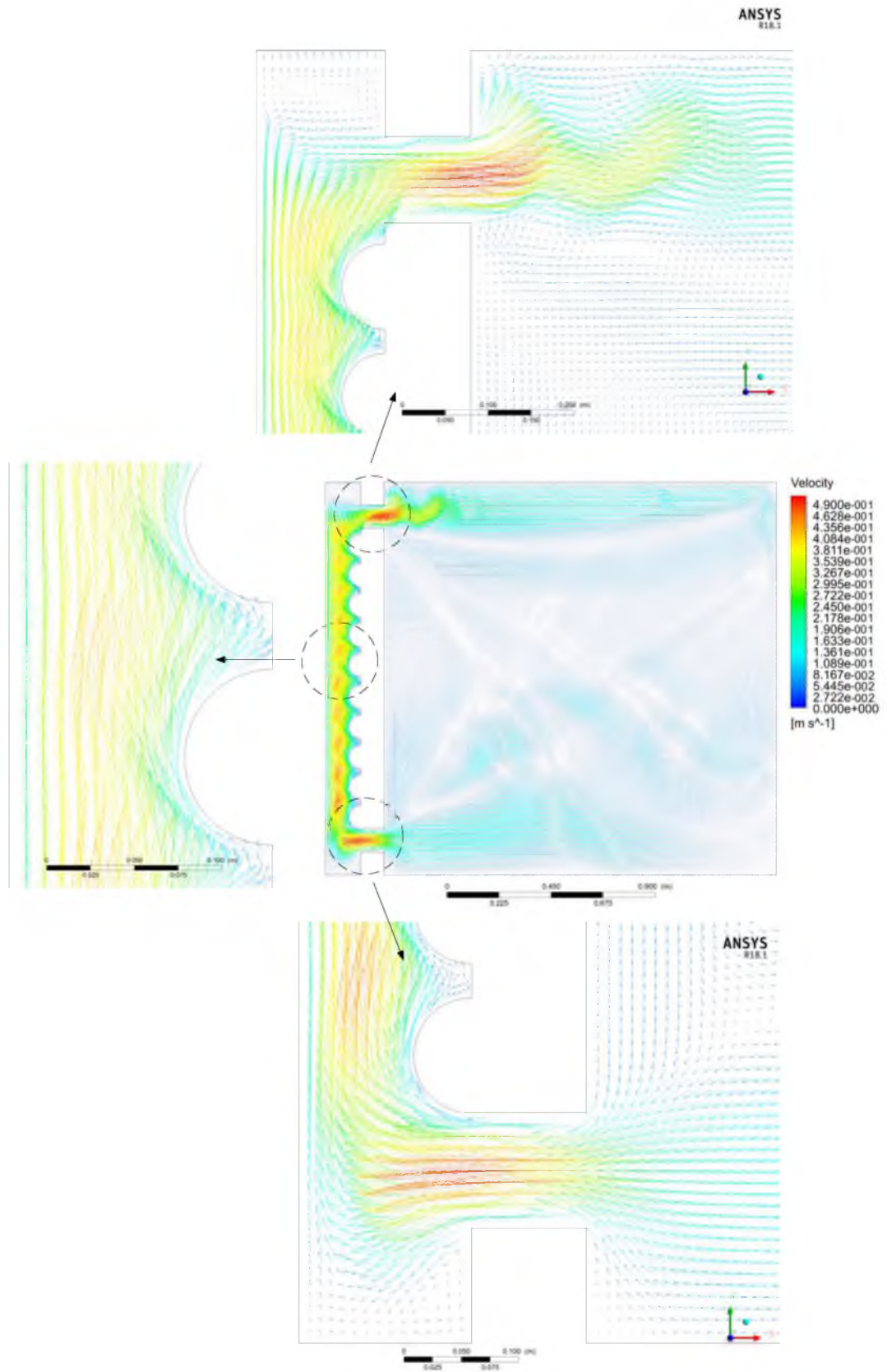
Şekil 4.123.'de Sinüs oluklu 76/200 trapez panel hız dağılımı görülmektedir. Bu modelde maksimum hız değeri termal bölgede olup 0,49 m/s'dir. Oda içinde ve akışkan kanalda alınan (point) hız noktalarının konumu görülmektedir. Bu noktalardan hava kanalı ortası hız ( $x/X=0,1-y/Y=0,975$ )  $V3= 0,46$  m/s, alt menfez giriş ( $x/X=0,3-y/Y=0,15$ )  $V2= 0,36$  m/s, üst menfez çıkış ( $x/X=0,3-y/Y=1,8$ )  $V3=0,48$  m/s olmaktadır.



Şekil 4.124. Düz panel hız vektör dağılımı



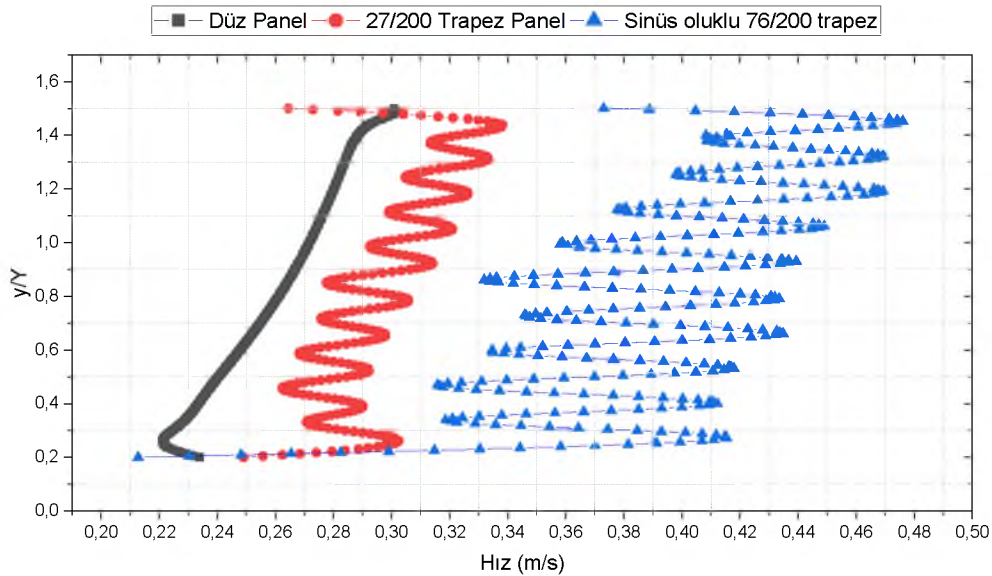
Şekil 4.125. 27/200 trapez panel hız vektör dağılımı



Şekil 4.126. Sinüs oluklu 76/200 trapez panel hız vektör dağılımı

Çözümlemesi yapılan panellerden akış hızı ve karakteristiği absorban panellerin geometrisi ile değişkenlik göstermektedir. Şekil 4.124., Şekil 4.125. ve Şekil 4.126.'da panellerdeki hız dağılımı vektörel formatta gösterilmiştir.

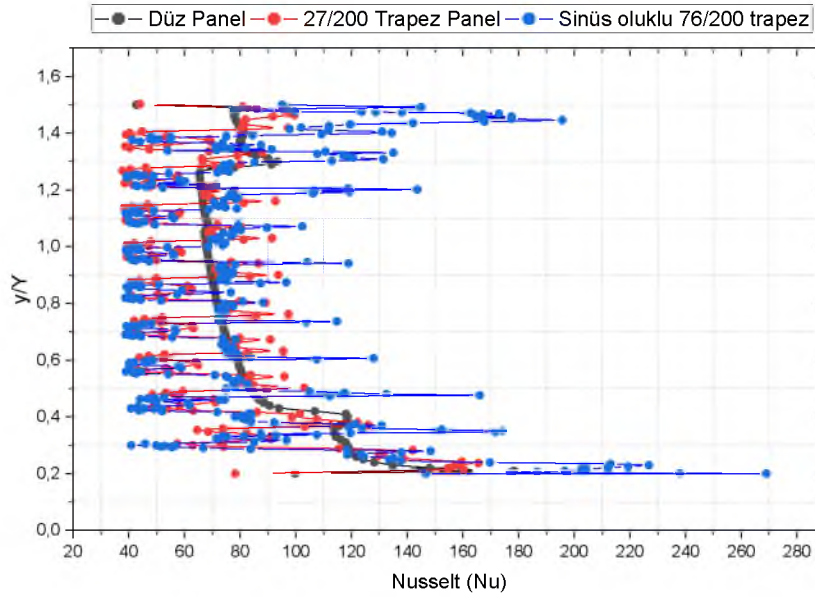
Düz panel için akış hava kanalında tam düzgün dağılımlı olup hız sınır tabaka vektörleri paralel akış özelliği göstermektedir. 27/200 trapez panel ve sinüs oluklu 76/200 trapez panelde akış dağılımı geometrik panel boyunca dalgalanmaktadır. Düz panelde laminer formda olan hız değişkeni diğer iki panelde aynı  $y/Y$  konumlarında akış geometrisinden dolayı girdaplar oluşmaktadır. Bu durum akışta yer yer türbülans oluşturmaktadır. Bu durum absorban panellerden akışkana aktarılan ısı transferi miktarını arttırmakta ve birim zamanda daha fazla sıcaklık artışı elde edilmektedir. Şekil 4.127.'de panellerin  $y/Y$  eksenine boyunca hız dağılımında meydana gelen değişimler gösterilmektedir.



Şekil 4.127. Hava kanalı  $y/Y$  eksenine boyunca hız değişimi

#### 4.4.4 Nusselt

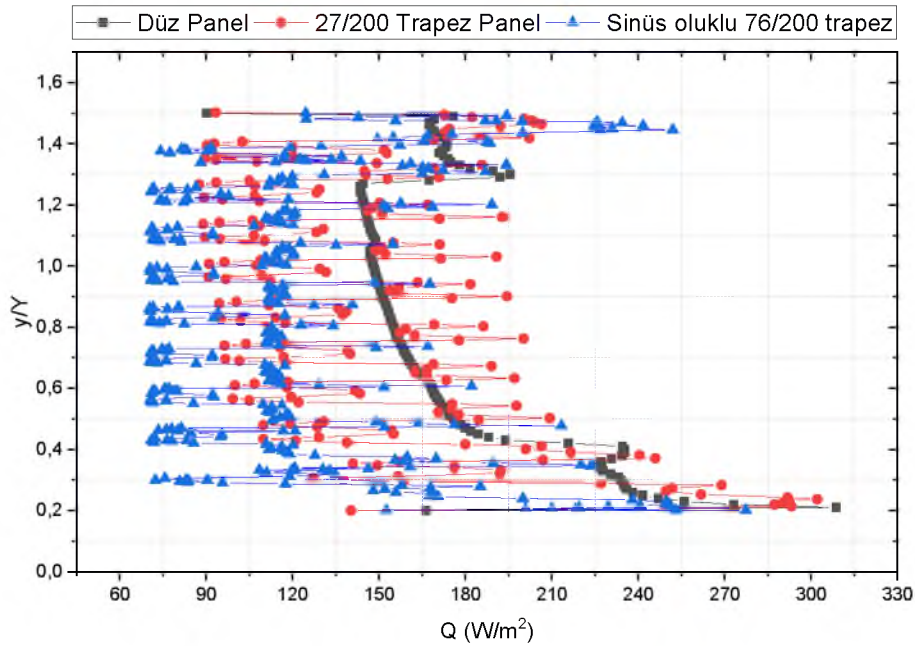
Absorban panellerden elde edilen boyutsuz Nusslet (Nu) değerleri Şekil 4.128.'de gösterilmektedir. Bu boyutsuz değer alt menfez girişinde akışkandaki düşük sıcaklık değerinden dolayı en yüksek seviyededir. Daha sonra artan yükseklik ve sıcaklıkla birlikte çıkış menfezinde en düşük seviyelerdedir. Nusselt değeri panel yüzeyinin en alt kısmından en üst kısmına kadar kademeli olarak azalmaktadır.



Şekil 4.128. Absorban plaka  $y/Y$  ekseninde Nusselt değeri değişimi

#### 4.4.4 Isı Akısı

Şekil 4.129.'da absorban panelden elde edilen ısı akısı miktarı gösterilmektedir. Bu değer hava kanalındaki alt menfez giriş bölgesindeki absorban plakanın alt kısmında en yüksek seviyede olurken plaka yüksekliği arttıkça azalmaktadır. Bu durumun temel sebebi sıcaklığın hava kanalında kademeli şekilde  $y/Y$  ekseninde artmasıdır. Farklı geometrik dizayndaki panellerde ışınımın geliş açısı ve hız verisinin değişkenliği ısı akısında dalgalanmalara sebebiyet vermektedir.

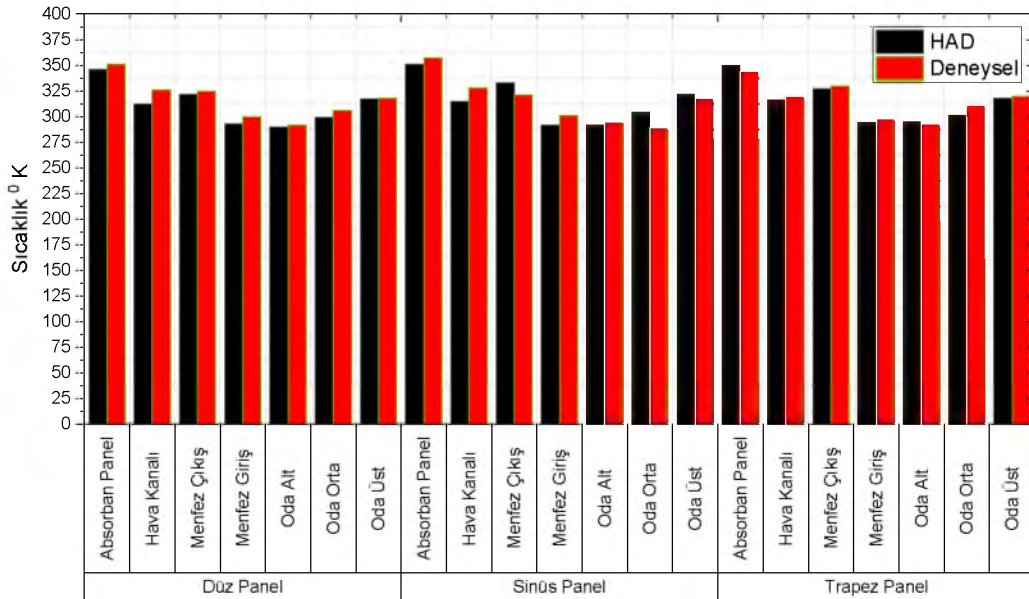


Şekil 4.129. Absorban plaka  $y/Y$  ekseninde ısı akısı değeri değişimi

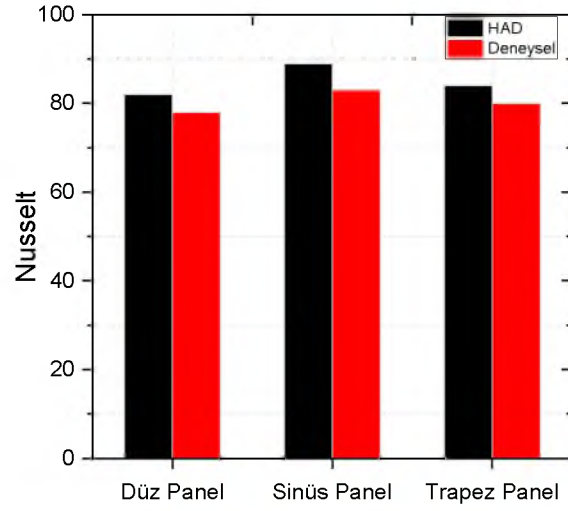
Güneş duvarı modelinde kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve deneysel sonuçlar Tablo 4.13.'de gösterilmiştir. Bu değerlerin bağıl mutlak hata yüzdesi % e değerleri Düz Panel, Sinüs Oluklu 76/18 Trapez Panel ve Sinüs Oluklu 27/200 Trapez için sırasıyla;

- Sıcaklık ( $^{\circ}\text{K}$ ): Hava kanalı (T3); 4,49-1,27-4,13, Absorban Panel T4-T5-T6-T7 (Ort.); 1,45-1,71-1,71, Menfez Giriş (T8); 2,39-1,36-3,08, Menfez Çıkış (T9); 0,93-0,92-3,60, Oda Üst (T12); 0,32-0,63-1,24, Oda Orta (T13); 2,34-3,32-4,93 ve Oda Alt (T14); 0,69-0,68-1,03
- Nusselt (Nu); 4,88-4,76-6,74
- Isı Akısı Panel (Q); 15,95-15,20-18,28
- Hız (m/s); Menfez Çıkış (V1); 3,47-6,34-34,52, Menfez Giriş (V2); 2,25-9,40-18,85 ve Hava Kanalı (V3); 16,70-11,97-33,36
- Tüm parametreler için ortalama değerler sırasıyla 4,65, 4,80 ve 10,96 olmaktadır.

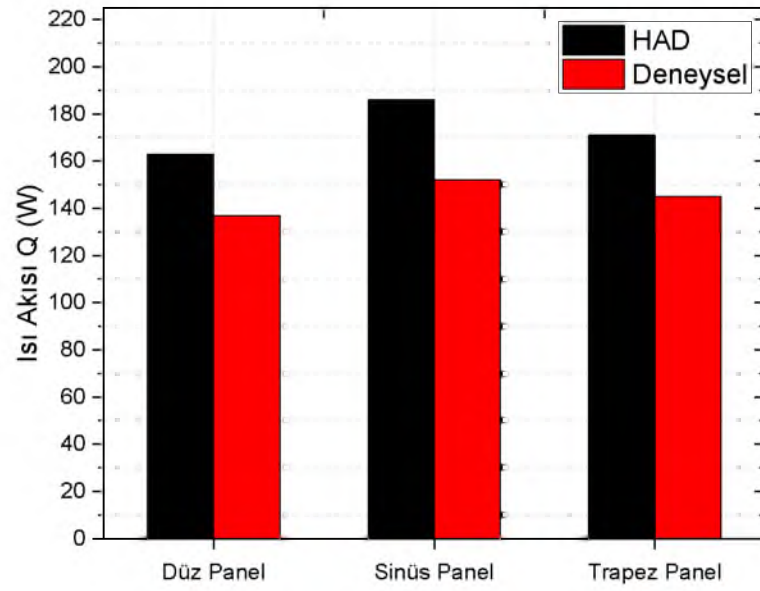
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve deneysel verilerden elde edilen sonuçlar sıcaklık (Şekil 4.130.), Nusselt (Şekil 4.131.), Isı akısı (Şekil 4.132.) ve Hız model (Şekil 4.133.) geçerlemesi görülmektedir.



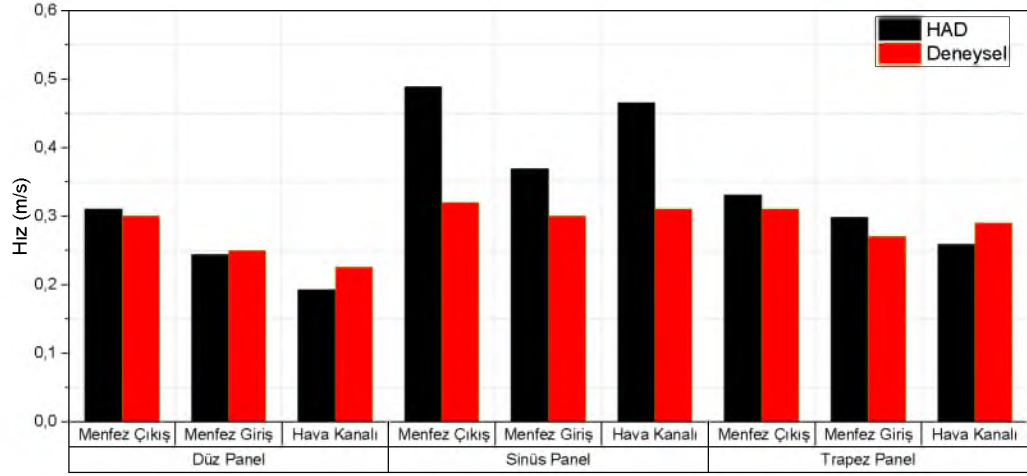
Şekil 4.130. Sıcaklık geçerlemesi



Şekil 4.131. Nusselt geçerlemesi



Şekil 4.132. Isı akısı geçerlemesi



Şekil 4.133. Hız geçermesi

**Tablo 4.13.** Parametrelerin model geçeriemesi

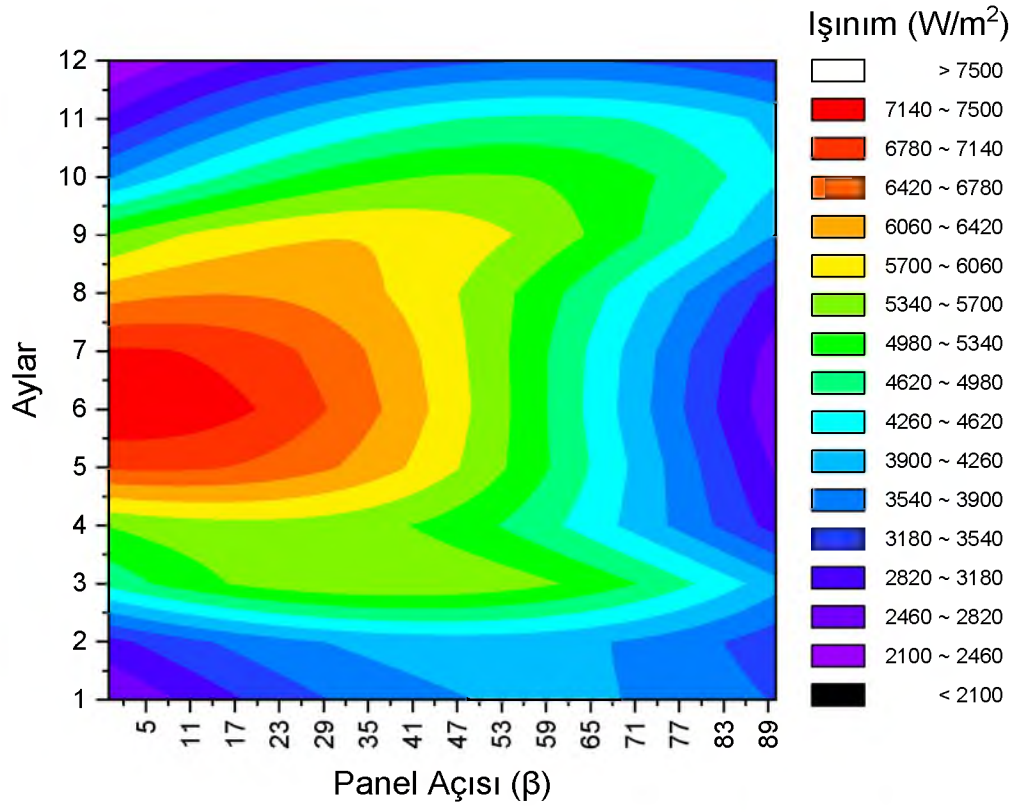
| Parametre   | Absorban Panel |                       | A-Düz  |           | B-Sinüs Oluklu 76/18 Trapez |           | C-Sinüs Oluklu 27/200 Trapez |           |
|-------------|----------------|-----------------------|--------|-----------|-----------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
|             | Konum          | Sıra                  | HAD    | Deneyisel | HAD                         | Deneyisel | HAD                          | Deneyisel |
| Sıcaklık °K | Hava Kanalı    | T3                    | 312    | 326       | 316                         | 320       | 315                          | 328       |
|             | Absorban Panel | T4-T5-T6-T7<br>(Ort.) | 346    | 351       | 350                         | 344       | 351                          | 357       |
|             | Menfez Giriş   | T8                    | 293    | 300       | 294                         | 298       | 292                          | 301       |
|             | Menfez Çıkış   | T9                    | 322    | 325       | 327                         | 330       | 333                          | 321       |
|             | Oda Üst        | T12                   | 317    | 318       | 318                         | 320       | 322                          | 318       |
|             | Oda Orta       | T13                   | 299    | 306       | 301                         | 311       | 304                          | 289       |
|             | Oda Alt        | T14                   | 290    | 292       | 295                         | 293       | 292                          | 295       |
| Nusselt     | Panel          | Nu                    | 82     | 78        | 84                          | 80        | 89                           | 83        |
| Isı Akısı W | Panel          | Q                     | 163    | 137       | 171                         | 145       | 186                          | 152       |
| Hız m/s     | Menfez Çıkış   | V1                    | 0,3108 | 0,3000    | 0,3310                      | 0,3100    | 0,4887                       | 0,3200    |
|             | Menfez Giriş   | V2                    | 0,2445 | 0,2500    | 0,2980                      | 0,2700    | 0,3697                       | 0,3000    |
|             | Hava kanalı    | V3                    | 0,1928 | 0,2250    | 0,2590                      | 0,2900    | 0,4652                       | 0,3100    |

#### 4.5 Optimum Panel Eğim Açısı

Güneş duvarındaki cam ve absorban plaka sabit dikey ( $90^0$ ) konumlandırılmıştır. Bu amaçla panel eğim açısının ile ışınım ilişkisi irdelenmiştir. Yatay panel üzerine gelen ışınımında etkili olan üç bileşen direkt, yayılı ve yansıyan olmaktadır. Yayılı ışınım hesabında açık hava koşullarında izotropik saçılım kabul edilmiş (B. Liu ve Jordan 1961). Yansıyan ışınım değişkenlerinden albedo katsayısı kırsal toprak arazi değeri olarak 0,2 alınmıştır. Hesaplamalardaki ışınım değerleri MGM'den alınmış ve aylık ortalama yatay düzleme gelen değerleridir. Oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığında verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarında değişim Ağustos ( $15^0$ ) hariç yoktur. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel, yıllık ve enlem değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Tablo 4.14.'da görülen ilk duruma göre sırasıyla %19, %18, %15 ve %17 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Batman ilinin enlem açısına ( $37^0$ ) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir. Şekil 4.134.'de ise yıllık (365 gün) ışınım karşılık gelen eğim açılarının grafiksel gösterimi mevcuttur.

**Tablo 4.14.** Optimum açı-verim ilişkisi

| Aylar          | $\beta_{OPT}$<br>Aylık | Verim %<br>Aylık | Verim %<br>Mevsim | Verim %<br>Yıllık | Verim %<br>Enlem |
|----------------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| <b>Ocak</b>    | 59                     | 46               | 44                | 35                | 40               |
| <b>Şubat</b>   | 48                     | 22               | 21                | 20                | 22               |
| <b>Mart</b>    | 38                     | 16               | 12                | 15                | 15               |
| <b>Nisan</b>   | 20                     | 4                | 3                 | 2                 | 0                |
| <b>Mayıs</b>   | 6                      | 2                | 0                 | 0                 | 0                |
| <b>Haziran</b> | 0                      | 0                | 0                 | 0                 | 0                |
| <b>Temmuz</b>  | 0                      | 0                | 0                 | 0                 | 0                |
| <b>Ağustos</b> | 15                     | 3                | 1                 | 0                 | 0                |
| <b>Eylül</b>   | 32                     | 11               | 9                 | 11                | 10               |
| <b>Ekim</b>    | 49                     | 33               | 34                | 29                | 32               |
| <b>Kasım</b>   | 59                     | 47               | 44                | 36                | 41               |
| <b>Aralık</b>  | 59                     | 51               | 50                | 38                | 44               |



Şekil 4.134. Panel eğim açısı-ışınım değerlerinin aylık değişimi

## 4.6 Geliştirilen Korelasyonlar

Güneş Duvarının performansına etkileyen meteorolojik parametreler ile deneysel verilerden elde edilen hesaplamalar arasında ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu fonksiyonel bağıllık, sıklıkla çok değişkenli üslü denklemlerle en iyi karakterize edilir (Chapra ve Canale 2010). Geliştirilen denklemdeki incelenen değişken tek değişkenin üstel regresyonu formundadır. Bu sayede ışıınım verilerine karşılık verim, ısı akısı, hız ve oda sıcaklığı değerleri MATLAB (Curve Fitting) yazılında oluşturulmuştur. Denklem 4.8 'de geliştirilen ampirik değerlerin üstel denklem formatı görülmektedir. Bu sabit değerlerden verim absorban plakadan elde edilen değeri, ısı akısı; absorban plakadan akışkana aktarılan enerjiyi, hız; hava kanalındaki ortalama akışkan değerini ve oda sıcaklığı; deney odası (T13) orta noktada ölçülen sıcaklık değerlerini ifade etmektedir. Değişkenlerden ise sıcaklık; atmosferik havanın sıcaklığını ve ışıınım,  $90^0$  yüzeye gelen global değeri temsil etmektedirler. Eğri verileri 08:00 ile 18:00 arasındaki değerleri kapsamaktadır.

$$(\eta; Q; v; T_{oda}) = a H^b \quad 4.8$$

### 4.6.1 Düz Panel Eğrileri

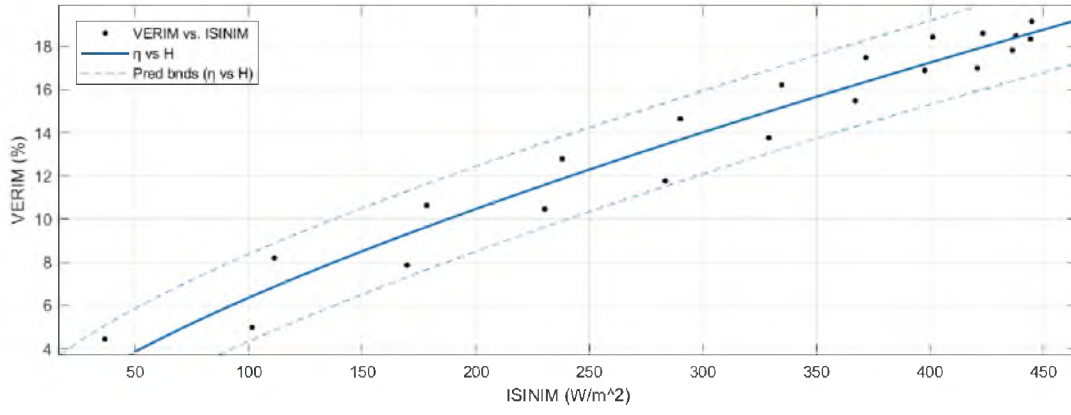
Düz panel sonuçlarına oluşturulan eğriler denklem 4.9-4.10-4.11 ve 4.12 'de görülmektedir. Bu denklemlere ait eğri grafikleri Şekil 4.135., Şekil 4.136., Şekil 4.137. ve Şekil 4.138.'de görülmektedir.

$$\eta = 0,2305 H^{0,7202} \quad (4.9)$$

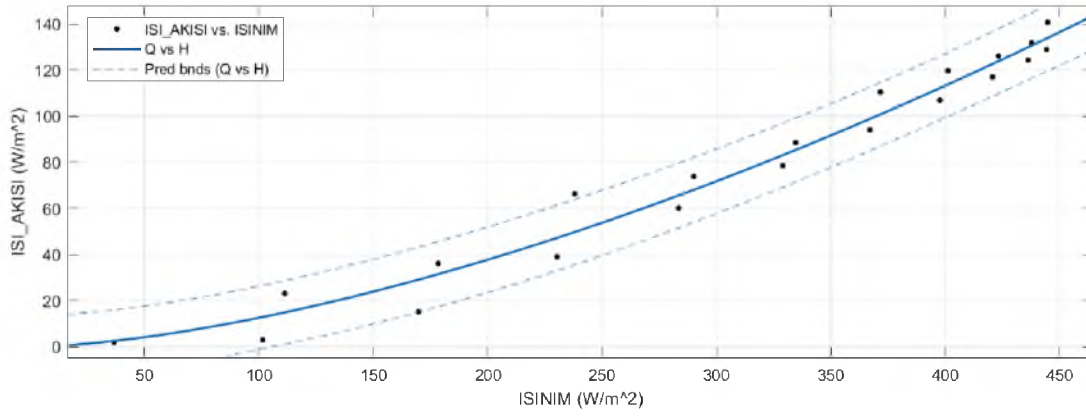
$$Q = 0,008621 H^{1,583} \quad (4.10)$$

$$V = 0,01234 H^{0,5094} \quad (4.11)$$

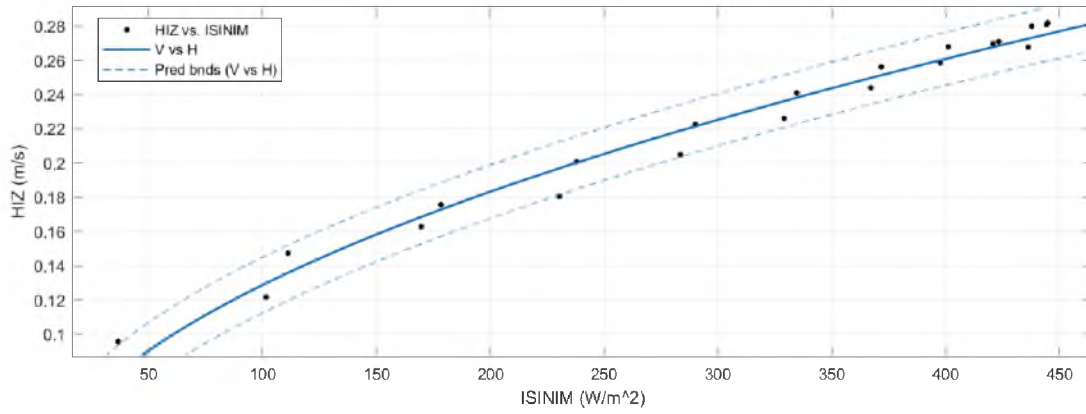
$$T_{oda} = 0,1243 H^{0,8993} \quad (4.12)$$



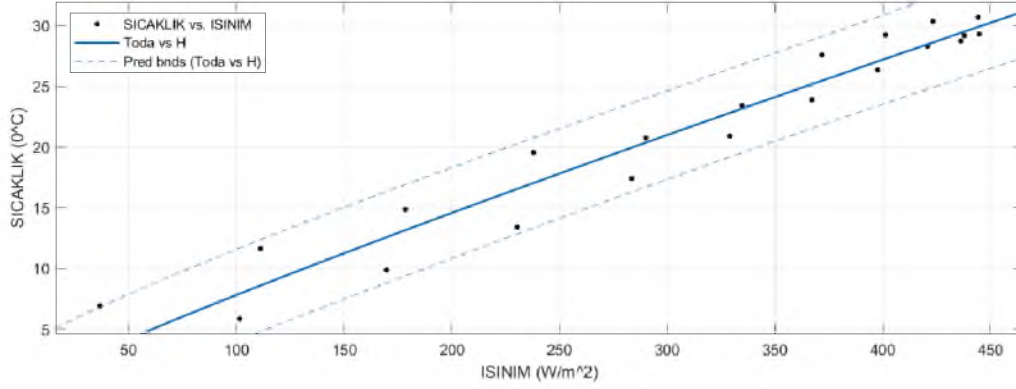
Şekil 4.135. Verim ile ışınlam değerlerinin değişimi



Şekil 4.136. Isı akısı ile ışınlam değerlerinin değişimi



Şekil 4.137. Hız ile ışınlam değerlerinin değişimi

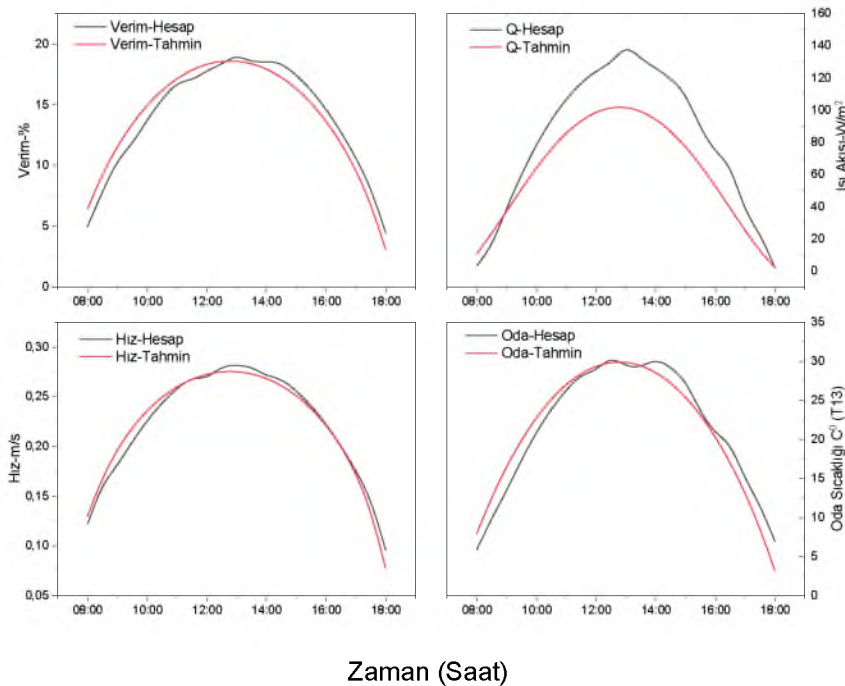


Şekil 4.138. Oda sıcaklığı ile ışıma değerlerinin değişimi

Uydurulan denklemlere ait istatistiksel veriler Tablo 4.15.'de gösterilmektedir. İstatistiksel açıdan geliştirilen tüm denklemler yüksek uyum içerisindedir. En düşük determinasyon katsayısı 0,9404 olurken en yüksek 0,9773 olmaktadır. Geliştirilen denklemler ve hesaplanan değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.139.'da sunulmaktadır.

Tablo 4.15. Düz panel istatistiksel sonuçları

| Denklem | SSE    | R <sup>2</sup> | RMSE   |
|---------|--------|----------------|--------|
| 5.9     | 22,29  | 0,9484         | 1,083  |
| 5.10    | 1139   | 0,9725         | 7,741  |
| 5.11    | 0,0014 | 0,9773         | 0,0086 |
| 5.12    | 79,41  | 0,9404         | 2,044  |



Şekil 4.139. Düz Panel hesaplanan ve tahmin edilen değerlerin saatlik karşılaştırılması

#### 4.6.2 27/200 Trapez Panel Eğrileri

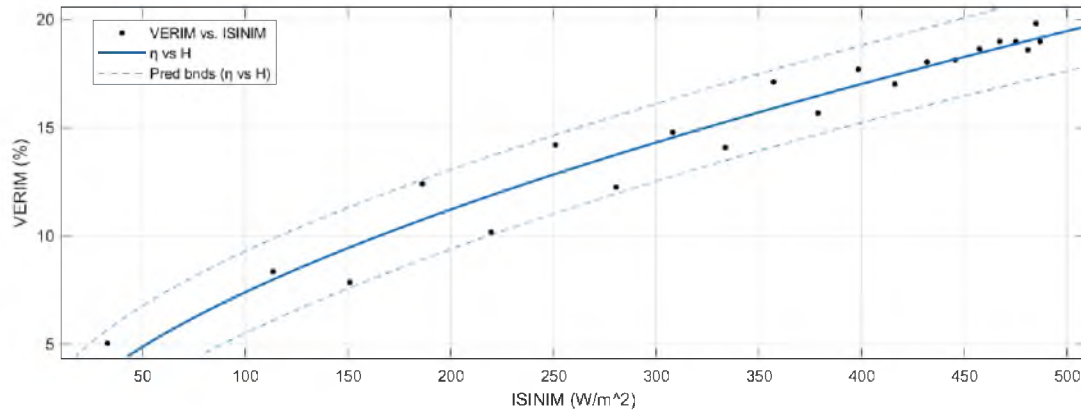
27/200 Trapez Panel verileriyle oluşturulan eğriler denklem 4.13-4.14-4.15 ve 4.16 'de görülmektedir. Bu denklemlere ait eğri grafikleri Şekil 4.140., Şekil 4.141., Şekil 4.142. ve Şekil 4.143.'de gösterilmektedir.

$$\eta = 0,4639 H^{0,6011} \quad (4.13)$$

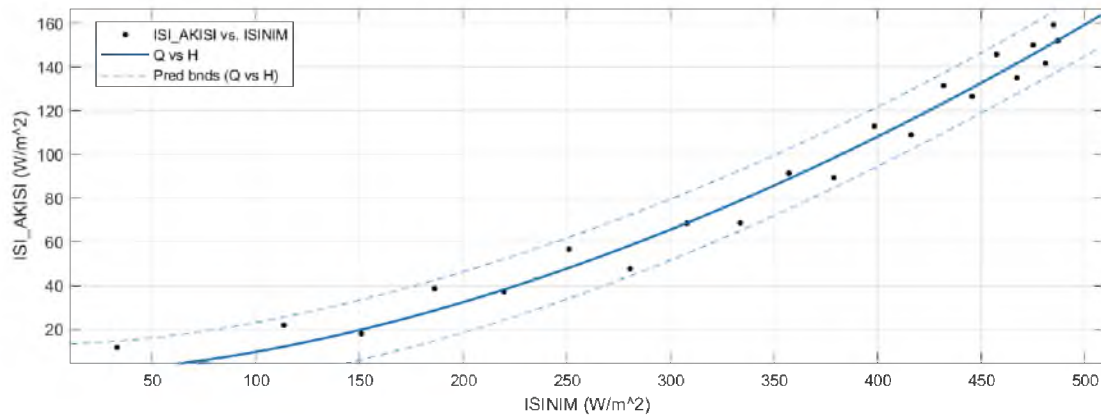
$$Q = 0,003262 H^{1,737} \quad (4.14)$$

$$V = 0,03339 H^{0,3544} \quad (4.15)$$

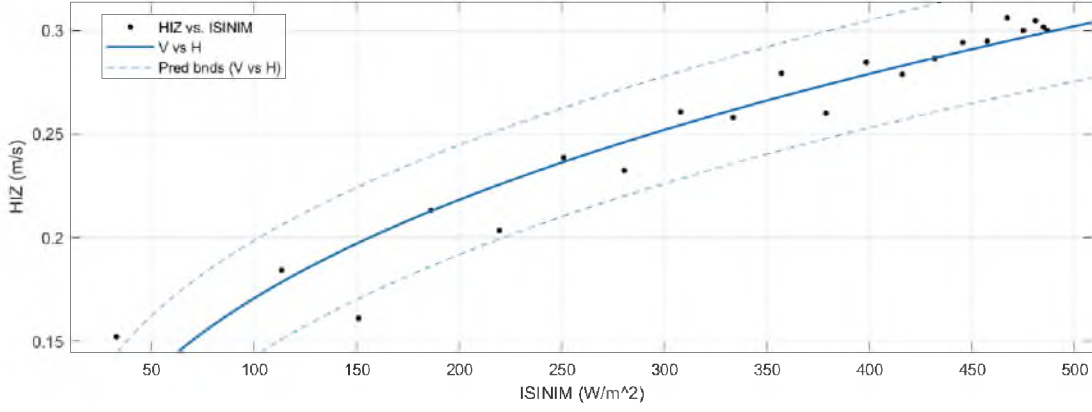
$$T_{oda} = 1,488 H^{0,4802} \quad (4.16)$$



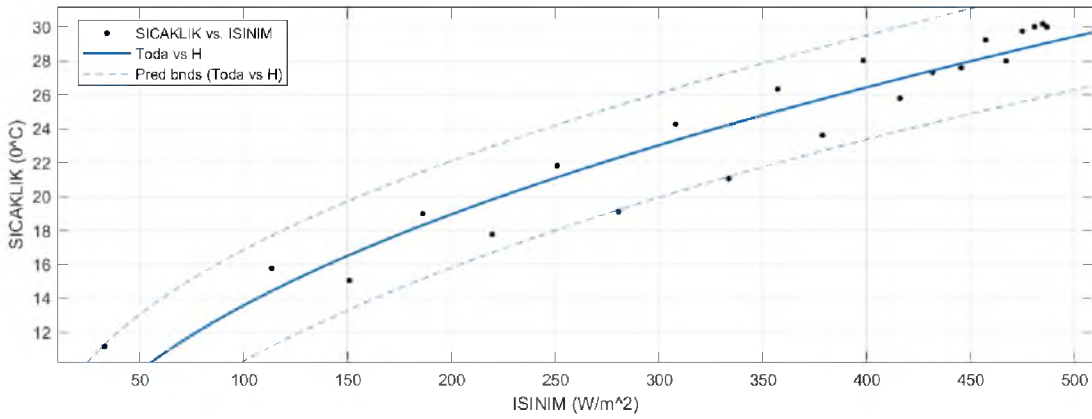
Şekil 4.140. Verim ile ışınlam değerlerinin değişimi



Şekil 4.141. Isı Akısı ile ışınlam değerlerinin değişimi



Şekil 4.142. Hız ile ışınum değerlerinin değişimi

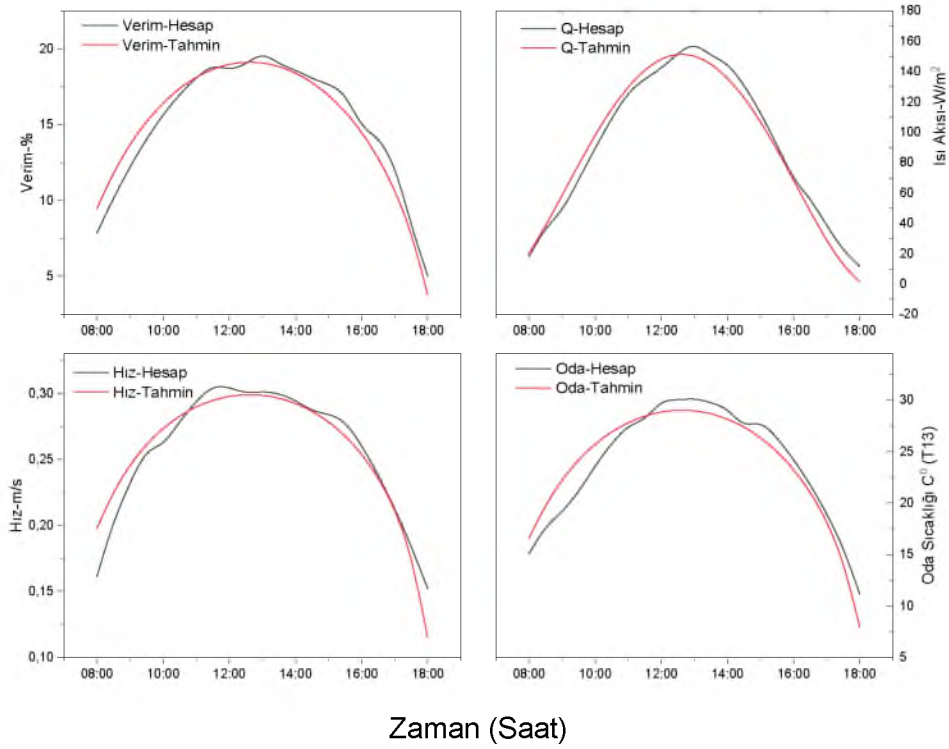


Şekil 4.143. Oda Sıcaklığı ile ışınum değerlerinin değişimi

Geliştirilen denklemlere ait istatistiksel veriler Tablo 4.16.'da gösterilmektedir. İstatistiksel sonuçlardan geliştirilen tüm denklemler yüksek uyum içerisindedir. En düşük determinasyon katsayısı 0,9129 olurken en yüksek 0,9775 olmaktadır. Uydurulan denklemler ve hesaplanan değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.144.'de sunulmaktadır.

Tablo 4.16. 27/200 trapez panel istatistiksel sonuçları

| Denklem | SSE   | R <sup>2</sup> | RMSE   |
|---------|-------|----------------|--------|
| 5.13    | 19,08 | 0,9477         | 1,002  |
| 5.14    | 1108  | 0,9775         | 7,636  |
| 5.15    | 0,004 | 0,9139         | 0,0215 |
| 5.16    | 56,58 | 0,9129         | 1,726  |



Şekil 4.144. 27/200 Trapez Panel hesaplanan ve tahmin edilen değerlerin saatlik karşılaştırılması

#### 4.6.3 Sinüs Oluklu 76/18 Trapez Panel Eğrileri

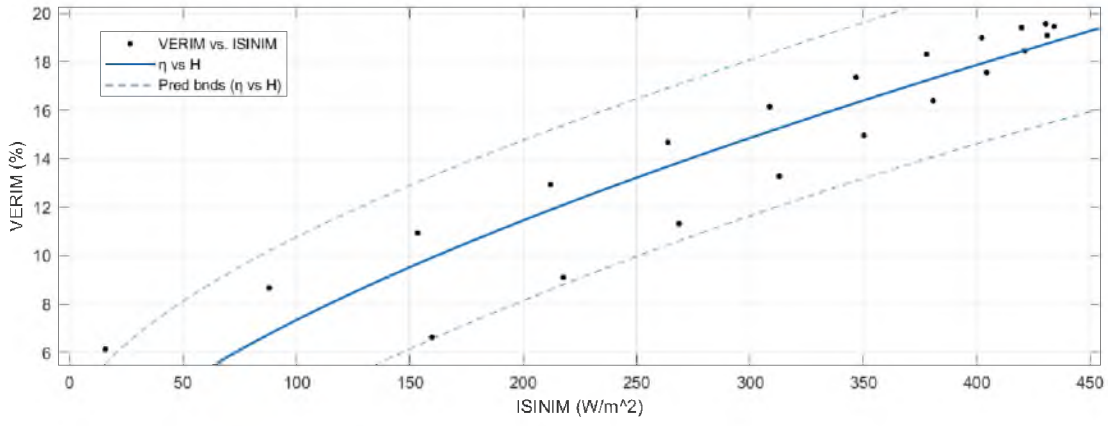
Sinüs Oluklu 76/18 Trapez sonuçları baz alınarak oluşturulan eğriler denklem 4.17-4.18-4.19 ve 4.20 'de görülmektedir. Bu denklemlere ait eğri grafikleri Şekil 4.145., Şekil 4.146., Şekil 4.147. ve Şekil 4.148.'de gösterilmektedir.

$$\eta = 0,3823 H^{0,6417} \quad (4.17)$$

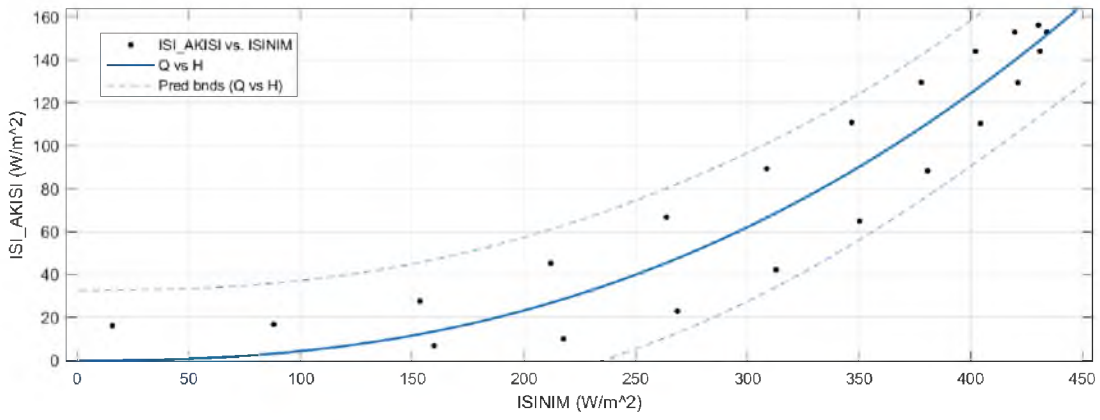
$$Q = 6,337e - 05 H^{2,418} \quad (4.18)$$

$$V = 0,003623 H^{0,7255} \quad (4.19)$$

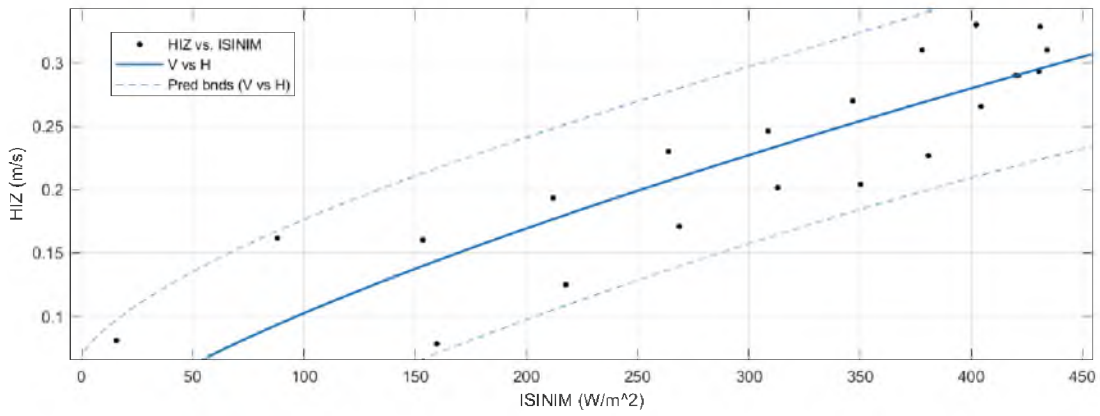
$$T_{oda} = 2,224 H^{0,4364} \quad (4.20)$$



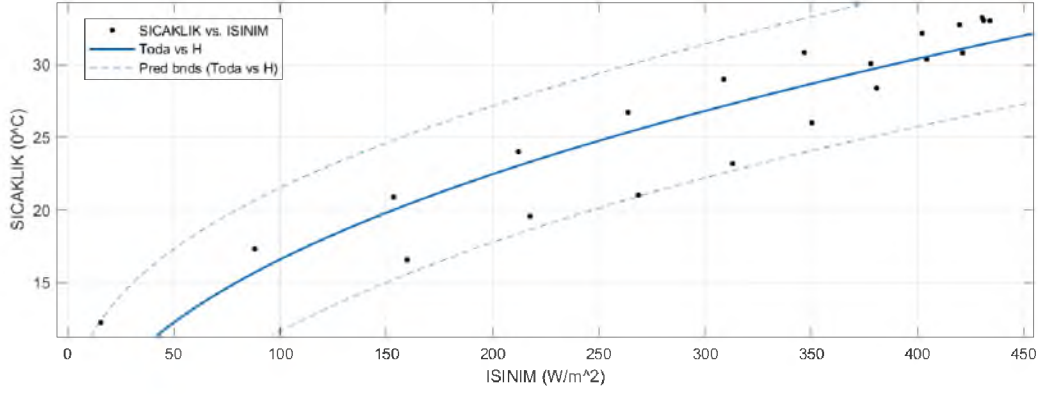
Şekil 4.145. Verim ile ışınlam değerlerinin değişimi



Şekil 4.146. Isı akısı ile ışınlam değerlerinin değişimi



Şekil 4.147. Hız ile ışınlam değerlerinin değişimi

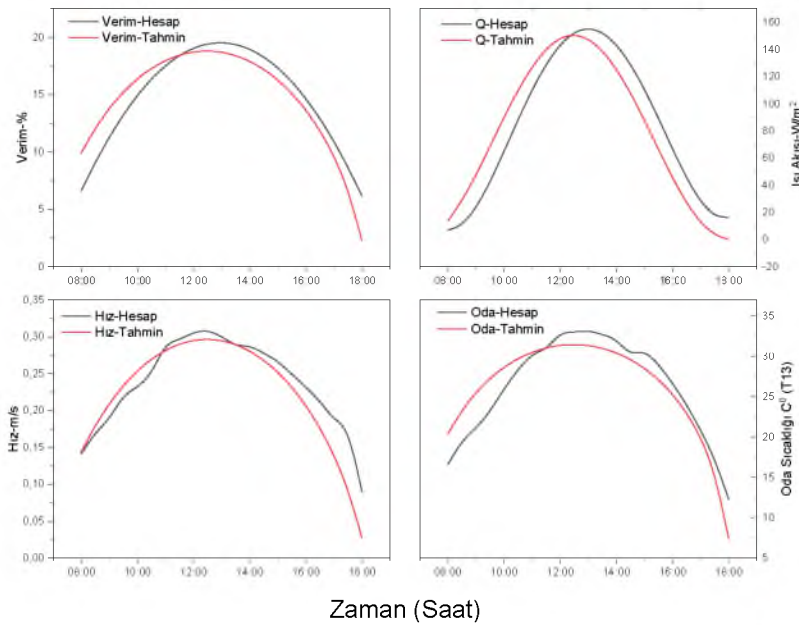


Şekil 4.148. Oda sıcaklığı ile ışıınım değerlerinin değişimi

Uydurulan denklemlere ait istatistiksel veriler Tablo 4.17.'de gösterilmektedir. İstatistiksel açıdan geliştirilen tüm denklemler yüksek uyum içerisindedir. En düşük determinasyon katsayısı 0,7535 olurken en yüksek 0,8845 olmaktadır. Geliştirilen denklemler ve hesaplanan değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.149.'da sunulmaktadır.

Tablo 4.17. Sinüs oluklu 76/18 trapez panel istatistiksel sonuçları

| Denklem | SSE    | R <sup>2</sup> | RMSE   |
|---------|--------|----------------|--------|
| 5.17    | 62,36  | 0,8402         | 1,812  |
| 5.18    | 6788   | 0,8845         | 18,9   |
| 5.19    | 0,0293 | 0,7535         | 0,0392 |
| 5.20    | 127,7  | 0,8375         | 2,593  |



Şekil 4.149. Sinüs oluklu 76/18 panel hesaplanan ve tahmin edilen değerlerin saatlik karşılaştırılması

## 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Genel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında güneş duvarı modelinin sisteminin performansı; deneysel ve sayısal metotlarla analiz edilmiştir. Sistemin tasarım aşamasında farklı absorban plakaların ısı performans etkileri doğal taşınımında incelenmiştir. Buna göre tezde yapılan çözümlerler şunlardır;

- Deney odası ve test odasının ısı performans deneysel olarak incelenmiştir.
- Modelin farklı absorban plakalardaki ısı ve verim analizi yapılmıştır.
- Deneysel veriler boyutsuzlaştırılmıştır.
- Boyutsuzlaştırılan değerlerle Nusselt'in tahmine yönelik 60 farklı eşitlik geliştirilmiş ve literatürle mukayese edilmiştir.
- Sayısal modelleme ile sistemin doğruluğu test edilmiştir.
- Optimum panel eğim açısı 37,88 enlemi (Batman) için tespit edilmiştir.
- Panellere özgü tahmin regresyon modelleri geliştirilmiştir.

#### *Deneysel Sonuçlar;*

#### *Sıcaklık;*

- Deney Odası ve Test odasında ölçülen sıcaklık oranları düz sac, 27/200 trapez sac ve sinüs oluklu 76/18 trapez sac için sırasıyla;
  - Maksimum için; T12 (Üst Nokta); 2,81-2-1,73, T13 (Orta Nokta); 3,14-2,06-1,45, T14 (Alt Nokta); 1,72-1,53-1,38
  - 08:00 için; T12 (Üst Nokta) -1-0,71-2, T13 (Orta Nokta); 0,66-1-1,22, T14 (Alt Nokta); 1-1,14-1,83
  - 12:30 için; T12 (Üst Nokta) 3,38-2,1-1,9, T13 (Orta Nokta); 6,4-2,35-1,63, T14 (Alt Nokta); 1-1,14-1,83
  - 18:00 için; T12 (Üst Nokta) 1,55-0,86-1,08, T13 (Orta Nokta); 1,5-1-1,15, T14 (Alt Nokta); 1,2-1,16-1,22 olmaktadır
  - Tüm paneller için öğle saatlerinde sıcaklık farkı en üst seviyeye çıkmaktadır bu oranı akşam ve gündüz saatleri takip etmektedir.
  - Işınımın az olduğu sabah ve akşam saatlerinde deney odasının ısı performans düşerek deney odası sıcaklığına eşitlenmektedir.

- Panellerden termosirkülasyon performansı en iyi olan düz absorban plakadır
- ASHRAE 55 standardına göre ısıtma sezonunda konfor düzeyindeki ideal sıcaklık değeri Batman için (%55 nem-0,25 m/s hız -1 clo- 1 met) 22 °C – 26 °C arasındadır. Bu duruma göre gün içindeki ortalama sıcaklık değerleri paneller için 23,03-25,02 ve 25,86 olup ideal değerdendirler.

### ***Isı Akısı;***

- Işınım seviyesinin en yüksek olduğu 11:30 ile 14:30 saatleri arasında en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Düz sac, 27/200 trapez sac ve sinüs oluklu 76/18 trapez sac için sırasıyla;
  - Maksimum için; 13:31-Q=141 W/m<sup>2</sup>, 13:56-Q=157 W/m<sup>2</sup>, 14:02 Q=161 W/m<sup>2</sup>
  - Ortalama değerler (08:00-18:00) için; Q=89,04 W/m<sup>2</sup>, Q= 93,26 W/m<sup>2</sup> ve Q= 95,14 W/m<sup>2</sup>
  - Laminer rejimde; Q= 23,18 W/m<sup>2</sup>, Q= 27,57 W/m<sup>2</sup> ve Q= 38,54 W/m<sup>2</sup>
  - Türbülans rejiminde; Q= 105,02 W/m<sup>2</sup>, Q= 116,29 W/m<sup>2</sup> ve Q= 118,24 W/m<sup>2</sup>
- Isı akısı değeri en yüksek sinüs oluklu 76/18 trapez sac bunu sırasıyla 27/200 trapez sac ve düz sac takip etmiştir. Bu durum kararlı termosirkülasyonun olmasını ve absorban plakaların geometrik dizaynına bağlıdır.

### ***Nusselt;***

- Dikey panelden hava kanalına taşınmla transfer edilen ısının iletme oranı olan boyutsuz Nusselt sayısı ile tanımlanmıştır. Düz sac, 27/200 trapez sac ve sinüs oluklu 76/18 trapez sac için sırasıyla;
  - Maksimum için; 14:39-Nu=77,49, 13:32-Nu=80,89 ve 13:54 Nu=87,39
  - Ortalama değerler (08:00-18:00) için; Nu= 63,03, Nu= 64,09 ve Nu= 65,16 olmaktadır.
  - Laminer rejimde ortalama için; Nu= 42,81, Nu= 48,83 ve Nu= 51,33 olmaktadır.
  - Türbülans rejiminde ortalamalar için; Nu= 70,72, Nu= 72,56 ve Nu= 76,45 olmaktadır.

- Nusselt değeri en yüksek sinüs oluklu 76/18 trapez sac bunu sırasıyla 27/200 trapez sac ve düz sac takip etmiştir.
- Paneller arasındaki değerlerin değişimini etkileyen en önemli etken hava kanlındaki akış hızı ve panel yüzey sıcaklığı olmaktadır.
- Absorban plakalardaki geometrik değişiklik klasik düz sisteme nazaran akış türünü ve yapısını türbülanslı forma dönüştürerek birim zamanda transfer edilen ısı miktarını arttırmıştır.

### **Hız;**

- Hava kanalındaki ortalama hız değeri Düz sac, 27/200 trapez sac ve sinüs oluklu 76/18 trapez sac için sırasıyla;
  - Maksimum için; 13:40- $v=0,2847$  m/s, 13:41- $v=0,3269$  m/s ve 13:54- $v=0,4178$  m/s
  - Ortalama değerler (08:00-18:00) ise sırasıyla  $v=0,2311$  m/s,  $v=0,2436$  m/s ve  $v=0,2557$  m/s olup hava kanalındaki ortalama debi miktarları ise sırasıyla  $\dot{m}=0,0602$  kg/s,  $\dot{m}=0,0608$  kg/s ve  $\dot{m}=0,0705$  kg/s olmaktadır.
  - Laminer rejimde ortalama değerler paneller için sırasıyla  $v=0,2164$  m/s,  $v=0,2180$  m/s ve  $v=0,2072$  m/s olup ortalama debi miktarı sırasıyla  $\dot{m}=0,0630$  kg/s,  $\dot{m}=0,0638$  kg/s ve  $\dot{m}=0,0579$  kg/s olmaktadır.
  - Türbülans rejiminde ortalamalar sırasıyla  $v=0,2494$  m/s,  $v=0,2739$  m/s ve  $v=0,2867$  m/s olmakta ve ortalama debi miktarları ise sırasıyla  $\dot{m}=0,0660$  kg/s,  $\dot{m}=0,0706$  kg/s ve  $\dot{m}=0,0853$  kg/s olmaktadır.

Laminer formdan türbülansa geçişte klasik düz sisteme nazaran geometrik dizaynı farklı olan sistemlerde hız ve debi artmaktadır.

### **Verim;**

- Tüm absorban panellerde ışınımın en yüksek olduğu öğle saatlerinde verim en yüksek seviye çıkmaktadır. Sabah ve öğleden sonra verim miktarı ışınım ile orantılı olarak öğleye göre daha az seviyelerdedir.

- Panellerin performansı incelendiğinde en yüksek verim değeri sinüs oluklu 76/200 trapez de olmaktadır bunu sırasıyla 27/200 Trapez ve düz panel takip etmektedir. Genel itibariyle tüm panellerde ışınımına bağlı verim miktarları arasındaki fark en düşük  $\pm 2,32$ , en yüksek  $\pm 1,54$  ve ortalama  $\pm 1,34$  civarında olmaktadır.

### ***Geliştirilen Boyutsuz Parametreler;***

#### ***Düz Panel;***

- $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 665,4-1251,  $R^2$ : 0,8896-0,9420 ve RMSE: 2,4630-3,373 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.1.1 ve kapalı kanalda Eş.4.1 olmaktadır.
- $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 30 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 308,5-232,5,  $R^2$ : 0,8509-0,8869 ve RMSE: 1,389-1,209 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.7.1 ve kapalı kanalda Eş.10.1 olmaktadır.
- $30 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 308,5-232,5,  $R^2$ : 0,9090-0,9165 ve RMSE: 1,389-1,209 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.13.1- Eş.15.1 ve kapalı kanalda Eş.16.1 olmaktadır.
- $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 7088-2074,  $R^2$ : 0,9543-0,9894 ve RMSE: 3,437-1,655 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.19.1- Eş.21.1 ve kapalı kanalda Eş.22.1 olmaktadır.

#### ***Trapez Panel;***

- $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 1,476e+04-5126,  $R^2$ : 0,9288-0,9753 ve RMSE: 4,972-2,933 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.27.1 ve kapalı kanalda Eş.28.1 en kararlı modeldir.
- $0,5 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 3098-2328,  $R^2$ : 0,7467-0,8097 ve RMSE:

5,381-4,708 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.33.1 ve kapalı kanalda Eş.34.1 en uyumlu eşitliklerdir.

- $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 47 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 4481-2408,  $R^2$ : 0,8927-0,9423 ve RMSE: 3,024-2,221 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.37.1 ve kapalı kanalda Eş.39.1 en uygun eşitliklerdir.

### ***Sinüs Panel;***

- $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 2,565e+04-1,6e+04,  $R^2$ : 0,9136-0,9461 ve RMSE: 6,543-5,172 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.43.1 ve kapalı kanalda Eş.45.1 en kararlı modeldir.
  - $0,9 \times 10^8 \leq Ra \leq 15 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 2959-2224,  $R^2$ : 0,8704-0,9026 ve RMSE: 4,021-3,505 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.48.1 ve kapalı kanalda Eş.51.1 en uyumlu eşitliklerdir.
  - $15 \times 10^8 \leq Ra \leq 48 \times 10^8$  arasında geliştirilen modellerden; en düşük ve en yüksek istatistik aralıkları SSE: 8531-3633,  $R^2$ : 0,7739-0,9037 ve RMSE: 4,534-2,966 olmaktadır. Bu değerler ile açık kanalda Eş.56.1 ve kapalı kanalda Eş.58.1 en uygun eşitliklerdir.
- Geliştirilen modellerdeki tahmin edilen Nusselt değerleri literatürdeki denklemlerle uyum içerisindedir. Bu denklemlerden kurulan güneş duvarı sistemine en uygun olanları;
    - $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 14 \times 10^8$  arasında: Randall, Mitchell, ve El-Wakil 1979; Raithby ve Wong 1981; Jakob 1949; MacGregor ve Emery 1969
    - $14 \times 10^8 \leq Ra \leq 30 \times 10^8$  arasında : Kaiser, Zamora, ve Viedma 2004; Jakob 1949; McAdams 1954; Krishnan vd. 2004; MacGregor ve Emery 1969)
    - $30 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$  arasında: Kaiser, Zamora, ve Viedma 2004; Jakob 1949; McAdams 1954; Krishnan vd. 2004)
    - $1 \times 10^8 \leq Ra \leq 40 \times 10^8$  arasında: Kaiser, Zamora, ve Viedma 2004; Jakob 1949; McAdams 1954; Krishnan vd. 2004 olmaktadır.

### ***Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği;***

- Tüm paneller için sıcaklık dağılımı doğal konveksiyonda etkili olan Boussinesq yaklaşımı belirgin şekilde gözlenmektedir. Bu yaklaşımla hava kanalında ısınan havanın yoğunluğu azalarak üst menfezlere doğru ilerlemesi ve oda içindeki soğuyan havanın ise yoğunluğunun azalarak aşağıya doğru yönelmesi belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Alt menfezden hava kanalına giren akışkan tekrar ısınarak tam bir termosirkülasyon gerçekleşmektedir. Deneysel ve HAD değerleri arasındaki uyum yüksek miktardadır. Bağlı hata yüzdesi (% e) miktarı Düz sac, 27/200 trapez sac ve sinüs oluklu 76/18 trapez sac için sırasıyla;
  - Sıcaklık (°K): Hava kanalı (T3); 4,49-1,27-4,13, Absorban Panel T4-T5-T6-T7 (Ort.); 1,45-1,71-1,71, Menfez Giriş (T8); 2,39-1,36-3,08, Menfez Çıkış (T9); 0,93-0,92-3,60, Oda Üst (T12); 0,32-0,63-1,24, Oda Orta (T13); 2,34-3,32-4,93 ve Oda Alt (T14);0,69-0,68-1,03
  - Nusselt (Nu); 4,88-4,76-6,74
  - Isı Akısı Panel (Q); 15,95-15,20-18,28
  - Hız (m/s); Menfez Çıkış (V1); 3,47-6,34-34,52, Menfez Giriş (V2); 2,25-9,40-18,85 ve Hava Kanalı (V3); 16,70-11,97-33,36
  - Tüm parametreler için ortalama değerler sırasıyla 4,65, 4,80 ve 10,96 olmaktadır

### ***Panel Eğim Açısı;***

- Batman ilinin enlemine özgü hesaplanan panel açısı-ışınım ilişkisi neticesinde;
  - Ortalama eğim açısı ( $\beta$ ); Kış  $56^0$ , İlkbahar  $21^0$ , Yaz  $5^0$  ve Sonbahar  $46^0$  olmaktadır.
  - Dik konumdaki panelin güneş ışınımından en fazla fayda kış aylarında olmaktadır.

### ***Geliştirilen Korelasyonlar;***

Hesaplaması yapılan ve ölçülen değerlerin tahminine yönelik 12 farklı eşitlik geliştirilmiştir.

Tüm denklemlerin  $R^2$  determinasyon katsayısı bir (1) değerine oldukça yakın olup modeller mükemmel yakındır. Bu sayede analizi yapılacak güneş duvarı uygulamasında sadece ışıma verileri kullanılarak kurulumu planlanan örnek bir yapının enerji performansı bileşenleri tahmin edilebilecektir.

## 5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında elde edilen veriler sistemin özellikle “Csa” tipi kışları ılıman nemli orta enlem iklimlerde faydalı olduğu görülmüştür. Enerjiye olan talebin artması pasif yenilebilir enerji sistemlerini ön plana çıkarmaktadır. Gelecek prospektüsünde sıfır enerji mimarlığında güneş enerjili tasarımlar ön plana çıkacaktır.

Güneş enerjili, yenilebilir mimarlık ürünleri ışığı ve havayı en yararlı şekilde kullanan ince kesitli hem araziye hem de çevresindeki enerji kaynaklarına uyumlu binalardır. Sıfır enerjili binalar fosil yakıtlara olan bağılılığı azaltmakta hatta ortadan kaldırmaktadır. Bu amaçla sistemin bazı değişikliklerle daha etkin çalışması mümkündür.

- Sistem dizaynı hava kanalına eklenecek fan yardımıyla birim zamandaki akış hızı arttırılarak panellerden transfer edilecek ısı miktarı arttırılabilir.
- Sistemdeki cam yüzey yerine PV paneller eklenerek biçimin PV/T formatına dönüştürülebilir bu sayede güneşten hem elektrik hem de ısı kazancı sağlanabilir.
- Hava kanalındaki akışkanın hareketi yönünde ince kanatçıklar (vortex) eklenerek menfezler arasındaki sıcaklık farkı arttırılabilir.
- Masif duvar kütlelerine faz değiştiren malzeme (FDM) özellikleri tanımlanarak farklı iklim koşullarında ihtiyaca uygun ısıtma yapılabilir.
- Isıtmanın istenmediği veya oda ısısının hava kanalından yüksek olduğu durumlarda otomatik kontrollü damperli menfezler kullanılabilir.
- Bina enerji modellemesi (BES) yardımıyla bütün bir yıldaki enerji dengesi parametreleri hesaplanabilir.
- Sistemin optimum koşullarda çalışması için hava kanalı ve menfez boyutları için geometrik dizaynı analiz edilebilir.
- Sistemin, değişen güneş açılara göre kullanılma yerine ve zamanına göre absorban plakaların eğim ( $\beta$ ) değiştirilebilir.
- Yaz ayarı için sistemde dizaynında yapılacak değişikliklerle baca etkisi kullanılarak soğutmada kullanılabilir.

- Kurulacak sistemin fayda/maliyet analizi yapılarak amortisman süresi ve etkinliği hesaplanabilir.
- Kurulacak sistemin bina dinamiklerini engellemesi ve olası bir sismik sarsıntıda olumsuz durumları bertaraf etmek için analizler yapılabilir.
- Aktif havalandırma ve ısıtma sistemlerinin entegre edilerek kullanım amacına uygun (hastane, okul, şantiye vb.) bina dış cephesine uygulanabilecek ticari bir ürün oluşturulabilir.
- Havalandırma kanalında entegre edilecek filtrelerle oda ortamındaki bakteri, mantar ve virüslerin elimine edilmesine yönelik ticari bir ürün elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, Basant, ve Gopal Nath Tiwari. 2010. *Building integrated photovoltaic thermal systems: for sustainable developments*. Royal Society of Chemistry.
- Alaeddinoğlu, Faruk. 2010. “Batman Şehri, Fonksiyonel Özellikleri ve Başlıca Sorunları”. *Doğu Coğrafya Dergisi* 15 (24): 19-42.
- Altan, Aylin Duman ve Aysun Sağbaş. 2020. “Türkiye’nin Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği Performansı: Mevcut Durum Ve Gelecek Projeksiyonu”. *Verimlilik Dergisi*, sy 1 (Ocak): 7-26. <https://dergipark.org.tr/en/pub/verimlilik/463094>.
- Anonim 2019a "Mesa Verde Cliff Dwellings | Green Passive Solar Magazine". Erişim 03 Ekim 2019. <https://greenpassivesolar.com/2010/04/mesa-verde-cliff-dwellings/>.
- Anonim 2019b, Web “Ofhouses”. 30 Eylül 2019. <https://ofhouses.tumblr.com/post/170443597787/517-jaques-michel-f%C3%A9lix-trombe-solar-house>.
- Anonim 2019c MGM, Klimatoloji Şube. “İklim sınıflandırmaları”. Erişim adresi: [http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim\\_siniflandirmalari.pdf](http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari.pdf)
- Anonim 2019d, Web "JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission". t.y. Erişim 23 Ekim 2019. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR).
- Anonim 2019e “Radyasyon Mevsimler- Meteoroloji Genel Müdürlüğü”. t.y. Erişim 30 Eylül 2019a. [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx).
- Anonim 2020a Web: “Hasankeyf Mağaraları Nerede, Nasıl Gidilir? | Gezilecek Yerler”. Erişim 28 Kasım 2020. <https://gezilecekyerler.com/hasankeyf-magaralari/>.
- Anonim 2020b Web: Aylık Sıcaklık Analizi - Meteoroloji Genel Müdürlüğü”. Erişim 19 Nisan 2020. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx>.
- Anonim 2020c Web “Meteoroloji 15. Bölge Müdürlüğü- Diyarbakır”. t.y. Erişim 28 Haziran 2020. <http://www.diyarbakir.mgm.gov.tr/Default.aspx>.
- Anonim 2020d “Meteoroloji Genel Müdürlüğü”. t.y. Erişim 26 Ekim 2019. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BATMAN>.
- Anonim 2020e PD: CIE Sky Model. Erişim 28 Temmuz 2020. <https://drajmarsh.bitbucket.io/cie-sky.html>.
- Anonim 2020f “POWER Data Access Viewer”. t.y. Erişim 23 Ekim 2020 <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

- Auletta, A., Oronzio Manca, Biagio Morrone, ve V. Naso. 2001. "Heat transfer enhancement by the chimney effect in a vertical isoflux channel". *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44 (22): 4345-57.
- Bahar, Yudi Nugraha. 2014. "Representation of thermal building simulation in virtual reality for sustainable building". İçinde .
- Bar-Cohen, A., ve W. M. Rohsenow. 1984. "Thermally optimum spacing of vertical, natural convection cooled, parallel plates".
- Bellos, Evangelos, Christos Tzivanidis, Eleni Zisopoulou, Georgios Mitsopoulos, ve Kimon A. Antonopoulos. 2016. "An Innovative Trombe Wall as a Passive Heating System for a Building in Athens—A Comparison with the Conventional Trombe Wall and the Insulated Wall". *Energy and Buildings* 133 (Aralık): 754-69. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.035>.
- Bergman, Theodore L., Frank P. Incropera, David P. DeWitt, ve Adrienne S. Lavine. 2011. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- Bhatia, A. 2014. *Natural Ventilation Principles and Practices: HVAC*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Blazek, Jiri. 2015. *Computational fluid dynamics: principles and applications*. Butterworth-Heinemann.
- Błotny, Jagoda, ve Magdalena Nemś. 2019. "Analysis of the Impact of the Construction of a Trombe Wall on the Thermal Comfort in a Building Located in Wrocław, Poland". *Atmosphere* 10 (12): 761. <https://doi.org/10.3390/atmos10120761>.
- Boussinesq, Joseph. 1904. "Recherches théoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources". *Journal de mathématiques pures et appliquées* 10: 5-78.
- Canivan, John. 2005. *Solar Thermal Energy*. John Canivan.
- Cengel, Yunus. 2014. *Heat and mass transfer: fundamentals and applications*. McGraw-Hill Higher Education.
- Chapra, Steven C., ve Raymond P. Canale. 2010. *Numerical methods for engineers*. Boston: McGraw-Hill Higher Education,.
- Cheesewright, Robert. 1968. "Turbulent natural convection from a vertical plane surface".
- Chen, Wei, ve Wei Liu. 2004. "Numerical Analysis of Heat Transfer in a Composite Wall Solar-Collector System with a Porous Absorber". *Applied Energy* 78 (2): 137-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2003.07.003>.
- Chen, Wei, ve Wei Liu. 2008. "Numerical Analysis of Heat Transfer in a Passive Solar Composite Wall with Porous Absorber". *Applied Thermal Engineering* 28 (11): 1251-58. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.10.017>.

- Chudnovsky, A. F. 1976. "Heat Physics of Soils". *Science, Moscow*.
- Churchill, Stuart W., ve Humbert HS Chu. 1975. "Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate". *International journal of heat and mass transfer* 18 (11): 1323-29.
- Cooke, J. C. 1951. "Pohlhausen's Method for Three-Dimensional Laminar Boundary Layers". *The Aeronautical Quarterly* 3 (1): 51-60.  
<https://doi.org/10.1017/S0001925900000536>.
- Cooper, P. I. 1969. "The absorption of radiation in solar stills". *Solar energy* 12 (3): 333-46.
- Çelik, Mehmet. 2016. "Combustion, performance and exhaust emission characteristics of organic based manganese addition to cotton methyl ester". *Applied Thermal Engineering* 108: 1178-89.
- Deniz, Zahide Acar. 2013. "Muson dolaşımının Doğu Akdeniz ve Türkiye yaz sıcaklıklarına etkileri".  
<http://acikerisim.lib.comu.edu.tr:8080/xmlui/handle/COMU/1958>.
- Dietz, Albert GH. 1963. "Diathermanous materials and properties of surfaces". *Introduction to the utilization of solar energy*, 59-86.
- Dinçer, Furkan. 2011. "Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli-ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 14 (1).
- Duffie, J. A., ve W. A. Beckman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. – Hoboken New Jersey. John Wiley Sons. Inc.
- Duffie, John A., William A. Beckman, ve Nathan Blair. 2020. *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind, 5th Edition*. John Wiley & Sons.
- Durmuş, Ayla, Umut Ercan, Ali Serkan Avcı, Mehmet Ali Kallioğlu, ve Hakan Karakaya. 2017. "Batman ili enerji profilinin araştırılması". *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 7 / 2/2 (Aralık 2017): 161-167
- Eckert, E. R., ve Thomas W. Jackson. 1950. "Analysis of turbulent free-convection boundary layer on flat plate". National Aeronautics and Space Administration Washington DC.
- Eckertf, E. R. G., ve Walter O. Carlson. 1961. "Natural convection in an air layer enclosed between two vertical plates with different temperatures". *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2 (1-2): 106-20.
- Edwards, Philip. 2017. "Trombe Wall Conditioning for Nepal". Master's Thesis, The University of Queensland. <https://doi.org/10.14264/uql.2017.967>.
- Elenbaas, W. 1942. "Heat dissipation of parallel plates by free convection". *Physica* 9 (1): 1-28.

- Erinç, Sırrı. 1969. *Klimatoloji ve metodları*. İstanbul Üniversitesi, Companyğrafya Enstitüsü.
- Faghri, Amir, Yuwen Zhang, ve John R. Howell. 2010. *Advanced heat and mass transfer*. Global Digital Press.
- Fluent, ANSYS. 2011. “Ansys fluent theory guide”. *ANSYS Inc., USA 15317*: 724-46.
- Garg, H. P., S. C. Mullick, ve A. K. Bhargava. 1985. *Solar Energy Thermal Storage*. D. Reidel Publishing Company.
- Gebhart, Benjamin, Yogesh Jaluria, Roop L. Mahajan, ve Bahgat Sammakia. 1988. “Buoyancy-induced flows and transport”.
- Genceli, Osman F., 2002. *Çözümlü Isı Taşınımı Problemleri*. “Birsen Yayınevi, İstanbul”.
- Genceli, Osman F. 2000. *Ölçme tekniği: (boyut, basınç, akış ve sıcaklık ölçmeleri)*. Birsen Yayınevi.
- Genceli, Osman F 2004. *Çözümlü ısı taşınımı problemleri*. Birsen Yayınevi.
- Görcelioğlu, Ertuğrul. 1986. “Güneş açıları ve bunların peyzaj düzenlemelerindeki önemi”. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 36 (3): 33-52.
- Gunerhan, Huseyin, ve Arif Hepbasli. 2007. “Determination of the Optimum Tilt Angle of Solar Collectors for Building Applications”. *Building and Environment* 42 (2): 779-83. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.012>.
- Handbook, ASHRAE. 2007. “HVAC applications”. *ASHRAE Handbook, Fundamentals*.
- Hassanain, A. A., E. M. Hokam, ve T. K. Mallick. 2011. “Effect of Solar Storage Wall on the Passive Solar Heating Constructions”. *Energy and Buildings* 43 (2): 737-47. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.020>.
- He, Wei, Xiaoqiang Hong, Xiaoling Wu, Gang Pei, Zhongting Hu, Wenxue Tang, Zhihe Shen, ve Jie Ji. 2016. “Thermal and hydraulic analysis on a novel Trombe wall with venetian blind structure”. *Energy and Buildings* 123: 50-58.
- He, Wei, Zhongting Hu, Bingqing Luo, Xiaoqiang Hong, Wei Sun, ve Jie Ji. 2015. “The Thermal Behavior of Trombe Wall System with Venetian Blind: An Experimental and Numerical Study”. *Energy and Buildings* 104 (Ekim): 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.078>.
- Hernández-López, I., J. Xamán, Y. Chávez, I. Hernández-Pérez, ve R. Alvarado-Juárez. 2016. “Thermal Energy Storage and Losses in a Room-Trombe Wall System Located in Mexico”. *Energy* 109 (Ağustos): 512-24. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.122>.
- Hollands, K. G. T., T. E. Unny, G. D. Raithby, ve L. Konicek. 1976. “Free convective heat transfer across inclined air layers”.

- Hong, Xiaoqiang, Wei He, Zhongting Hu, Chenchen Wang, ve Jie Ji. 2015a. "Three-Dimensional Simulation on the Thermal Performance of a Novel Trombe Wall with Venetian Blind Structure". *Energy and Buildings* 89 (Şubat): 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.014>.
- Hong, Xiaoqiang, Michael K. H. Leung, ve Wei He. 2019. "Effective Use of Venetian Blind in Trombe Wall for Solar Space Conditioning Control". *Applied Energy* 250 (Eylül): 452-60. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.128>.
- Hu, Zhongting, Bingqing Luo, ve Wei He. 2015. "An experimental investigation of a novel Trombe wall with venetian blind structure". *Energy Procedia* 70: 691-98.
- Iqbal, Muhammad. 2012. *An introduction to solar radiation*. Elsevier.
- İbrahim, Atalay, ve Kenan Mortan. 2006. *Resimli ve Haritalı Türkiye Bölgesel Coğrafyası*. İnkilap Kitabevi Anka Ofset Tesisleri, İstanbul.
- Jaber, Samar, ve Salman Ajib. 2011. "Optimum Design of Trombe Wall System in Mediterranean Region". *Solar Energy* 85 (9): 1891-98. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.04.025>.
- Jakob, Max. 1949. *Heat transfer*. C. Vol 1. New York: John Wiley Sons. Inc.
- Jaluria, Yogesh. 1980. "Natural convection, heat and mass transfer". İçinde *Unknown Host Publication Title*. Pergamon Press.
- Jie, Ji, Yi Hua, He Wei, Pei Gang, Lu Jianping, ve Jiang Bin. 2007. "Modeling of a novel Trombe wall with PV cells". *Building and Environment* 42 (3): 1544-52.
- Kaçan, Erkan, ve Koray Ülgen. 2013. "Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Eğim ve Yönlendirmenin Yararlanabilirliğe Etkisi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 27 (4): 0. <https://dergi-park.org.tr/tr/pub/gazimmfd/88699>.
- Kaiser, A. S., B. Zamora, ve A. Viedma. 2004. "Correlation for Nusselt number in natural convection in vertical convergent channels at uniform wall temperature by a numerical investigation". *International journal of heat and fluid flow* 25 (4): 671-82.
- Kalogirou, Soteris A. 2004. "Solar Thermal Collectors and Applications". *Progress in Energy and Combustion Science* 30 (3): 231-95. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.
- Kalogirou, Soteris A. 2004. 2013. *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press.
- Kalogirou, Soteris A., George Florides, ve Savvas Tassou. 2002. "Energy Analysis of Buildings Employing Thermal Mass in Cyprus". *Renewable Energy* 27 (3): 353-68. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00007-1).

- Kartal, Semiha. 2009. "Güneş mimarisi elemanlarının ısı verimlerinin Türkiye iklim şartları ve yapı konstrüksiyonları için hesaplanması". <http://dspace.trakya.edu.tr/xmlui/handle/1/693>.
- Kaya, Hüseyin, Yusuf Dilay, Adem Özkan, ve Hakkı Soy. 2019. "Overview Of Renewable Energy Sources In Turkey". *Energy* 6 (7).
- Kays, William Morrow. 2011. *Convective heat and mass transfer*. Tata McGraw-Hill Education.
- Kline, Stephen J. 1953. "Describing uncertainty in single sample experiments". *Mech. Engineering* 75: 3-8.
- Knowles, Ralph L. 2003. "The solar envelope: its meaning for energy and buildings". *Energy and Buildings*, Special issue on urban research, 35 (1): 15-25. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00076-2).
- Köppen, W., ve R. Geiger. 1954. "Klima der Erde (Climate of the earth) Wall Map". *Gotha: Klett-Perthes*.
- Krishnan, A. S., B. Premachandran, C. Balaji, ve S. P. Venkateshan. 2004. "Combined experimental and numerical approaches to multi-mode heat transfer between vertical parallel plates". *Experimental Thermal and Fluid Science* 29 (1): 75-86.
- Kundakci Koyunbaba, Basak, ve Zerrin Yilmaz. 2012. "The Comparison of Trombe Wall Systems with Single Glass, Double Glass and PV Panels". *Renewable Energy* 45 (Eylül): 111-18. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.026>.
- Lal, Shiv. 2014. "Experimental, CFD Simulation and Parametric Studies on Modified Solar Chimney for Building Ventilation". *Applied Solar Energy* 50 (1): 37-43. <https://doi.org/10.3103/S0003701X14010125>.
- Lauder, B. E. 1964. "An Improved Pohlhausen-Type Method of Calculating the Two-Dimensional Laminar Boundary Layer in a Pressure Gradient". *Journal of Heat Transfer* 86 (3): 360-63. <https://doi.org/10.1115/1.3688694>.
- Lee, C. K., ve S. A. Abdel-Moneim. 2001. "Computational analysis of heat transfer in turbulent flow past a horizontal surface with two-dimensional ribs". *International communications in heat and mass transfer* 28 (2): 161-70.
- Lewis, Gladius. 1987. "Optimum tilt of a solar collector". *Solar and Wind Technology* 4 (3): 407-10.
- Liu, B., ve R. Jordan. 1961. "Daily insolation on surfaces tilted towards equator". *ASHRAE J.:(United States)* 10.
- Liu, Benjamin YH, ve Richard C. Jordan. 1960. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation". *Solar energy* 4 (3): 1-19.
- Liu, Yanfeng, Dengjia Wang, Chao Ma, ve Jiaping Liu. 2013. "A Numerical and Experimental Analysis of the Air Vent Management and Heat Storage

- Characteristics of a Trombe Wall”. *Solar Energy* 91 (Mayıs): 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.016>.
- Long, Jibo, Yongga A., ve Hongfa Sun. 2018. “Thermal Insulation Performance of a Trombe Wall Combined with Collector and Reflection Layer in Hot Summer and Cold Winter Zone”. *Energy and Buildings* 171 (Temmuz): 144-54.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.035>.
- Long, Jibo, Mengting Jiang, Jiao Lu, ve Anran Du. 2019. “Vertical temperature distribution characteristics and adjustment methods of a Trombe wall”. *Building and Environment* 165: 106386.
- MacGregor, R. K., ve Ashley Francis Emery. 1969. “Free convection through vertical plane layers—moderate and high Prandtl number fluids”. *Journal of Heat Transfer* 91 (3): 391-401.
- Majjad, M, Z., 1990, “Güneş Yük Oranı Metodunun Türkiye’ye Uygulanması” (Application of Solar Load Ratio Method for Turkey), Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara
- Martonne, Emmanuel de. 1926. “Une nouvelle fonction climatologique: L’indice d’aridité”. *Meteorologie* 2: 449-59.
- McAdams, Williams H. 1954. “Heat transmission”.
- Mijorski, Sergey, ve Stefano Cammelli. 2016. “Stack effect in high-rise buildings: a review”. *International Journal of High-Rise Buildings* 5 (4): 327-38.
- Morse, Edward S. 1881. Warming and ventilating apartments by the sun’s rays, issued Eylül 1881.
- Muneer, T., ve G. S. Saluja. 1985. “A brief review of models for computing solar radiation on inclined surfaces”. *Energy conversion and management* 25 (4): 443-58.
- Muneer, Tariq. 2007. *Solar radiation and daylight models*. Routledge.
- Newell, M. E., ve F. W. Schmidt. 1970. “Heat transfer by laminar natural convection within rectangular enclosures”. *Journal of heat Transfer* 92 (1): 159-67.
- Omran, Hossein, Ali Ghaffarianhoseini, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Kaamran Raahemifar, ve John Tookey. 2016. “Application of Passive Wall Systems for Improving the Energy Efficiency in Buildings: A Comprehensive Review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62 (Eylül): 1252-69.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.010>.
- Onbaşıoğlu, Hüseyin. 1998. “Trombe duvarlı bir pasif güneş sisteminde türbülanslı doğal taşınımın deneysel incelenmesi”. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, Yasemin, ve Bülent Aksoy. t.y. “Heliosat Model Kullanarak Türkiye İçin Global Güneş Radyasyonu Tahmini”,

- Öztürk, Muhammed Zeynel, Gülден Çetinkaya, ve Selman Aydın. 2017. "Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri". *Coğrafya Dergisi*, sy 35: 17-27.
- Peel, Murray C., Brian L. Finlayson, ve Thomas A. McMahon. 2007. "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification". *Hydrology and earth system sciences discussions* 4 (2): 439-73.
- Perez, Richard, Pierre Ineichen, Robert Seals, Joseph Michalsky, ve Ronald Stewart. 1990. "Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance". *Solar Energy* 44 (5): 271-89. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(90\)90055-H](https://doi.org/10.1016/0038-092X(90)90055-H).
- Perlin, John. 2013. *Let it shine: the 6,000-year story of solar energy*. New World Library.
- Planck, Max. 2013. *The theory of heat radiation*. Courier Corporation.
- Pohlhausen, Karl. 1921. "Zur näherungsweise integration der differentialgleichung der laminaren grenzschrift". *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 1 (4): 252-90.
- Rabani, Mehran, ve Vali Kalantar. 2016. "Numerical Investigation of the Heating Performance of Normal and New Designed Trombe Wall". *Heat and Mass Transfer* 52 (6): 1139-51. <https://doi.org/10.1007/s00231-015-1616-1>.
- Rabani, Mehran, Vali Kalantar, Ali A. Dehghan, ve Ahmadreza K. Faghih. 2015. "Experimental Study of the Heating Performance of a Trombe Wall with a New Design". *Solar Energy* 118 (Ağustos): 359-74. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.002>.
- Raithby, G. D., ve H. H. Wong. 1981. "Heat transfer by natural convection across vertical air layers". *Numerical Heat Transfer* 4 (4): 447-57.
- Randall, K. R., J. W. Mitchell, ve M. M. El-Wakil. 1979. "Natural convection heat transfer characteristics of flat plate enclosures". *Journal of Heat Transfer* 101 (1): 120-25.
- Rayleigh, John William Strutt Baron. 1896. *The theory of sound*. C. 2. Macmillan.
- Rechid, Diana, Thomas J. Raddatz, ve Daniela Jacob. 2009. "Parameterization of Snow-Free Land Surface Albedo as a Function of Vegetation Phenology Based on MODIS Data and Applied in Climate Modelling". *Theoretical and Applied Climatology* 95 (3): 245-55. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0003-y>.
- Sacht, Helenice M., Luis Bragança, Manuela Almeida, ve Rosana Caram. 2015. "Glazing Daylighting Performance and Trombe Wall Thermal Performance of a Modular Façade System in Four Different Portuguese Cities". *Indoor and Built Environment* 24 (4): 544-63. <https://doi.org/10.1177/1420326X14525976>.
- Sev, Ayşin, Volkan Gür, ve Aydan Özgen. 2003. "Cephenin vazgeçilmez saydam malzemesi cam". *Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi*, 6-8. İstanbul

- Shen, Jibao, Stéphane Lassue, Laurent Zalewski, ve Dezhong Huang. 2007. "Numerical study on thermal behavior of classical or composite Trombe solar walls". *Energy and buildings* 39 (8): 962-74.
- Smith, Randall W. 1987. *Department of Defense World Geodetic System 1984: its definition and relationships with local geodetic systems*. Defense Mapping Agency.
- Soğancı Sinan ve Mehmet Oğuz Tutkun. 2019 "Akış Analizleri (Cfd) ve Mühendislik Süreçlerine Katkıları". 14. *Ulusal tesisat mühendisliği kongresi*. İzmir
- Sparrow, Ephraim M., ve L. F. A. Azevedo. 1985. "Vertical-channel natural convection spanning between the fully-developed limit and the single-plate boundary-layer limit". *International Journal of Heat and Mass Transfer* 28 (10): 1847-57.
- Sze, Simon Min. 2008. *Semiconductor devices: physics and technology*. John wiley & sons.
- Şen, Zekai. 2008. *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. Springer.
- Şensoy, S., ve Y. Ulupınar. 2016. "İklim sınıflandırmaları". *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*.
- Tabor, H. 1958. "Radiation, convection and conduction coefficients in solar collectors". *Bull. Res. Counc. Isr., Sect. C* 6 (3).
- Taha, Haider, David J. Sailor, ve Hashem Akbari. 1992. "High-albedo materials for reducing building cooling energy use".
- Tu, Jiyuan, Guan Heng Yeoh, ve Chaoqun Liu. 2018. *Computational fluid dynamics: a practical approach*. Butterworth-Heinemann.
- Türk Standartları Enstitüsü. 2009. *TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Ankara.
- Varınca, Kamil B., ve M. Talha Gönüllü. 2006. "Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma". *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, sy s 272: 275.
- Wah-Yen, Tey, Yutaka Asako, Nor Azwadi Che Sidik, ve Goh Rui-Zher. 2017. "Governing equations in computational fluid dynamics: Derivations and a recent review". *Journal of Progress in Energy and Environment* 1: 1-19.
- Wang, Weiliang, Zhe Tian, ve Yan Ding. 2013. "Investigation on the influencing factors of energy consumption and thermal comfort for a passive solar house with water thermal storage wall". *Energy and Buildings* 64: 218-23.
- Wazwaz, A, J Salmi, H Hallak, ve R Bes. 2002. "Solar Thermal Performance of a Nickel-Pigmented Aluminium Oxide Selective Absorber". *Renewable Energy* 27 (2): 277-92. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00192-6](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00192-6).

- Welty, James, Gregory L. Rorrer, ve David G. Foster. 2020. *Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- Yadav, Amit Kumar, ve S. S. Chandel. 2013. "Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 503-13.
- Yakhot, Vsastbcg, S. A. Orszag, Siva Thangam, T. B. Gatski, ve C. G. Speziale. 1992. "Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique". *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics* 4 (7): 1510-20.
- Yeang, Ken. 2006. "Ecodesign: A manual for ecological design".
- Young, Donald F., Bruce R. Munson, Theodore H. Okiishi, ve Wade W. Huebsch. 2010. *A brief introduction to fluid mechanics*. John Wiley & Sons.
- Zengin, Burhan. 2001. *Hasankeyf tarihi ve tarihi eserleri*. İstanbul: Prestij Reklam Ltd. Şti., 2. Basım,
- Zhou, Guobing, ve Mengmeng Pang. 2015. "Experimental Investigations on Thermal Performance of Phase Change Material – Trombe Wall System Enhanced by Delta Winglet Vortex Generators". *Energy* 93 (Aralık): 758-69. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.096>.

**EKLER****EK-1 Deney Sistemi Düzenegi**

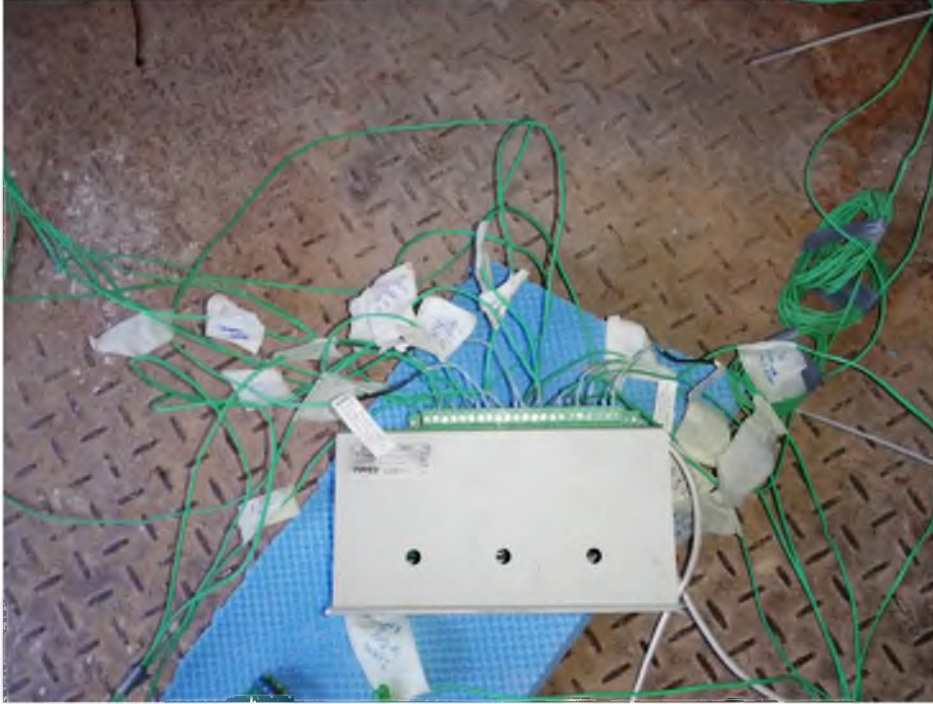
**Şekil 1.1.** Düz panel boyanmış



**Şekil 1.2.** 27/200 trapez panel boyanmamış



Şekil 1.3. Sinüs oluklu 76/18 trapez sac boyanmamış



Şekil 1.4. Datalogger ve termokupllar



Şekil 1.5. Deney modelinin görüntüsü



Şekil 1.6. Termal bölge ölçüm noktaları



Şekil 1.7. Ölçüm aletleri ve veri kaydedici



Şekil 1.8. Pc ve veri kaydedici çıkış bağlantıları



Şekil 1.9. Dency Odası, Pc ve veri kaydedici

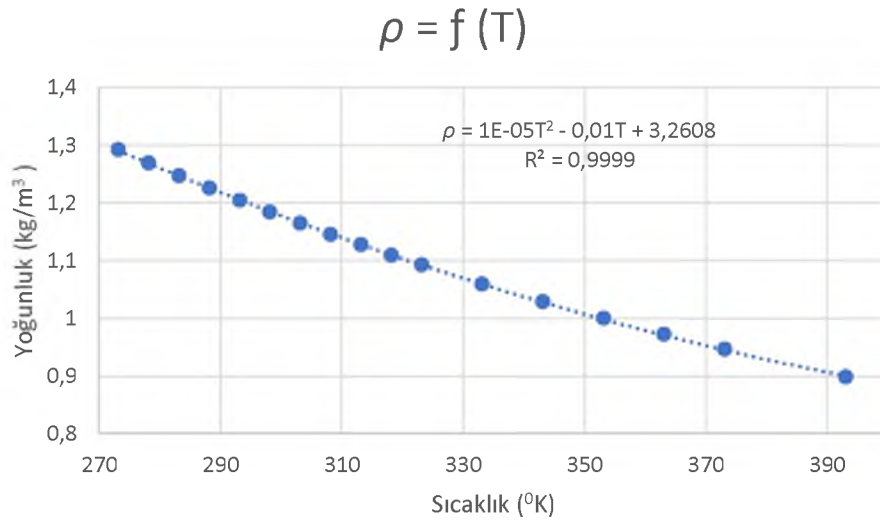


Şekil 1.10. Absorban panellerin tedarik süreci

## EK-2 Havanın Termofiziksel Özellikleri

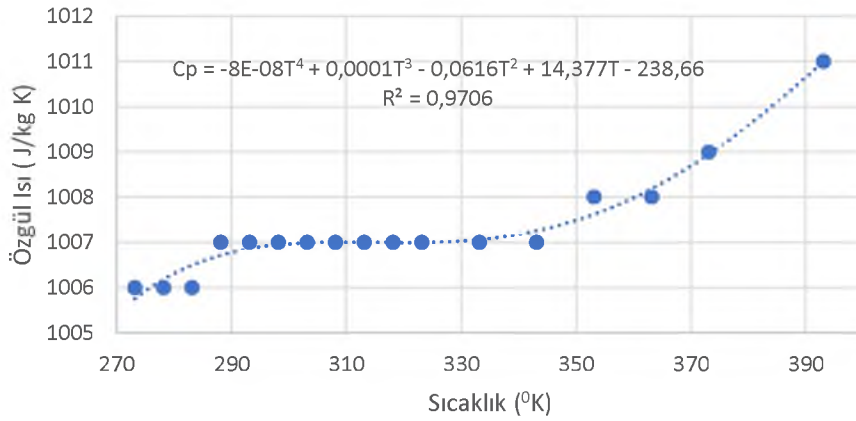
**Tablo 2.1.** Deneysel çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri (Cengel 2014)

| Sıcaklık |        | Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Özgül Isı<br>(J/kg K) | Isı İletim<br>Katsayısı<br>(W/m.K) | Isıl Yayınım<br>Katsayısı<br>(m <sup>2</sup> /s) | Dinamik<br>Viskozite<br>(kg/m.s) | Kinematik<br>Viskozite<br>(m <sup>2</sup> /s) | Prandtl<br>Sayısı |
|----------|--------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------------|
| °C       | °K     | $\rho$                           | Cp                    | k                                  | $\alpha$   | $\mu$                            | $\nu$   | Pr                |
| 0        | 273,15 | 1,292                            | 1006                  | 0,02364                            | 0,00001818                                       | 0,00001729                       | 0,00001334                                    | 0,7362            |
| 5        | 278,15 | 1,269                            | 1006                  | 0,02401                            | 0,00001880                                       | 0,00001754                       | 0,00001382                                    | 0,7350            |
| 10       | 283,15 | 1,246                            | 1006                  | 0,02439                            | 0,00001944                                       | 0,00001778                       | 0,00001426                                    | 0,7336            |
| 15       | 288,15 | 1,225                            | 1007                  | 0,02476                            | 0,00002009                                       | 0,00001802                       | 0,00001470                                    | 0,7323            |
| 20       | 293,15 | 1,204                            | 1007                  | 0,02514                            | 0,00002074                                       | 0,00001825                       | 0,00001516                                    | 0,7309            |
| 25       | 298,15 | 1,184                            | 1007                  | 0,02551                            | 0,00002141                                       | 0,00001849                       | 0,00001562                                    | 0,7296            |
| 30       | 303,15 | 1,164                            | 1007                  | 0,02588                            | 0,00002208                                       | 0,00001872                       | 0,00001608                                    | 0,7282            |
| 35       | 308,15 | 1,145                            | 1007                  | 0,02625                            | 0,00002277                                       | 0,00001895                       | 0,00001655                                    | 0,7268            |
| 40       | 313,15 | 1,127                            | 1007                  | 0,02662                            | 0,00002346                                       | 0,00001918                       | 0,00001702                                    | 0,7255            |
| 45       | 318,15 | 1,109                            | 1007                  | 0,02699                            | 0,00002416                                       | 0,00001941                       | 0,00001750                                    | 0,7241            |
| 50       | 323,15 | 1,092                            | 1007                  | 0,02735                            | 0,00002487                                       | 0,00001963                       | 0,00001798                                    | 0,7228            |
| 60       | 333,15 | 1,059                            | 1007                  | 0,02808                            | 0,00002632                                       | 0,00002008                       | 0,00001896                                    | 0,7202            |
| 70       | 343,15 | 1,028                            | 1007                  | 0,02881                            | 0,00002780                                       | 0,00002052                       | 0,00001995                                    | 0,7177            |
| 80       | 353,15 | 0,9994                           | 1008                  | 0,02953                            | 0,00002931                                       | 0,00002096                       | 0,00002097                                    | 0,7154            |
| 90       | 363,15 | 0,9718                           | 1008                  | 0,03024                            | 0,00003086                                       | 0,00002139                       | 0,00002201                                    | 0,7132            |
| 100      | 373,15 | 0,9458                           | 1009                  | 0,03095                            | 0,00003243                                       | 0,00002181                       | 0,00002306                                    | 0,7111            |
| 120      | 393,15 | 0,8977                           | 1011                  | 0,03235                            | 0,00003565                                       | 0,00002264                       | 0,00002522                                    | 0,7073            |



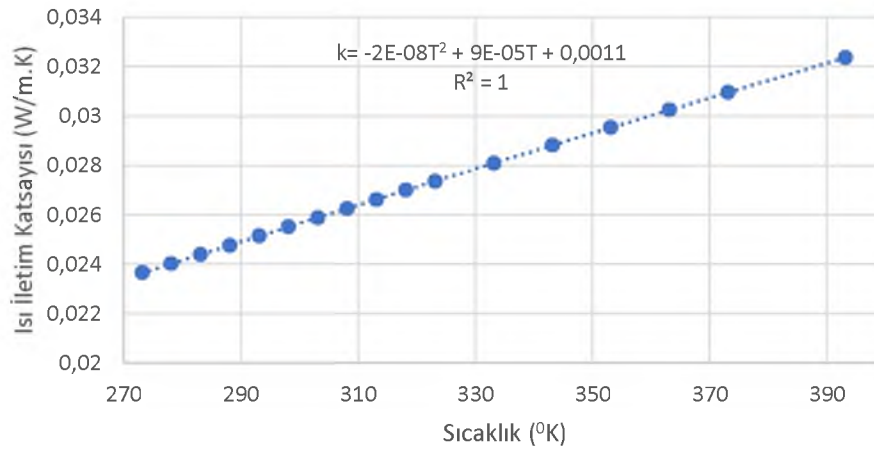
**Şekil 2.1.** Yoğunluk - sıcaklık

$$C_p = f(T)$$



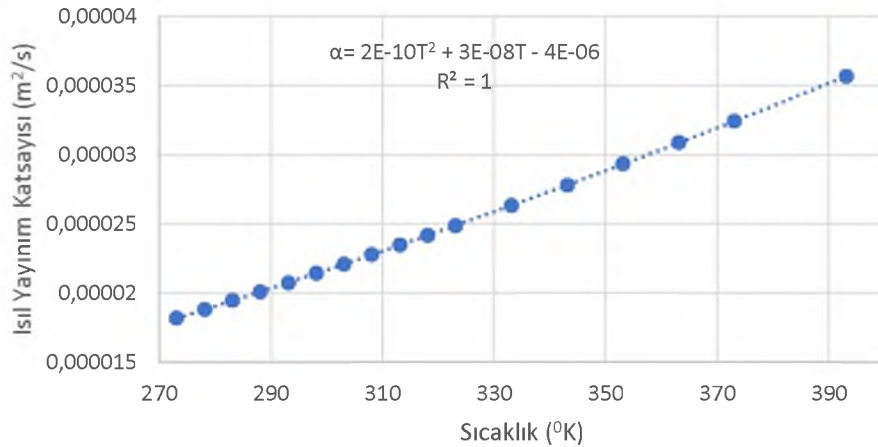
Şekil 2.2. Özgül ısı – sıcaklık

$$k = f(T)$$

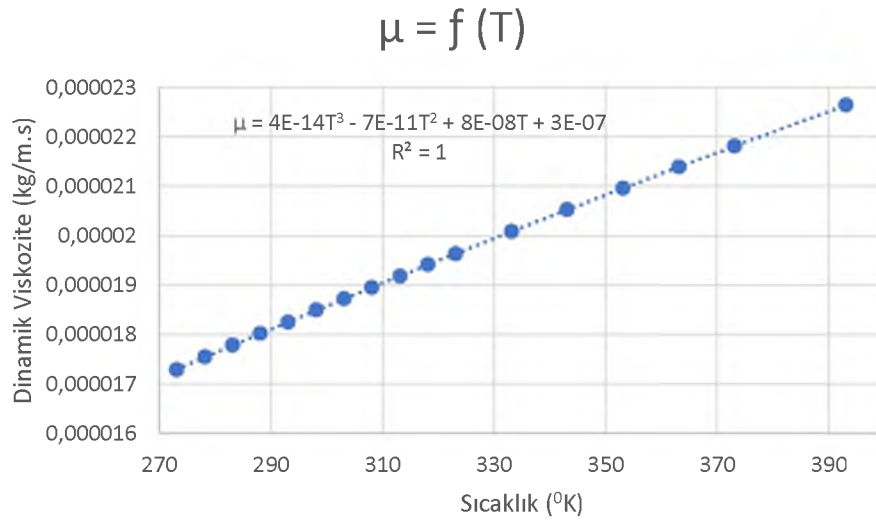


Şekil 2.3. Isı iletim katsayısı- sıcaklık

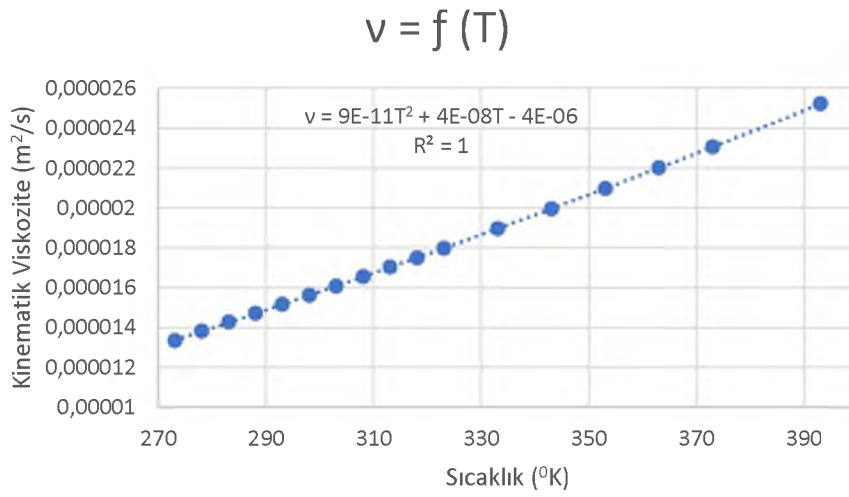
$$\alpha = f(T)$$



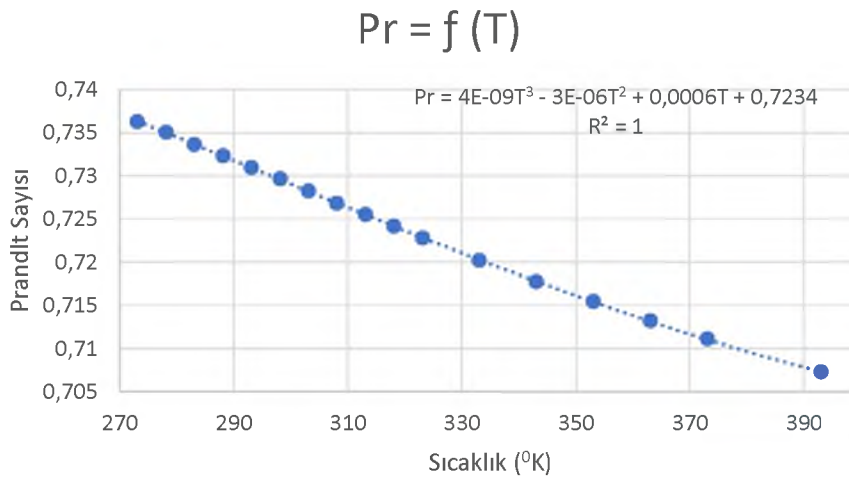
Şekil 2.4. Isı yayılım katsayısı- sıcaklık



Şekil 2.5. Dinamik viskozite - sıcaklık

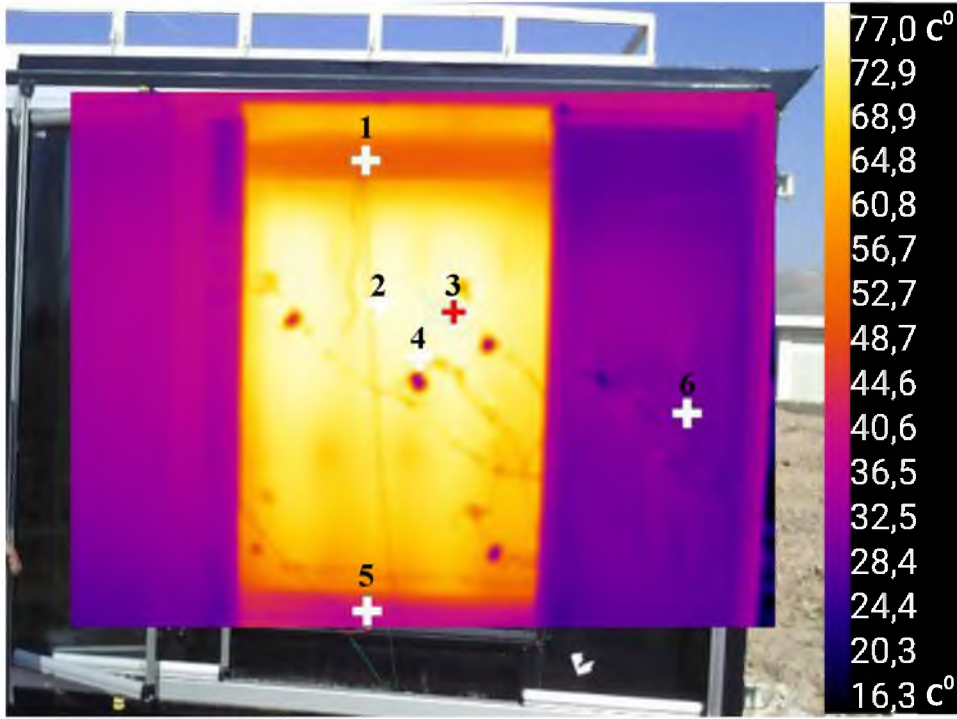


Şekil 2.6. Kinematik viskozite - sıcaklık



Şekil 2.7. Prandtl Sayısı - Sıcaklık

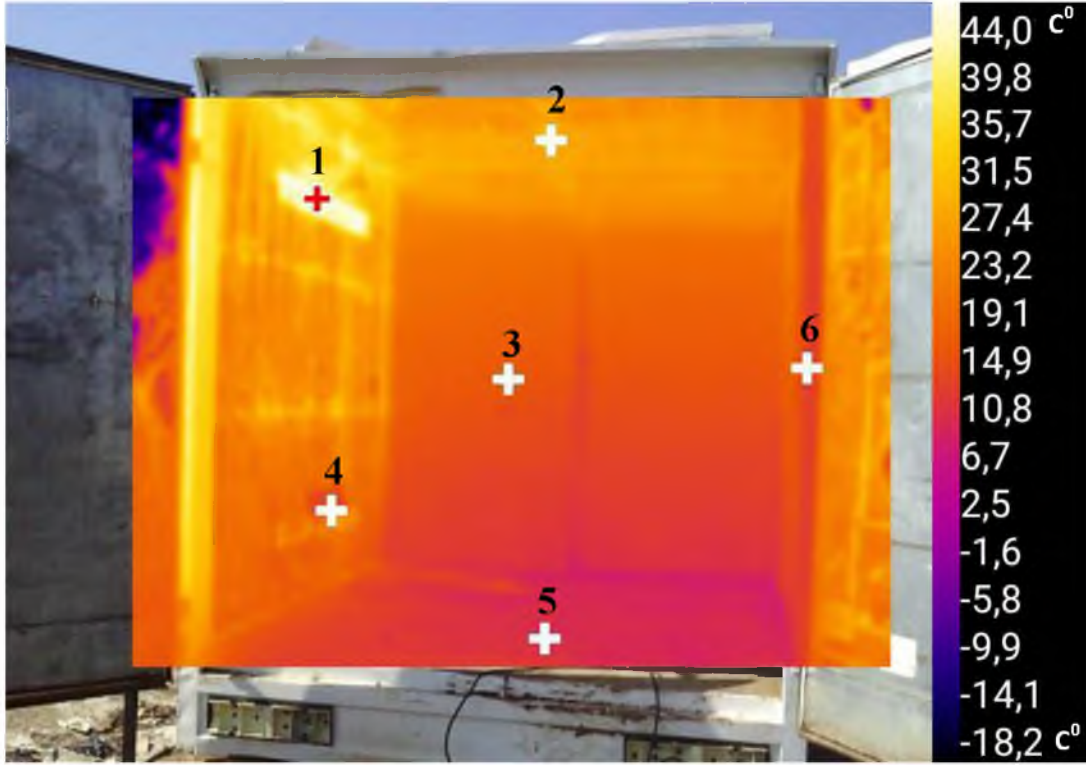
### EK-3 Termal Kamera Görüntüleri



Şekil. 3.1. Absorban panel ve cam sıcaklığı termal kamera görüntüsü

Tablo. 3.1. Absorban panel ve cam sıcaklığı termal kamera açıklaması

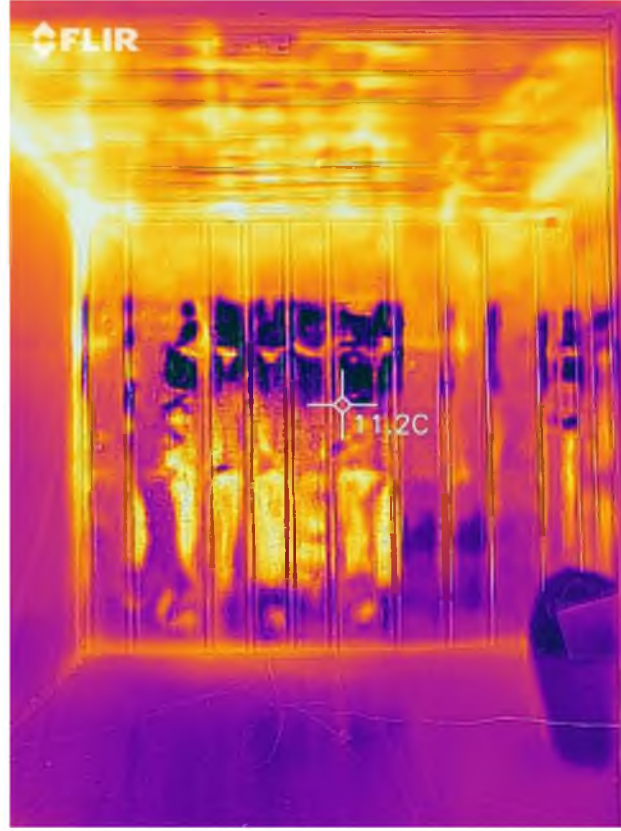
| Konum | Açıklama         | Sıra   | Sıcaklık °C |
|-------|------------------|--------|-------------|
| 1     | Üst Menfez Çıkış | T9     | 58,53       |
| 2     | Absorban Panel   | T(4-7) | 73,18       |
| 3     | Absorban Panel   | T(4-7) | 75,86       |
| 4     | Absorban Panel   | T(4-7) | 72,92       |
| 5     | Alt Menfez Giriş | T8     | 32,12       |
| 6     | Cam Yüzey        | T1     | 30,06       |



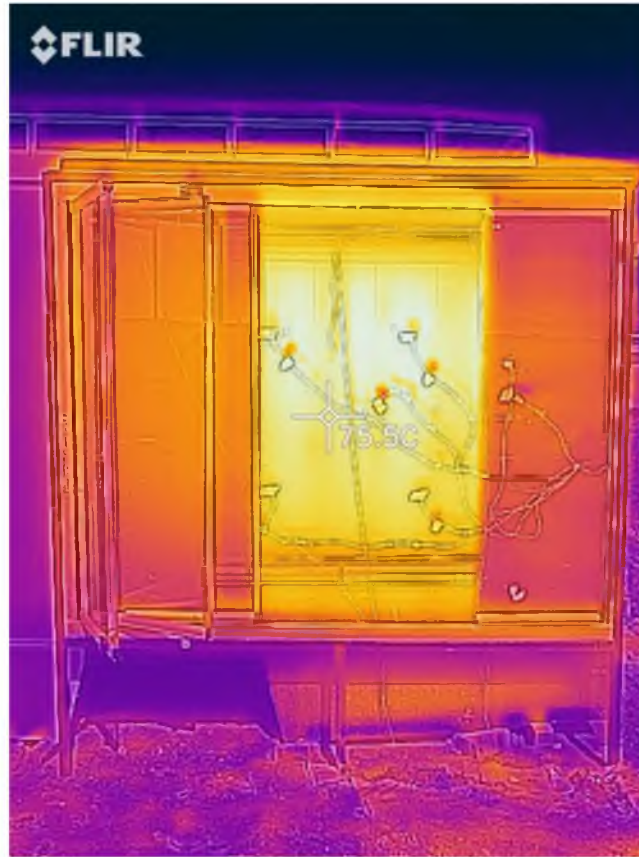
Şekil. 3.2. Deney odası sıcaklığı termal kamera görüntüsü

Tablo. 3.2. Deney odası sıcaklığı termal kamera açıklaması

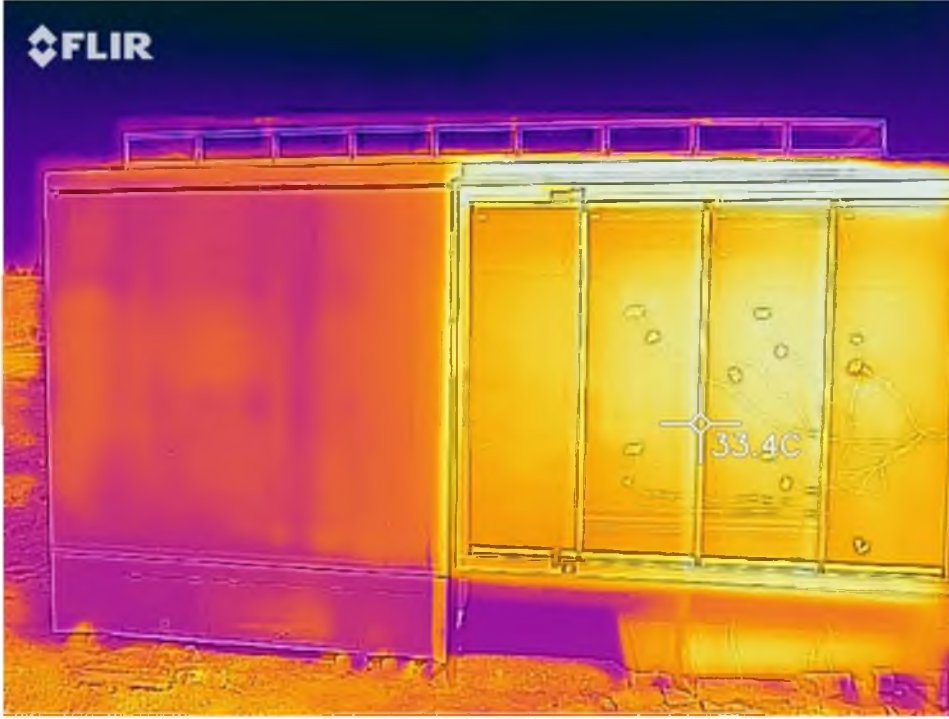
| Konum | Açıklama         | Sıra | Sıcaklık °C |
|-------|------------------|------|-------------|
| 1     | Üst Menfez Çıkış | T9   | 43,17       |
| 2     | Oda Üst          | T12  | 37,08       |
| 3     | Oda Orta         | T13  | 26,03       |
| 4     | Alt Menfez Giriş | T8   | 16,02       |
| 5     | Oda Taban        | T~14 | 9,87        |
| 6     | Kuzey Duvar      | T11  | 12,29       |



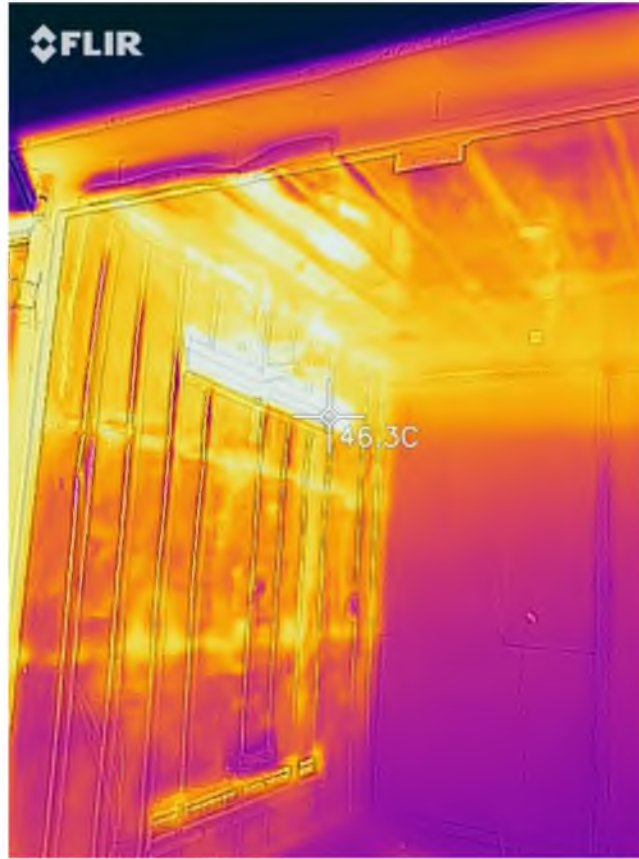
Şekil. 3.3. Test odası sıcaklığı termal kamera görüntüsü



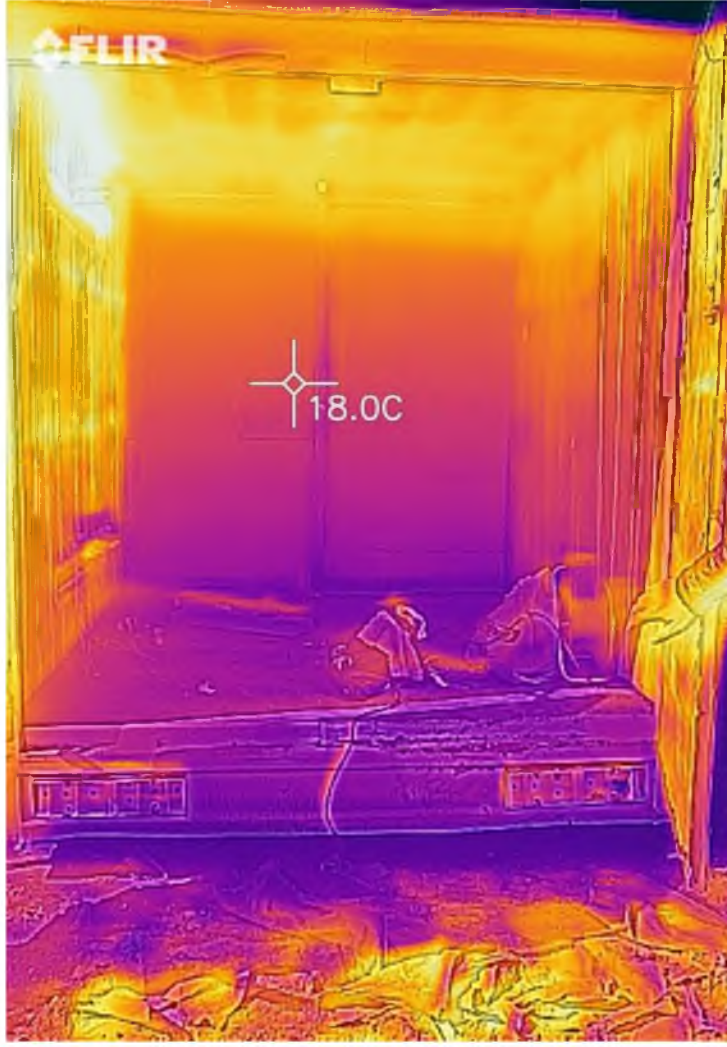
Şekil. 3.4. Absorban panel sıcaklığı termal kamera görüntüsü



Şekil. 3.5. Cam yüzey sıcaklığı termal kamera görüntüsü

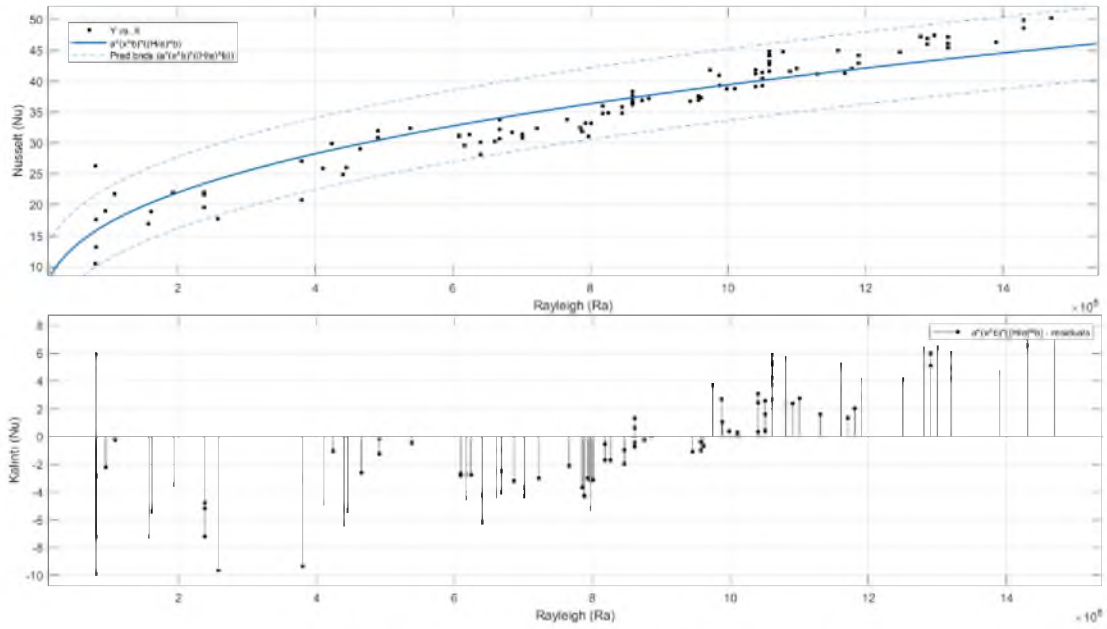


Şekil. 3.6. Üst menfez çıkış sıcaklığı termal kamera görüntüsü

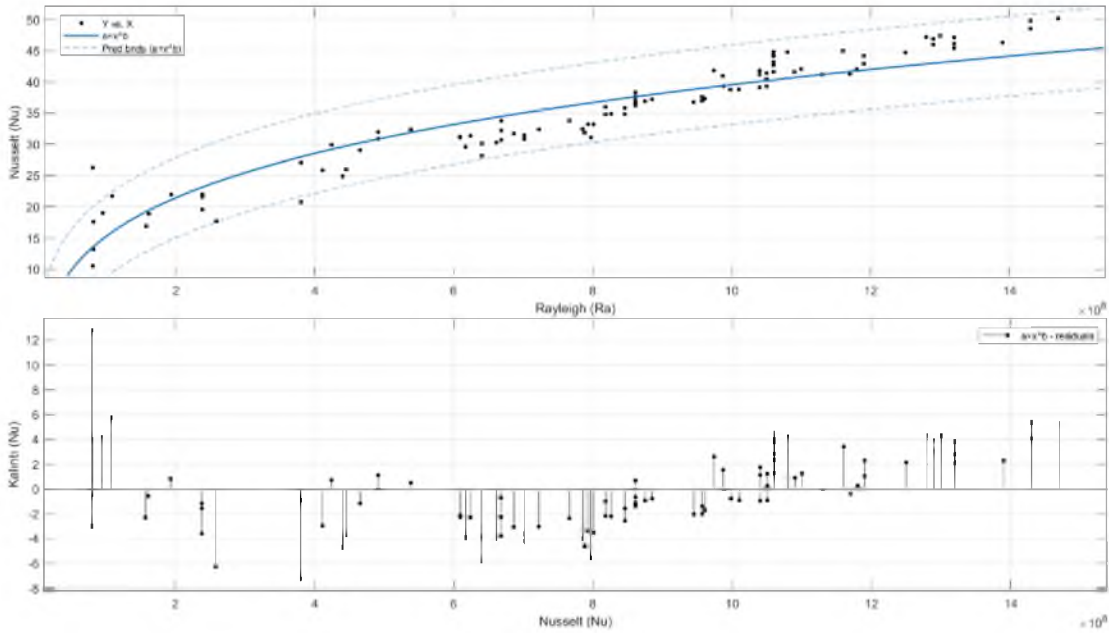


Şekil. 3.7. Deney odası sıcaklığı termal kamera görüntüsü

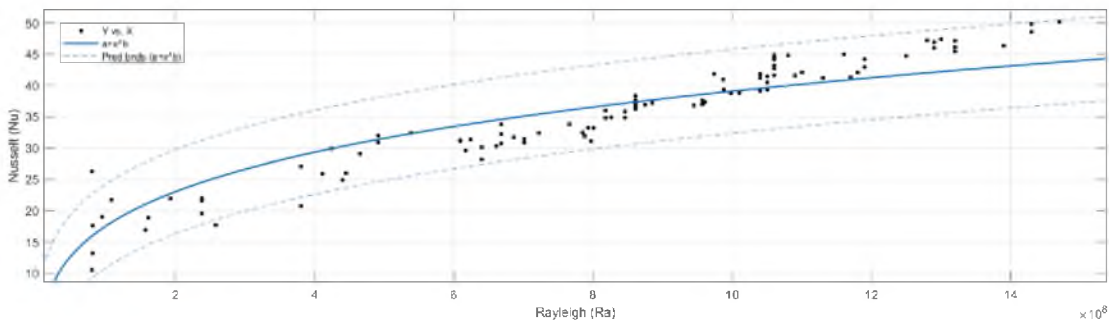
#### EK-4 Düz Absorban Panel Eğri Uydurma Grafikleri

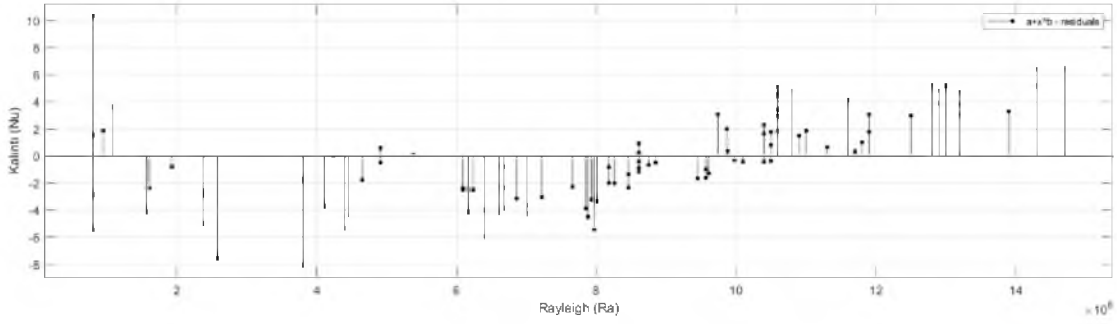


Şekil. 4.1. Eş 1.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

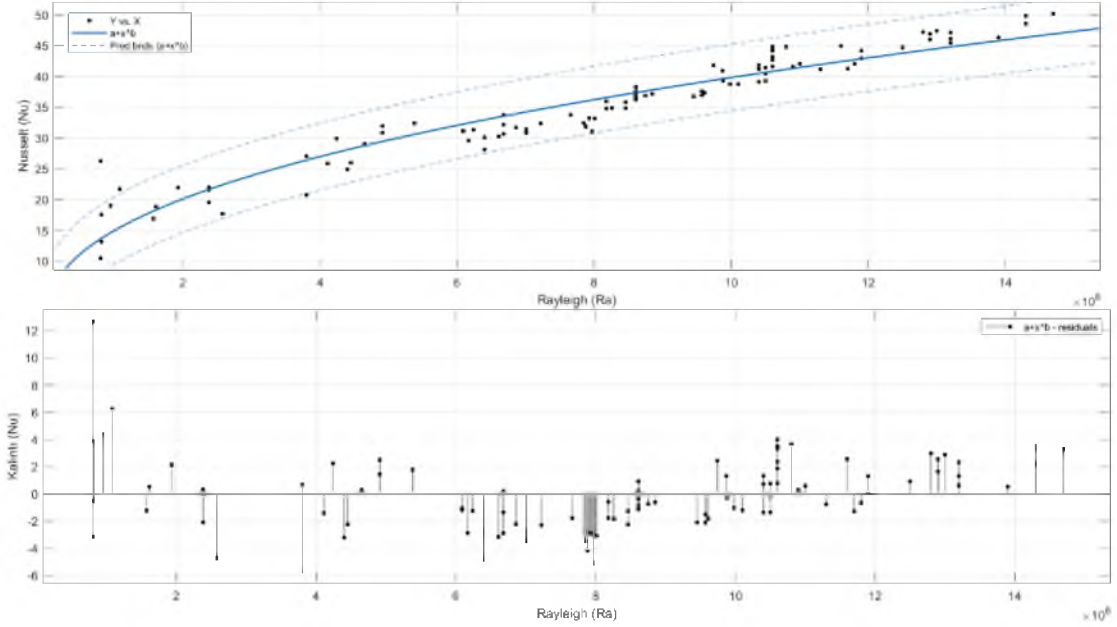


Şekil. 4.2. Eş 2.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

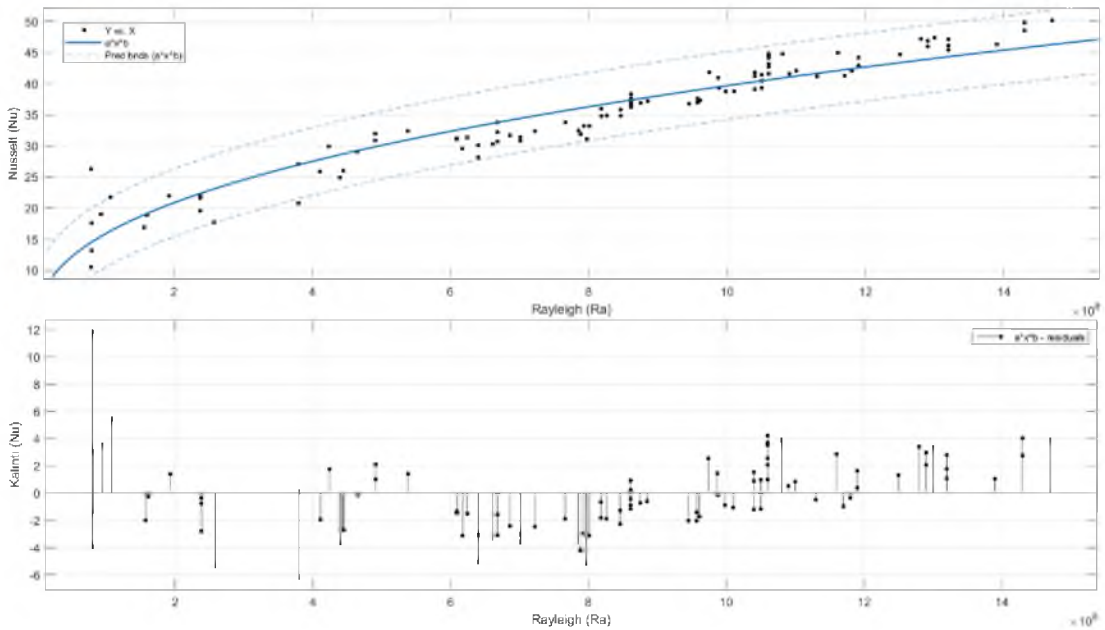




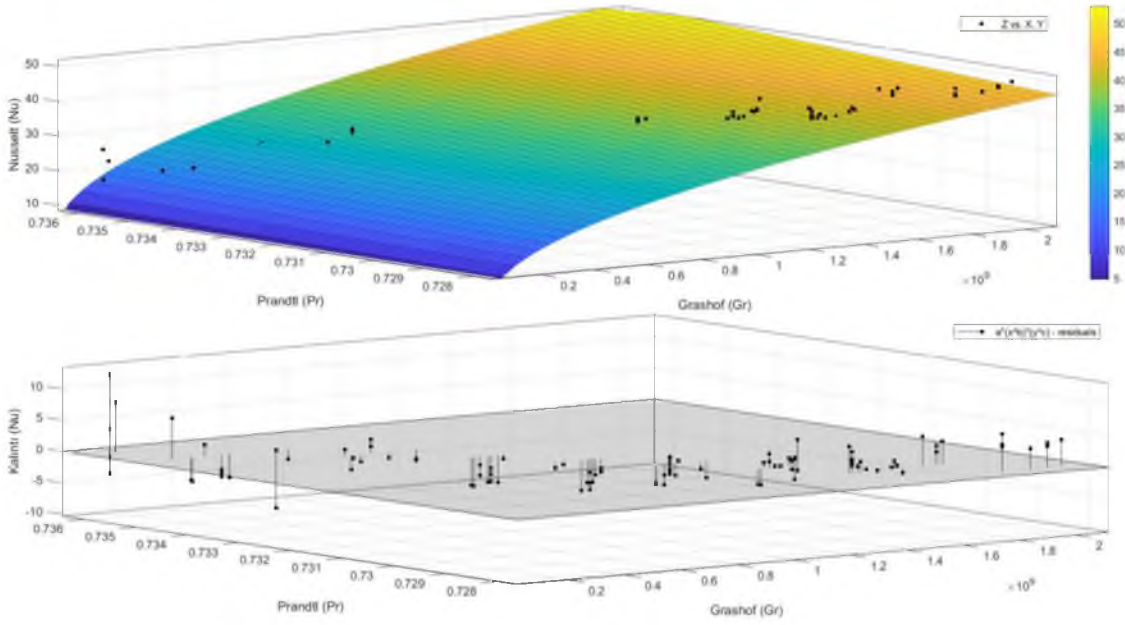
Şekil. 4.3. Eş 2.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



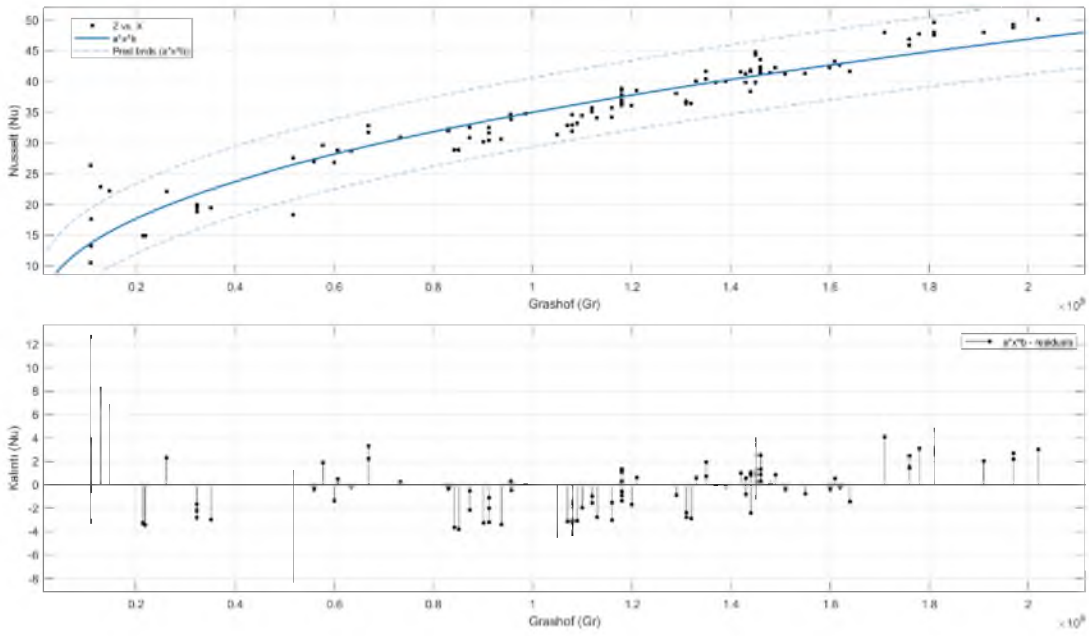
Şekil. 4.4. Eş 3.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



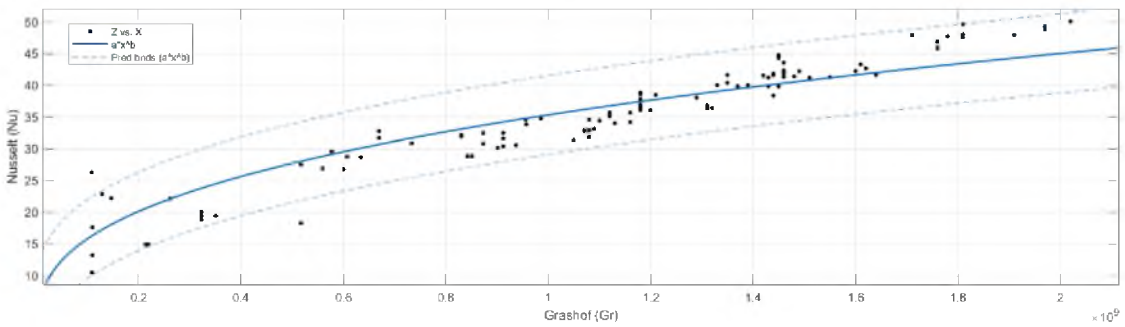
Şekil. 4.5. Eş 3.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

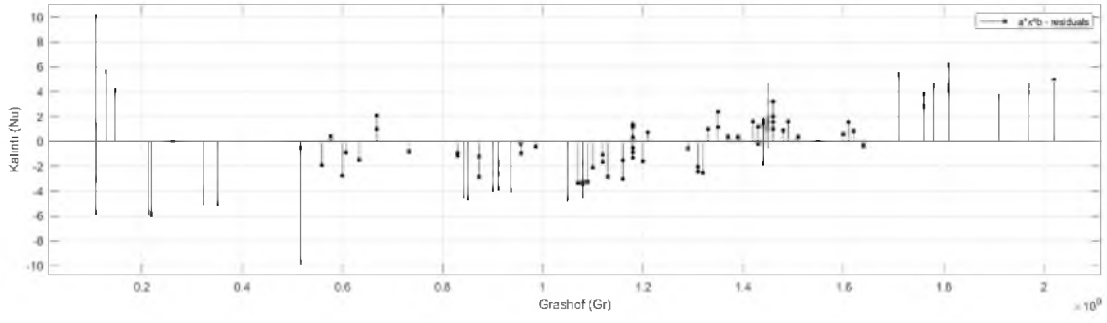


Şekil. 4.6. Eş 4.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

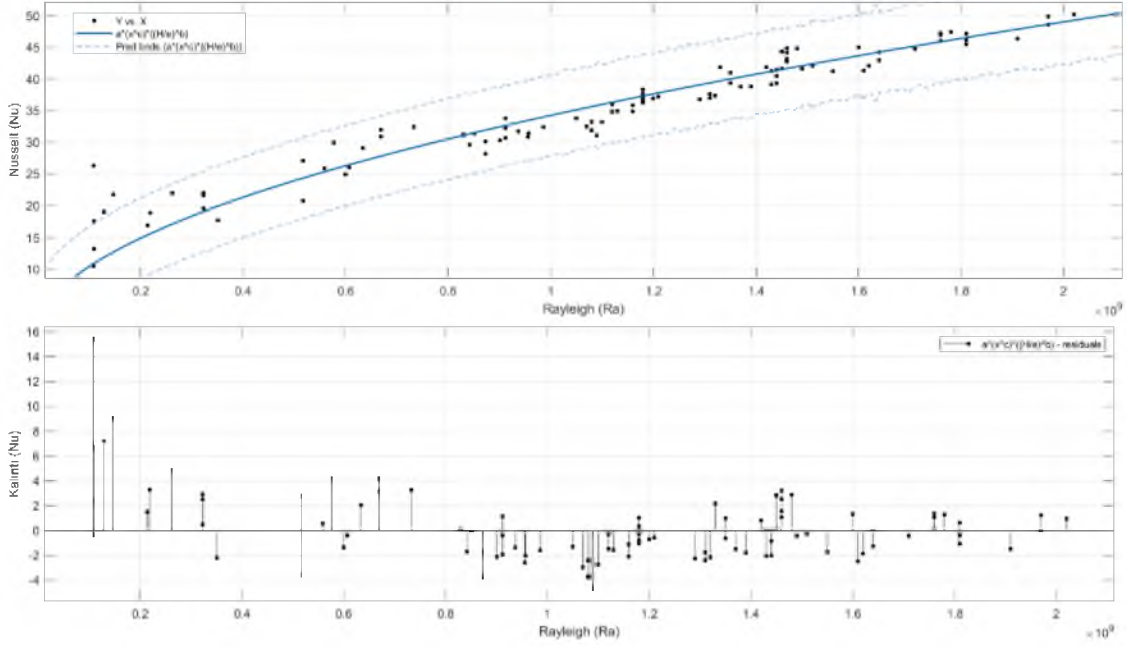


Şekil. 4.7. Eş 5.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

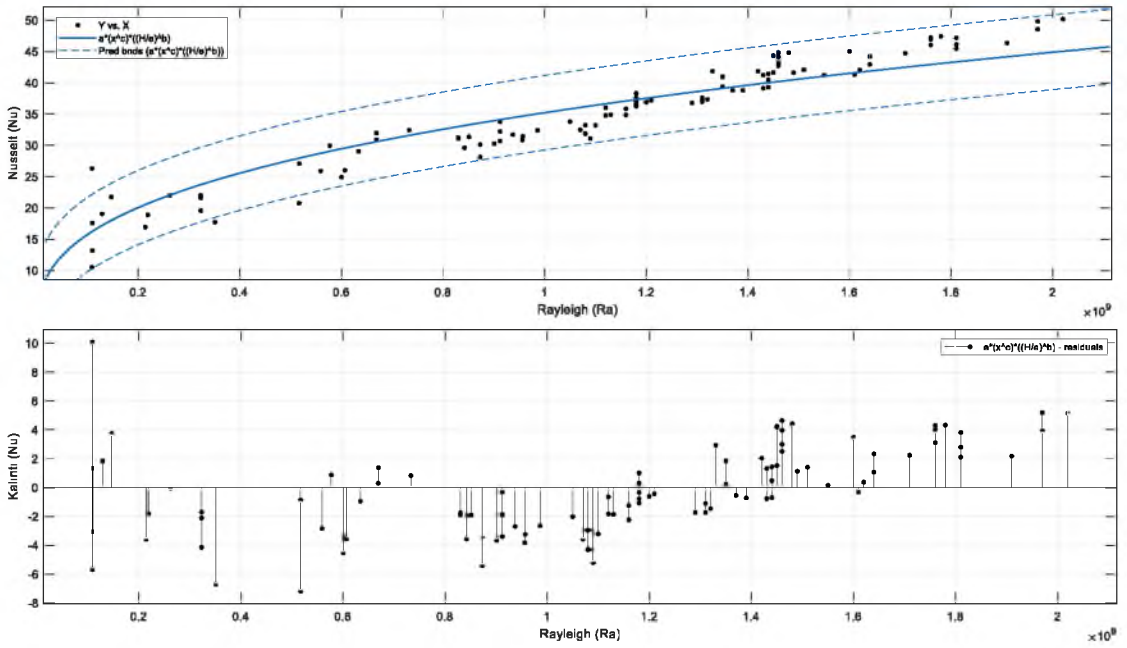




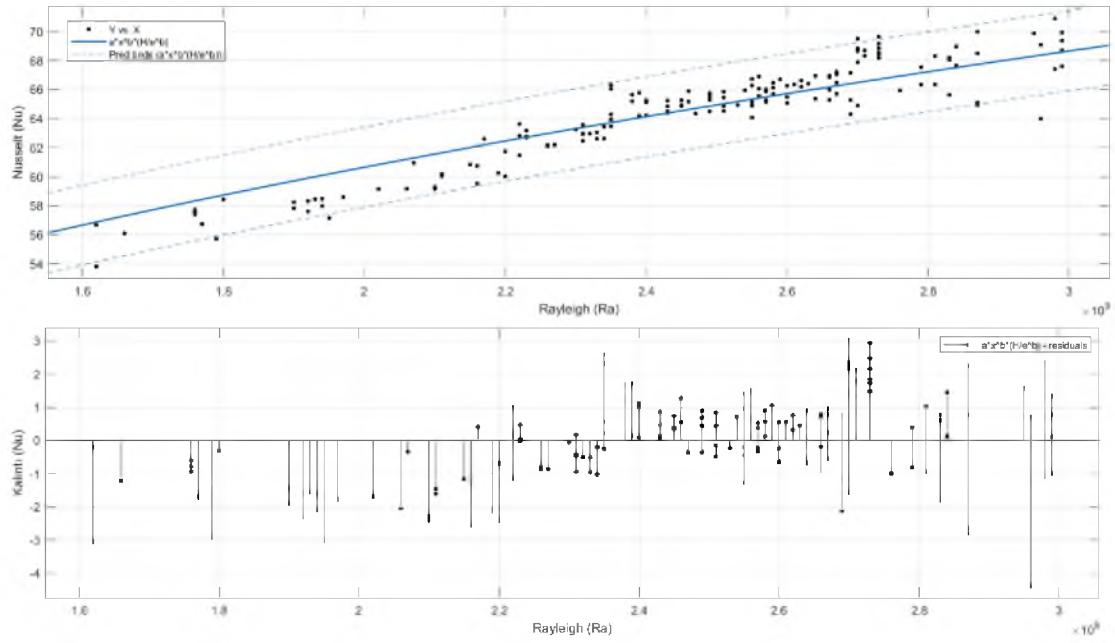
Şekil. 4.8. Eş 5.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



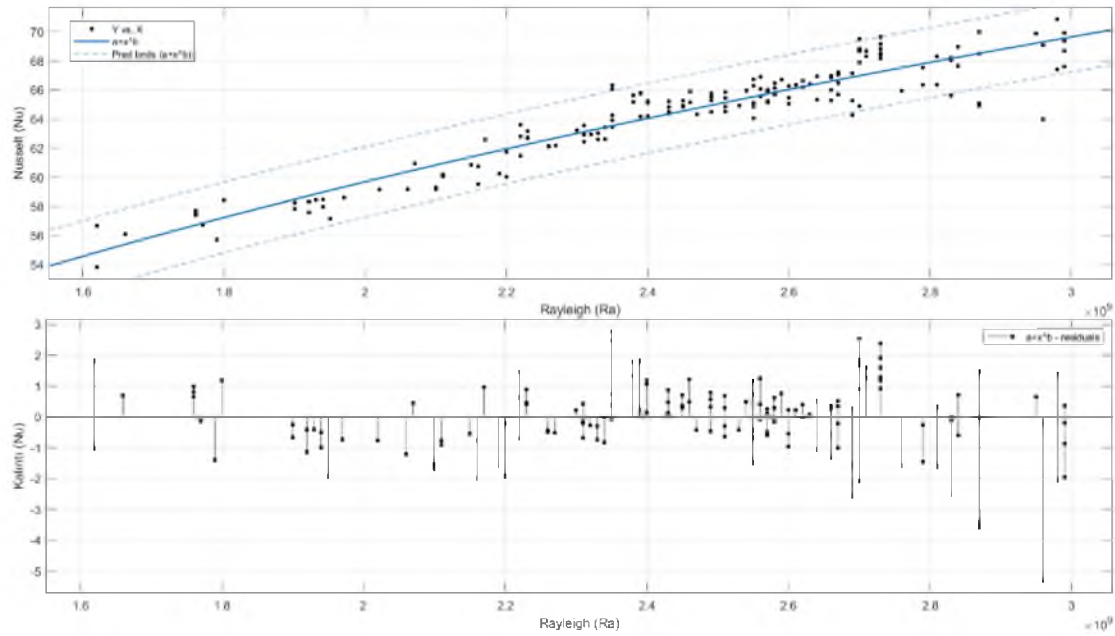
Şekil. 4.9. Eş 6.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



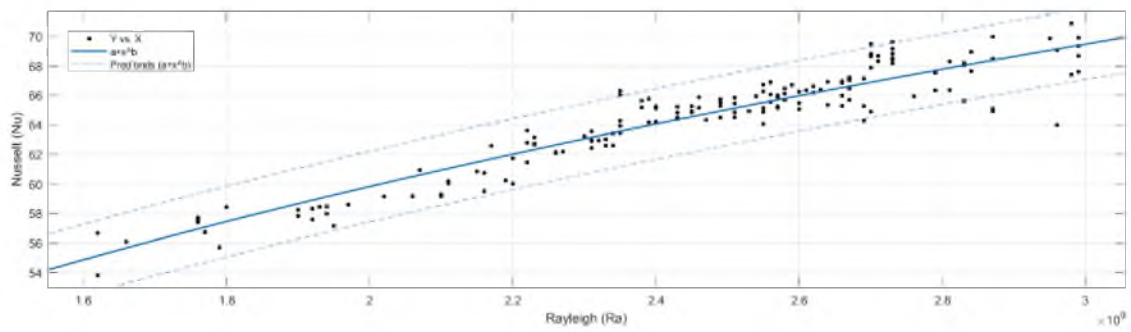
Şekil. 4.10. Eş 6.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

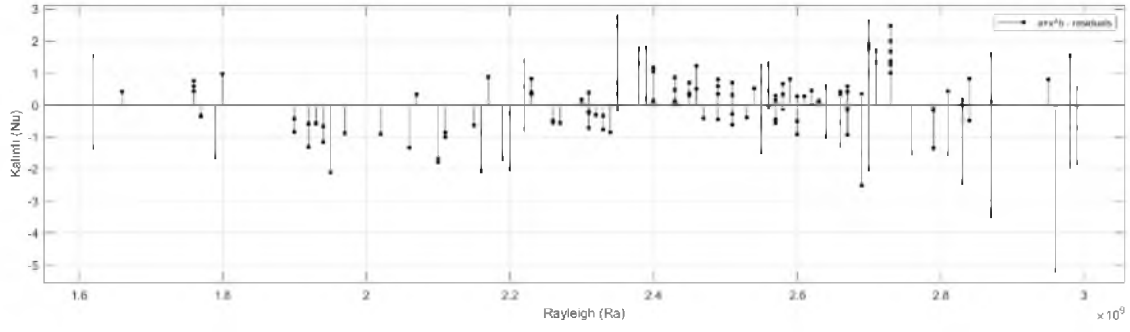


Şekil. 4.11. Eş 7.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

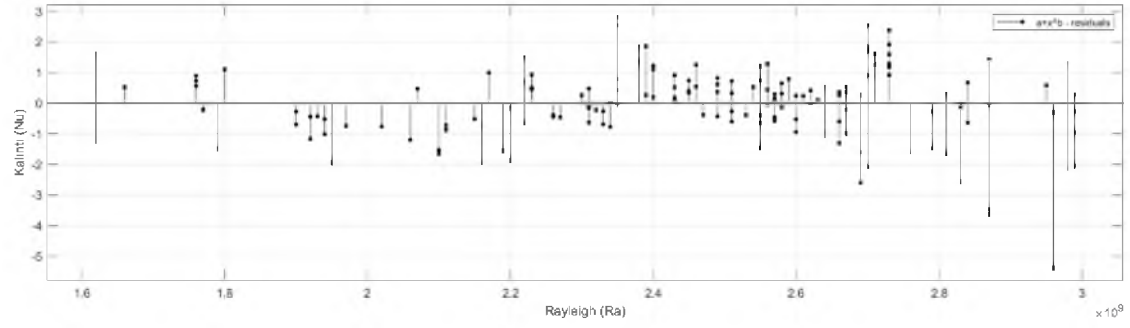
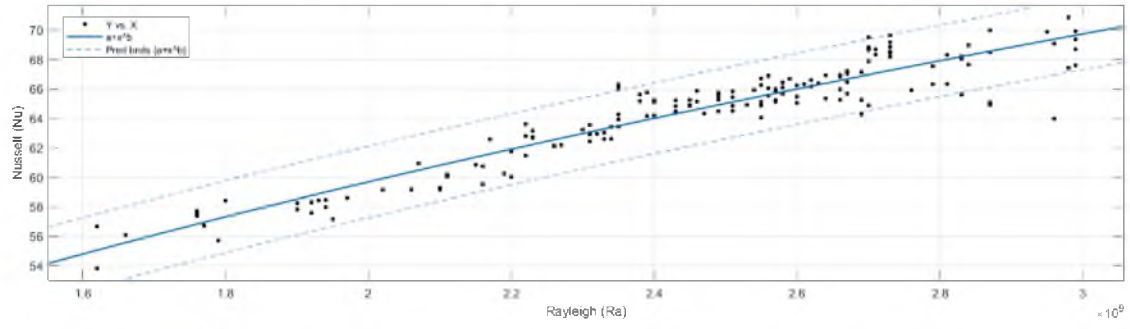


Şekil. 4.12. Eş 8.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

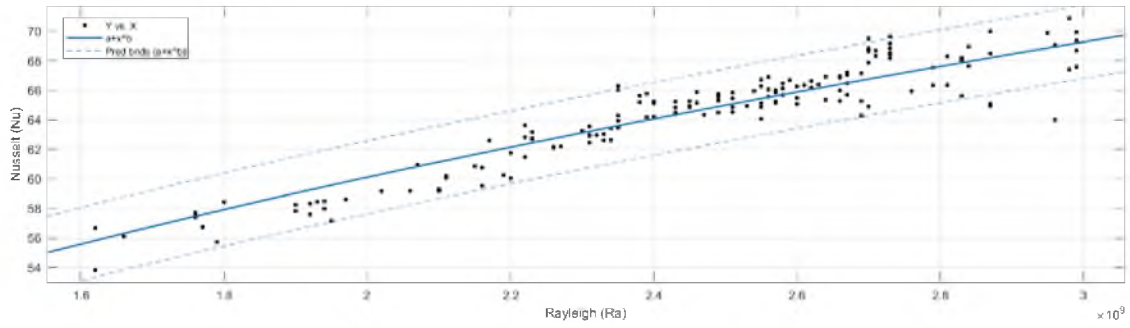


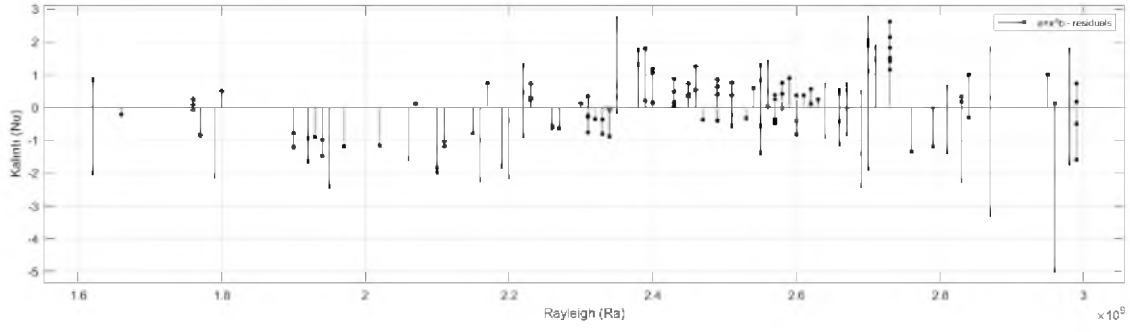


Şekil. 4.13. Eş 8.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

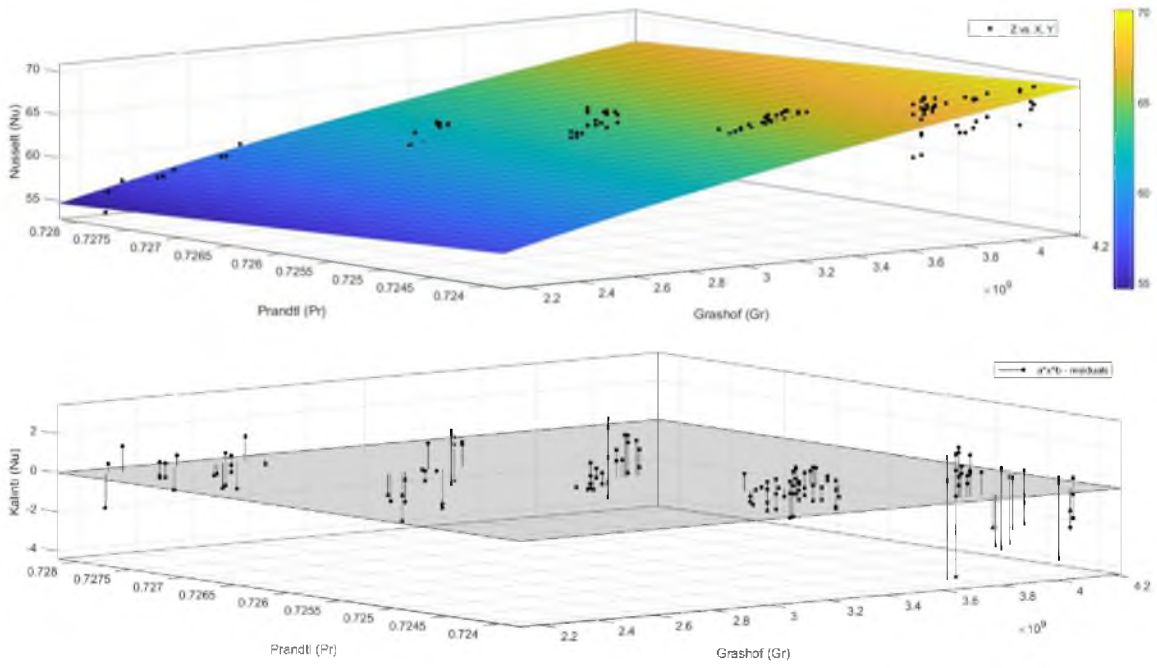


Şekil. 4.14. Eş 9.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

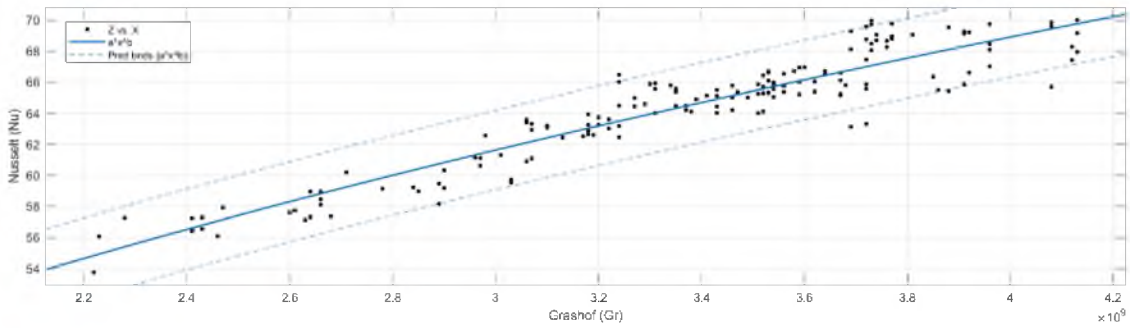


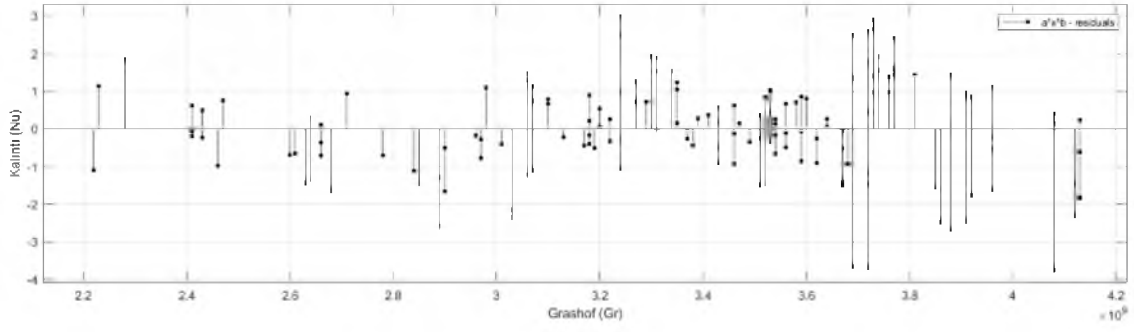


Şekil. 4.15. Eş 9.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

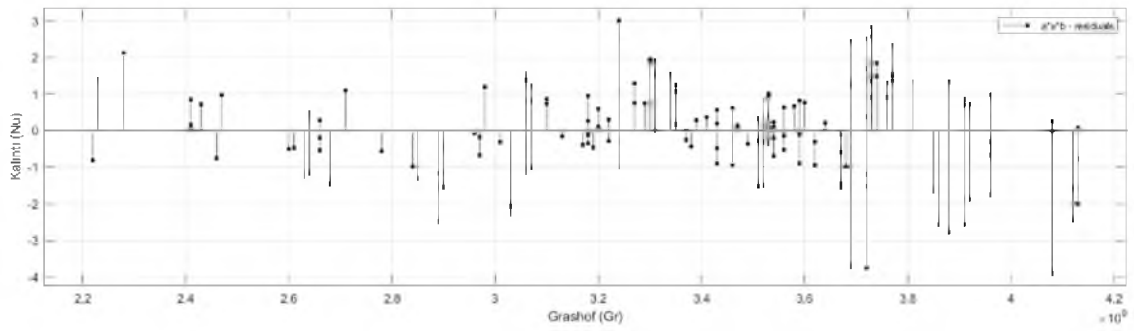
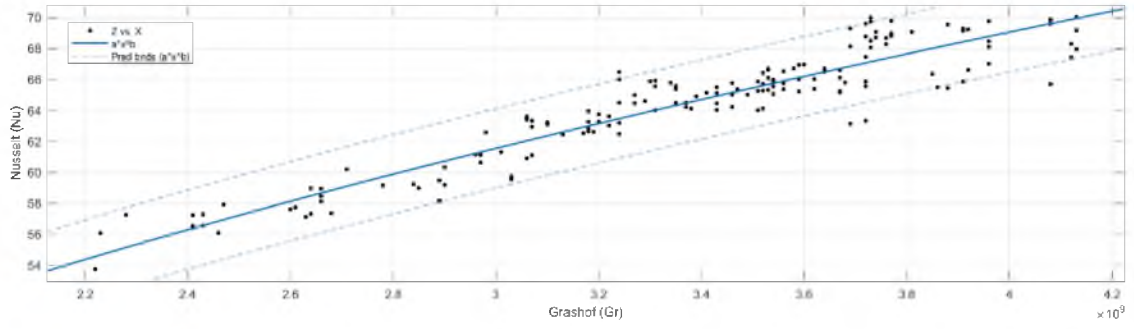


Şekil. 4.16. Eş 10.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

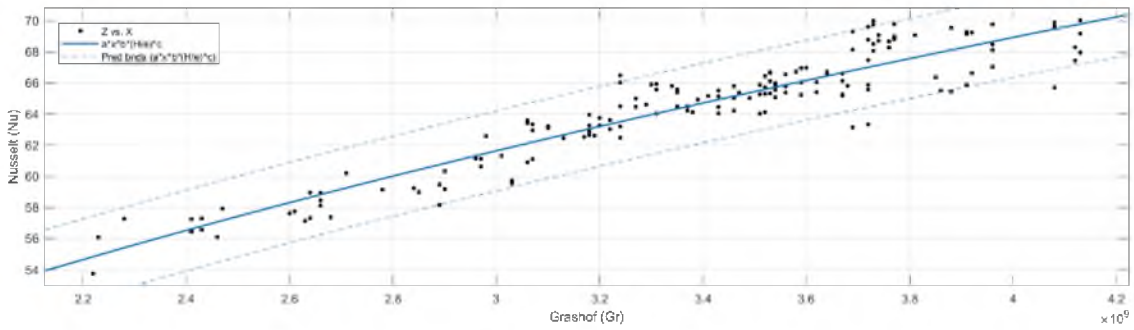


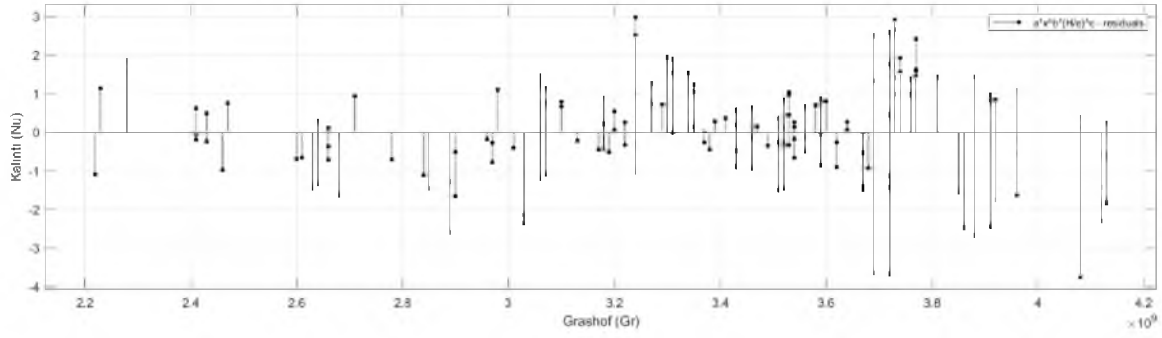


Şekil. 4.17. Eş 11.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

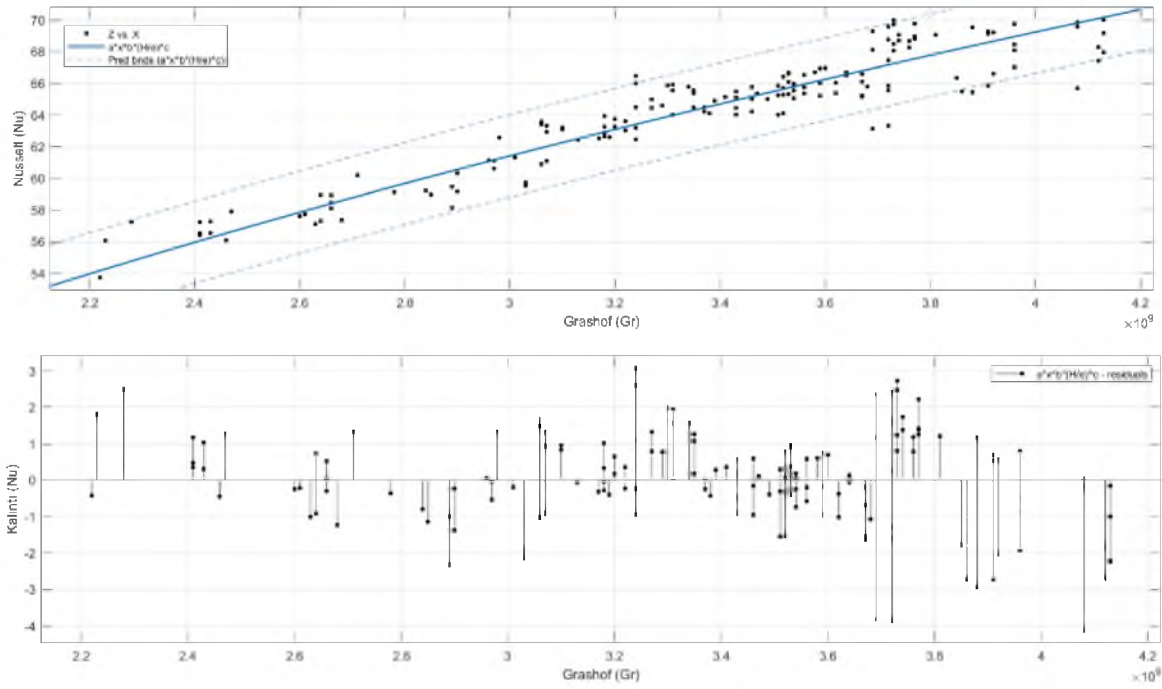


Şekil. 4.18. Eş 11.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

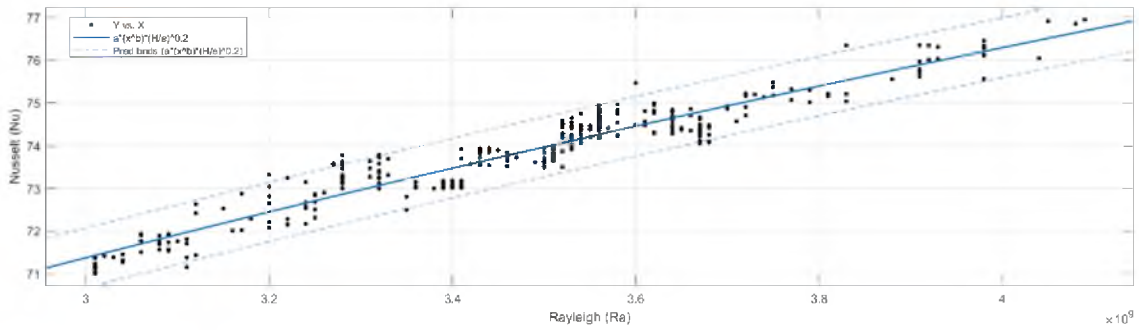


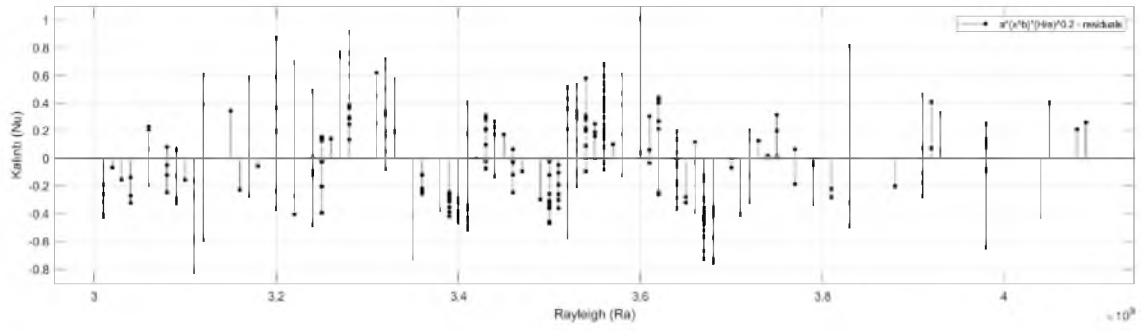


Şekil. 4.19. Eş 12.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

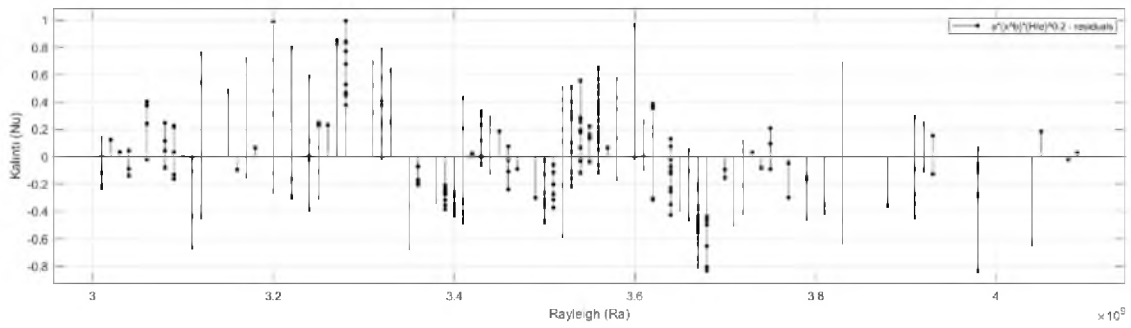
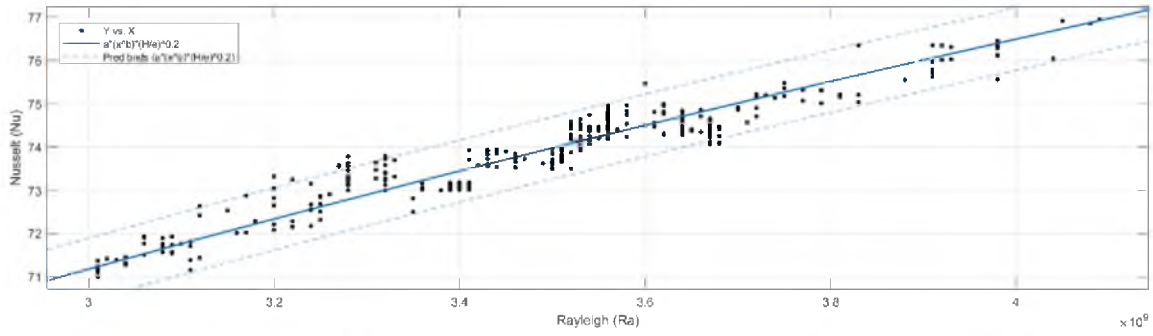


Şekil. 4.20. Eş 12.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

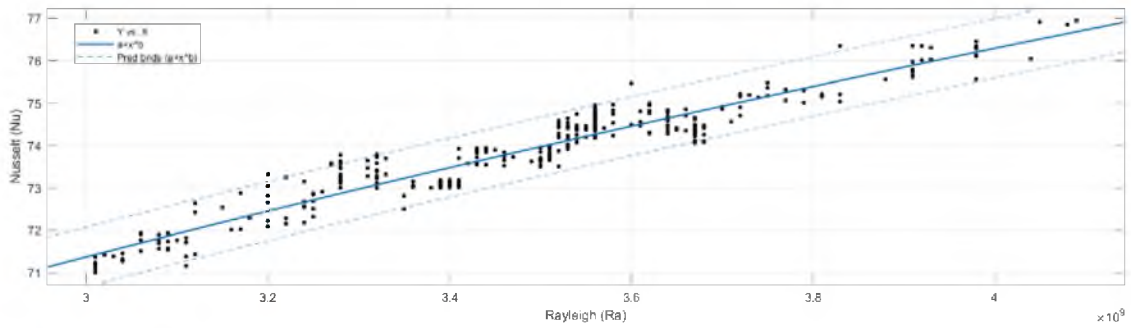


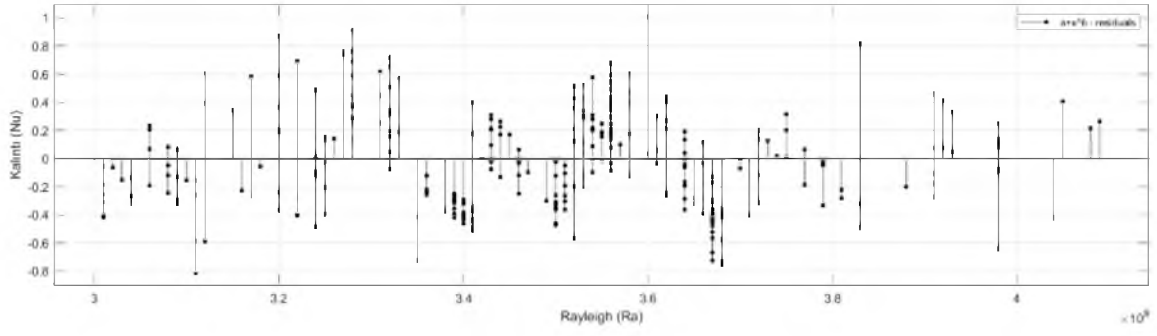


Şekil. 4.21. Eş 13.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

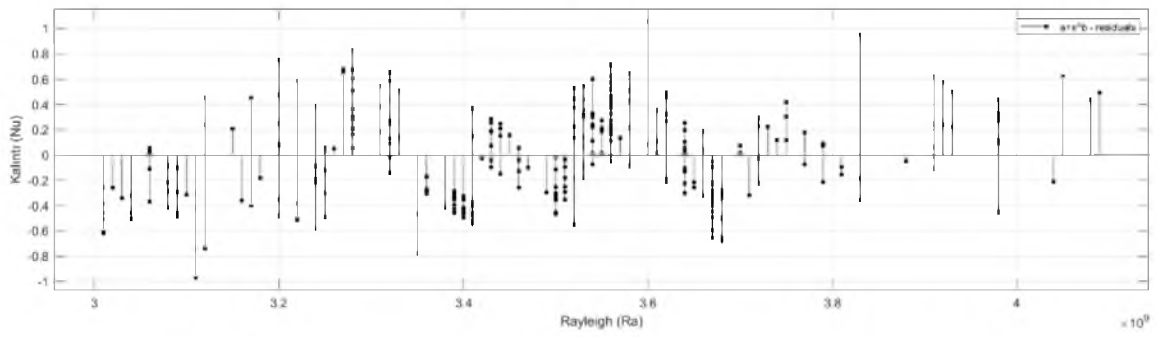
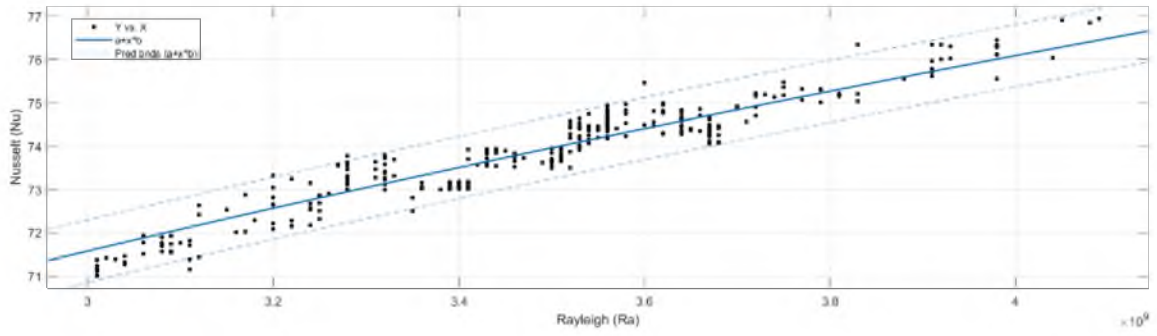


Şekil. 4.22. Eş 13.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

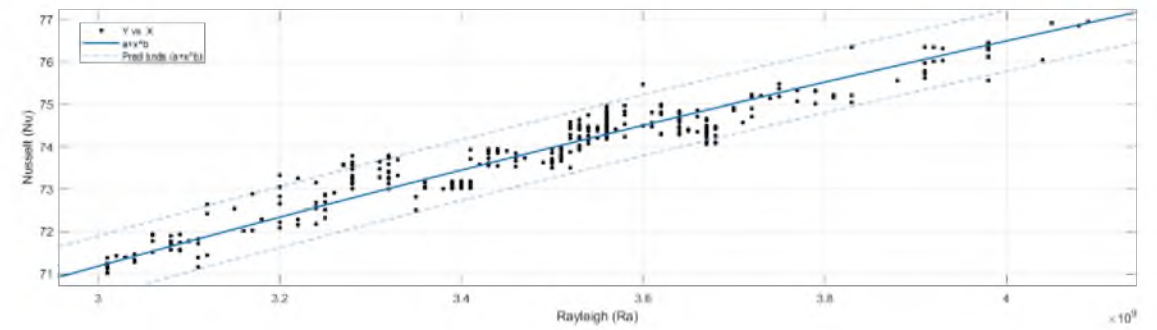


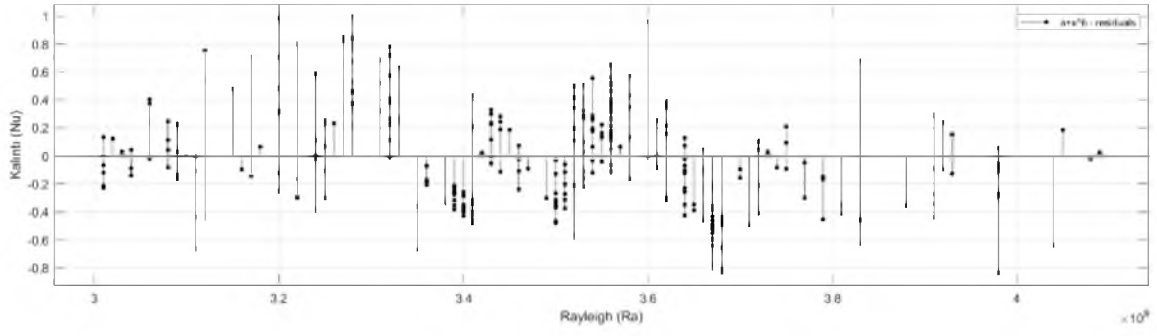


Şekil. 4.23. Eş 14.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

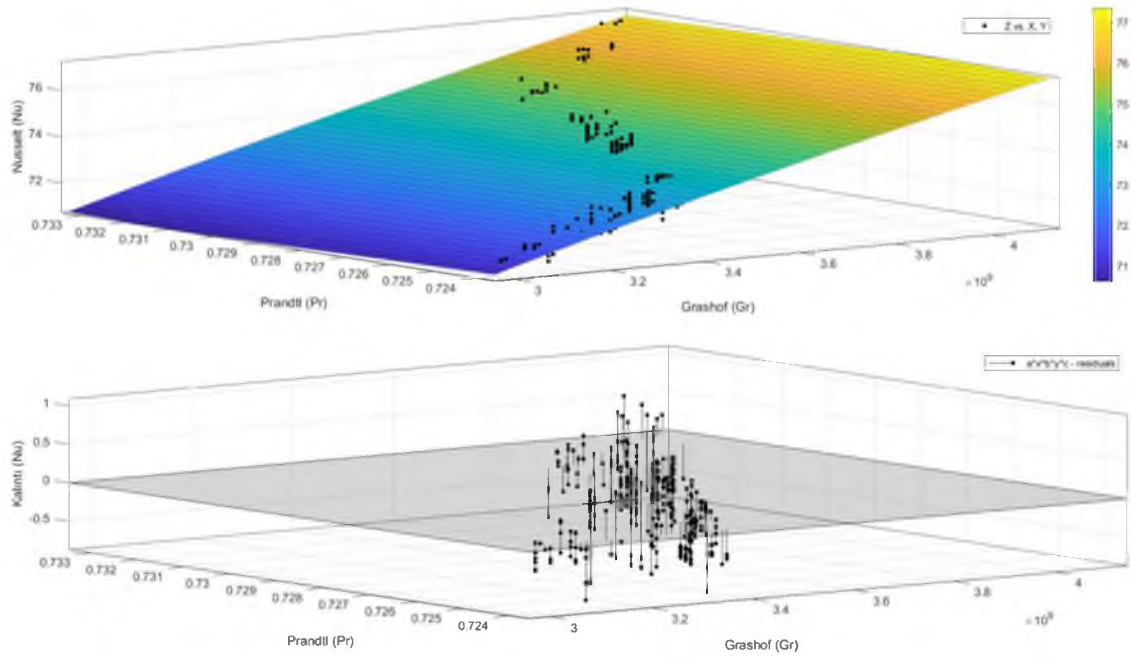


Şekil. 4.24. Eş 14.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

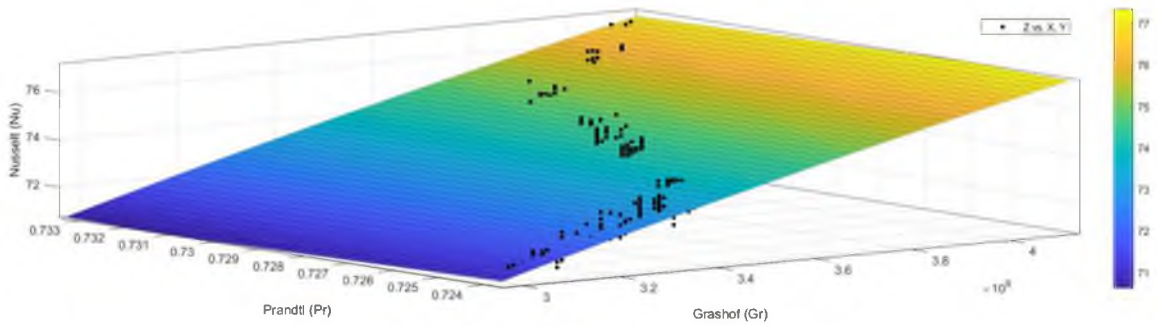


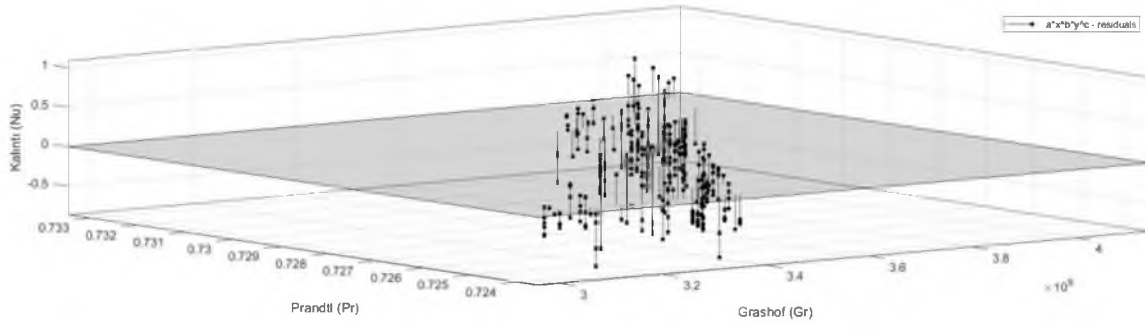


Şekil. 4.25. Eş 15.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

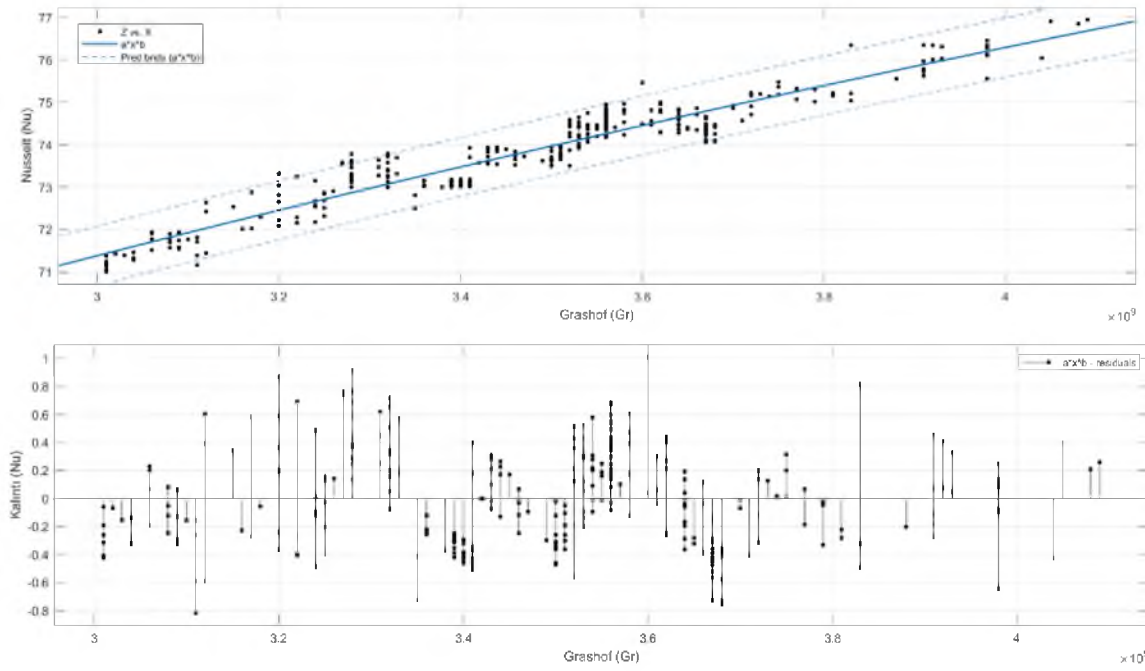


Şekil. 4.26. Eş 16.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

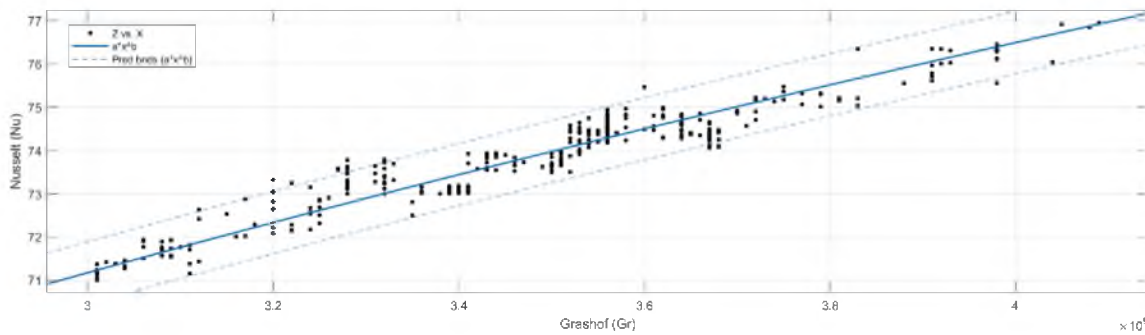


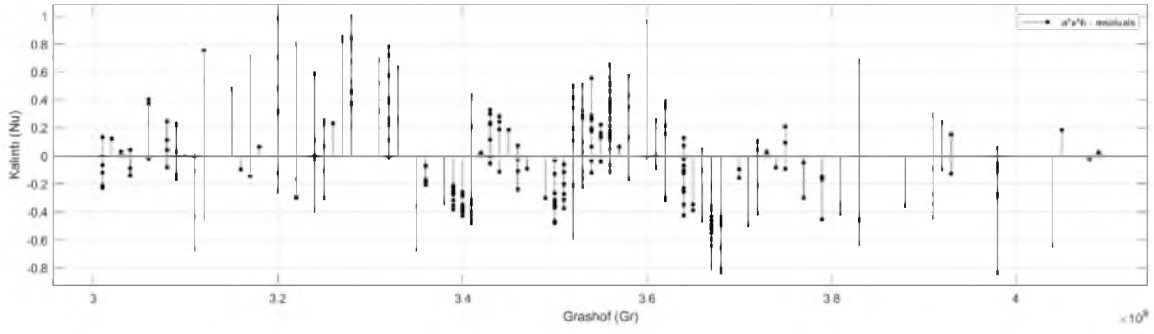


Şekil. 4.27. Eş 16.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

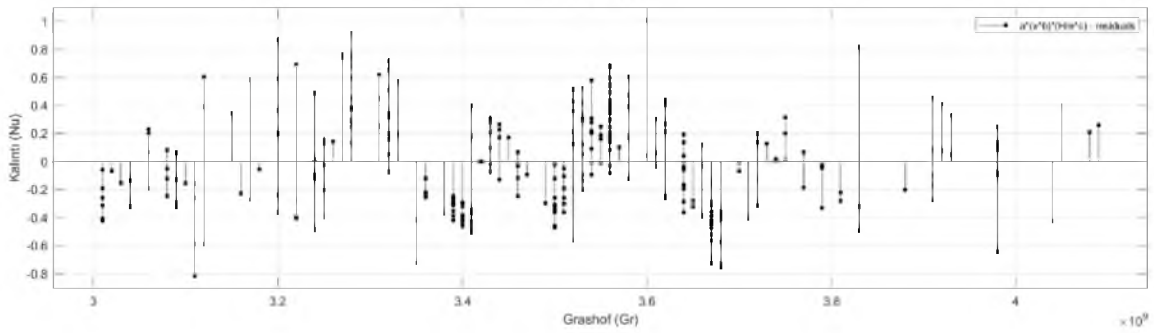
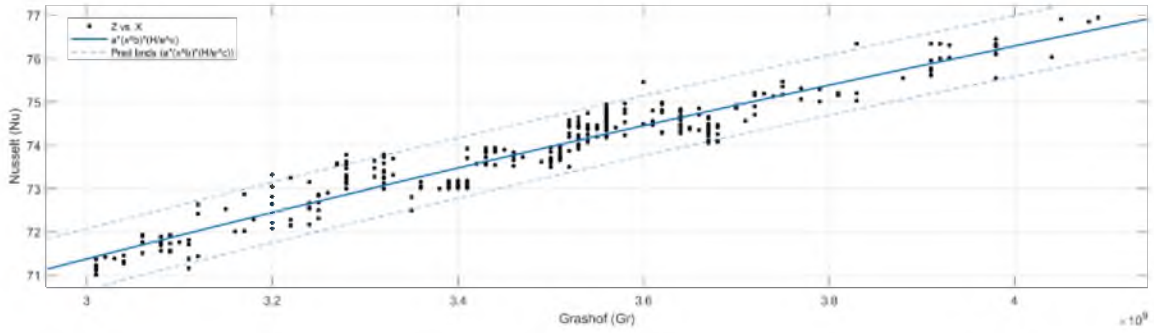


Şekil. 4.28. Eş 17.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

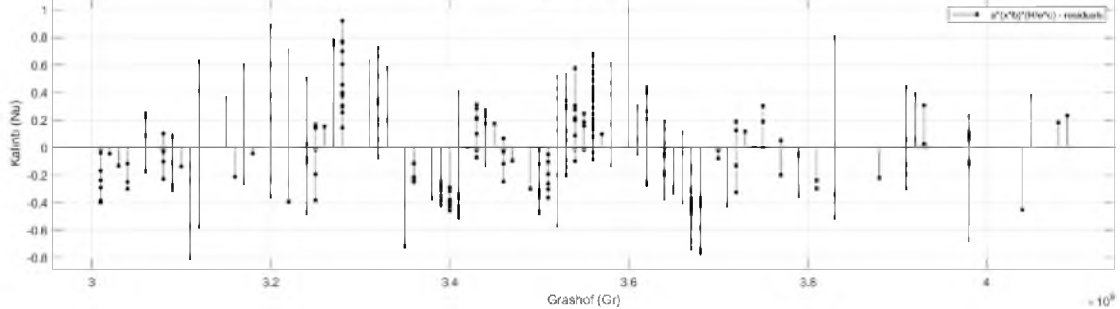
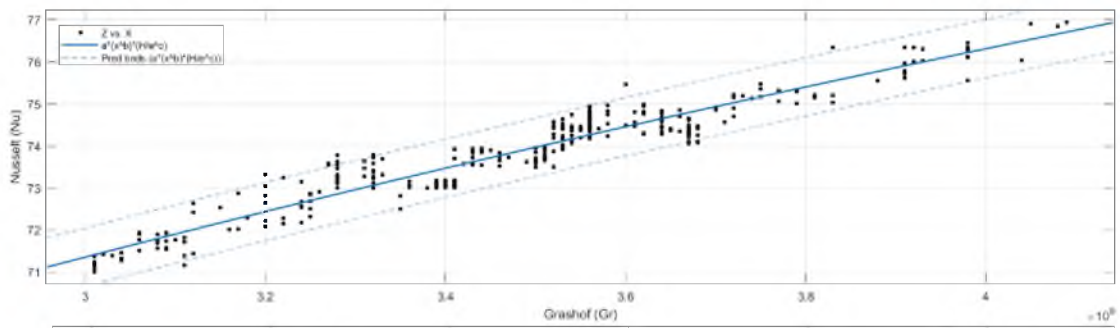




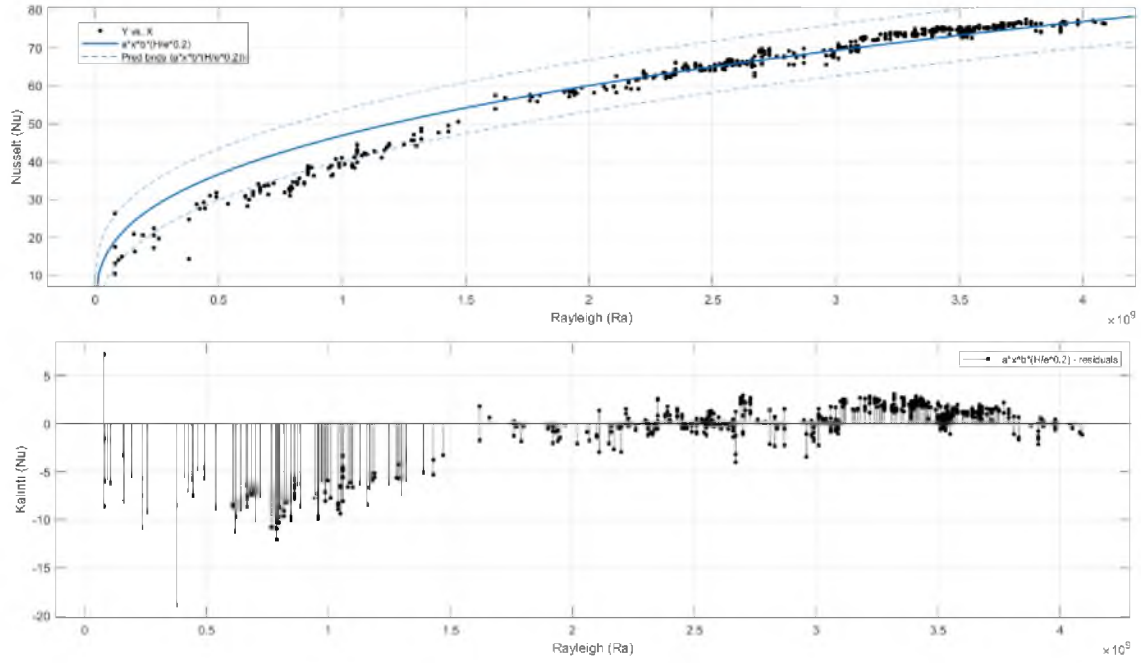
Şekil. 4.29. Eş 17.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



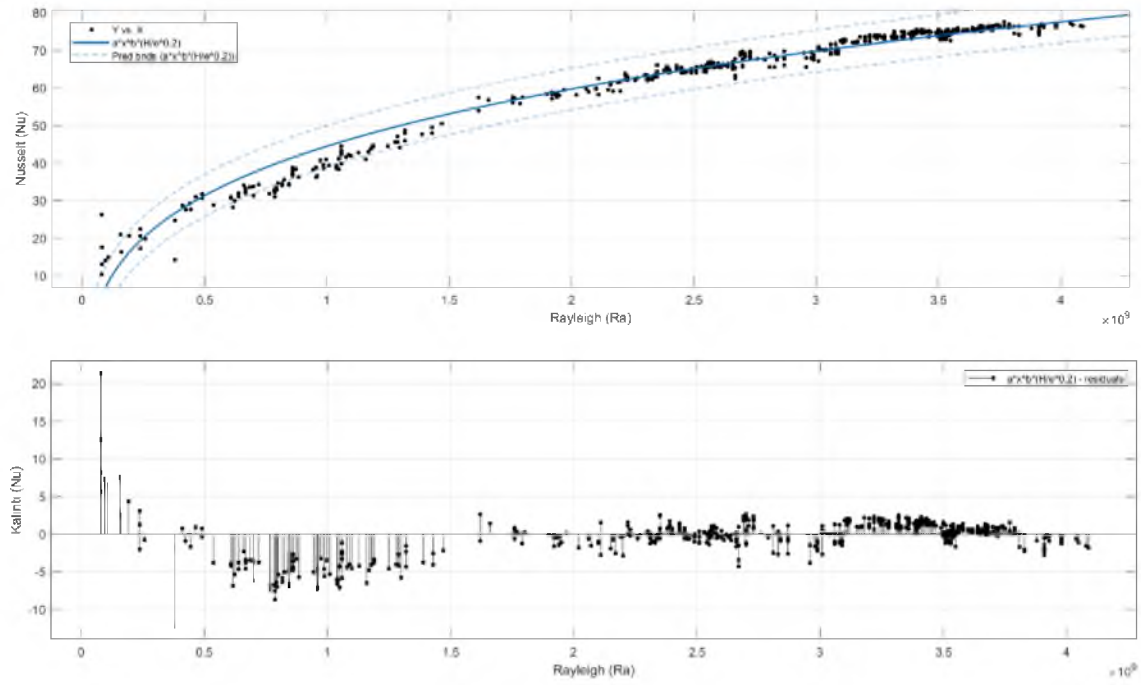
Şekil. 4.30. Eş 18.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



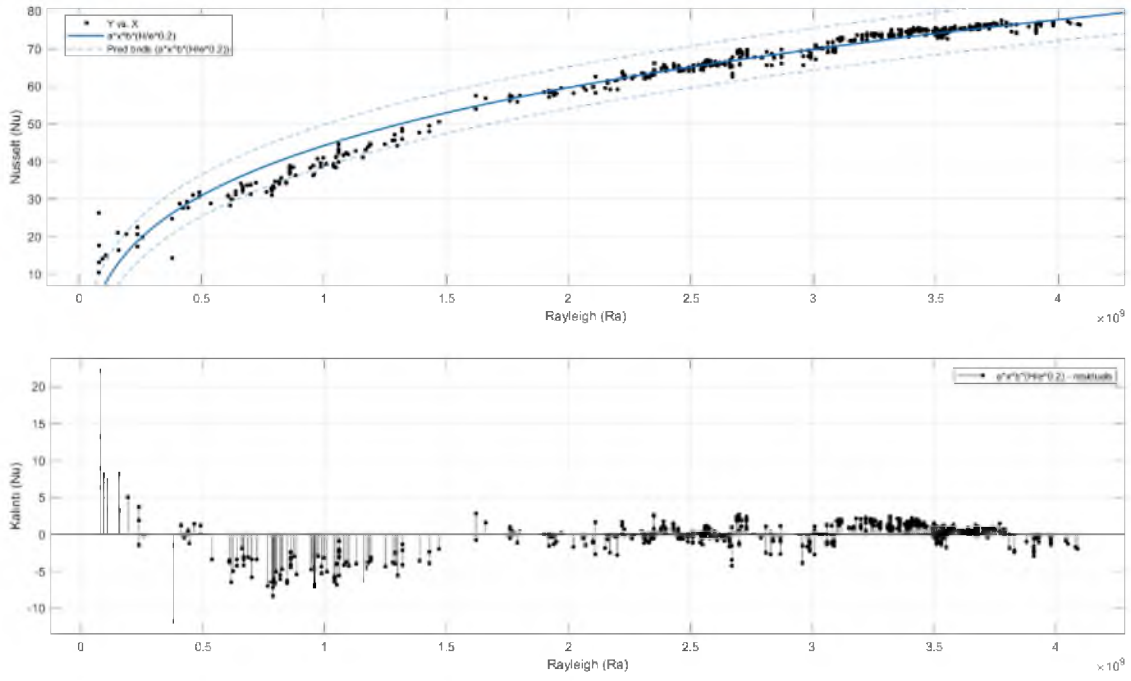
Şekil. 4.31. Eş 18.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



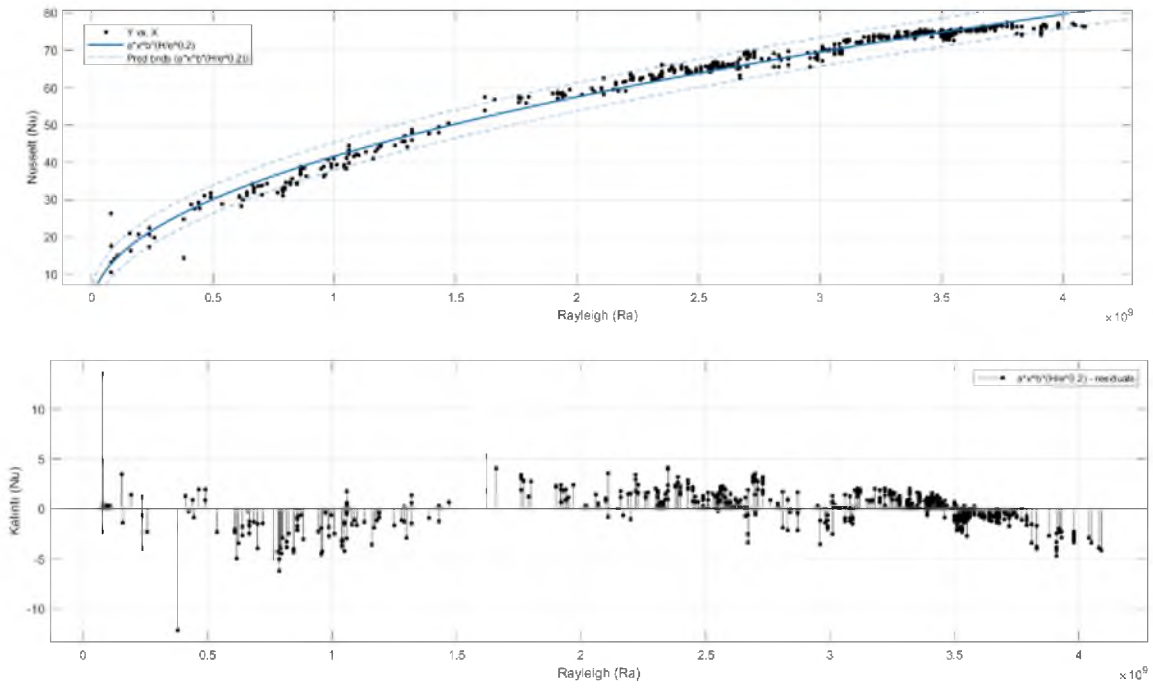
Şekil. 4.32. Eş 19.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



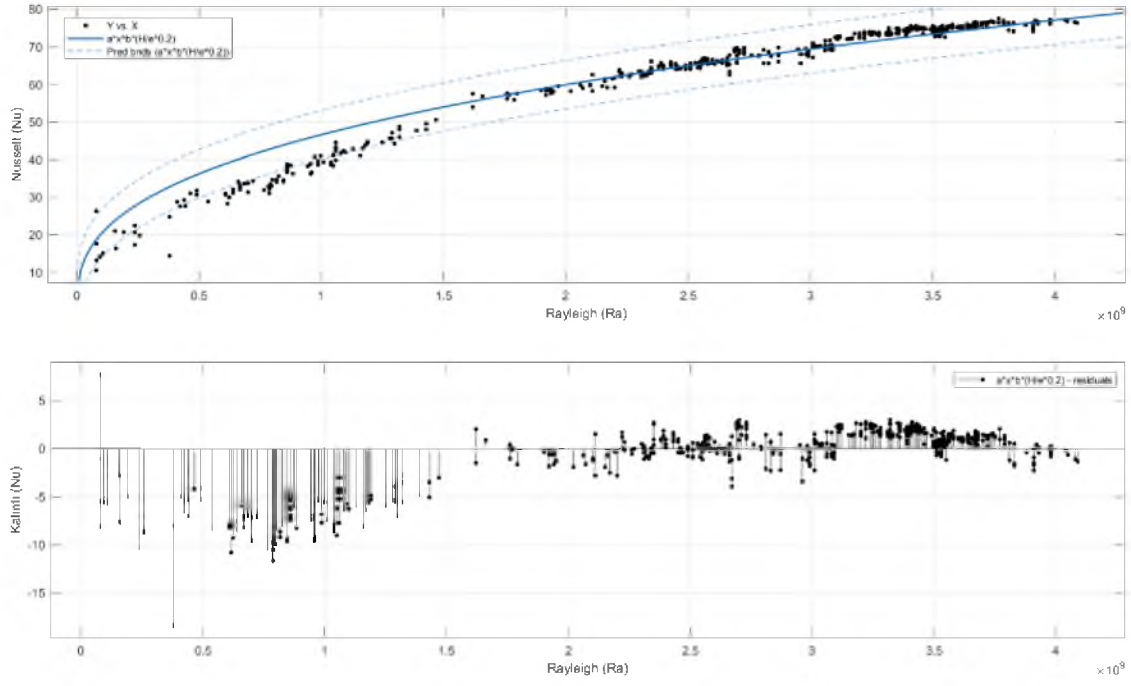
Şekil. 4.33. Eş 20.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



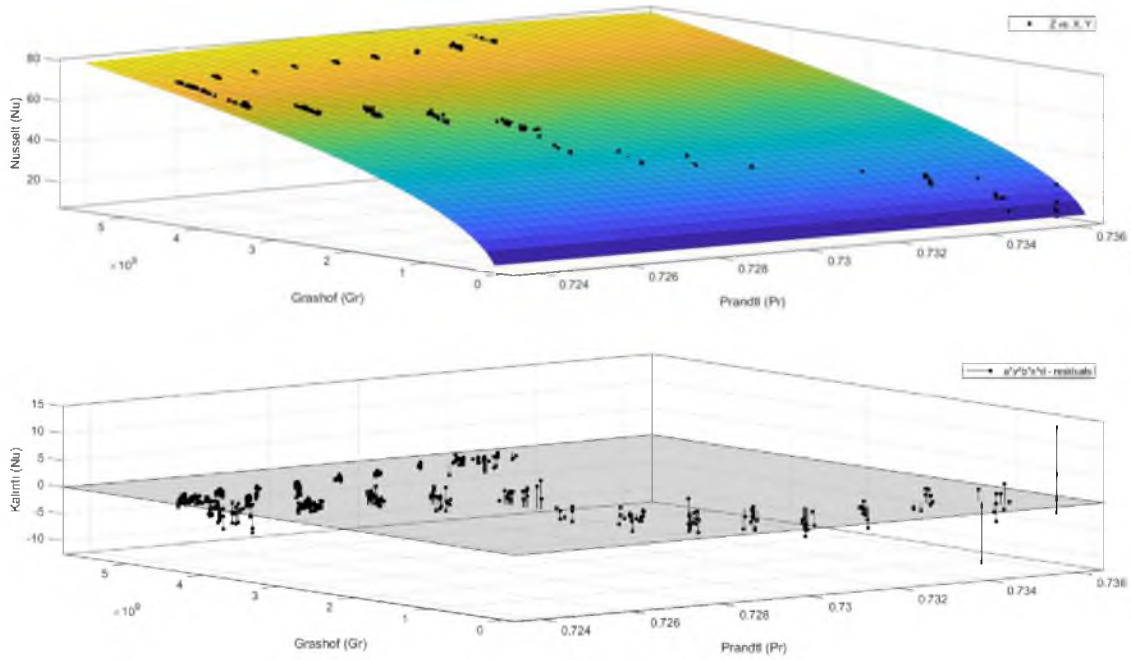
Şekil. 4.34. Eş 20.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



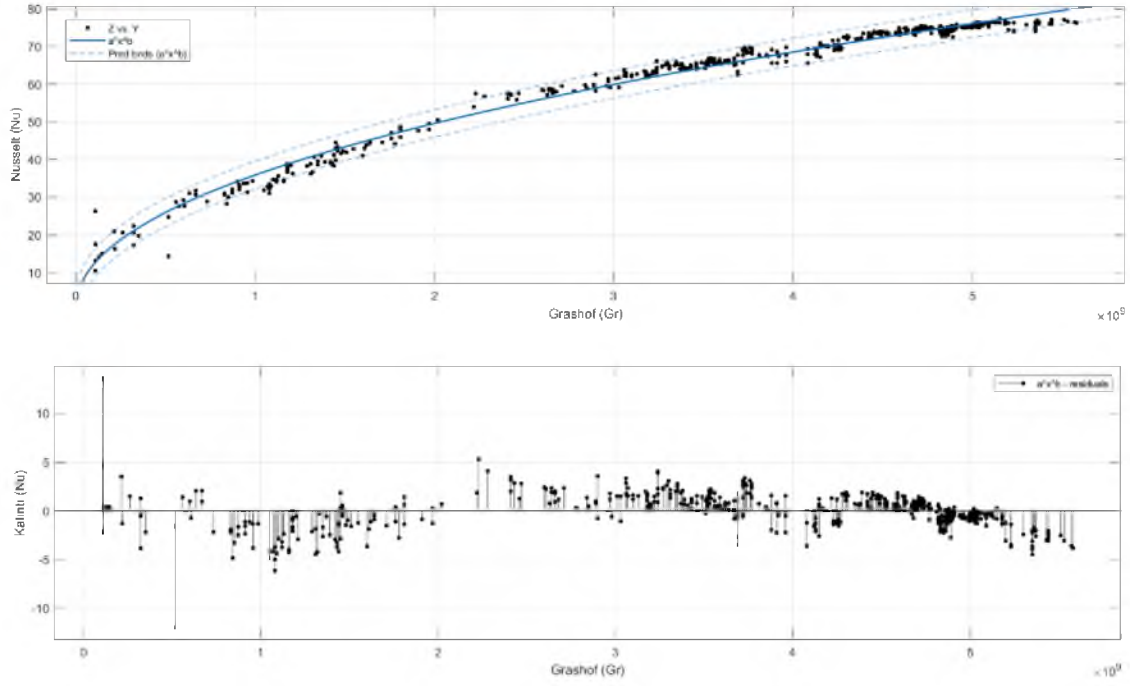
Şekil. 4.35. Eş 21.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



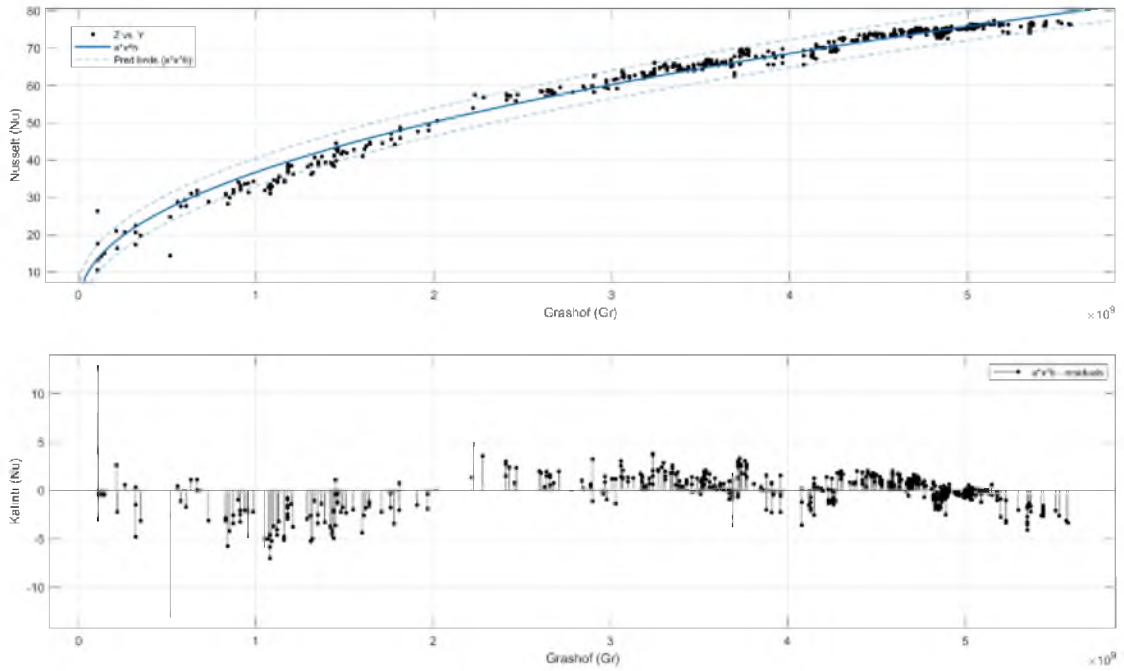
Şekil. 4.36. Eş 21.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



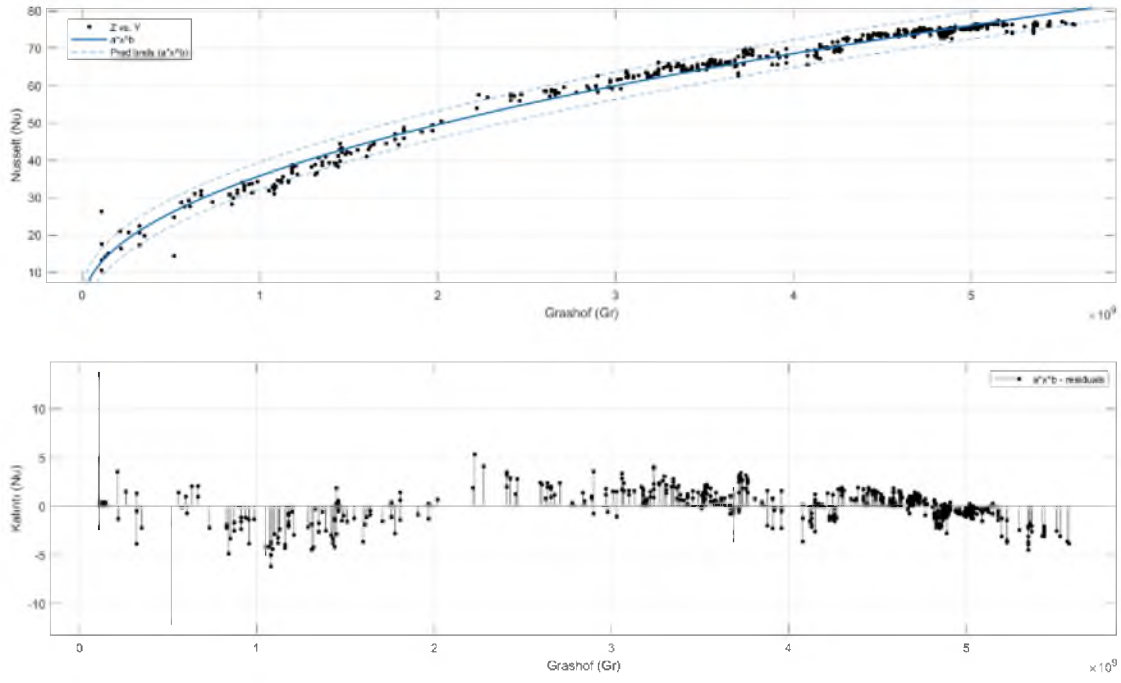
Şekil. 4.37. Eş 22.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



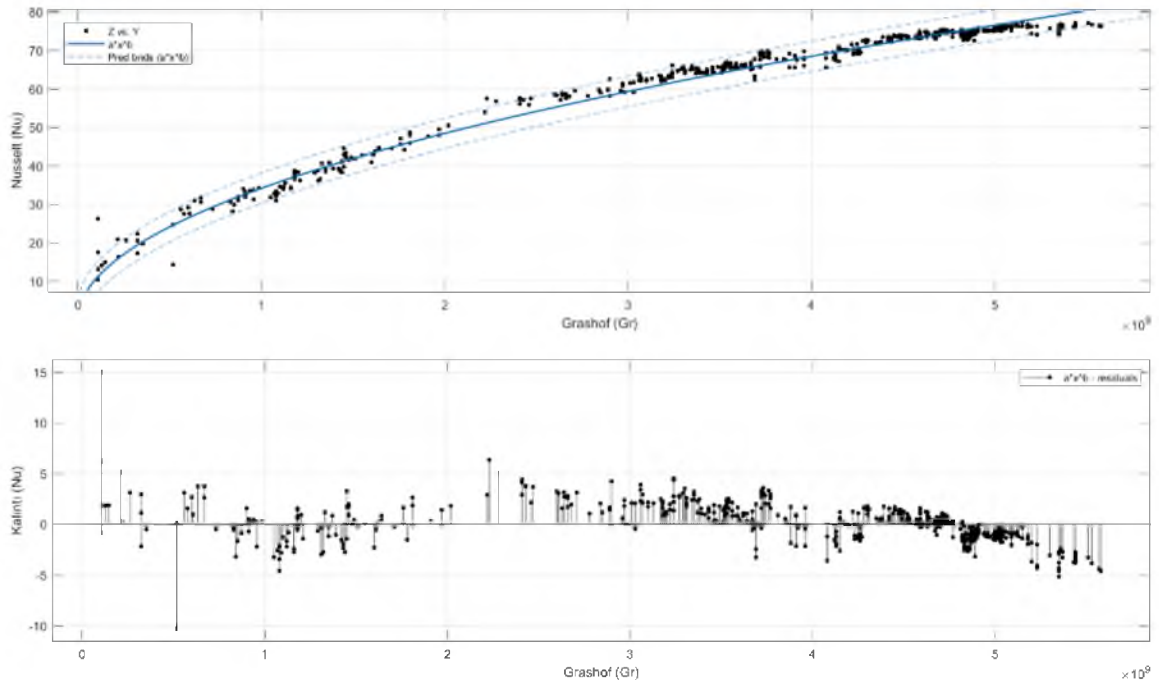
Şekil. 4.38. Eş 23.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



Şekil. 4.39. Eş 23.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

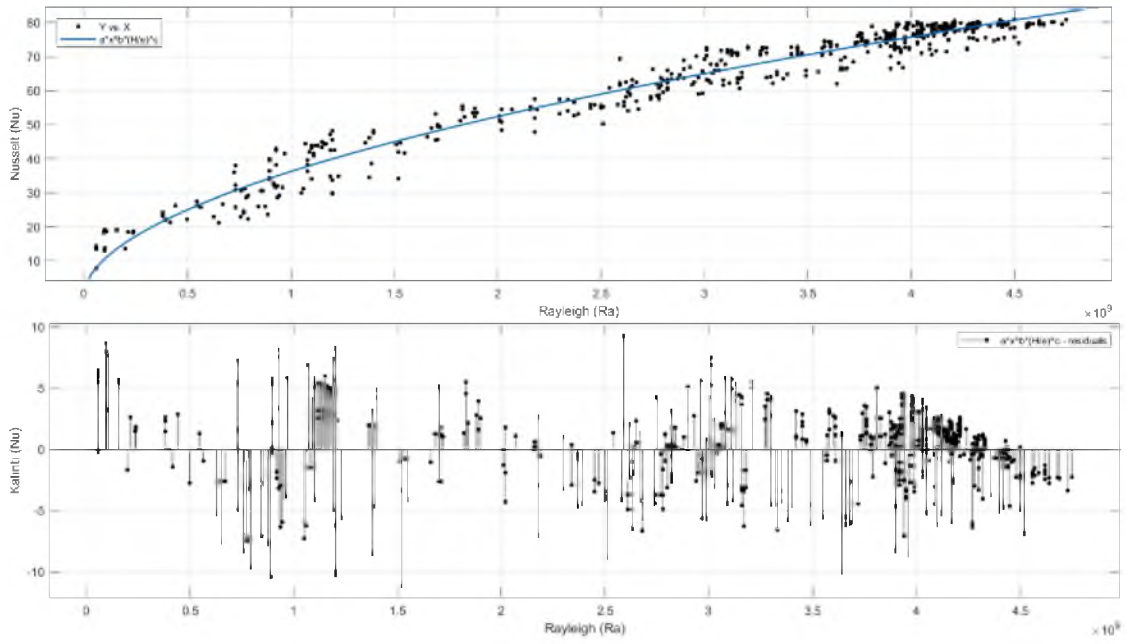


Şekil. 4.40. Eş 24.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

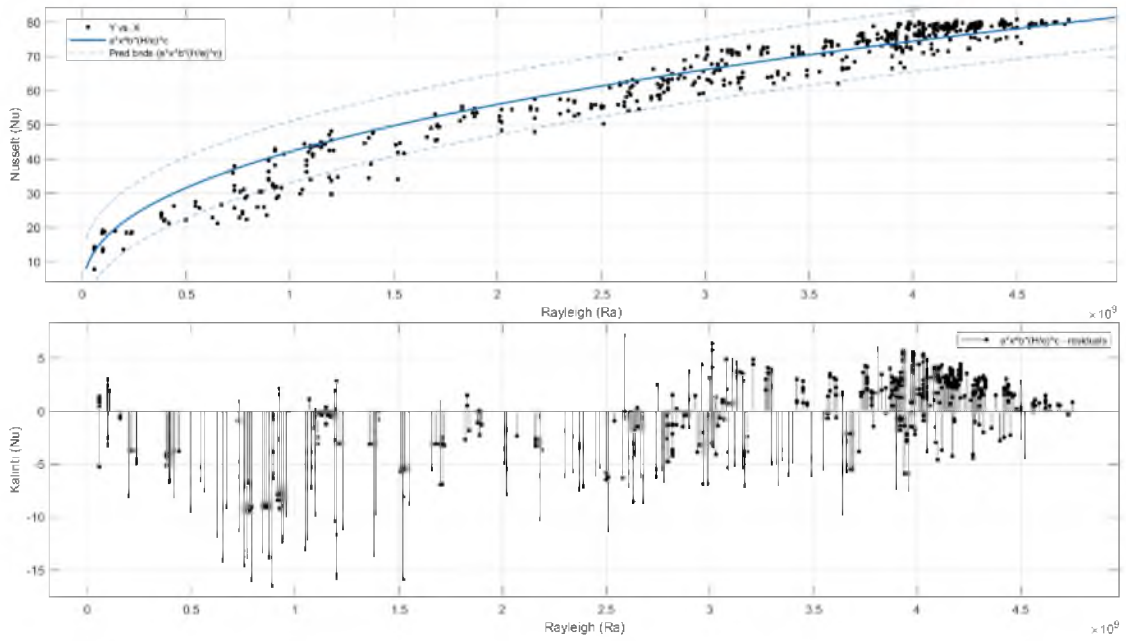


Şekil. 4.41. Eş 24.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

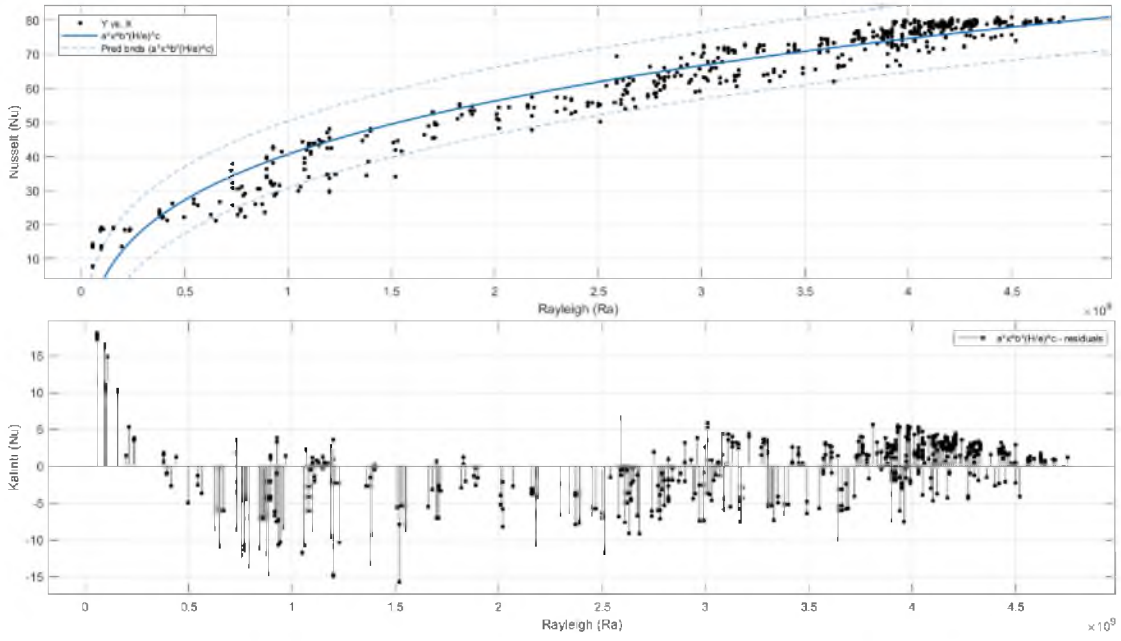
## EK-5 Trapez Absorban Panel Eğri Uydurma Grafikleri



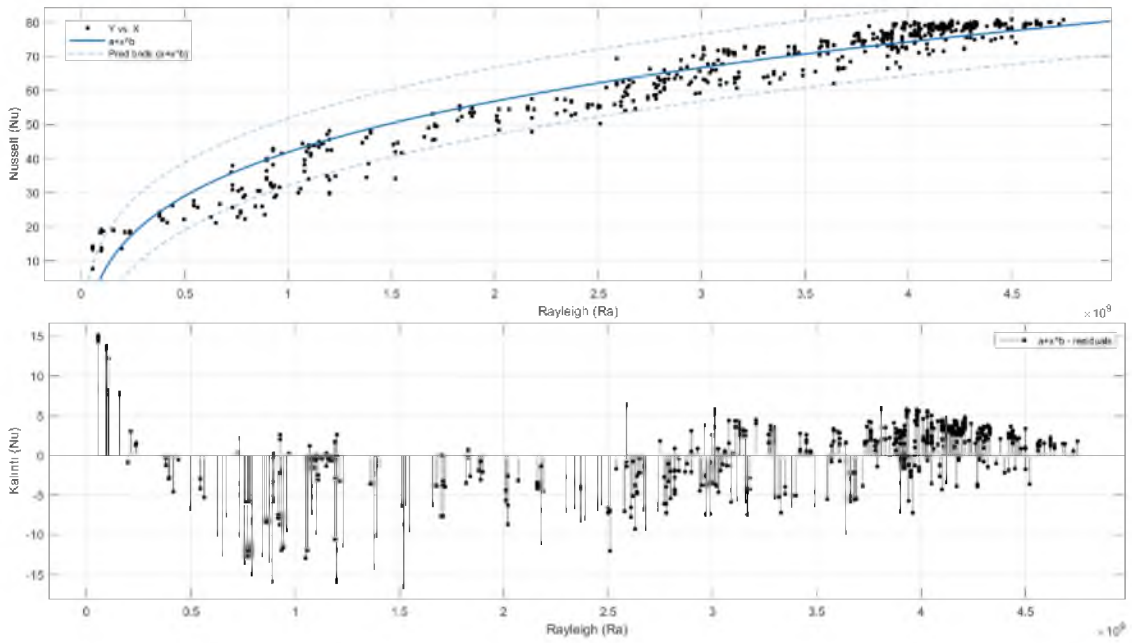
Şekil. 5.1. Eş 25.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



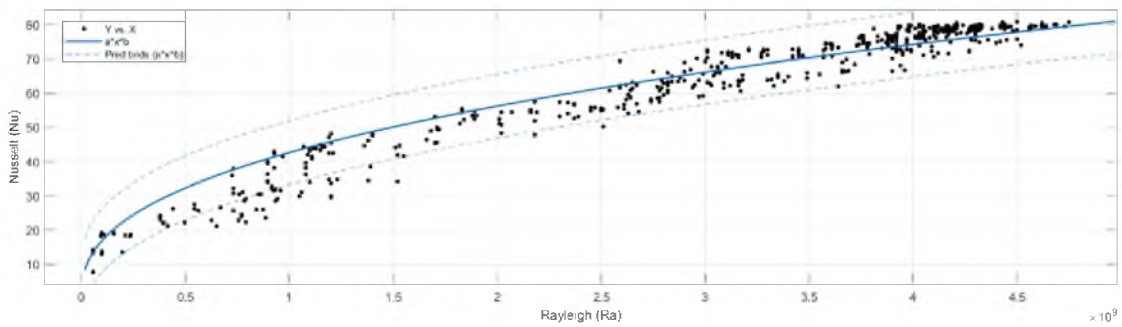
Şekil. 5.2. Eş 25.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

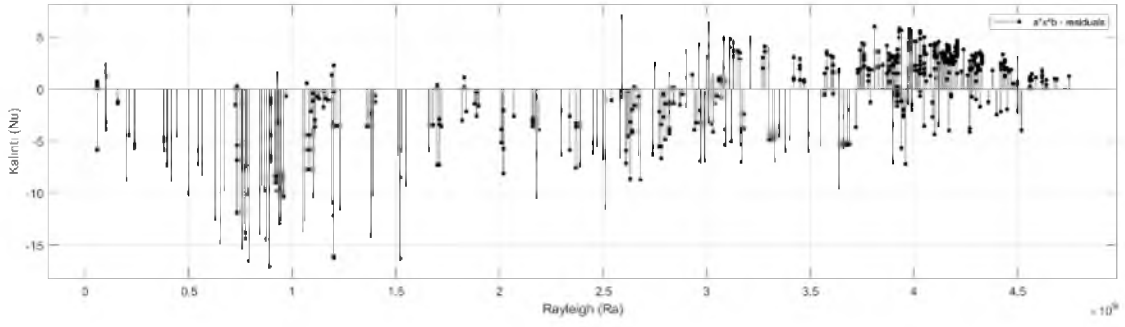


Şekil. 5.3. Eş 26.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

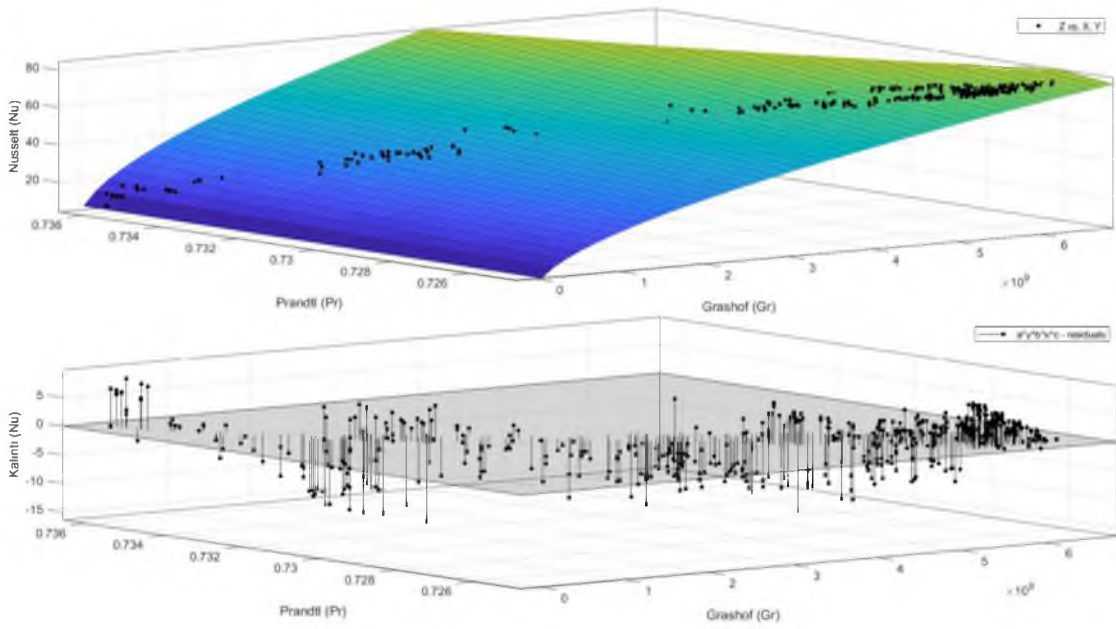


Şekil. 5.4. Eş 26.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

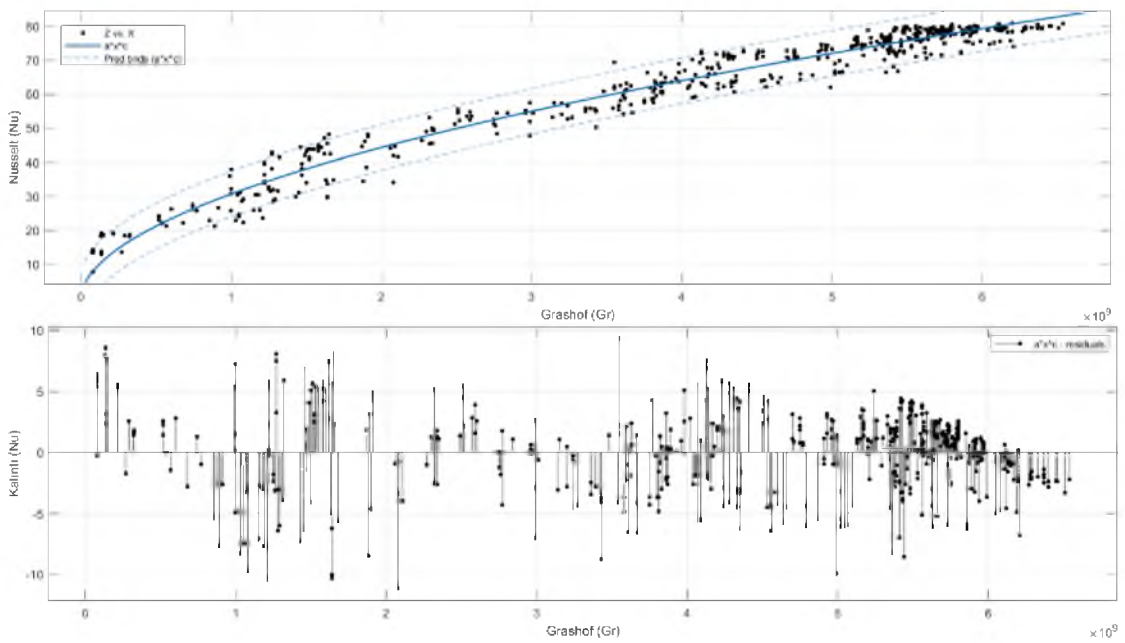




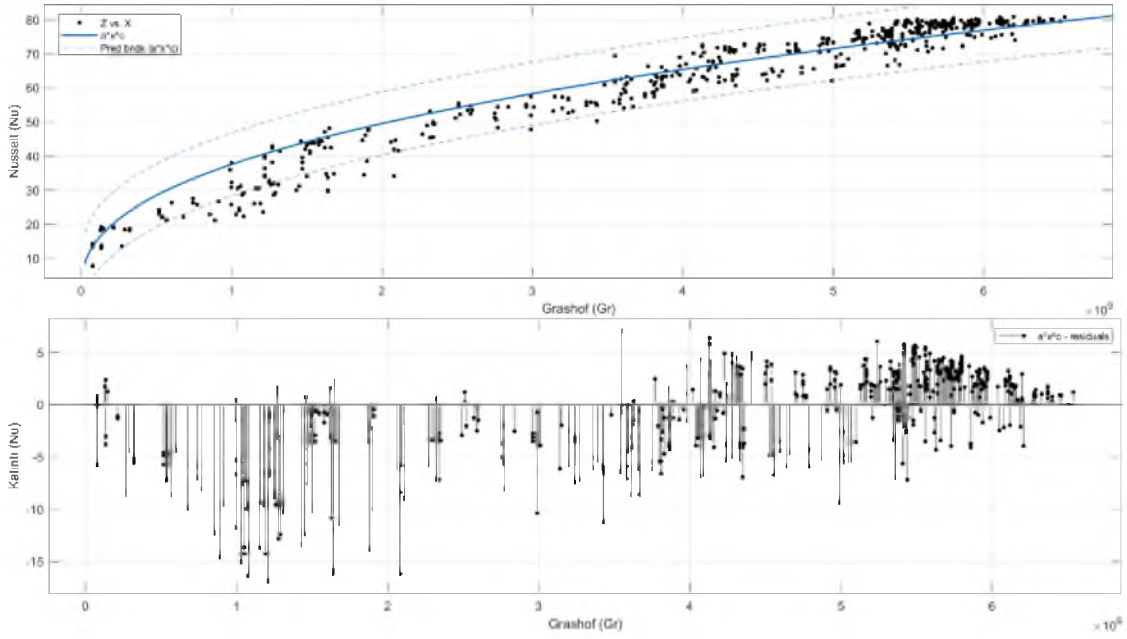
Şekil. 5.5. Eş 27.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



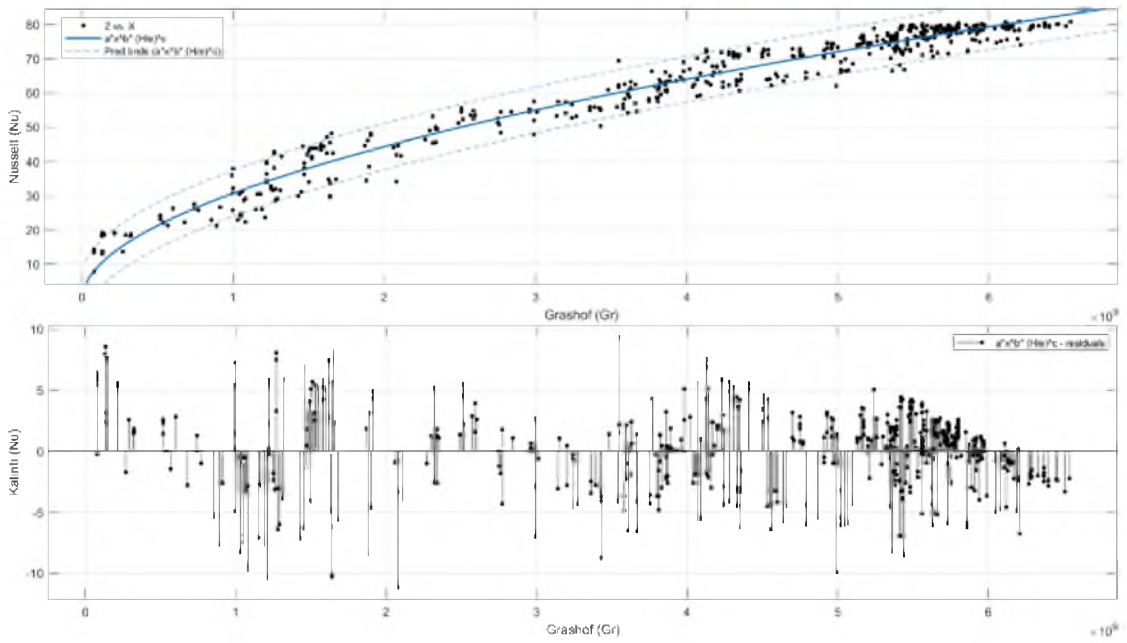
Şekil. 5.6. Eş 28.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



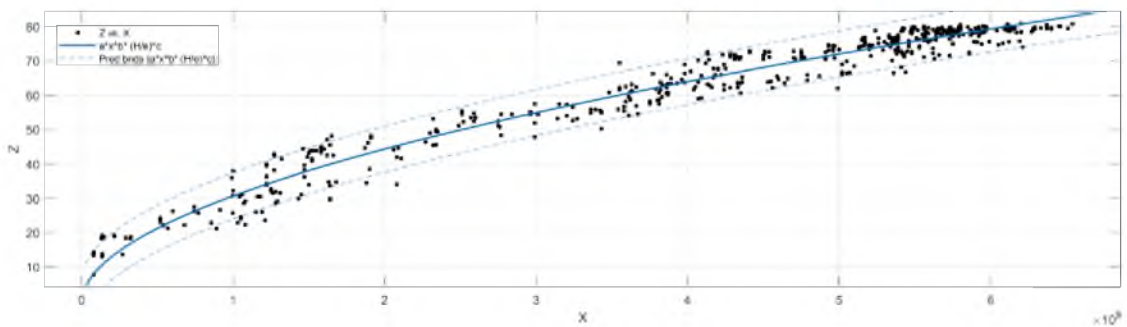
Şekil. 5.7. Eş 29.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

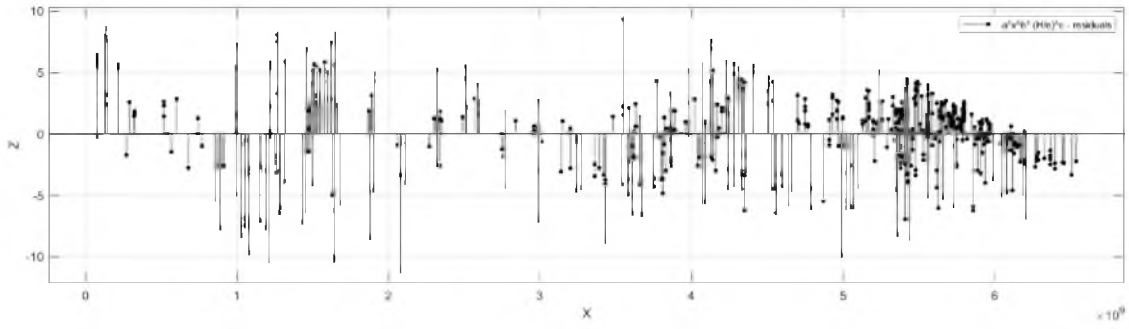


Şekil. 5.8. Eş 29.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

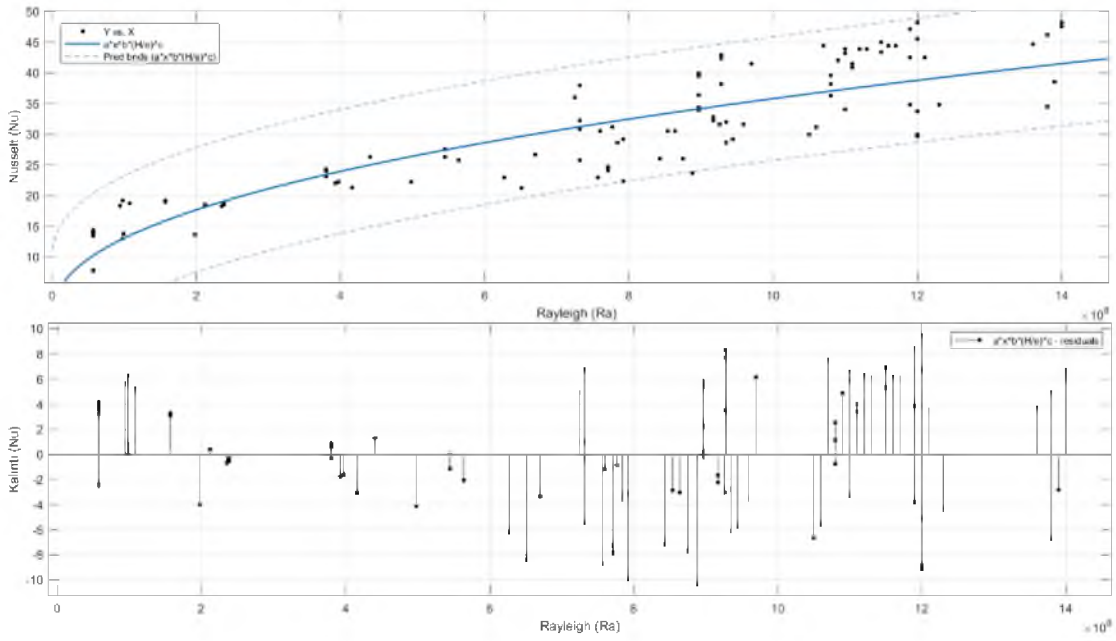


Şekil. 5.9. Eş 30.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

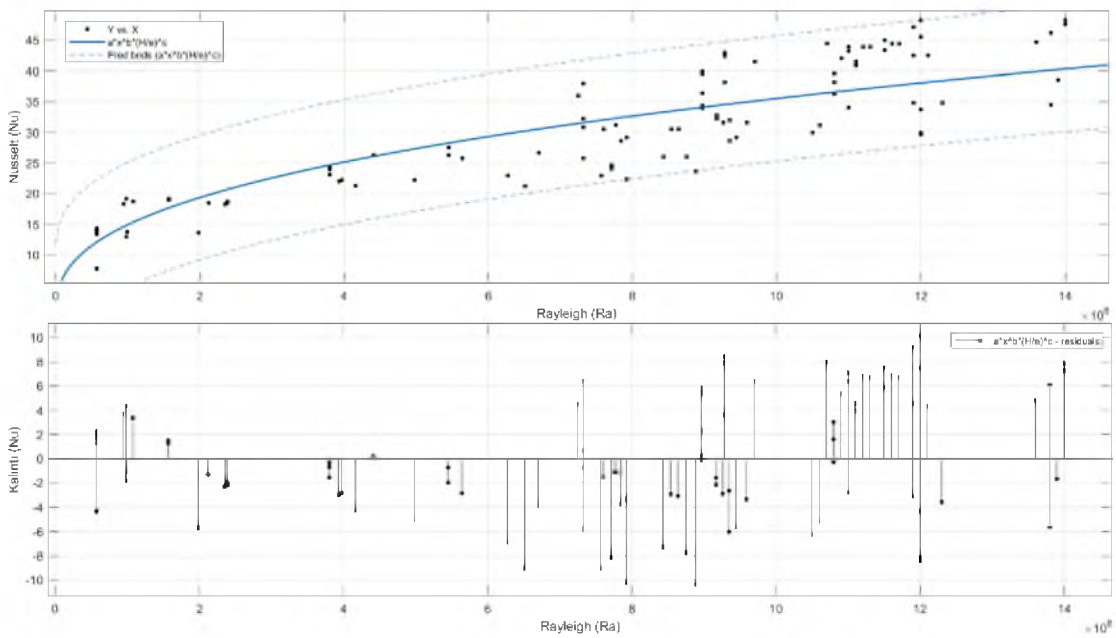




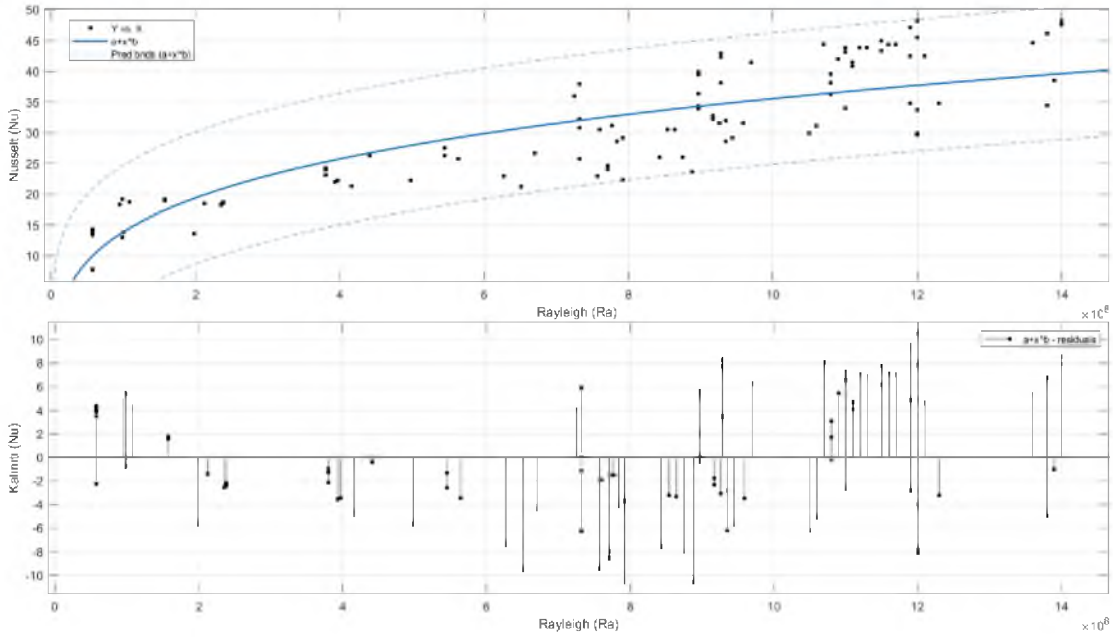
Şekil. 5.10. Eş 30.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



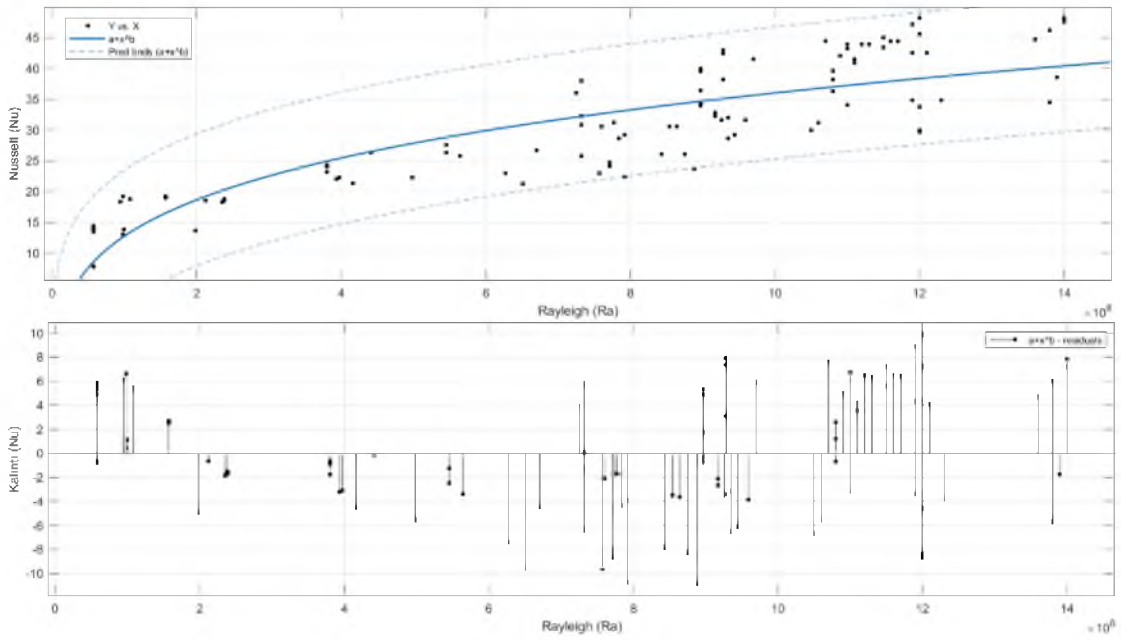
Şekil. 5.11. Eş 31.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



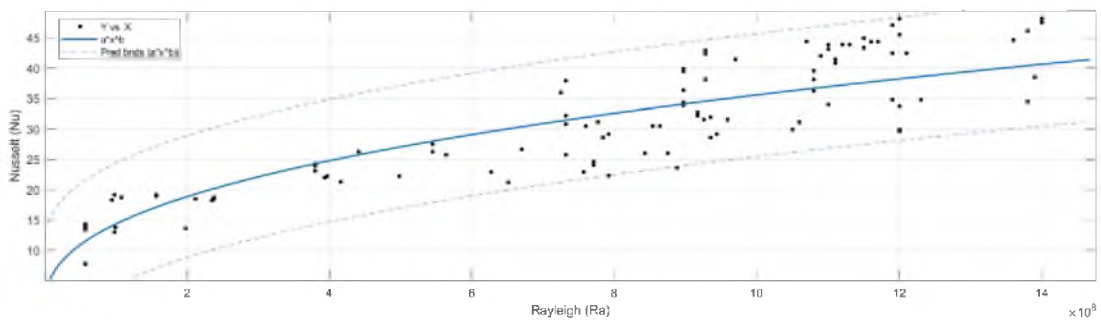
Şekil. 5.12. Eş 31.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

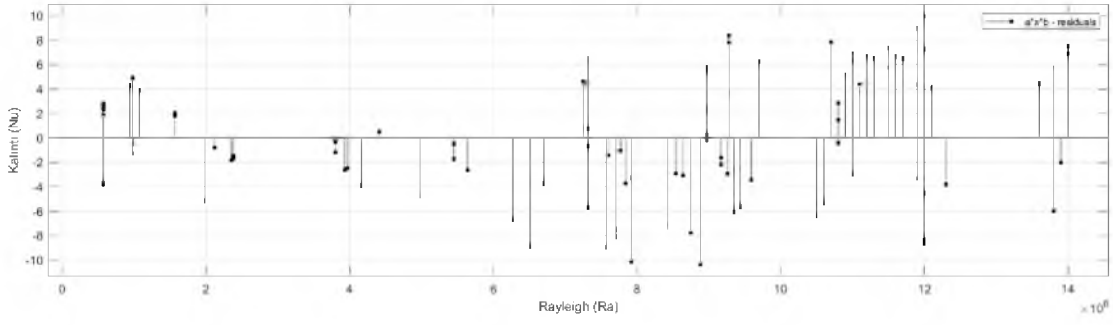


Şekil. 5.13. Eş 32.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

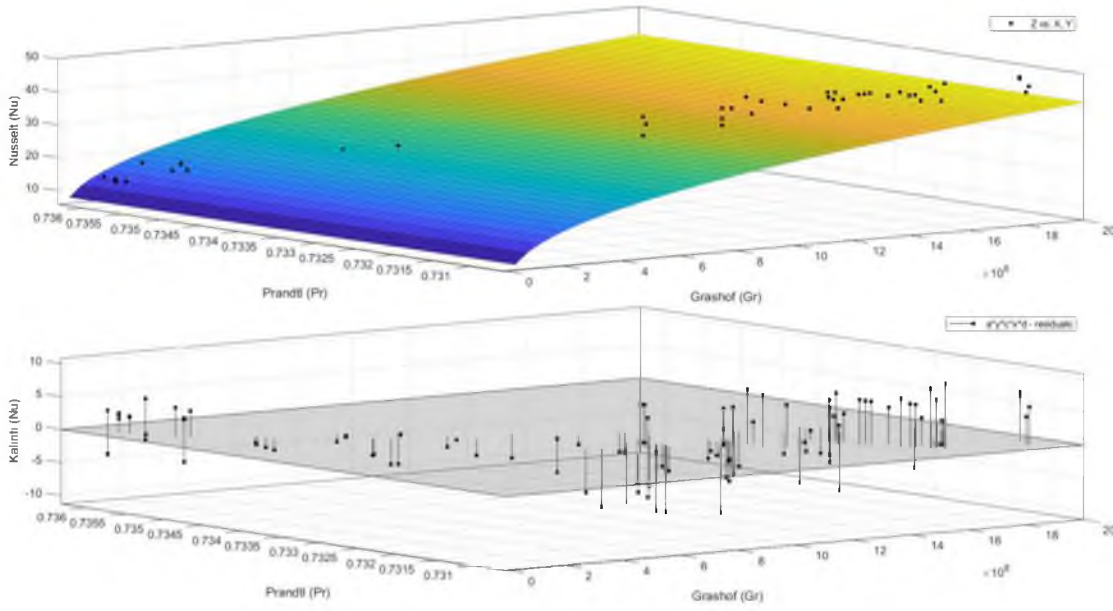


Şekil. 5.14. Eş 32.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

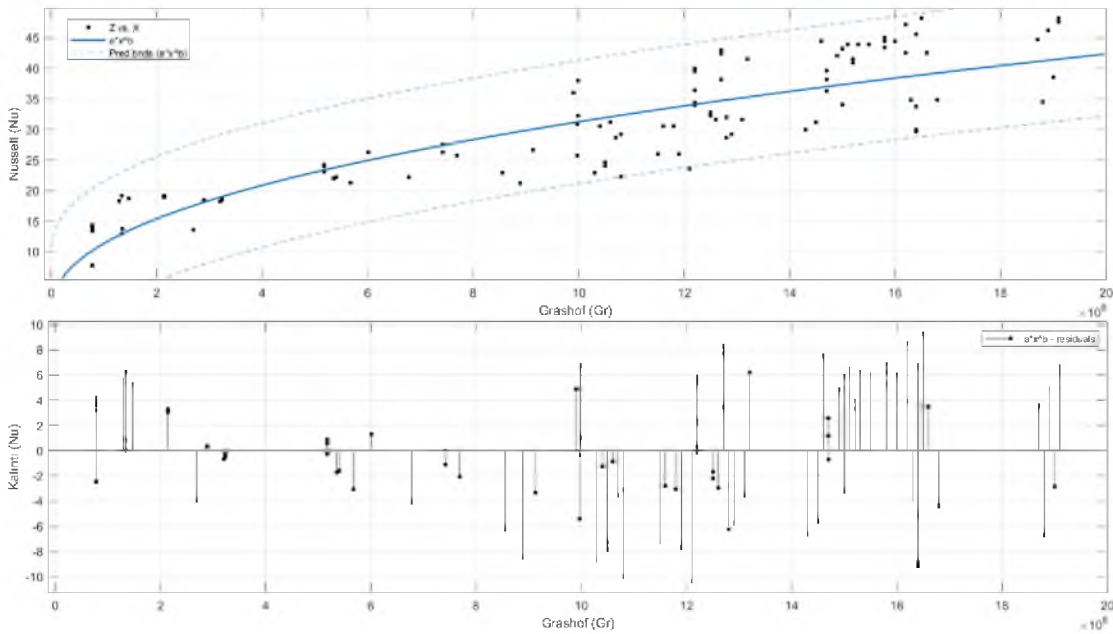




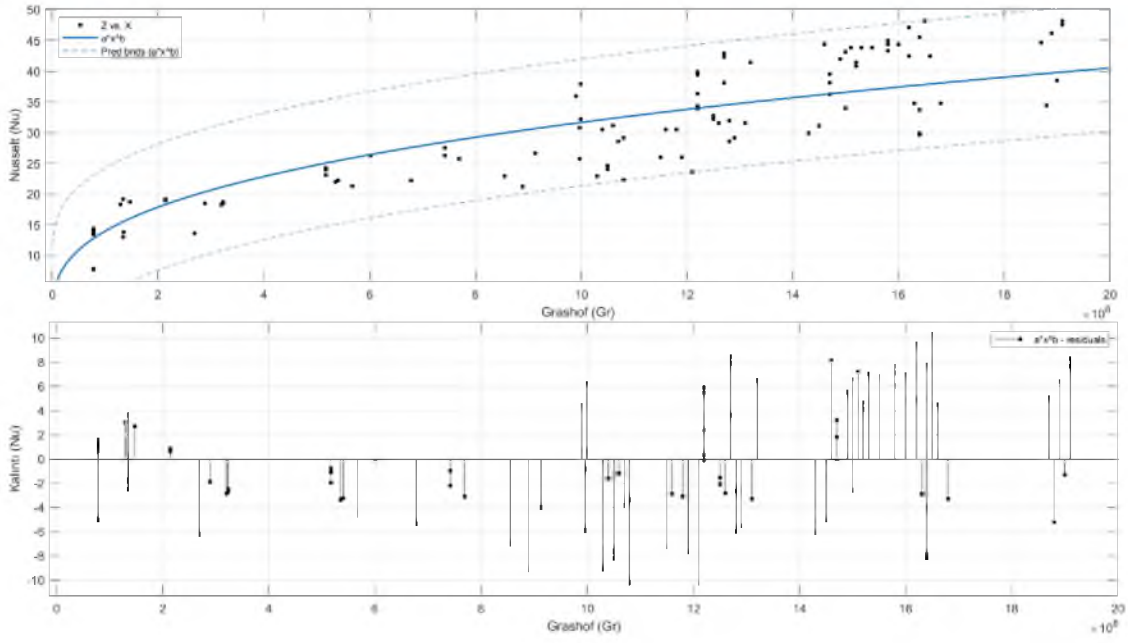
Şekil. 5.15. Eş 33.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



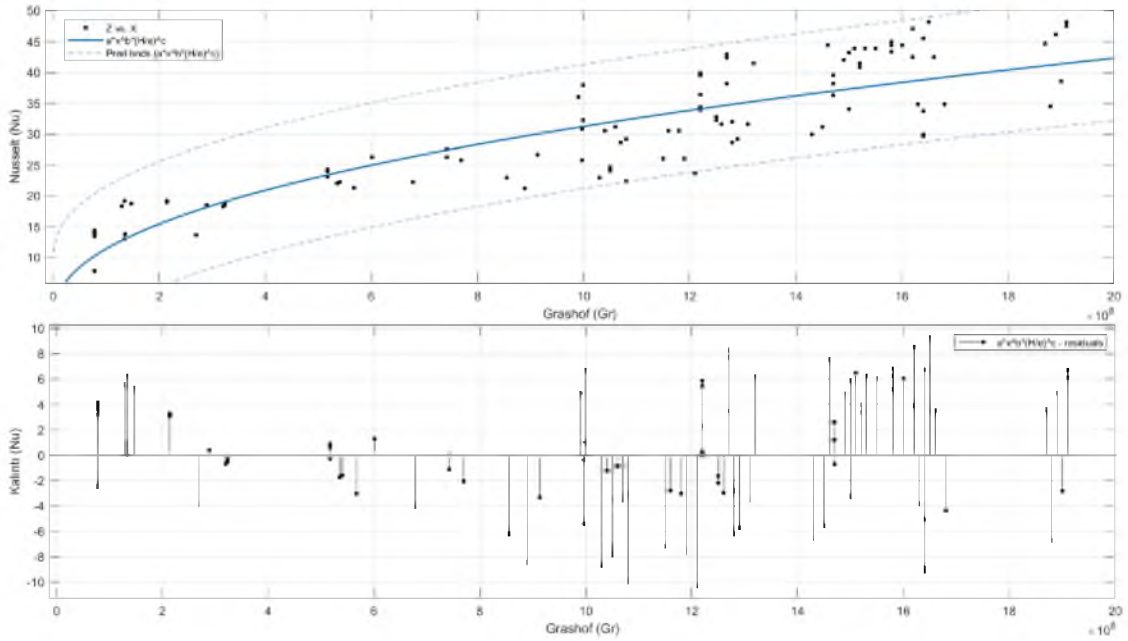
Şekil. 5.16. Eş 34.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



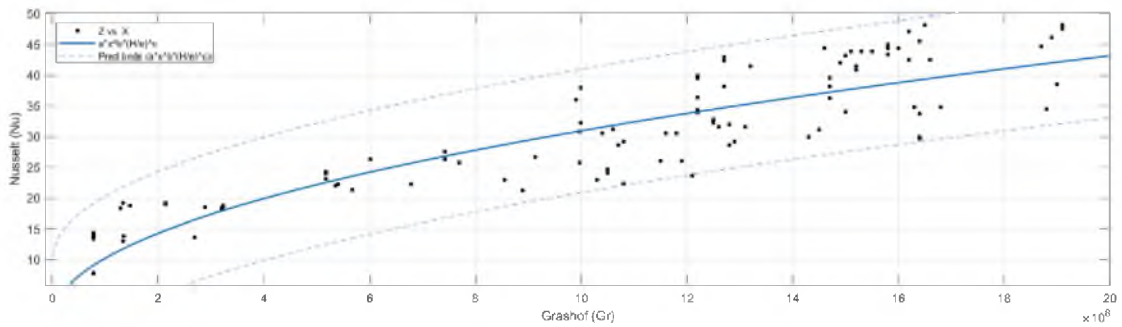
Şekil. 5.17. Eş 35a.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

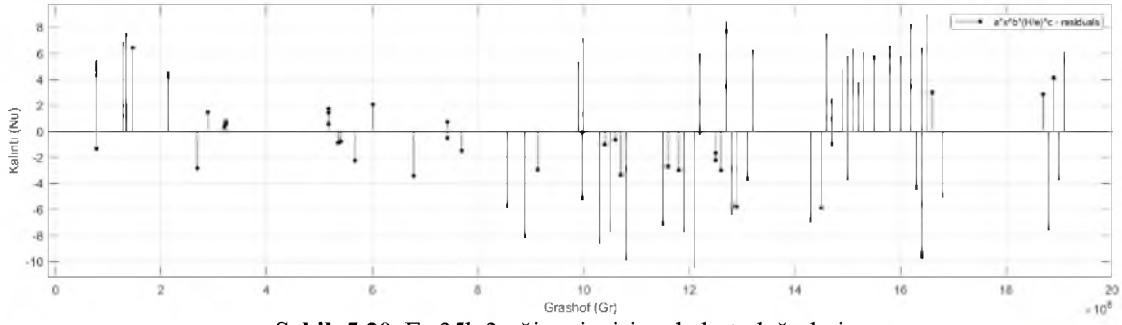


Şekil. 5.18. Eş 35a.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

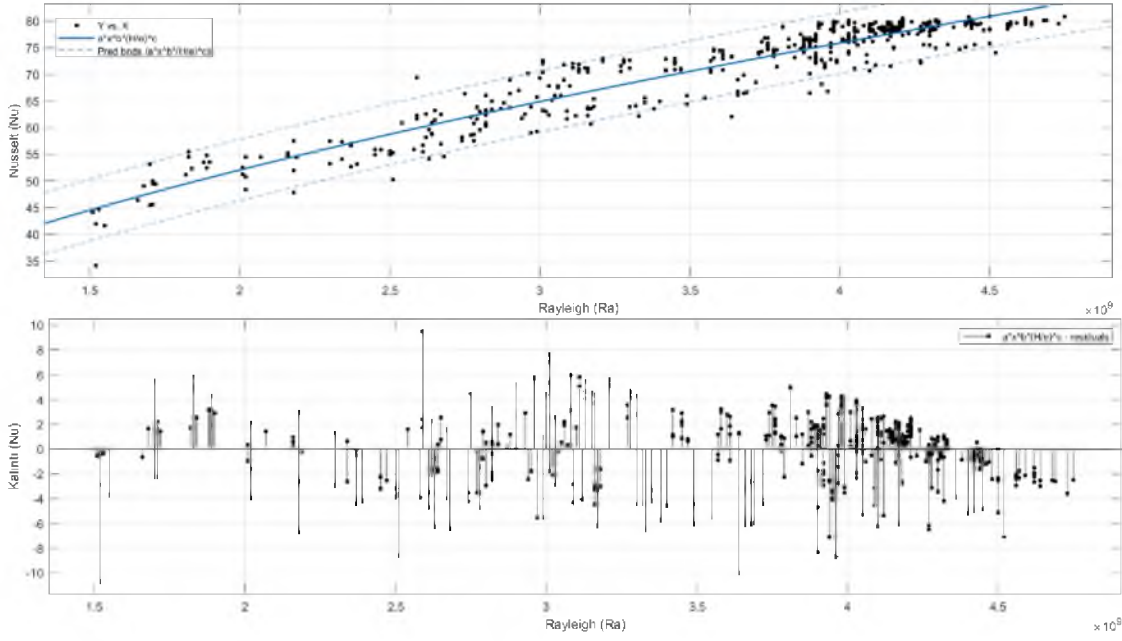


Şekil. 5.19. Eş 35b.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

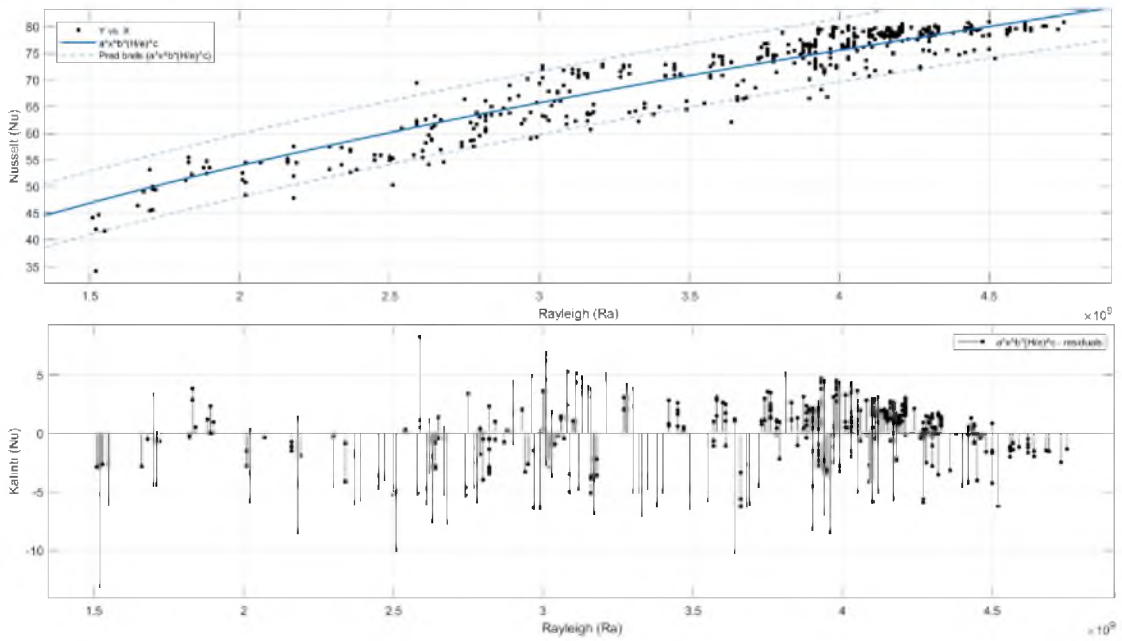




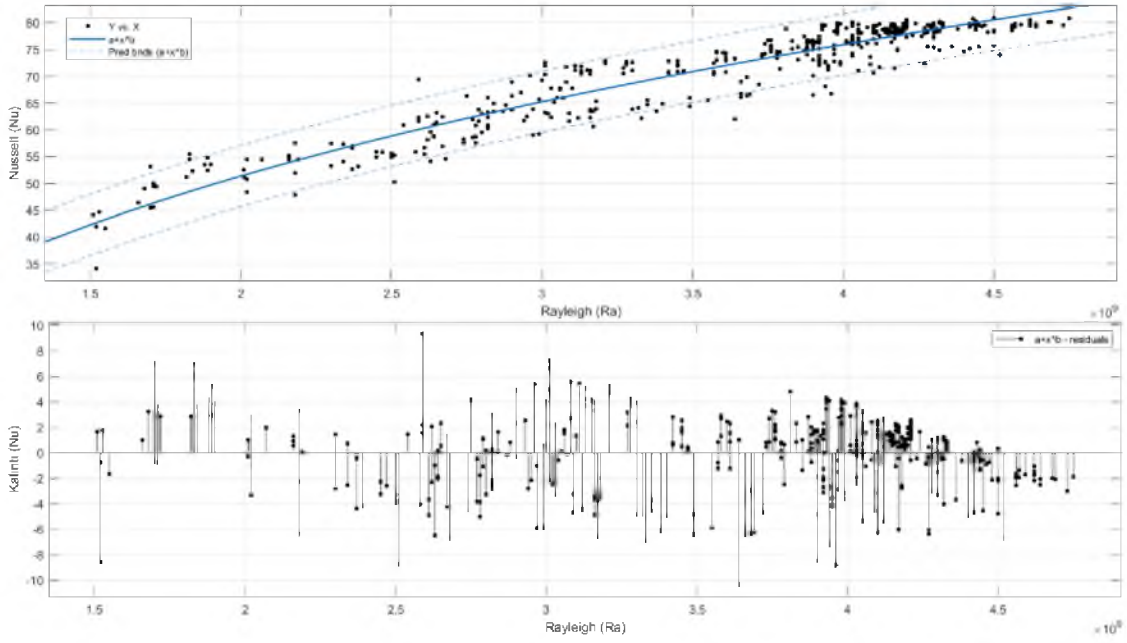
Şekil. 5.20. Eş 35b.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



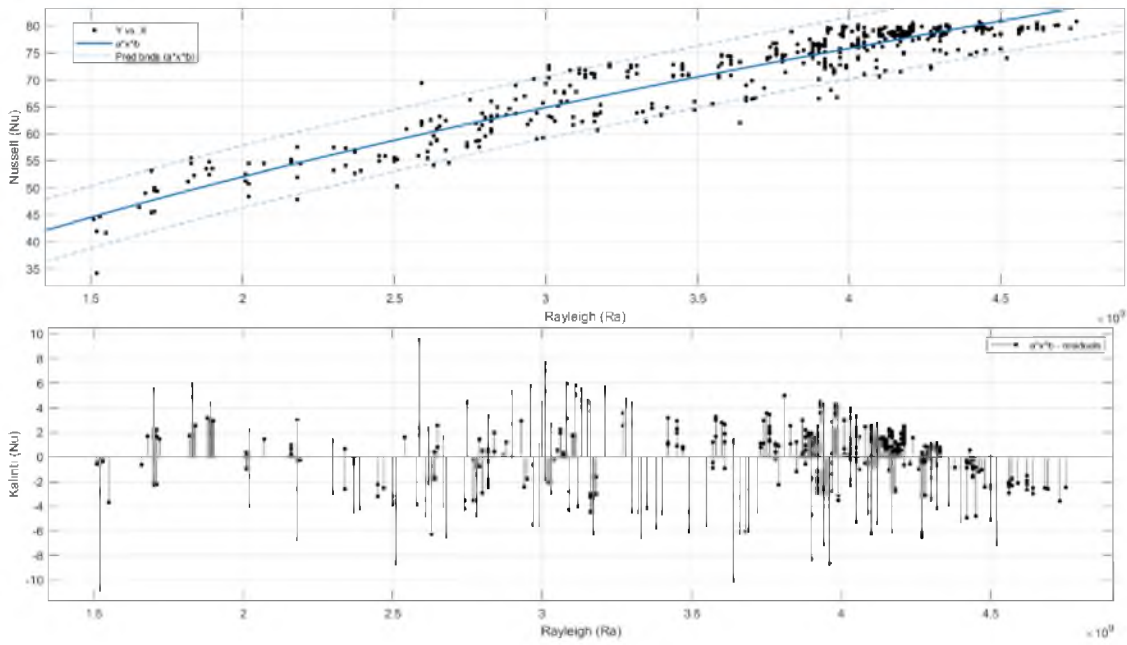
Şekil. 5.21. Eş 36.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



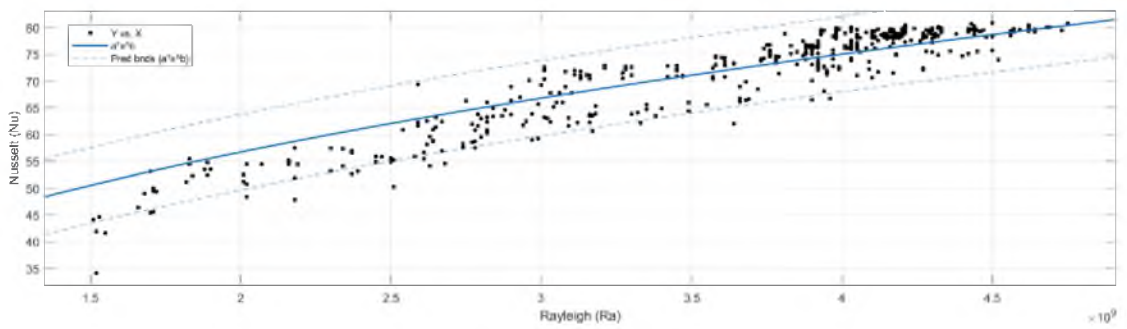
Şekil. 5.22. Eş 36.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

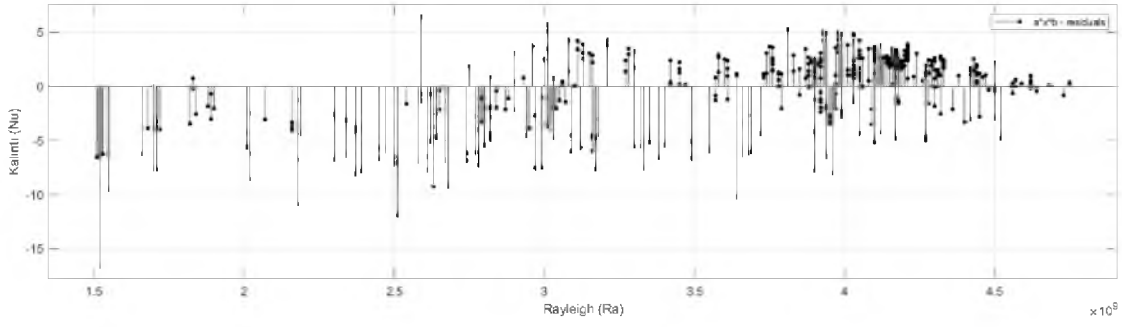


Şekil. 5.23. Eş 37.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

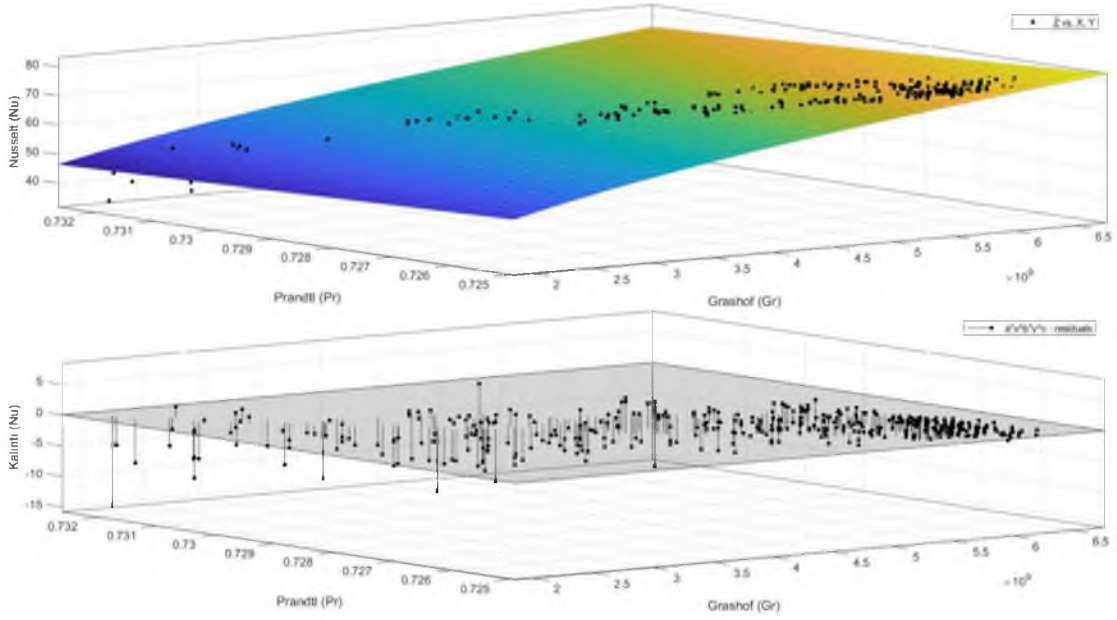


Şekil. 5.24. Eş 38.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

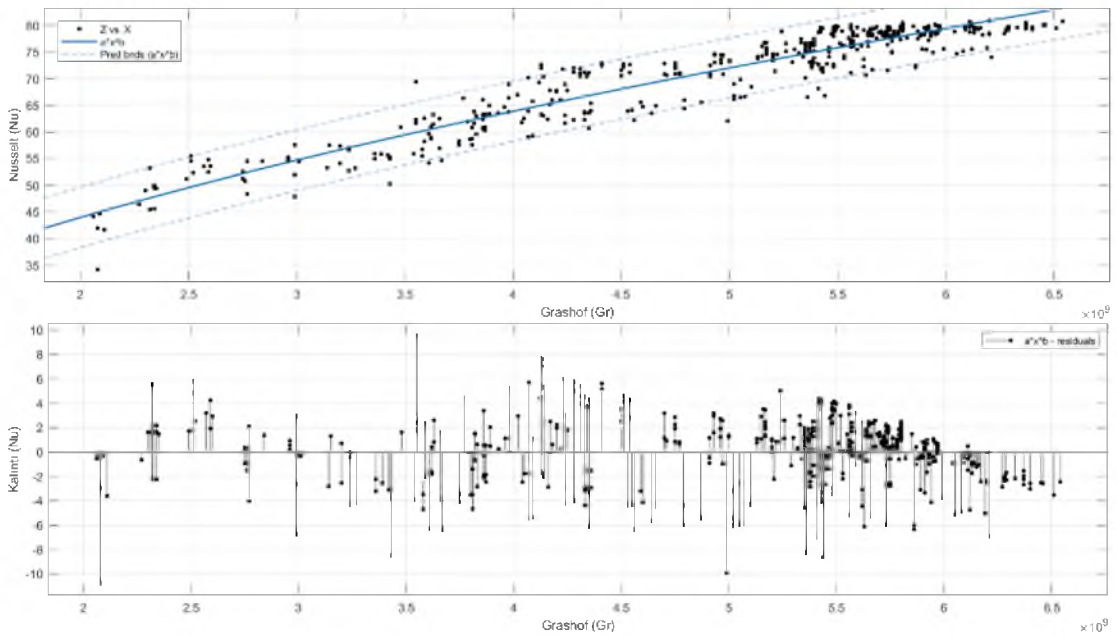




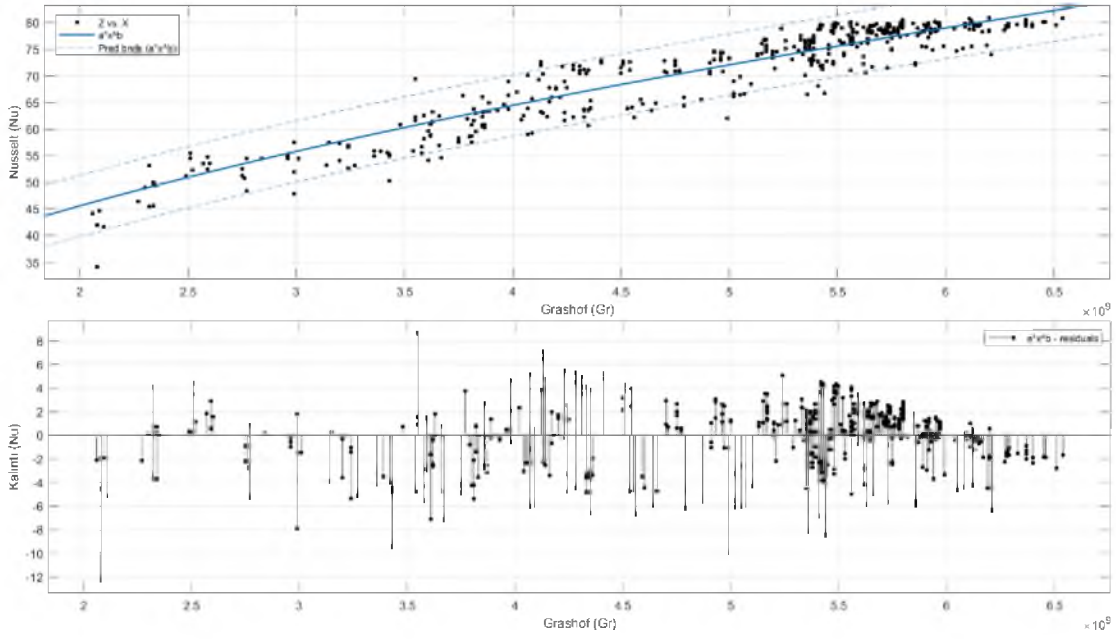
Şekil. 5.25. Eş 38.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



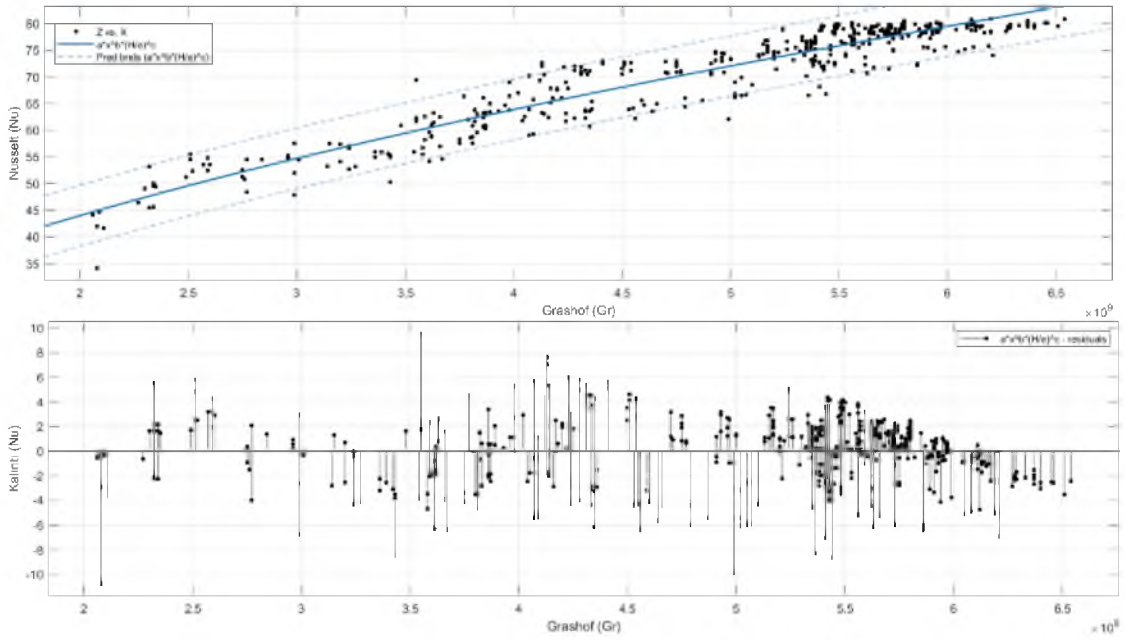
Şekil. 5.26. Eş 39.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



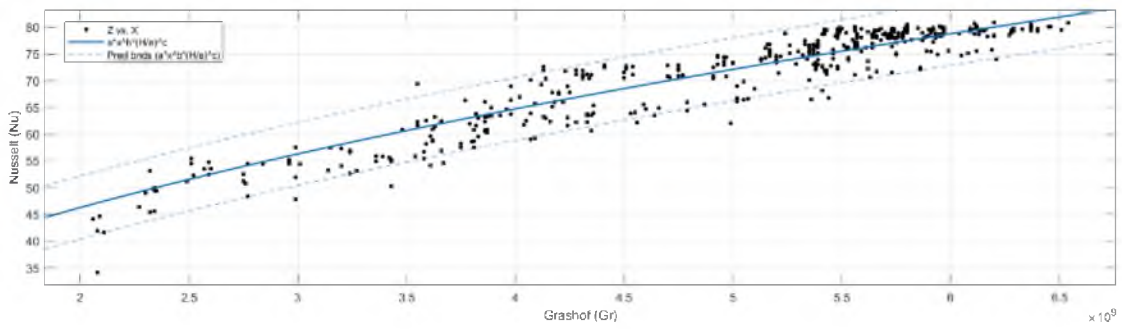
Şekil. 5.27. Eş 40.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

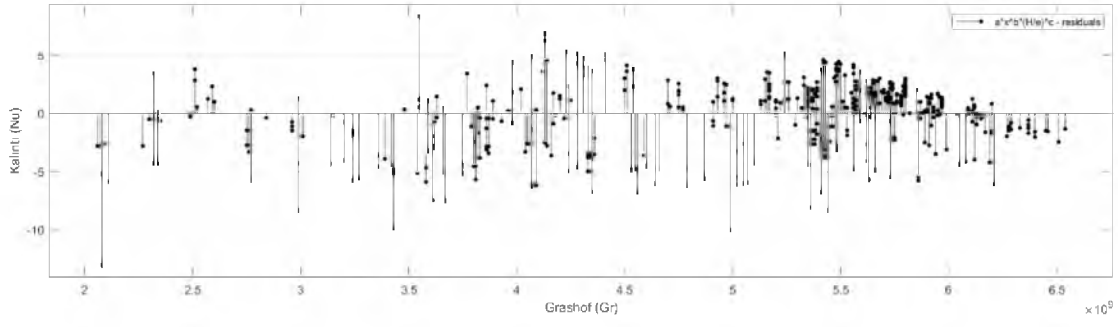


Şekil. 5.28. Eş 40.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



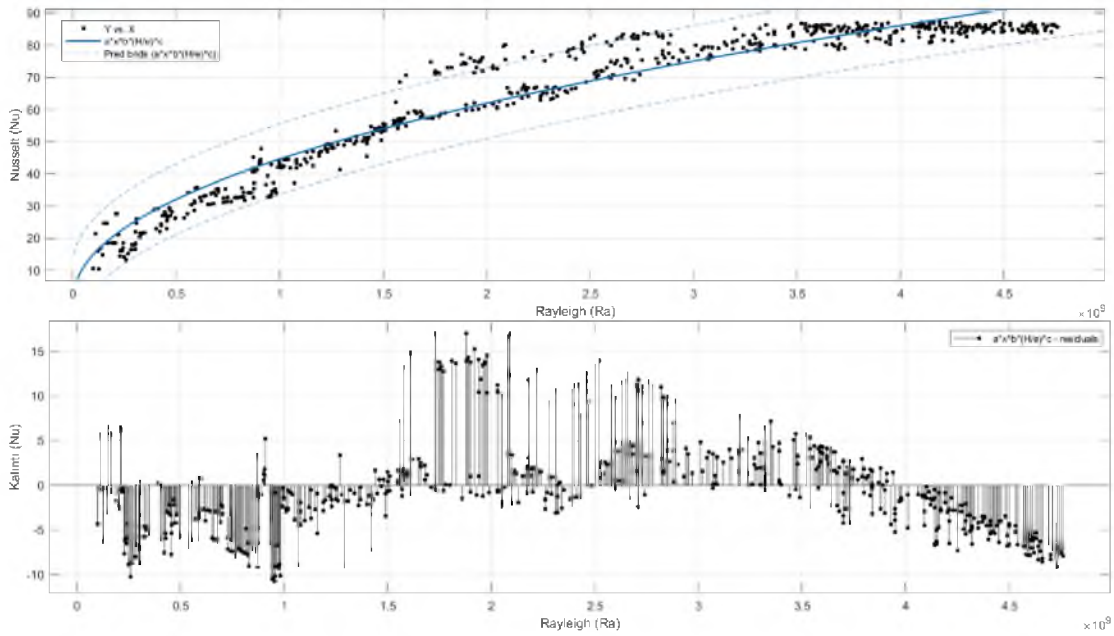
Şekil. 5.29. Eş 41.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



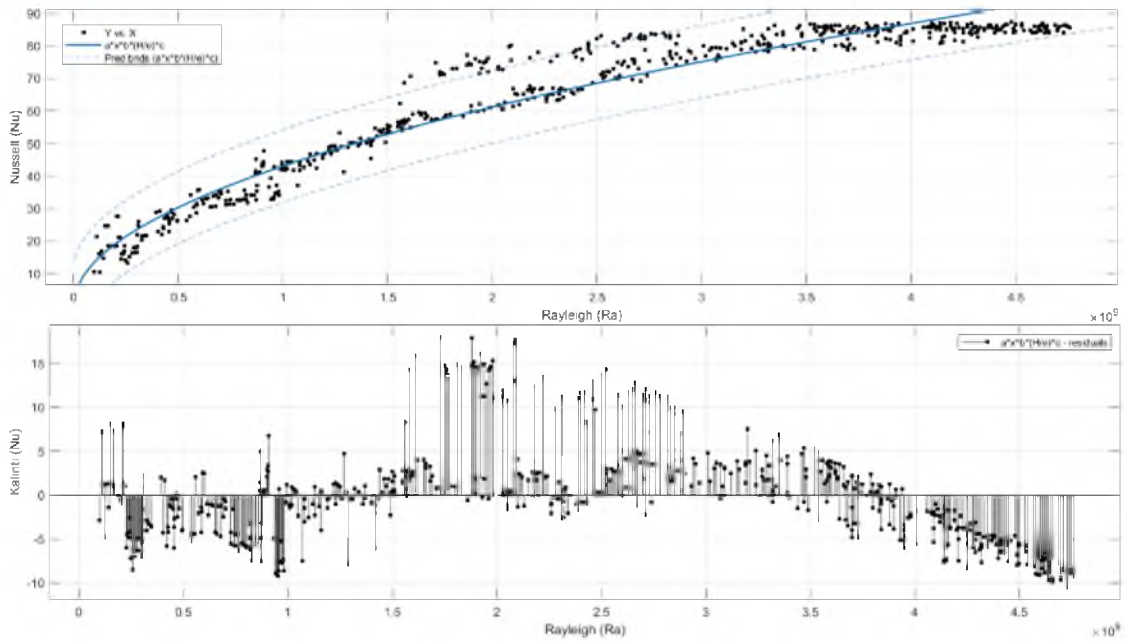


**Şekil. 5.30.** Eş 41.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

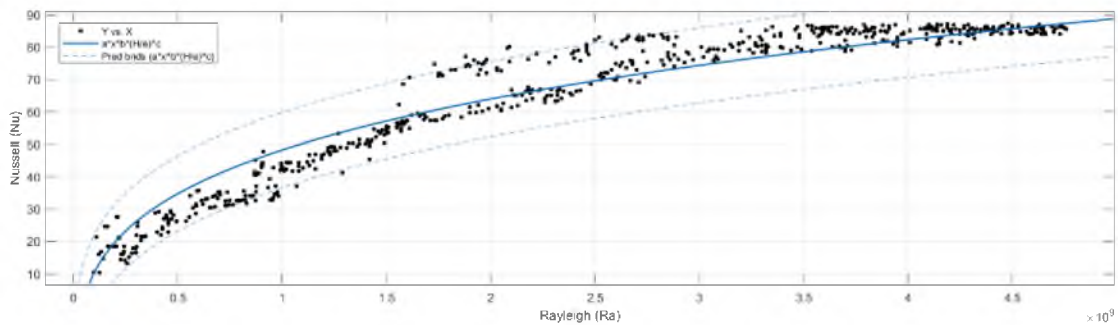
## EK-6 Sinüs Absorban Panel Eğri Uydurma Grafikleri

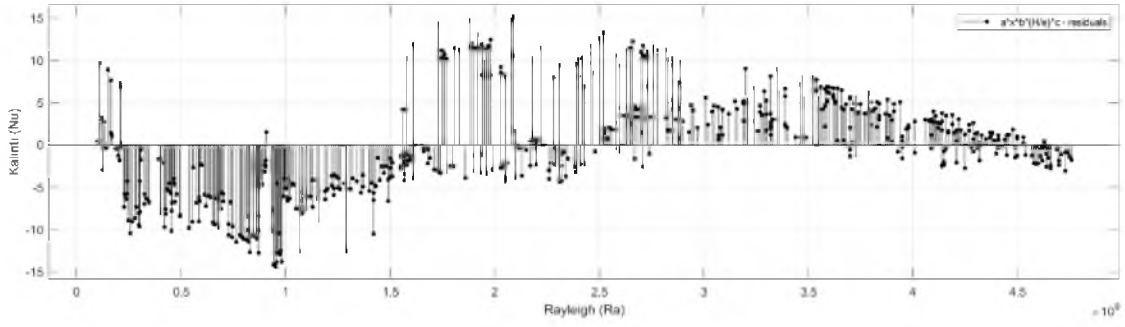


Şekil. 6.1. Eş 42.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

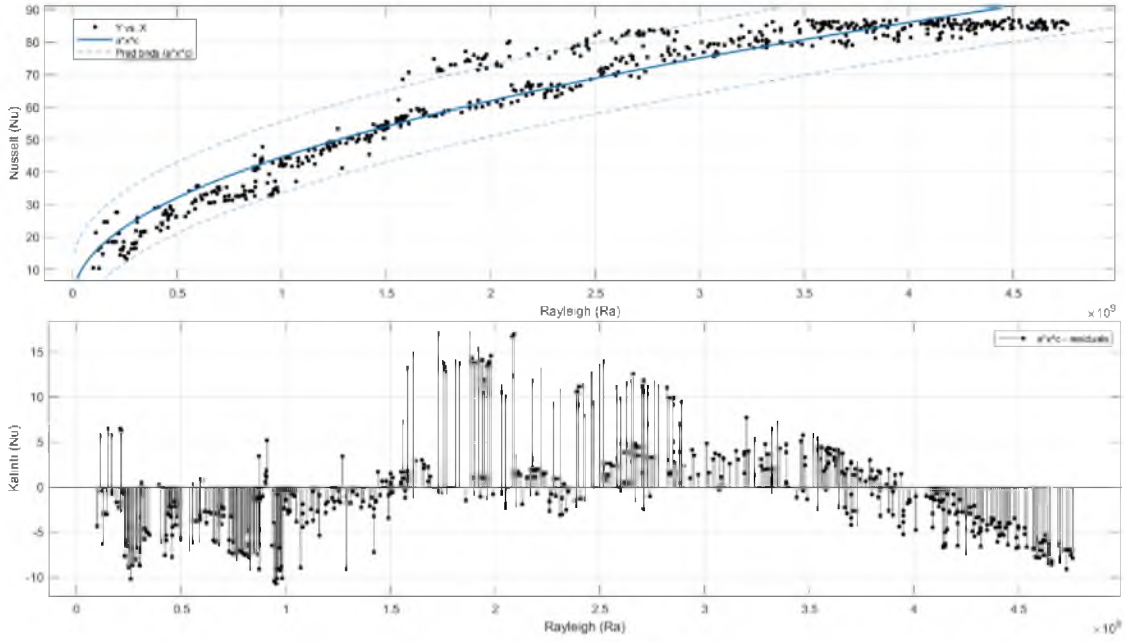


Şekil. 6.2. Eş 42.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

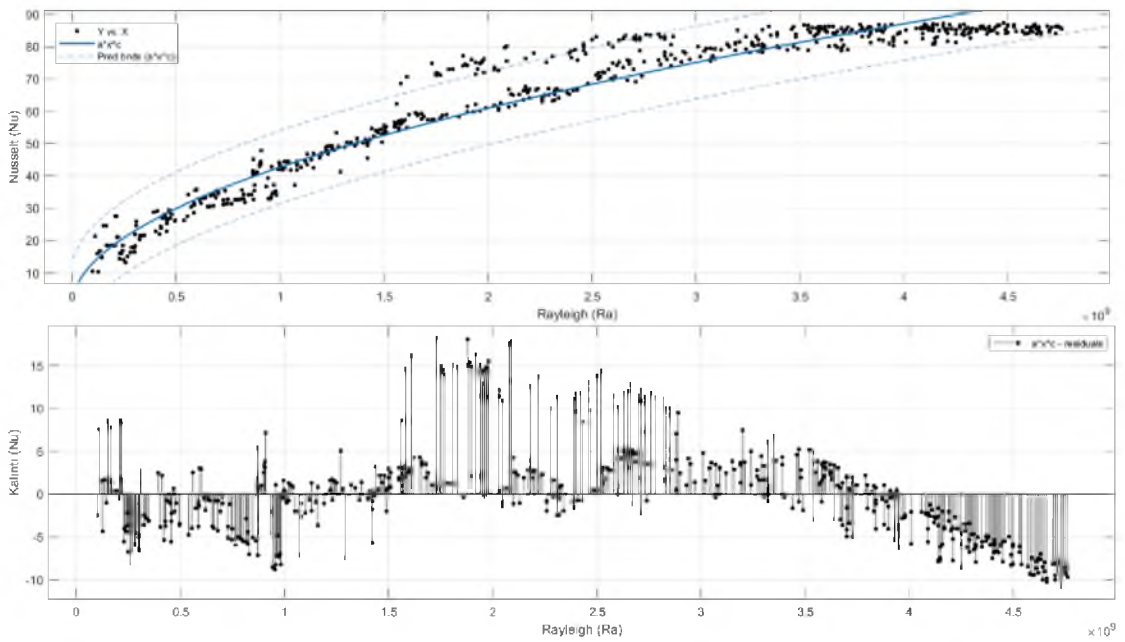




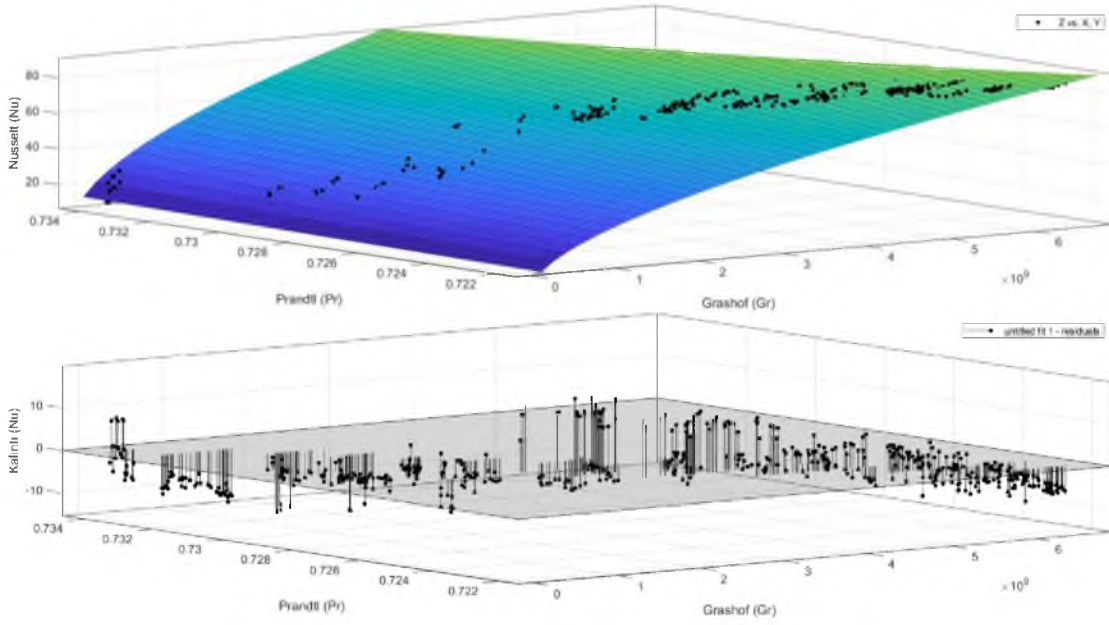
Şekil. 6.3. Eş 43.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



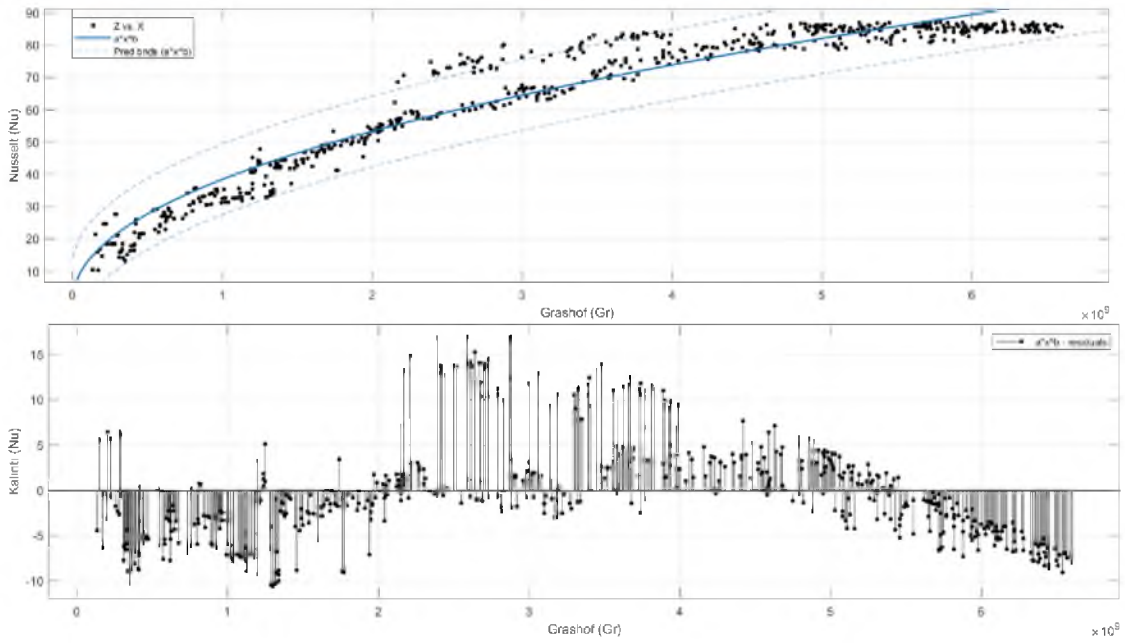
Şekil. 6.4. Eş 44.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



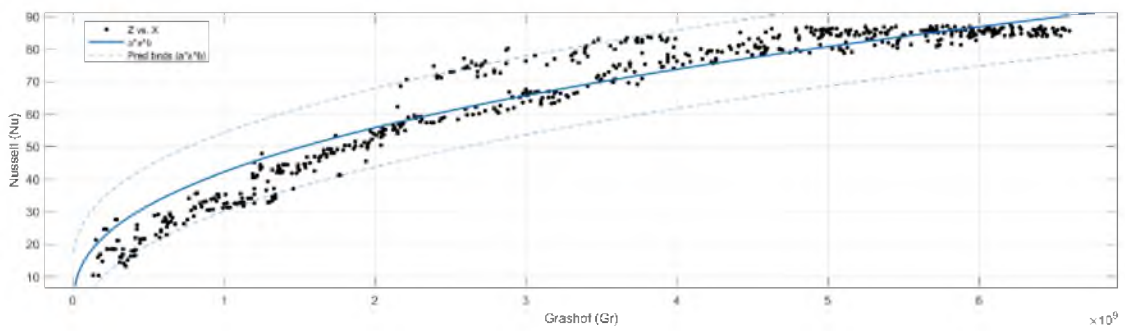
Şekil. 6.5. Eş 44.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

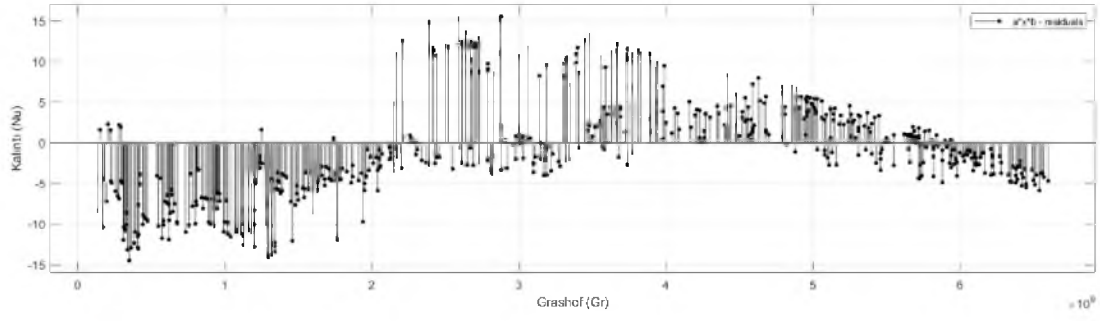


Şekil. 6.6. Eş 45.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

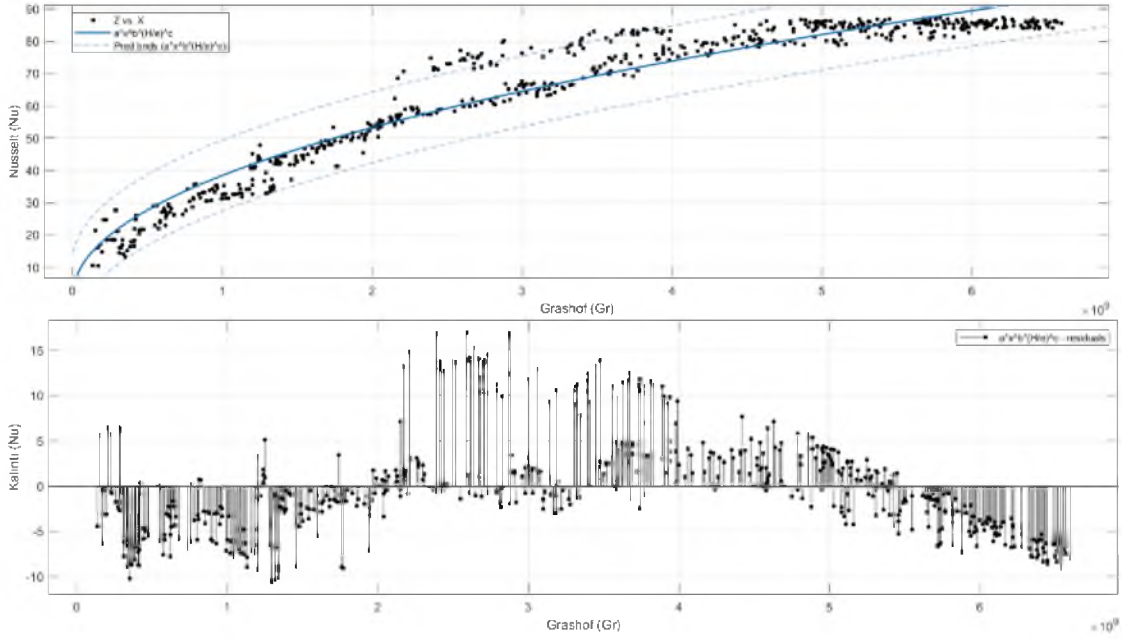


Şekil. 6.7. Eş 46.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

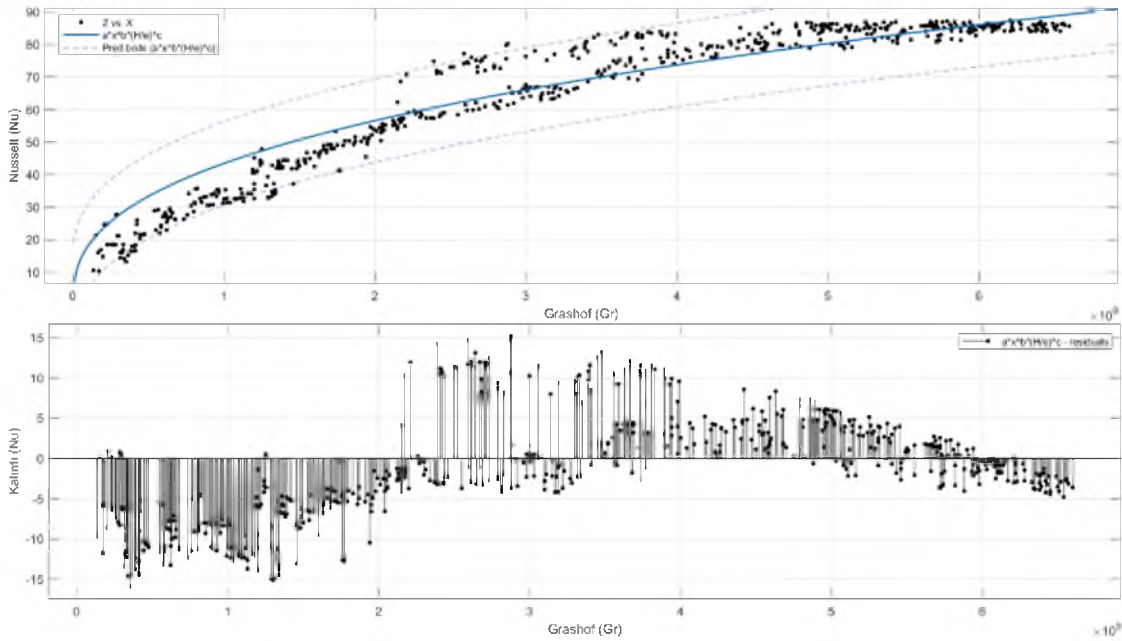




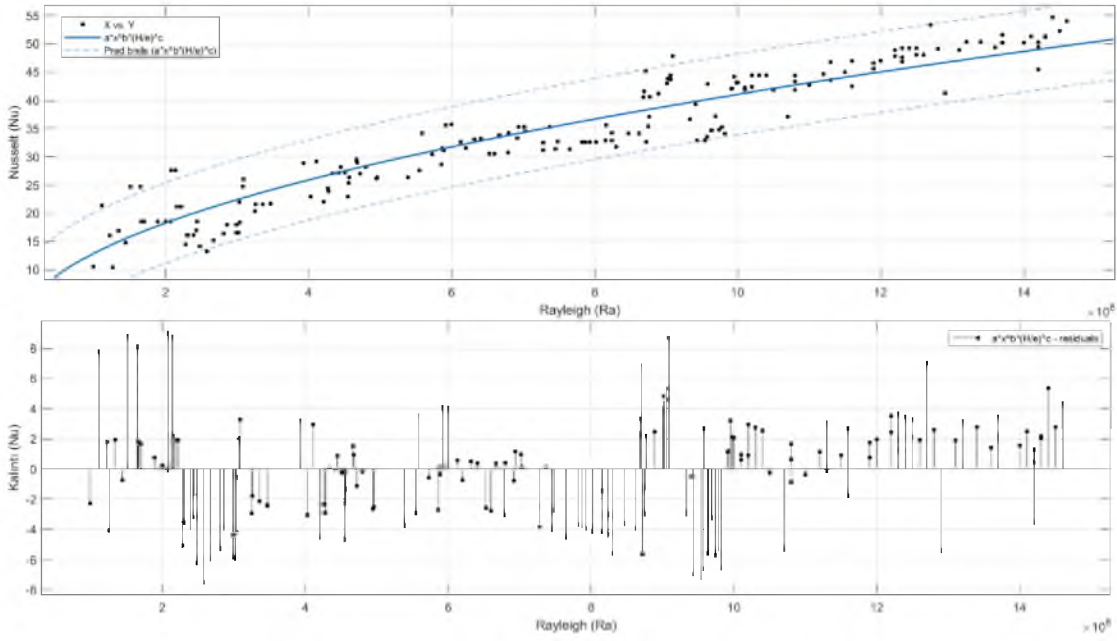
Şekil. 6.8. Eş 46.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



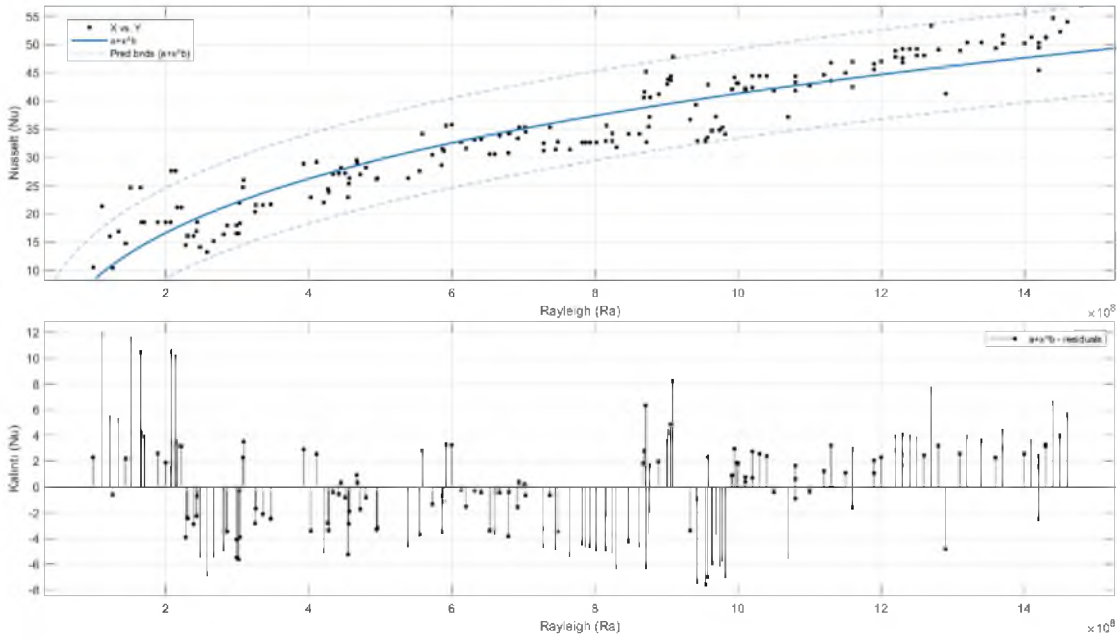
Şekil. 6.9. Eş 47.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



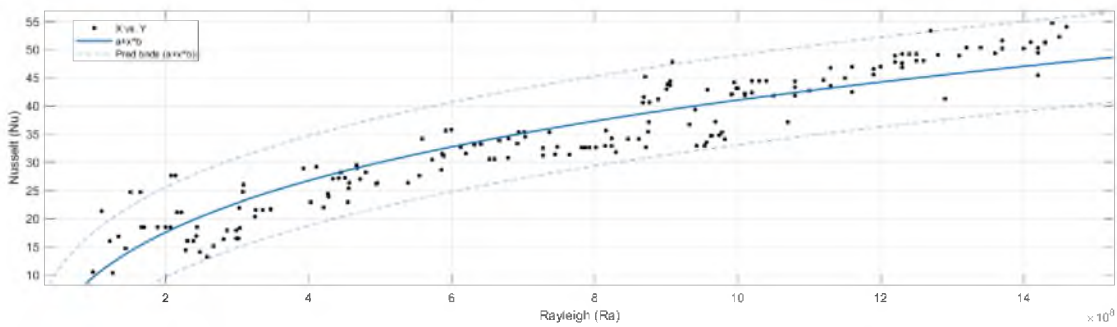
Şekil. 6.10. Eş 47.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

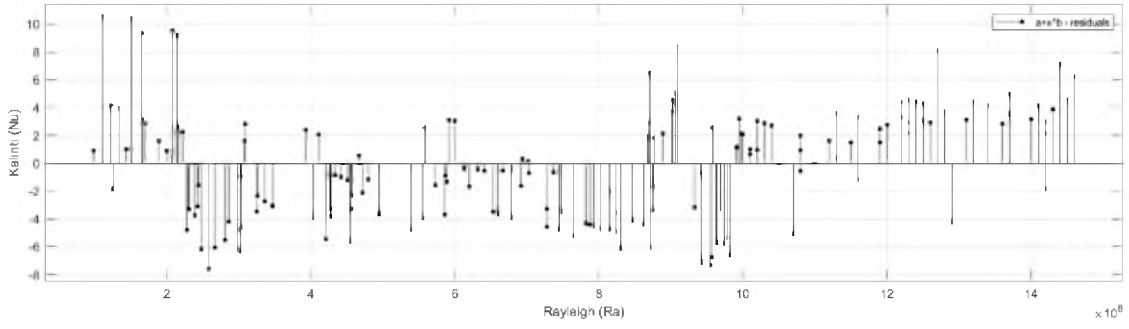


Şekil. 6.11. Eş 48.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

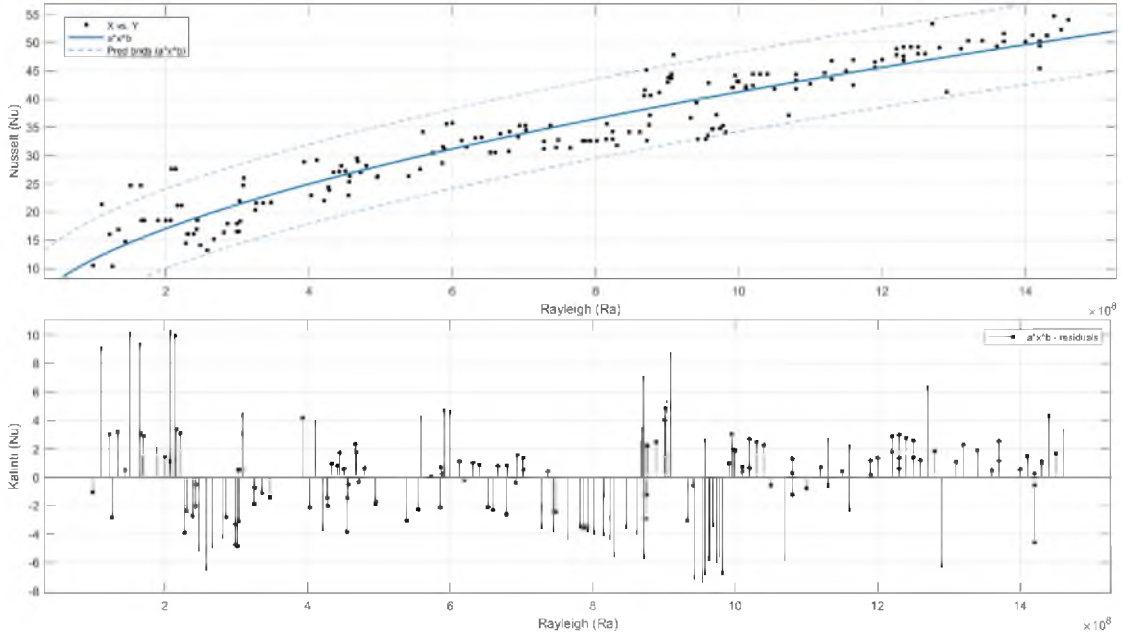


Şekil. 6.12. Eş 49.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

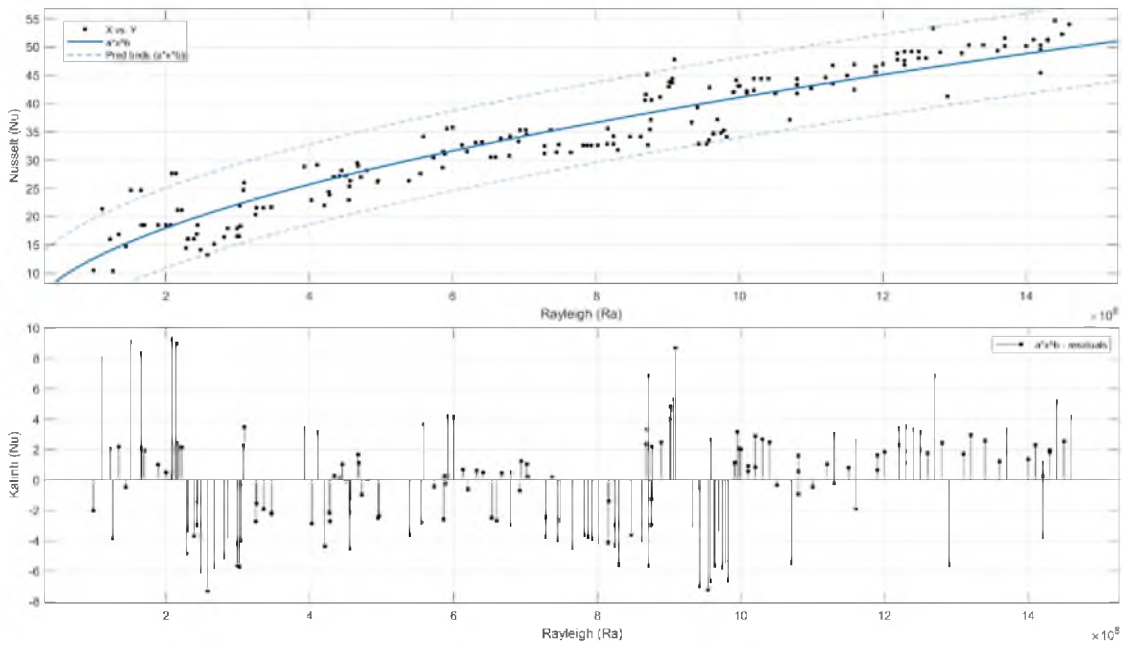




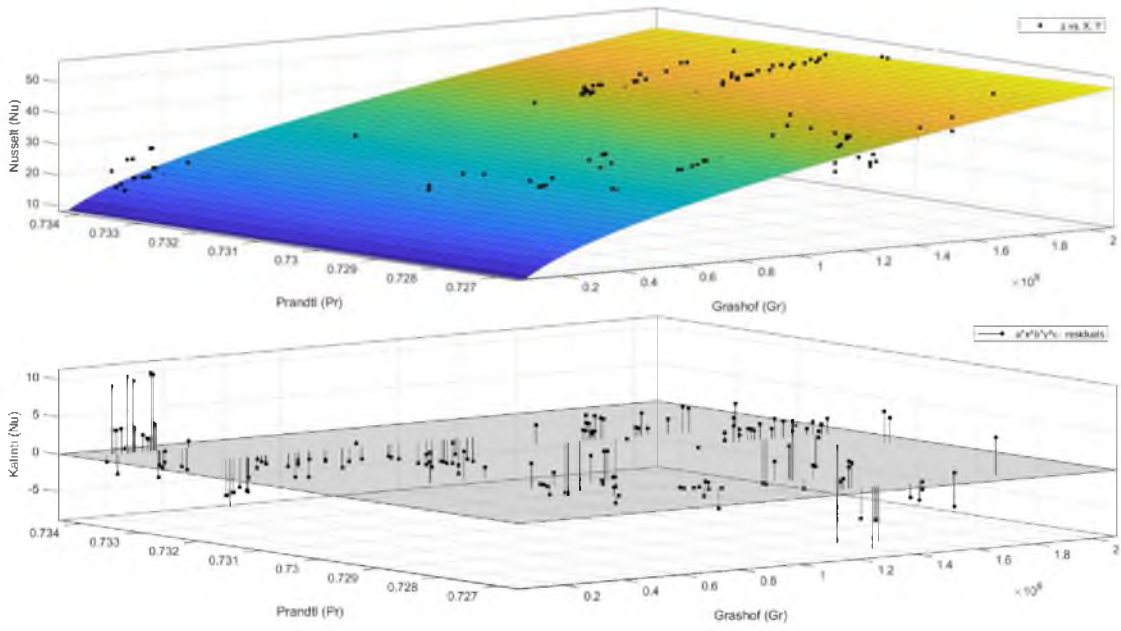
Şekil. 6.13. Eş 49.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



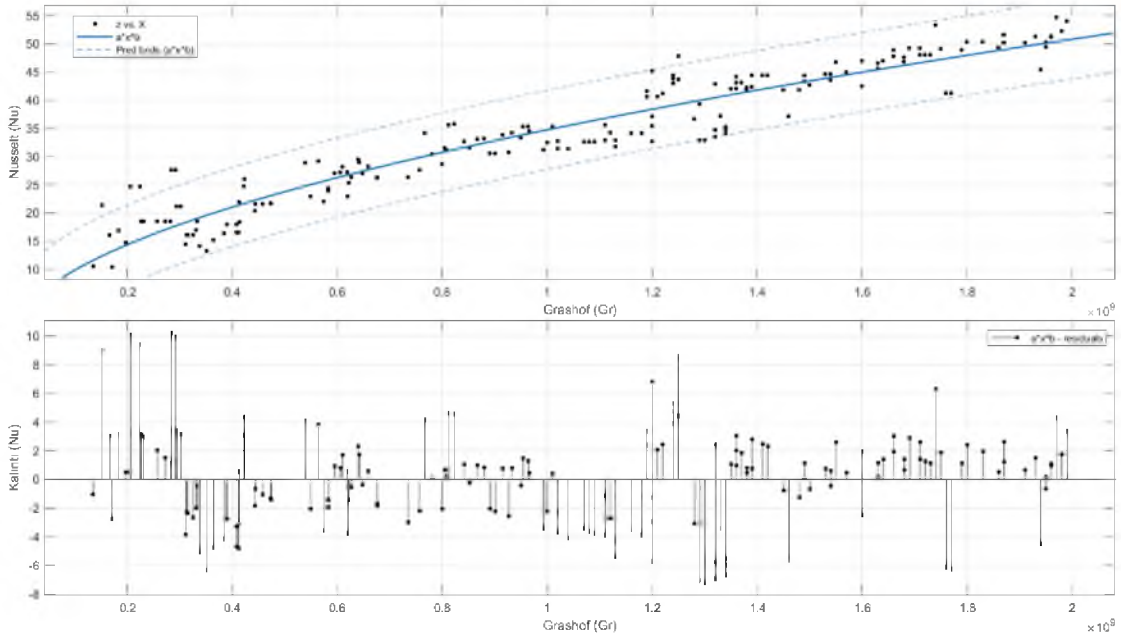
Şekil. 6.14. Eş 50.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



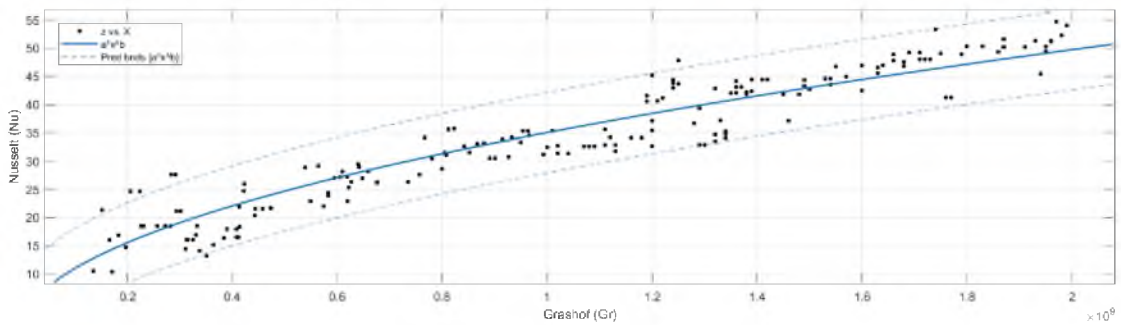
Şekil. 6.15. Eş 50.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

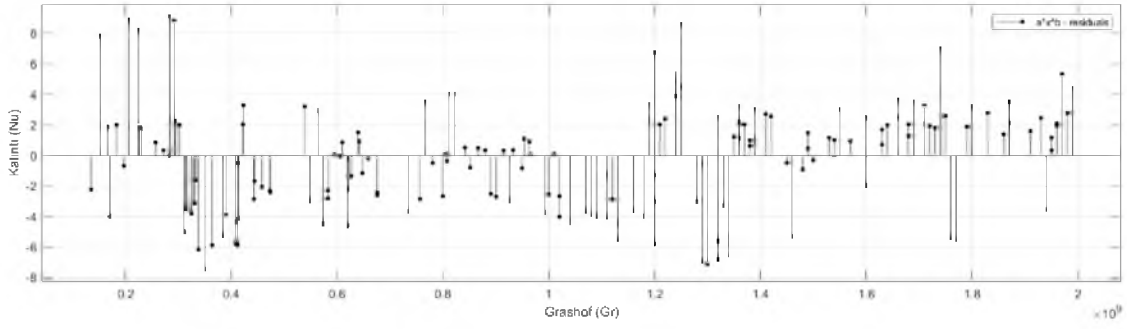


Şekil. 6.16. Eş 51.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

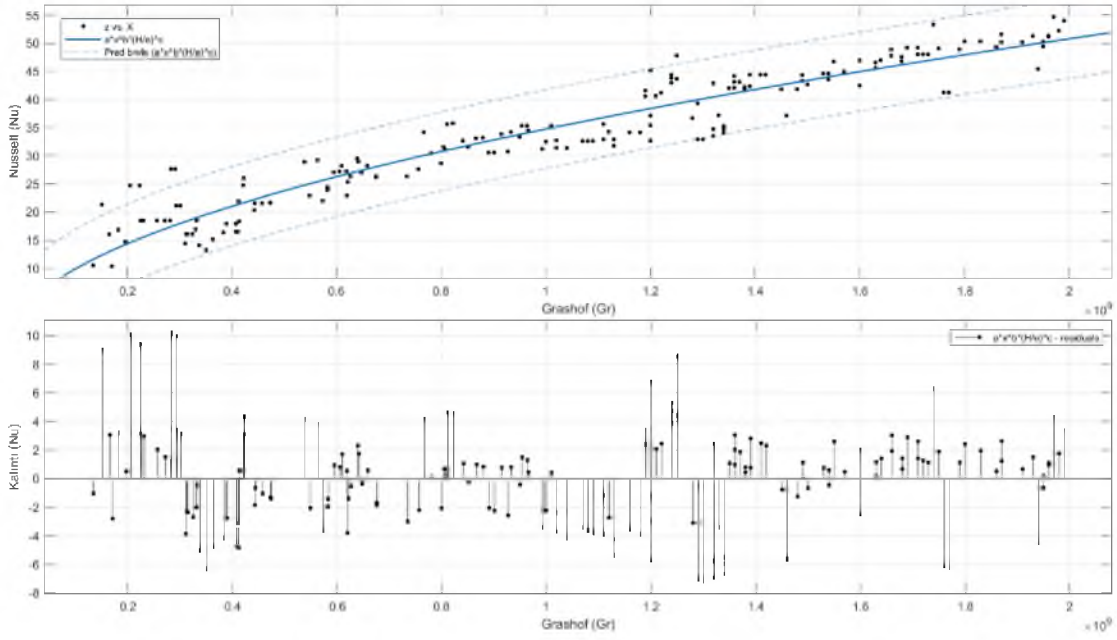


Şekil. 6.17. Eş 52.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

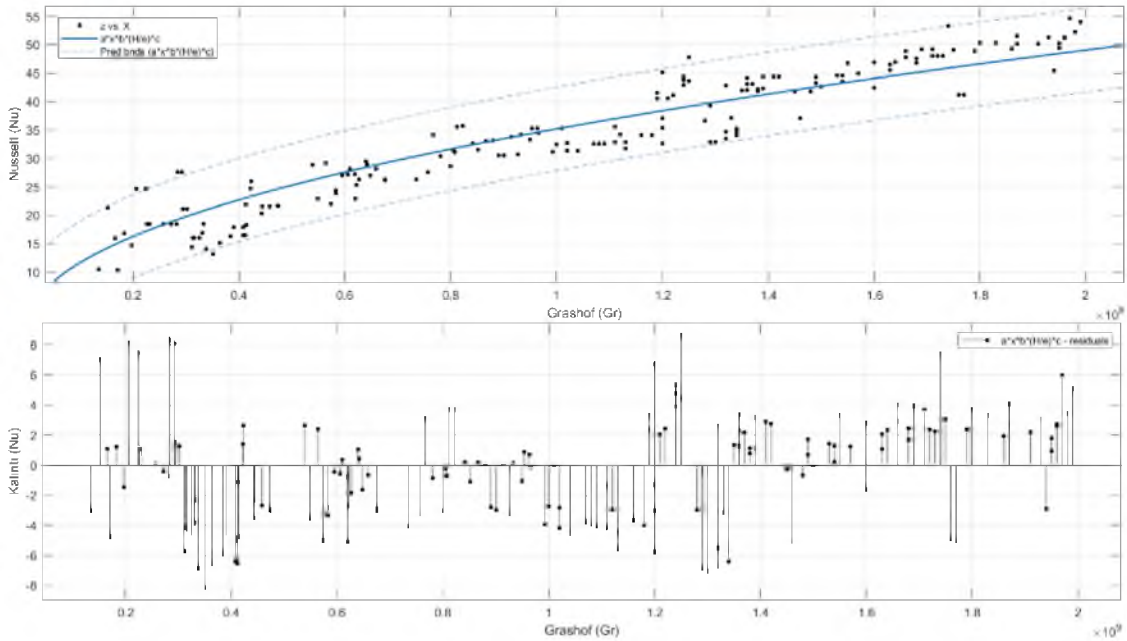




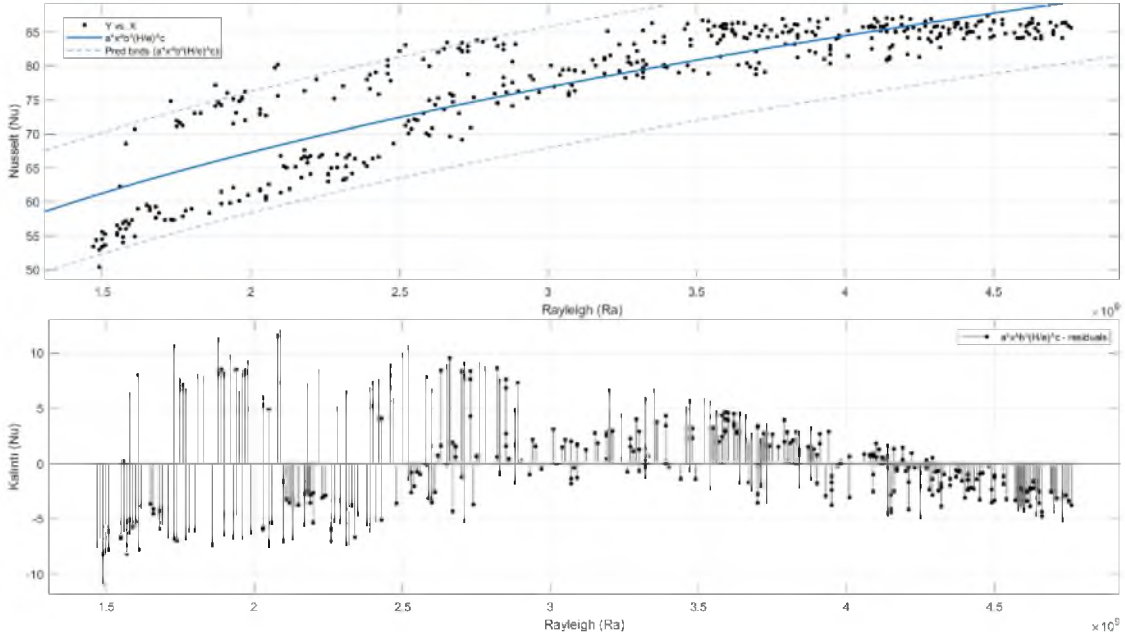
Şekil. 6.18. Eş 52.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



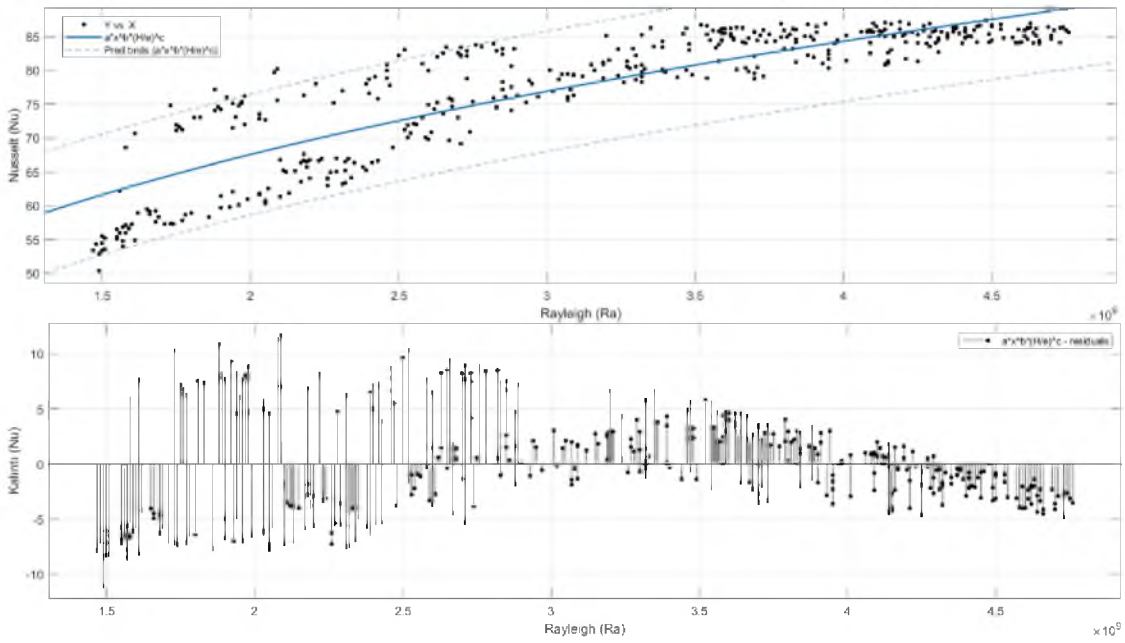
Şekil. 6.19. Eş 53.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



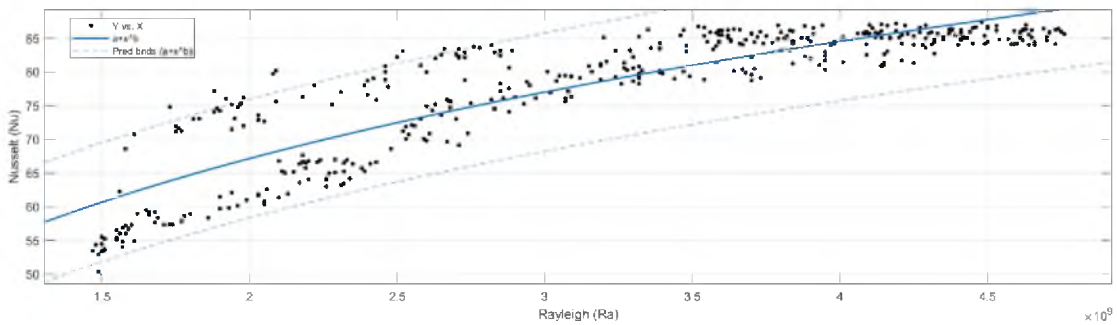
Şekil. 6.20. Eş 53.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

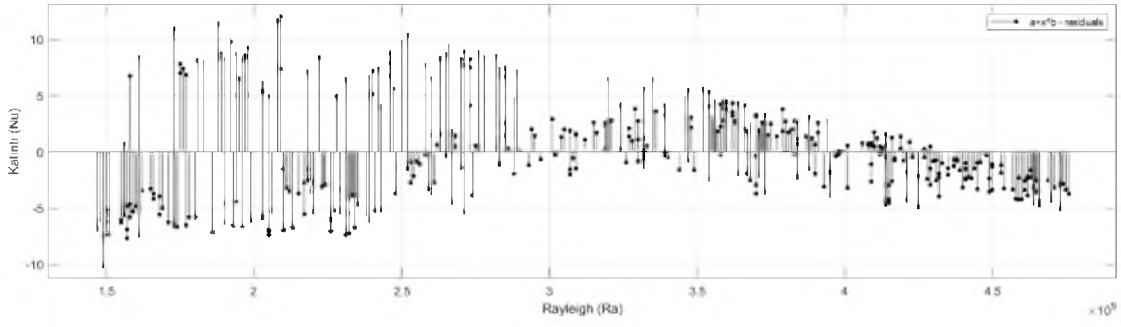


Şekil. 6.21. Eş 54.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

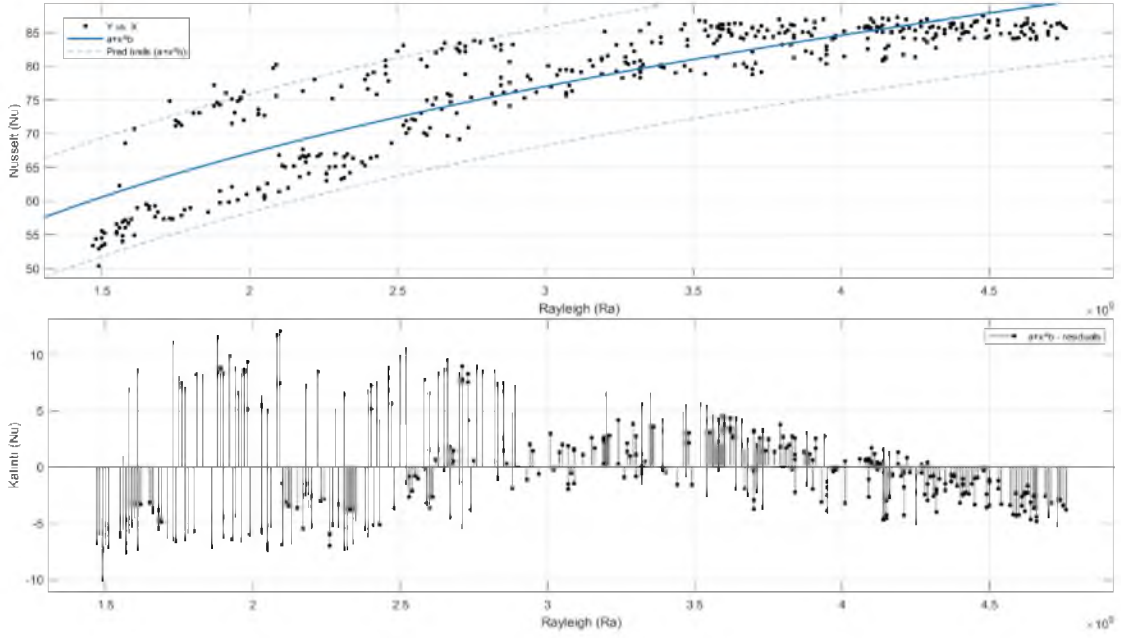


Şekil. 6.22. Eş 54.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

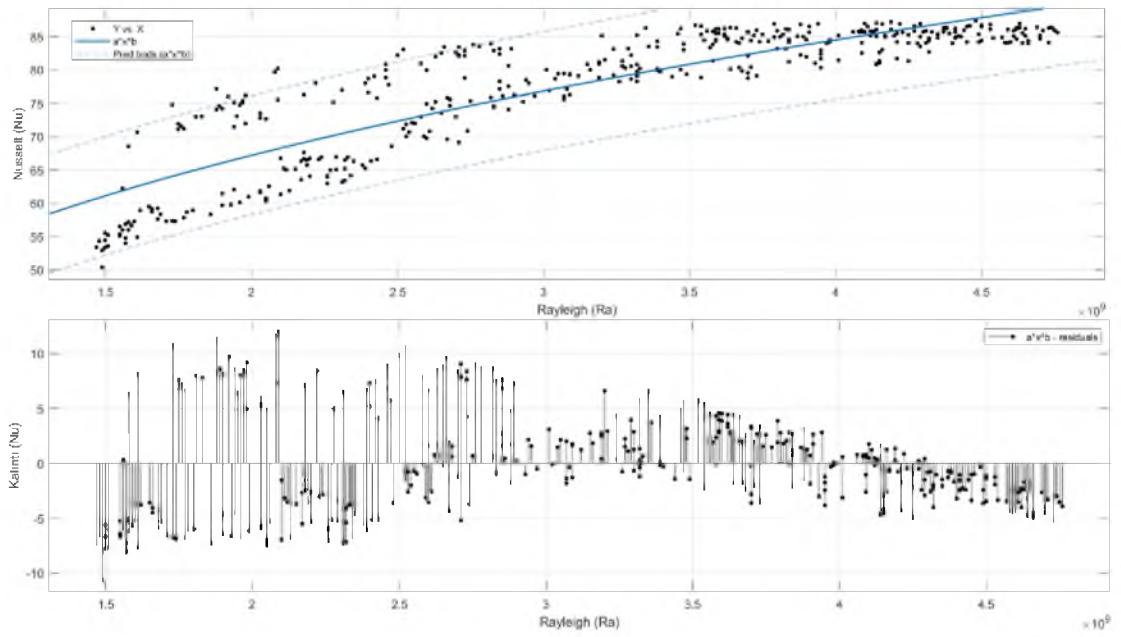




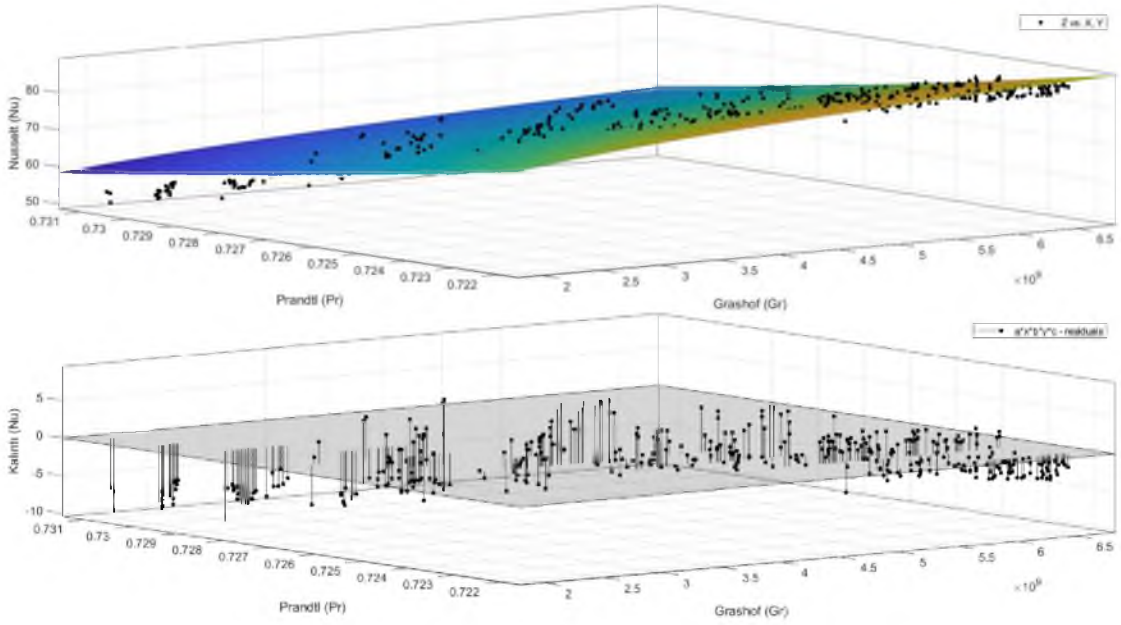
Şekil. 6.23. Eş 55.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



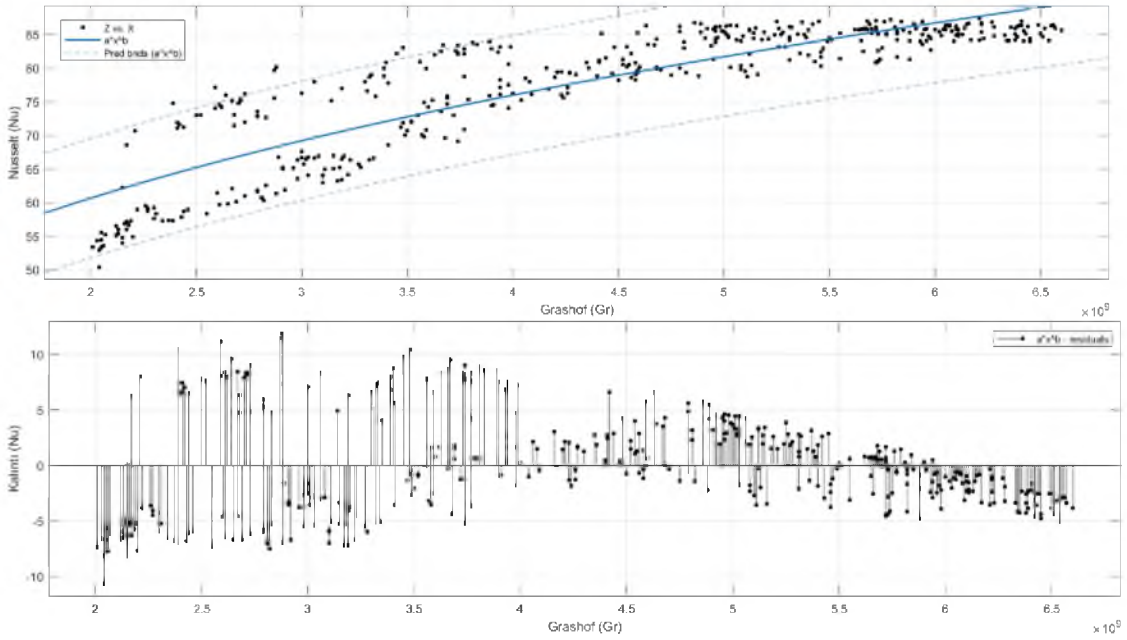
Şekil. 6.24. Eş 55.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



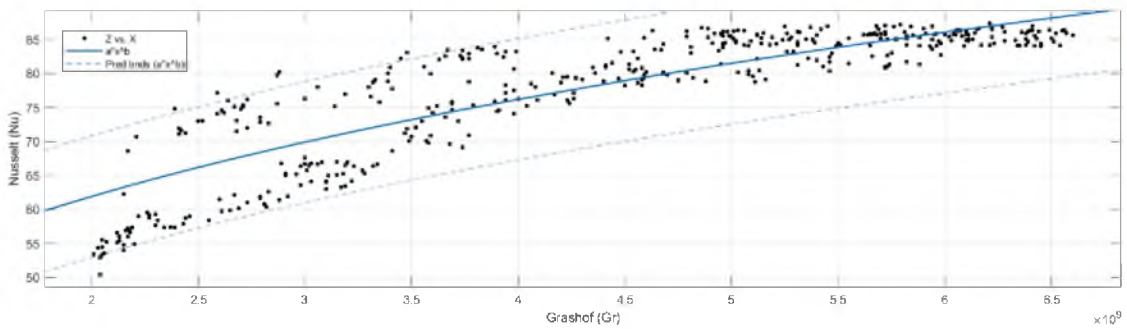
Şekil. 6.25. Eş 56.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

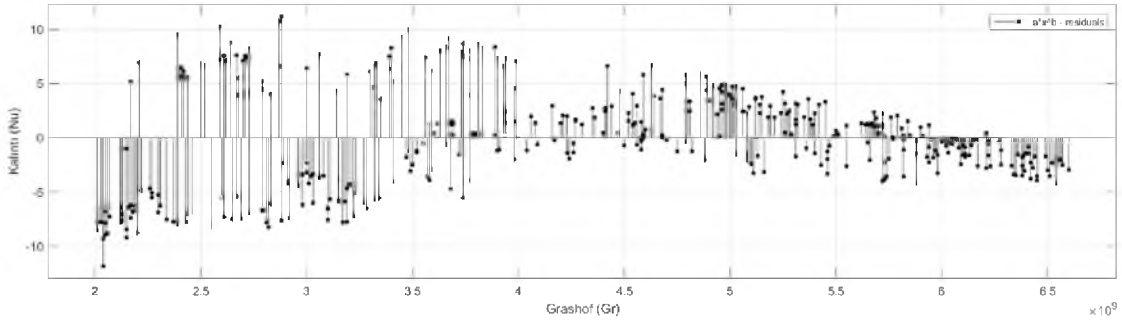


Şekil. 6.26. Eş 57.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

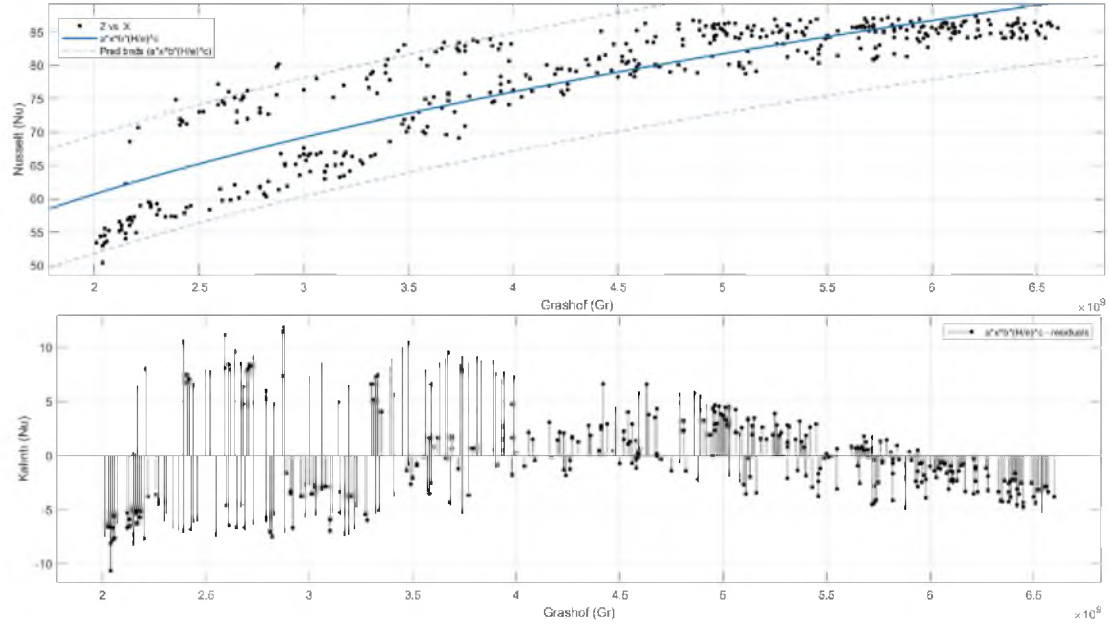


Şekil. 6.27. Eş 58.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

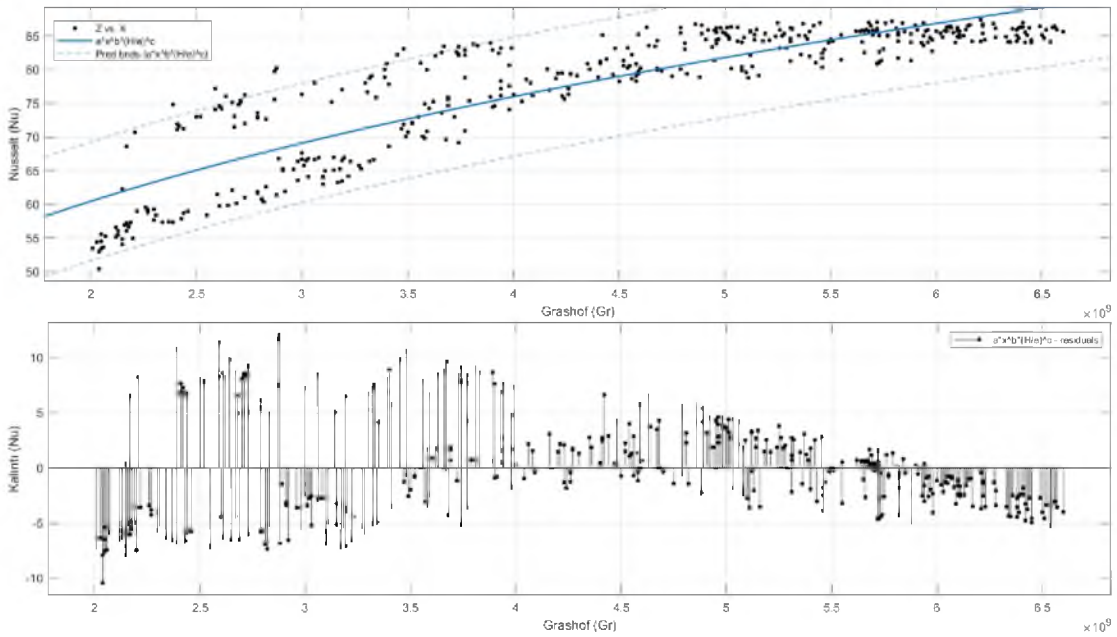




Şekil. 6.28. Eş 58.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

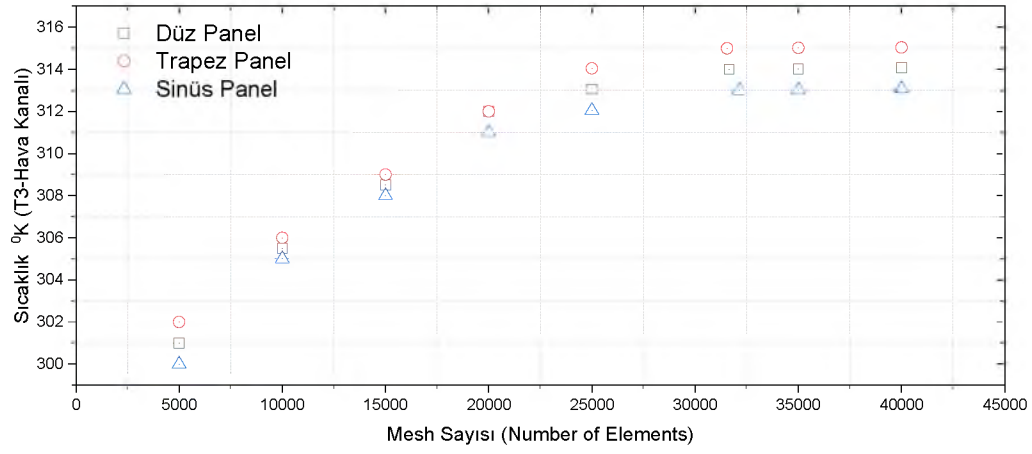


Şekil. 6.29. Eş 59.1-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri



Şekil. 6.30. Eş 59.2-eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

## EK-7 Mesh Bağımsızlık Testi



Şekil. 7.1. Mesh bağımsızlık testi