

GÜNEŞ BACASI İLE ENERJİ ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Arif KOYUN

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa ACAR**

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2006**

**GÜNEŞ BACASI İLE ENERJİ
ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ**

Arif KOYUN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2006**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GÜNEŞ BACASI İLE ENERJİ ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Arif KOYUN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2006**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda
DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Üye : Prof. Dr. Mustafa ACAR (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mustafa BAYHAN

Üye : Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT

Üye : Doç. Dr. Osman İPEK

ONAY

Bu tez / /2006 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../2006

Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE

SDÜ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| İÇİNDEKİLER | i |
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT | iv |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | v |
| SİMGELER DİZİNİ | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Güneş Bacasının Tarihçesi | 8 |
| 1.2. Güneş Bacasının Temel İlkeleri | 9 |
| 1.3. Güneş Enerjisinin Güneş Bacasına Geliş Durumu | 13 |
| 1.4. Çalışmanın Amacı | 13 |
| 1.5. Güneş Bacası Sistem Elemanları | 14 |
| 1.5.1. Kollektör | 14 |
| 1.5.1.2. Zeminde Isı Depolama | 16 |
| 1.5.2. Baca | 18 |
| 1.5.3. Türbin | 20 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 22 |
| 2.1. Teorik Çalışmalar | 22 |
| 2.2. Uygulamalı Çalışmalar | 26 |
| 2.2.1. Manzaranes Prototipi | 26 |
| 2.2.2. Florida Üniversitesi Prototipi | 27 |
| 2.2.3. İran prototipi | 29 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 30 |
| 3.1. Temel Denklemler | 30 |
| 3.1.1. Yoğunluk | 30 |
| 3.1.2. Genel Temel Denklemler | 32 |
| 3.1.3. Türbülans Modeli | 33 |
| 3.1.3.1. RANS Modelinin Esasları | 35 |
| 3.1.3.2. Direkt Sayısal Çözüm (DNS-Direct Numeric Simulation) | 37 |
| 3.1.3.3. Büyük Yapısal Simülasyon (LES-Large Eddy Simulation) | 37 |
| 3.1.3.4. Sıfır Denklem Modeli | 37 |
| 3.1.3.5. Bir Denklemli Modeller (Spalart-Allmaras Modeli) | 38 |
| 3.1.3.6. İki Denklemli Modeller (Standart k-ε Model) | 38 |
| 3.1.3.7. İki Denklemli Modeller (RNG k-ε Türbülans Modeli) | 40 |
| 3.1.3.8. İki Denklemli Modeller (Standart k-ω Model) | 40 |
| 3.1.3.9. Standart Wand modeli | 41 |
| 3.1.3.10. Modelde Uygulanan Denklemler | 43 |
| 3.1.4. Fiziksel Model | 44 |
| 3.2. Koordinat Sistemi ve Sınırlar | 48 |
| 3.3. Sistemin Teorik Analizi | 49 |
| 3.3.1. Kollektördeki Hava Durumunun Modellenmesi | 49 |
| 3.3.1.1. Enerji denkliği | 51 |
| 3.3.1.2. Isıl Ağ | 53 |
| 3.3.1.3. Isı Transfer Katsayıları | 55 |
| 3.3.2. Baca İçindeki Hava Durumunun Modellenmesi | 58 |
| 3.3.2.1. Enerji Denkliği | 60 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.3. Türbindeki Hava Durumunun Modellenmesi | 60 |
| 3.4. Deneysel Çalışma..... | 62 |
| 3.4.1. Kurulan Güneş Bacası Sistemi..... | 62 |
| 3.4.2. Ölçüm Sistemi..... | 66 |
| 3.4.3. Gerçekleştirilen Ölçümler | 70 |
| 3.5. Güneş Bacasındaki Akışın CFD Analizi..... | 72 |
| 3.5.1. CFD Nedir? | 72 |
| 3.5.2. Modelleme | 76 |
| 3.5.3. Kafes Oluşturulması..... | 76 |
| 3.5.4. Sayısal Çözüm..... | 79 |
| 3.6. Büyük Güneş Bacası Sistemleri..... | 81 |
| 3.7. Geliştirilen Bilgisayar Programı | 83 |
| 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR | 90 |
| 4.1. Güneş Bacası Deneysel Sonuçları..... | 90 |
| 4.2. Sayısal Hesaplama Sonuçları | 100 |
| 4.3. Bilgisayar Programı Sonuçları | 103 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ | 109 |
| 6. KAYNAKLAR | 111 |
| 7. EKLER..... | 116 |
| ÖZGEÇMİŞ | 126 |

ÖZET

Güneş Bacası İle Enerji Üretiminin İncelenmesi

Ülkemizde ve dünyada enerji maliyetleri giderek arttığından ve çevre kirliliği giderek önem kazandığından dolayı, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yönelim olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisinden faydalanmak son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Bu çalışma da ise güneş enerjisinden elektrik elde etme yöntemlerinden bir tanesi olan güneş bacası sistemleri incelenmiştir.

Güneş bacası sistemleri, havanın sıcaklığının artması sonucu yükselmesi prensibiyle çalışan bir elektrik üretim sistemidir. Bu esnada güneşten gelen ışınlarla havanın ısı enerjisi artar ve yükselen hava bu ısı enerjisini bir türbin ve generatör grubuna vererek buradan da elektrik enerjisi elde edilmiş olur.

Deneysel çalışma olarak, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma Uygulama Merkezi tarafından kurulan prototip güneş bacası üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca teorik olarak ise güneş bacası sistemi için kütle korunumu, momentum ve enerji denklemleri türetilmiştir. Ardından elde edilen deneysel verilerle, teorik çalışma birleştirilerek temel parametreler türetilip, diğer çalışma şartları da (diğer iklim şartları) göz önüne alınarak FLUENT simülasyon programıyla simüle edilmiştir. Sistemin kafes yapısı GAMBIT programında oluşturulmuştur. Bu simülasyon işleminde, güneş bacası içindeki akış türbülanslı olduğu için türbülans modeli olarak RNG k-ε modeli kullanılmıştır. Bu program ile güneş bacasının her bölgesindeki sıcaklık, hız, yoğunluk gibi temel parametreler belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada, sisteme gelen güneş enerjisi miktarı, sisteme giren ve sistemden çıkan hava hızları ve sıcaklıkları ölçülmüştür. Böylece sistem performansını etkileyen parametreler de tespit edilmiştir.

Geliştirilen bir bilgisayar programı ile güneş bacası ile ilgili bazı temel özelliklerin belirlenmesi mümkün olmuştur. Bu özellikler, güneş bacası ölçülerine göre sistemden elde edilecek güç, seçilen yöre için bir günlük güneş ışınım değerleri, sistemde oluşan ısı kayıpları ve istenen güç için gerekli olan güneş bacası sistem ölçüleri olmaktadır.

Sonuç olarak, deneysel ölçüm sonuçları ve CFD analiz sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu ve iyi bir uyumun sözkonusu olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş bacası, Güneş enerjisi, Simülasyon, Fluent, Yenilenebilir enerji, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, CFD

ABSTRACT

Investigation of Energy Production by The Solar Chimney

Because of the fact that energy expenses are increasing to a greater extent and environment pollution is gradually getting more serious in our country and in our world, there has been a further tendency towards renewable energy resources in recent years. Making use of solar energy which is the prime renewable energy source has gained more importance in recent years. In this study, solar chimney system which is one of the techniques of producing electricity from solar energy has been examined.

Solar chimney system is a system that works with the principle that air temperature elevates when it rises. Thermal air temperature rises with the radiation coming from the sun. Elevated air gives its thermal energy to turbine and generator group, thus creating electrical energy.

As an experimental study, measurements have been performed on prototype solar chimney which has been constructed by Süleyman Demirel University, Renewable Energy Resources Research and Application Center. Moreover, mass conservation, momentum and energy equations have been theoretically derived. Subsequently, FLUENT simulation program has been simulated by setting basic parameters from combining obtained experimental data and theoretical study and considering other working conditions (other climatic conditions). The framework structure of the system has been formed by using GAMBIT program. In this simulation process, RNG k- ϵ model has been used as the turbulent model due to the fact that the current in the solar chimney has been turbulent. With this program, basic parameters in every part of the solar chimney like temperature, velocity, and density have been determined.

In this experimental study, the amount of solar energy that comes to the system, air velocities and temperatures that come in and out of the system have been measured. Therefore, parameters that affect the system performance have been determined.

Thanks to a developed computer program, it has been possible to identify some basic features that are related with solar chimney. These features are the power that is regulated in the system according to the solar chimney dimensions, daily solar radiation values for the selected territory, and the solar chimney system measurements that are necessary for heat losses occurring in the system and the required power.

KEY WORDS: Solar chimney, Solar energy, Simulation, Fluent, Renewable energy, Computational fluid dynamics, CFD

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımda bana daima yol gösteren, değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa ACAR'a teşekkürlerimi ve sonsuz şükranlarımı arz ederim. Çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÜÇGÜL'e ve ayrıca çalışma süresi boyunca büyük bir özveriyle bana destek olan eşim Yrd. Doç. Dr. Tansel KOYUN'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez, SDÜ 0884-D-04 nolu proje ile Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Arif KOYUN

15.06.2006

SİMGELER DİZİNİ

| | |
|-----------------------------|--|
| α | Yüzey yutma katsayısı (boyutsuz) |
| α | Termal difüzyivite [m^2/s] |
| β | Hacim sabiti [$1/K$] |
| δ | Deklinasyon açısı [$^\circ$] |
| ε | Yüzey yayma katsayısı (boyutsuz) |
| ε | Disipasyon oranı [W/kg] |
| ε | Türbülans kinetik enerjisinin yayılma hızı [m^2/s^3] |
| σ | Stephan-Boltzman sabiti [$W/m^2 K^4$] |
| σ_t | Türbülanslı Prandtl sayısı |
| τ | Geçirgenlik katsayısı (boyutsuz) |
| τ | Çeper kayma gerilmesi [N/m^2] |
| ν | Kinematik viskozite [m^2/s] |
| ρ | Yoğunluk [kg/m^3] |
| η | Verim (boyutsuz) |
| μ_t | Türbülans eddy viskozitesi [Ns/m^2] |
| κ | Adyabatik üs (boyutsuz) |
| ag | Azimut açısı [$^\circ$] |
| A_{baca} | Baca kesit alanı [m^2] |
| A_t | Kollektör giriş alanı [m^2] |
| A_{kol} | Kollektör yüzey alanı [m^2] |
| $c_1, c_2, c_\mu, \sigma_k$ | k- ε türbülans modeli sabitleri |
| c_p | Özgül ısı katsayısı [$J/kg.K$] |
| c_w | Sürtünme katsayısı |
| c_μ | Eddy viskozite için bir sabit |
| d | Çap [m] |
| D_{baca} | Baca çapı [m] |
| D_h | Hidrolik çap [m] |
| F' | Kollektör verim faktörü |
| g | Yerçekimi ivmesi [m/s^2] |
| G_k | Türbülans üretim miktarı (boyutsuz) |
| Gr | Grashof sayısı (boyutsuz) |

| | |
|------------|---|
| h | Saat açısı [$^{\circ}$] |
| h | Film ısı transfer katsayısı [$W/m^2 K$] |
| h_a | Kollektör giriş ağız yüksekliği [m] |
| h_w | Rüzgarla ısı transfer katsayısı [$W/m^2 K$] |
| h_{rs} | Işınım ile ısı transfer katsayısı [$W/m^2 K$] |
| H | Doğuş ve batış saat açısı [$^{\circ}$] |
| H_{baca} | Baca yüksekliği [m] |
| I | Yatay düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_d | Yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_y | Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_{ey} | Eğik düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_{ya} | Eğik düzleme gelen anlık yansımaya gelen güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_e | Eğik düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_{ed} | Eğik düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı [W/m^2] |
| I_{gs} | Güneş sabiti [W/m^2] |
| k | Türbülans kinetik enerji [J/kg] |
| k | Isı iletim katsayısı [W/mK] |
| k_t | Türbülanslı eddy iletkenliği [W/mK] |
| l | Cam örtü uzunluğu [m] |
| m | Kütleli debi [kg/s] |
| n | 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı |
| Nu | Nusselt sayısı (boyutsuz) |
| P | Güç [w] |
| p | Basınç [Pa] |
| p_1 | Kollektör girişindeki basınç [Pa] |
| Pr | Prandtl sayısı (boyutsuz) |
| q_u | Faydalı ısı [W/m^2] |
| Q_d | Yatay düzleme gelen aylık ortalama direkt güneş ışınımı [W/m^2] |
| Q_0 | Atmosfer dışına bir gün boyunca gelen güneş ışınımı [W/m^2] |
| Q_y | Yatay düzleme gelen günlük yayılı güneş ışınımı [W/m^2] |
| Q | Yatay düzleme gelen aylık ortalama toplam güneş ışınımı [W/m^2] |
| Ra | Rayleigh sayısı (boyutsuz) |

| | |
|-----------|---|
| Re | Reynolds sayısı (boyutsuz) |
| S_1 | Cam örtü tarafından yutulan ışıınım miktarı [W/m^2] |
| S_2 | Zemin tarafından yutulan ışıınım miktarı [W/m^2] |
| T_a | Dış ortam sıcaklığı [K] |
| T_c | Kollektör üst yüzey sıcaklığı [K] |
| T_{dp} | Yoğuşma noktası sıcaklığı [K] |
| T_f | Kollektör ortalama sıcaklığı [K] |
| T_p | Zemin sıcaklığı [K] |
| t | Zaman (h) |
| t_b | Güneşin battığı saat |
| t_d | Güneşin doğduğu saat |
| t_g | Gün uzunluğu |
| U_b | Zemin ısı transfer katsayısı [$W/m^2 K$] |
| U_e | Kollektör yan ısı kayıp katsayısı [$W/m^2 K$] |
| U_L | Cam örtü yüzeyi toplam ısı transfer katsayısı [$W/m^2 K$] |
| U_t | Cam örtüden olan ısı transfer katsayısı [$W/m^2 K$] |
| U | Hava hızı [m/s] |
| v_{max} | Maksimum hava hızı [m/s] |
| w | z yönündeki hız [m/s] |
| x | Basınç düşüş faktörü |
| Z | Zenit açısı [$^\circ$] |

Kısaltmalar:

| | |
|-----|---|
| CFD | Computational Fluid Dynamic - Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği |
| RNG | Renormalization Group - Renormalizasyon grup |
| RSM | Reynolds Stress Model - Reynolds Stress Model |
| LES | Large Eddy Simulation - Large Eddy Simülasyonu |
| DNS | Direct Numerical Simulation - Direkt Sayısal Simülasyon |
| FVM | Finite Volumen Modell - Sonlu Hacim Modeli |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 1.1. Dünyanın enerji ihtiyacı, fosil kaynaklı enerji kaynağı arzı ve güneş enerjisinin bir karşılaştırılması | 2 |
| Şekil 1.2. Global enerji üretiminde yenilenebilir enerjilerin yıllara göre artışı | 4 |
| Şekil 1.3. Leonardo da Vinci'nin Kızartma pervanesi (1452-1519) | 8 |
| Şekil 1.4. Güneş bacasının temel çalışma prensibi | 9 |
| Şekil 1.5. Bir güneş bacasının enerji dönüşüm aşamaları | 10 |
| Şekil 1.6. Bir güneş bacasındaki enerji akışı | 12 |
| Şekil 1.7. Kollektöre gelen güneş ışını ve kayıp durumu | 15 |
| Şekil 1.8. Kollektör çapının güneş bacasındaki elektrik enerjisi üretimine olan etkisi | 16 |
| Şekil 1.9. Gündüz ve gece durumları için çalışma prensibi | 17 |
| Şekil 1.10. Isı depolayıcı sistem olan su hortumlarının zamana bağlı olarak ısı kazancına etkisi | 17 |
| Şekil 1.11. 1000 m. baca yüksekliğine ve 170 m. baca çapına sahip bir bacanın duvar et kalınlıkları | 19 |
| Şekil 1.12. Baca yüksekliğinin elektrik enerjisi üretimine olan etkisi | 20 |
| Şekil 1.13. Manzaranes prototipinde kullanılan türbin | 21 |
| Şekil 2.1. Manzaranes prototipi | 27 |
| Şekil 2.2. Florida Üniversitesi'nin kurduğu sistem | 28 |
| Şekil 2.3. İran Shahid Bahonar Üniversitesi'nin kurduğu güneş bacası sistemi | 29 |
| Şekil 2.4. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin'de kurulan güneş bacası sistemi | 29 |
| Şekil 3.1. Türbülanslı akış çözüm yöntemleri | 34 |
| Şekil 3.2. Türbülans modelleme yaklaşımlarının özellikleri | 35 |
| Şekil 3.3. Üç çözüm yönteminin karşılaştırılması | 42 |
| Şekil 3.4. Güneş bacasının kesit alınarak büyütülmüş hali | 48 |
| Şekil 3.5. Güneş bacasının teorik analiz modeli | 50 |
| Şekil 3.6. Bir hacim elemanı boyunca enerji denkliği | 52 |
| Şekil 3.7. Kollektördeki fiziksel olaylar ve ısıl ağ | 53 |
| Şekil 3.8. Sistemin Fiziksel Büyüklükleri (ölçüler metre cinsindedir) | 62 |
| Şekil 3.9. Baca ayağının zemine monte edilmiş durumu | 63 |
| Şekil 3.10. Bacanın monte edilmemiş hali | 64 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.11. Kollektör ve bacanın montaj aşaması | 64 |
| Şekil 3.12. Kollektör cam örtü malzemesinin yerleştirilmesinden sonraki görüntü . | 65 |
| Şekil 3.13. Bacanın alt kısmına yerleştirilen pervane | 65 |
| Şekil 3.14. Veri kaydedici cihazın görüntüsü..... | 67 |
| Şekil 3.15. Anemometre sensörü (hız ve sıcaklık sensörü birlikte) | 67 |
| Şekil 3.16. Sıcaklık sensörü | 67 |
| Şekil 3.17. Hız sensörü..... | 68 |
| Şekil 3.19. Veri toplam kartının bağlı olduğu bilgisayar | 69 |
| Şekil 3.20. Güneş bacası üzerindeki ölçüm noktaları | 70 |
| Şekil 3.21. Kollektör üst yüzeyine yerleştirilen sıcaklık sensörü..... | 70 |
| Şekil 3.22. Kollektör giriş ağzından yatayda 3,5 m içeriye doğru, kollektör altındaki ve zemindeki sıcaklık sensörleri | 71 |
| Şekil 3.23. Pervane kısmına yerleştirilen hız ve sıcaklık sensörleri | 72 |
| Şekil 3.24. Bir CFD Simülasyonun Genel İşlem Basamakları..... | 73 |
| Şekil 3.25. FLUENT programının yapısı..... | 75 |
| Şekil 3.26. FLUENT programının göre matematik işlem adımları | 76 |
| Şekil 3.27. GAMBIT programında oluşturulan güneş bacası kafes yapısı..... | 77 |
| Şekil 3.28. Gambit'te tanımlanan kenar parametreleri | 78 |
| Şekil 3.29. Türbülans modeli seçim ekranı | 79 |
| Şekil 3.30. Fluent programında kullanılan havanın özellikleri | 80 |
| Şekil 3.31. Güneş bacası hesap programı açılış ekran görüntüsü | 84 |
| Şekil 3.32. Güç hesap modülü ekran görüntüsü..... | 85 |
| Şekil 3.33. Güneş ışıınım hesap modülü ekran görüntüsü | 87 |
| Şekil 3.34. Isı kaybı hesap modülü ekran görüntüsü | 89 |
| Şekil 3.35. Fiziksel büyüklük hesap modülü ekran görüntüsü..... | 89 |
| Şekil 4.1. Kollektöre gelen güneş ışıınımı ile giren hava hızı arasındaki ilişki | 91 |
| Şekil 4.2. Kollektöre gelen güneş ışıınımı ile giren hava sıcaklığı arasındaki ilişki..... | 91 |
| Şekil 4.3. Kollektöre gelen güneş ışıınımı ile kollektör alt bölgesindeki havanın sıcaklıkları arasındaki ilişki..... | 92 |
| Şekil 4.4. Kollektöre gelen güneş ışıınımı ile baca çıkış sıcaklığı arasındaki ilişki. 92 | |
| Şekil 4.5. Kollektöre gelen güneş ışıınımı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki ilişki.. 93 | |
| Şekil 4.6. Kollektöre gelen güneş ışıınımı ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki | 94 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 4.7. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile türbin giriş sıcaklığı arasındaki ilişki..... | 94 |
| Şekil 4.8. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile türbinden elde edilen elektrik gücü arasındaki ilişki | 95 |
| Şekil 4.9. Isparta bölgesi için aylık ışıınım değerleri | 98 |
| Şekil 4.10. Elde edilebilecek aylık toplam güç değerleri ve ışıınımı arasındaki ilişki..... | 99 |
| Şekil 4.11. Türbin giriş hızı ile elde edilebilecek anlık elektrik güç arasındaki ilişki..... | 99 |
| Şekil 4.12. Simülasyon sonunda oluşan konvergenz eğrileri..... | 100 |
| Şekil 4.13. Güneş bacası içindeki sıcaklık dağılımı..... | 101 |
| Şekil 4.14. Güneş bacası içindeki hız dağılımı | 101 |
| Şekil 4.15. Güneş bacası içindeki türbülans kinetik enerjisi dağılımı..... | 102 |
| Şekil 4.16. Güneş bacası ekseni boyunca oluşan hız değerleri | 102 |
| Şekil 4.17. Deneysel olarak ölçülen ve bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan güneş ışıınımı arasındaki ilişki..... | 107 |
| Şekil 4.18. Farklı kollektör verim faktörlerinde, ışıınım ile hız arasındaki ilişki ($U_f=8,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)..... | 107 |
| Şekil 4.19. Farklı kollektör verim faktörlerinde, ışıınım ile hız arasındaki ilişki ($U_f=5 \text{ W/m}^2\text{K}$)..... | 108 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|-----|
| Çizelge 1.1. Bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları (PJ ¹ olarak)..... | 3 |
| Çizelge 1.2. Dünyada kurulu güneş kulesi sistemleri | 6 |
| Çizelge 1.3. Seçilmiş bazı termal sistemlerin önemli parametreleri | 6 |
| Çizelge 1.4. Zeminde bir ısı depolama sistemine sahip bir güneş bacasının fiziksel ölçüleri | 18 |
| Çizelge 1.5. Isı depolama sistemine sahip olmayan bir güneş bacasının fiziksel ölçüleri | 18 |
| Çizelge 2.1. Manzaranes prototipinin ana ölçüleri ve teknik özellikleri..... | 26 |
| Çizelge 3.1. RANS Türbülans modellerinin karşılaştırılması..... | 42 |
| Çizelge 3.2. Prototip güneş bacası özellikleri | 63 |
| Çizelge 3.3. Programın başlangıç şartları | 80 |
| Çizelge 3.4. Bazı büyük güneş bacası sistemlerinin önemli parametreleri | 82 |
| Çizelge 4.1. 11 Ağustos 2004 gününe ait ölçüm değerleri..... | 95 |
| Çizelge 4.2. 11 Ağustos 2004 günü ışıınım değerleri | 97 |
| Çizelge 4.3. Isparta için 2004 yılına ait aylık ortalama güneş ışıınım değerleri | 97 |
| Çizelge 4.4. Deneysel ve Simülasyon sonuç karşılaştırması | 103 |
| Çizelge 4.5. 11 Ağustos 2004 gününe ait bilgisayar programı ısı kaybı sonuçları | 103 |
| Çizelge 4.6. 11 Ağustos 2004 gününe ait bilgisayar programı güneş ışıınım sonuçları..... | 105 |
| Çizelge 4.7. 11 Ağustos 2004 gününe ait üç kaynaktan alınan ışıınım değerleri ... | 106 |

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve sanayileşmenin de buna paralel olarak gelişmesi, dünya enerji ihtiyacını da giderek artırmaktadır. Artan dünya nüfusuyla birlikte ve artan yaşam kalitesine bağlı olarak, 2050 yılına kadar dünya enerji ihtiyacı da yaklaşık 2,4 - 4 katına çıkacaktır. Ancak artan bu enerji ihtiyacı günümüz koşullarında yeterince karşılanamamaktadır. Bunun en büyük nedeni konvansiyonel enerji üretiminin yaklaşık % 85'inin fosil kaynaklar dediğimiz başta kömür, petrol ve doğal gazı dayandırmasıdır (Quaschnig, 1999). Enerji tüketiminin tam olarak karşılanamaması, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açığın hızla artmasına neden olmaktadır. Bu durumda da öncelikle ülkemizde artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin ve rasyonel bir biçimde faydalanılması gerekir.

Ayrıca, geleneksel enerji üretim yöntemleri günümüzde çevre kirliliğinin başlıca nedenidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer bir avantajı da enerji üretimi esnasında çevreye çok az zarar vermesidir. Başta kömür ve petrol olmak üzere kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen SO_x, NO_x ve toz gibi kirlenici emisyonlarla beraber sera etkisi yaratarak küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olan CO₂ emisyonları çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle ısı değerleri düşük, kül ve kükürt içerikleri yüksek olan kalitesiz yerli linyit kömürlerinin kullanılması, hava kirliliğini daha da artırmaktadır.

Fosil yakıt kaynaklarının çoğunluğu sanayileşmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Bu ülkelerin sahip oldukları kaynaklar ve nüfusları daha az olmasına rağmen kullandıkları kaynak miktarı çok fazladır (Uyarel ve Öz, 1987).

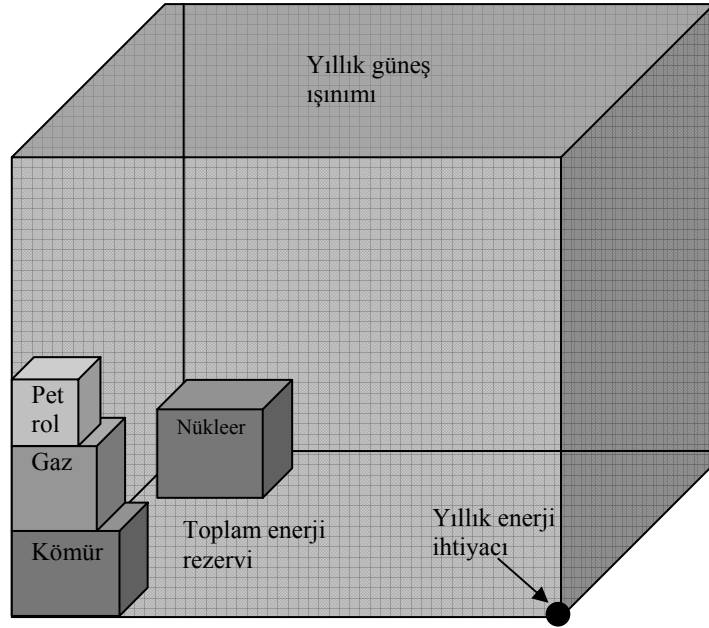
Diğer taraftan fosil kaynakların sonlu bir kaynak ve bir süre sonra tamamen bitecek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise doğa tarafından sürekli yenilenen, dünya döndükçe var olacak bir enerji kaynağı olması ayrıca bir tercih nedenidir. Bugün gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler kendi olanakları içinde değişik enerji kaynaklarının kullanılmasına öncelik vermektedirler. Dünyanın bilinen petrol

rezervlerinin 2050 yılında, doğal gaz rezervlerinin 2070 yılında ve kömür rezervlerinin ise 2150 yılında tükeneceği beklenmektedir (Kimya Mühendisi , 2005).

Yenilenebilir enerji kaynağı denilince, dünya döndükçe ve canlılar yaşadığı sürece var olan hiç bitmeyecek olan enerji kaynağı anlaşılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını esas olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Güneş enerjisi
- Jeotermal enerji
- Hidrolik enerjisi
- Biyoenerji
- Hidrojen
- Okyanus enerjisi
- Rüzgar enerjisi

Mevcut yenilenebilir enerji kaynakları, teorik olarak bütün dünya enerji ihtiyacını karşılayabilir. Dünyadaki enerji kaynaklarının ve güneş enerjisinin arzı ile ilgili bir karşılaştırma Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünyanın enerji ihtiyacı, fosil kaynaklı enerji kaynağı arzı ve güneş enerjisinin bir karşılaştırılması (Quaschnig, 1999)

Çizelge 1.1. Bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları (PJ¹ olarak) (Quaschning, 1999)

| Enerji türü | 1925 | 1938 | 1950 | 1960 | 1968 | 1980 | 1992 |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Katı fosil yakıtlar ²⁾ | 36,039 | 37,856 | 46,675 | 58,541 | 67,830 | 77,118 | 90,596 |
| Sıvı fosil yakıtlar ³⁾ | 5,772 | 11,017 | 21,155 | 43,921 | 79,169 | 117,112 | 130,971 |
| Doğal gaz | 1,406 | 2,930 | 7,384 | 17,961 | 33,900 | 53,736 | 74,569 |
| Hidrolik enerji | 293 | 674 | 1,260 | 2,520 | 3,868 | 6,358 | 7,911 |
| Nükleer enerji | 0 | 0 | 0 | 0 | 176 | 2,461 | 7,354 |
| Toplam | 43,511 | 52,476 | 76,473 | 122,943 | 184,766 | 256,785 | 311,400 |

1) PJ=10¹⁵ Joule

2) Kömür vb.

3) Petrol ürünleri

Çizelge 1.1'de bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları verilmiştir (Quaschning, 1999). Bu çizelgeye bakıldığında fosil kaynaklı yakıtların kullanımının artan dünya nüfusu ve enerji ihtiyacı ile aynı oranda arttığı görülmektedir.

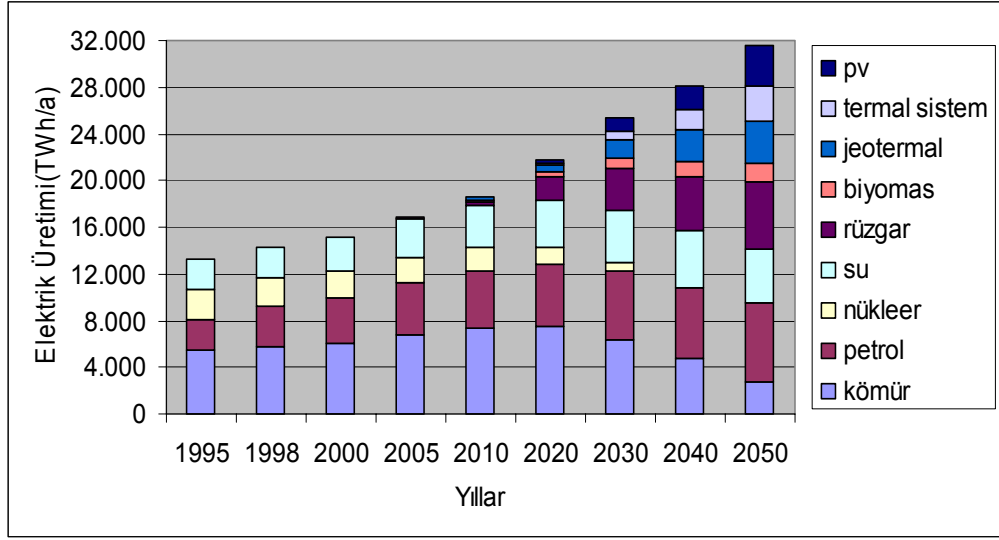
Günümüzde fosil enerji kaynaklarına alternatif olabilecek olan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında hidrolik enerji, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gelmektedir.

Güneşten dünyaya yılda yaklaşık $3,9 \times 10^{24}$ J = $1,08 \times 10^{18}$ kWh lik bir enerji gelir. Bu da dünya toplam ihtiyacının yaklaşık 10.000 katıdır (Quaschning, 1999). Diğer bir ifade ile dünyaya gelen güneş enerjisinin on binde birini biz kullanabilmiş olsaydık bütün dünyanın enerji ihtiyacı karşılanmış olurdu.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak için özellikle 80'li yıllardan itibaren birçok yöntemler geliştirilmiştir. Bilhassa güneş enerjisinden faydalanmak

konusunda oldukça ileri adımlar atılmış olmasına rağmen, henüz istenilen seviyeye ulaşılmamıştır.

Şekil 1.2'den de görüldüğü gibi, enerji üretiminde bilhassa 2000 li yıllardan itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru hızlı bir yöneliş olmuştur. Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise güneş enerjisi, fotovoltaik uygulama ile başta gelmektedir.



Şekil 1.2. Global enerji üretiminde yenilenebilir enerjilerin yıllara göre artışı (FVS, 2006)

Güneş enerjisinden elektrik üretimi direkt ve indirekt olarak iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Direkt yöntem kapsamında fotovoltaik, termoelektrik ve termoyonik çeviriciler yer alır. Güneş enerjisinin indirekt biçimde elektriğe dönüştürülmesi ise, güneşten yaralanılarak üretilen buhar ve bunu değerlendiren bir buhar güç çevrimi ya da güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullandığı termik elektrik üretici ve yakıt pili olmaktadır (TÜBİTAK, 2006).

Güneş elektrik santralleri PV (fotovoltaik) tipi ve termik elektrik olarak ikiye ayrılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi ilk kez 1954 yılında Amerika'da Bell Telefon Laboratuvarları'nda üretilen PV güneş pilleri ile gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisi girdili buhar makine ve buhar türbin sistemleri ile güneş fırınlarının

çok öncelerde yapılmasına karşın, güneş termik elektrik santrallerinin kurulması 1970'lerin sonlarını bulmuştur (TÜBİTAK, 2006).

Güneş termik elektrik santralleri, heliostatik tarlalı ve merkezi güç kuleli, parabolik oluk tipi odaklı kollektör tarlalı ve dağımık parabolik çanak kollektör tarlalı tiplerde olmaktadır. Büyük çapta elektrik üretimi için parabolik oluk kollektörlü sistemler ile merkezi güç kuleli sistemlerin uygun olduğu görülmüştür (TÜBİTAK, 2006).

Güneş termik elektrik santralleri ise aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- Parabolik Oluk Kolektörler
- Parabolik Çanak/Motor Güneş Isıl Elektrik Santrali
- Güneş Kuleleri
- Güneş Bacası

olmaktadır.

Parabolik oluk kollektörler, termal sistemlerin en yaygınıdır. Kollektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kollektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Parabolik oluk kollektörlere örnek Kaliforniya'daki Mojave sahilinde 1984 ve 1991 yılları arasında dokuz parabol oluklu toplam gücü 354 MW olan bir güneş enerjisi sistemi verilebilir. Şu anda dünyadaki güneşten elde edilen elektriğin yaklaşık %80'i bu tesislerden elde edilmektedir. Güneşten elektrik elde etmek için kullanılan en gelişmiş sistem halihazırda bu tip sistemlerdir (Schlaich vd., 2004).

Parabolik çanak sistem, iki ekseninde güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Parabolik çanak güneş ısı sistemindeki bazı prototip uygulamalar İspanya'da, Suudi Arabistan'da ve Amerika'da kurulmuştur (Quaschnig, 1999).

Güneş kuleli sistemler ise henüz pilot uygulama aşamasındadır. Şu an Amerika'da ve İspanya'da deneme amaçlı sistemler kurulmuştur (Quaschnig, 1999). Çizelge 1.2.'de dünyada kurulu güneş kulesi sistemleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 1.2. Dünyada kurulu güneş kulesi sistemleri (U.S. Department of Energy, 2006)

| Proje | Ülke | Güç (MW) | Isı transfer akışkanı | Depolama ortamı | İşletmeye açılış |
|------------|---------|----------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| SSPS | İspanya | 0,5 | Sıvı Sodyum | Sodyum | 1981 |
| EUROLIOS | İtalya | 1 | Buhar | Nitrat tuzu /Su | 1981 |
| SUNSHINE | Japonya | 1 | Buhar | Nitrat tuzu /Su | 1981 |
| Solar One | Amerika | 10 | Buhar | Yağ/Kaya | 1982 |
| CESA-1 | İspanya | 1 | Buhar | Nitrat tuzu /Su | 1983 |
| MSEE/Cat B | Amerika | 1 | Nitrat eriyiği | Nitrat tuzu /Su | 1984 |
| THEMIS | Fransa | 2,5 | Yüksek teknolojik tuz | Yüksek teknolojik tuz | 1984 |
| SPP-5 | Rusya | 5 | Buhar | Su/Buhar | 1986 |
| TSA | İspanya | 1 | Hava | Seramik | 1993 |
| Solar Two | Amerika | 10 | Nitrat tuzu | Nitrat tuzu | 1996 |

Güneş bacası sistemi ise teorik olarak çok öncelere dayanmasına rağmen ilk uygulama 1986 yılında İspanya'nın Manzaranes bölgesinde 50 kW lık bir pilot uygulama ile denenmiştir. Bazı ısıl güneş sistemlerinin önemli parametreleri Çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Seçilmiş bazı termal sistemlerin önemli parametreleri (Weinrebe, 2000)

| Parametre | Kule Sistemi | Parabolik Çanak | Parabol Oluklu | Güneş Bacası |
|-------------------------------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|
| Anma gücü (MW) | 30 - 200 | 0,01 - 1 | 30 - 100 | 30 - 200 |
| Yıllık kullanım yüzdesi | 0,13 - 0,15 | 0,15 - 0,17 | 0,13 - 0,15 | 0,007 - 0,011 |
| Yüzey İhtiyacı (m ² /kW) | 25 | 20 | 17 | 76 |
| Gelişme durumu | + | + | ++ | + |

Enerji üretiminde ve tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım payını artırmak için özellikle Avrupa Birliği ülkeleri oldukça yoğun çalışmalar yapmaktadır. Bu ülkelerin önümüzdeki yaklaşık 20 yıllık enerji politikaları aşağıdaki biçimde özetlenebilir (EUROPA, 2006).

2010 yılına kadar:

- 1997 yılında %14 olan yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim oranının %22'ye çıkarmak,
- Ülke bazında enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kullanım oranını %6'dan %12'ye artırmak,
- Benzin ve dizel yakıt tüketimindeki biyogen yakıt oranının %0,2'den %5,75'e çıkarmak,
- 1.000.000 fotovoltaik çatının (1000 MWp) inşa edilmesi
- 10.000 MW ilave rüzgar enerjisi kapasitesi
- 10.000 MW ilave biyokütle enerjisi kapasitesi
- Enerji ihtiyacının tamamının yenilenebilir kaynaklarda sağlayacak pilot bölgelerin oluşturulması (1500 MW'lık bir artış)

2020 yılına kadar:

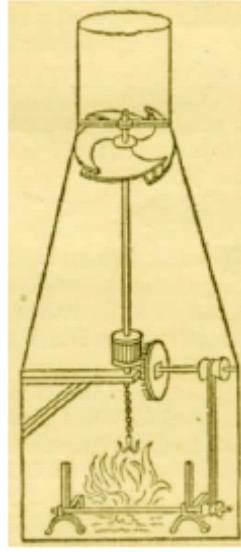
- 1990 yılındaki orana göre sera gazı etkisini % 30 azaltmak (EUROPA, 2006).

Bu hedeflerin gerçekleşmesi ile, CO₂ emisyonlarında yıllık toplam 402 milyon tonluk bir düşüş sağlanacağı belirtilmektedir.

Ülkemizde ise bu konulara ilk olarak 1960-1970 döneminde el atılmış, ancak fazla bir gelişme sağlanamamıştır. Yenilenebilir kaynakların mevcudiyeti, en az seviyede çevresel etki yaratmaları, işletme ve bakım masraflarının az olması ve en önemlisi ulusal nitelikleri ile güvenilir enerji arzı sağlamaları, bu kaynakların ülkemiz için önemini büyük ölçüde artırmaktadır (TÜBİTAK, 2006).

1.1. Güneş Bacasının Tarihçesi

Havanın kaldırma etkisini teknik olarak kullanışlı hale getirmek için yapılan ilk denemeler Lenorda da Vinci'ye kadar uzanmaktadır. Alttan yakılan ateşin ısıttığı hava yükselerek en üstte bulunan pervaneyi döndürmek suretiyle, pervanenin bağlı bulunduğu milin alt ucundaki kızartılacak olan malzeme de dönmüş olmaktadır. (Pastohr, 2004). Ve bu suretle sadece ateş etkisiyle pervane dönmüş olmaktadır (Şekil 1.3.).

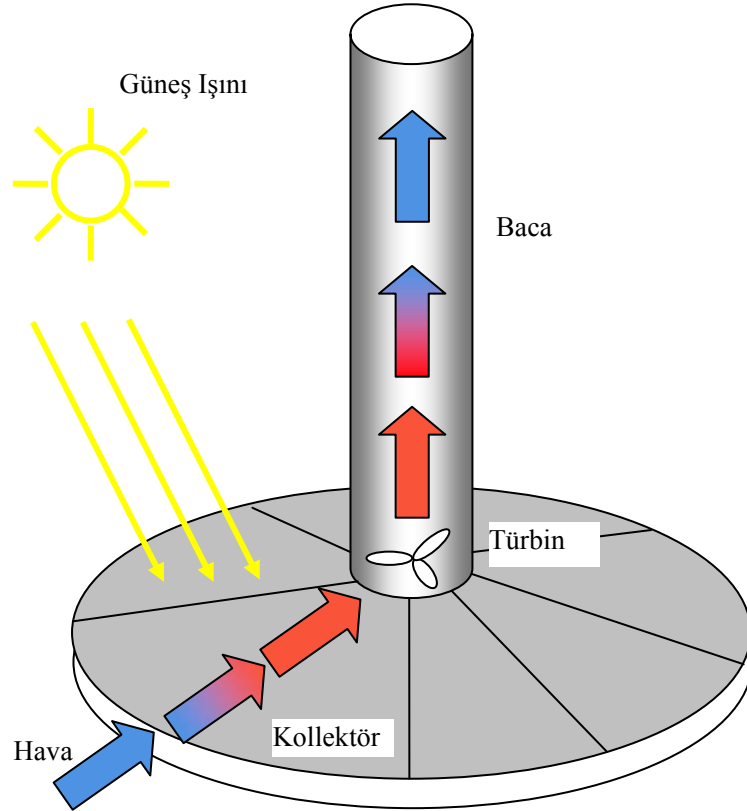


Şekil 1.3. Leonardo da Vinci'nin Kızartma pervanesi (1452-1519)

Günümüzde ise güneş bacası fikri ilk olarak Alman inşaat mühendisi olan Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından 1976 yılında ortaya atılmıştır. Daha sonra uygulamaya dönük ilk prototip ise yine Schlaich ve ekibi tarafından 1981 yılında İspanya'nın Manzaranes bölgesinde kurulmuştur. 1986 yılından 1989 yılına kadar başarıyla çalışan bu sistem, yaklaşık 50 kW güç üretim kapasitesine sahipti. Bu prototip hem güneş bacası fikrinin gerçekleştirilebilirliği açısından hem de bu konuda daha sonraki çalışmalara kaynak olacak ölçüm sonuçlarının alınması açısından başarılı olmuştur.

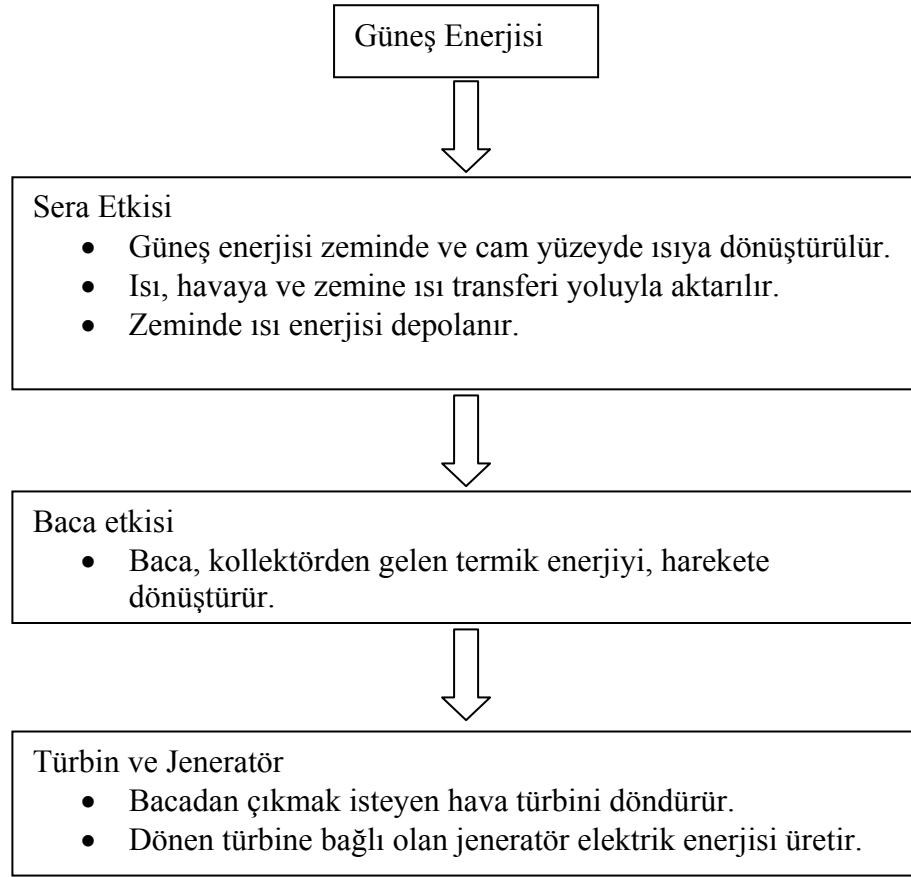
1.2. Güneş Bacasının Temel İlkeleri

Güneş bacası, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için geliştirilen ısı bir sistemdir. Konvansiyonel ısı sistemlere nazaran oldukça farklı bir çalışma prensibine sahiptir. Bu sistemde üç temel fiziksel prensip; sera etkisi, baca çekişi ve kinetik enerjiye dönüşüm söz konusudur. Dairesel cam kollektör altında bulunan hava, kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı sayesinde ısınır. Isınan bu hava ve dış ortamdaki soğuk hava arasında oluşan yoğunluk farkından dolayı, hava, kollektörün merkezine doğru yatay olarak taşınır. Kollektör merkezinde bulunan dikey baca ise çekişi hızlandırır ve hava, üst ucu açık olan baca tarafından dış ortama atılır. Hızı artarak bacaya yönelen hava, bacanın giriş bölgesinde bulunan türbin ve buna bağlı olan generatörü döndürmek suretiyle elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Ve bu çevrim güneş ışınımı ne kadar büyükse o kadar hızlı bir şekilde gerçekleşir. Baca aynı zamanda kollektör altındaki havayı emdiği için, açık bulunan kollektör yanlarından tekrar hava girer. Böylece sürekli bir çalışma sağlanmış olur. Güneş bacasının temel çalışma prensibi Şekil 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.4. Güneş bacasının temel çalışma prensibi (Weinrebe, 2004)

Güneş bacasına ait genel enerji dönüşüm aşamaları da Şekil 1.5’de görülmektedir.



Şekil 1.5. Bir güneş bacasının enerji dönüşüm aşamaları (Pastohr, 2004)

Güneş bacası teknolojik olarak bir hidroelektrik santraline benzemektedir. Kollektör, baraja; baca ise santraldeki su borularına karşılık gelmektedir. Hidroelektrik santralde enerji sudan kazanılmakta güneş bacasında ise havadan kazanılmaktadır. Diğer bir fark ise hidroelektrik santralinde su, yerçekimi etkisiyle hız kazanır, buna karşılık güneş bacasında ise kollektöre gelen güneş ışınımıyla hız kazanır. Her iki enerji santrali de basınç kademeli türbin ile çalışmakta olup ve çok düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Gerekli kollektör yüzey alanı ve baraj büyüklüğü eşit miktardaki elektrik gücünde, karşılaştırılabilir büyüklüklerdir. Ancak bu benzerliklere karşın, güneş bacası için gerekli olan çok geniş kollektör alanları sadece çöl gibi geniş ve düz arazilerde daha çok sağlanabilir, buna karşılık barajlar ise daha çok suyun bol bulunduğu bölgelerde kurulabilir (Weinrebe, 2004).

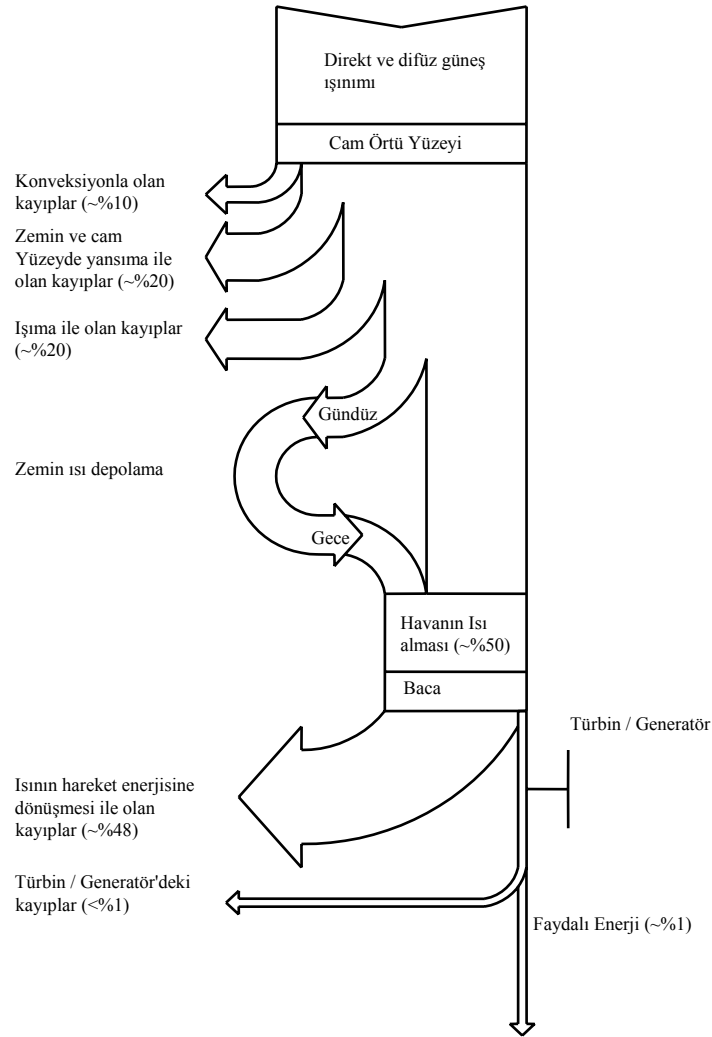
Güneş bacasının diğer elektrik üretim sistemlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

Güneş Bacasının Avantajları:

1. Güneş ışınımı cam yüzeye yoğun olarak gelmediği için kapalı havalarda dahi, difüz ışıınımdan faydalanılabılır.
2. Kollektör altındaki (zemindeki) su depolama sistemi (su hortumları), ucuz enerji depolayıcısı olarak uygundur.
3. Güneş bacası diğer enerji üreten sistemlere nazaran daha güvenilir ve arıza çıkarma olasılığı en az olan sistemdir.
4. Yapımı için gerekli olan malzemeler beton, cam ve çelik yeteri kadar çok ve kolay bulunan malzemelerdir.

Ayrıca, güneş bacasından elde edilen güç, gelen güneş miktarıyla, baca yüksekliğiyle ve kollektör alanı ile doğru orantılıdır. Aynı güç; yüksek baca ve nispeten küçük kollektör alanı veya daha kısa baca ve daha büyük bir kollektör alanı ile de elde edilebilir.

Şekil 1.6. bir güneş bacasındaki enerji akışını göstermektedir. Gözle görülür güneş ışınımının büyük bir kısmı cam kollektörden geçerek zemine ulaşır ve zemin bu enerjinin bir kısmını tekrar geri yansıtır. Keza bu ışın da tekrar kollektör tarafından absorbe edilir. Zemin ve kollektör yüzeylerinde oluşan bu farklı sıcaklıklar, kollektör kenarlarındaki açıklardan giren taze havaya iyi bir ısı transferi sağlar. Gün boyu gelen güneş ışınımı enerjisinin büyük bir bölümü zeminin alt kısımlarına doğru iletilir, orada depolanır ve gece olduğu zaman tekrar yukarıdaki havaya doğru aktarılır. Böylece 24 saat boyunca kesintisiz bir çevrim elde edilmiş olur.



Şekil 1.6. Bir güneş bacasındaki enerji akışı (Bernardes, 2004)

Isının kinetik enerjiye dönüşümünü, öncelikle dış ortam sıcaklığı ve baca yüksekliği belirler. Güneş bacasında dolaşan havanın sıcaklığının fazla artması beklenmez. Bu nedenle; baca verimi, kollektör ve türbin verimiyle karşılaştırıldığı zaman küçük olmaktadır.

Hareketli hava moleküllerinin oluşturduğu kinetik enerji, bir türbin rotorunu harekete geçirir ve bu mite bağlı olan jeneratör elektrik enerjisi üretir. Baca girişindeki rotora aktarılan hava akımının enerjisi, öncelikle havanın yoğunluğuna, rotor yüzeyine ve havanın hızına bağlıdır. Hareketli bir cismin kinetik enerjisi onun ağırlığıyla doğru

orantılıdır. Bu nedenle, bacadaki hava akımının kinetik enerjisi havanın yoğunluğuna, yani birim hacim elemanındaki ağırlığa bağlıdır (Bernardes, 2004).

1.3. Güneş Enerjisinin Güneş Bacasına Geliş Durumu

Dünya ile güneş arasındaki mesafenin mevsimlere göre değişmesi nedeniyle, güneşi gören hacimsel açı değiştiğinden atmosfer dışına gelen güneş ışınımı da her mevsimde farklı değerlere sahiptir. Güneş ışınımı hesaplarında, atmosfer dışında güneş ışınlarına dik bir birim alana bütün dalga boylarında bir anda gelen güneş ışınımı değeri kullanılır ve bu değere güneş sabiti denir. Bu değer literatürde 1353 W/m^2 olarak verilmiştir. Atmosfer dışında herhangi bir günde güneş ışınımına dik bir düzleme gelen toplam güneş ışınımı I_{on} , dünya-güneş mesafesi L ve yıllık ortalama değeri L_0 ve güneş sabiti I_{gs} olmak üzere

$$I_{on} = \frac{L_0^2}{L^2} \cdot I_{gs} = f \cdot I_{gs} \quad (1.1)$$

şeklinde yazılabilir (Kılıç ve Öztürk, 1983). Burada f güneş sabiti düzeltme faktörü olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$f = 1 + 0.033 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \quad (1.2)$$

1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, güneş bacasından elektrik enerjisi üretim yöntemlerinden birisi olan, düşünce olarak eski dünyada birkaç prototip dışında fazla uygulanma şansı bulunamamış bir teknoloji olan güneş bacası ile elektrik enerjisi üretim yöntemi incelenecek ve Isparta şartlarına göre bir uygulama geliştirilecektir.

Bu doktora çalışmasının amacı; beş ana grupta toplanabilir:

1. Güneş bacası içindeki hava akışının termodinamik analizini gerçekleştirerek, kollektör içindeki ısı iletimi, konveksiyon gibi ısı transfer olaylarını incelemek.

2. Güneş bacası için akışı tanımlayan Navier-Stokes, Süreklilik ve Enerji denklemi gibi temel akış denklemlerini türetmek.
3. Güneş bacası içindeki akışın matematiksel modelini çıkararak Fluent paket programı yardımıyla akışın CFD analizini gerçekleştirmek. Hız, sıcaklık ve yoğunluk gibi temel parametrelerin dağılımlarını çıkarmaktır.
4. Kurulan prototip güneş bacasında sıcaklık, hız, nem ve güneş radyasyonunu ölçmek. Bu ölçüm sonuçlarını CFD analiz sonuçları ile karşılaştırmak.
5. Isparta yöresi iklim şartlarına uygun güneş bacası modelini geliştirmek.

1.5. Güneş Bacası Sistem Elemanları

Bir güneş bacası sistemi esas itibariyle aşağıdaki parçalardan oluşur:

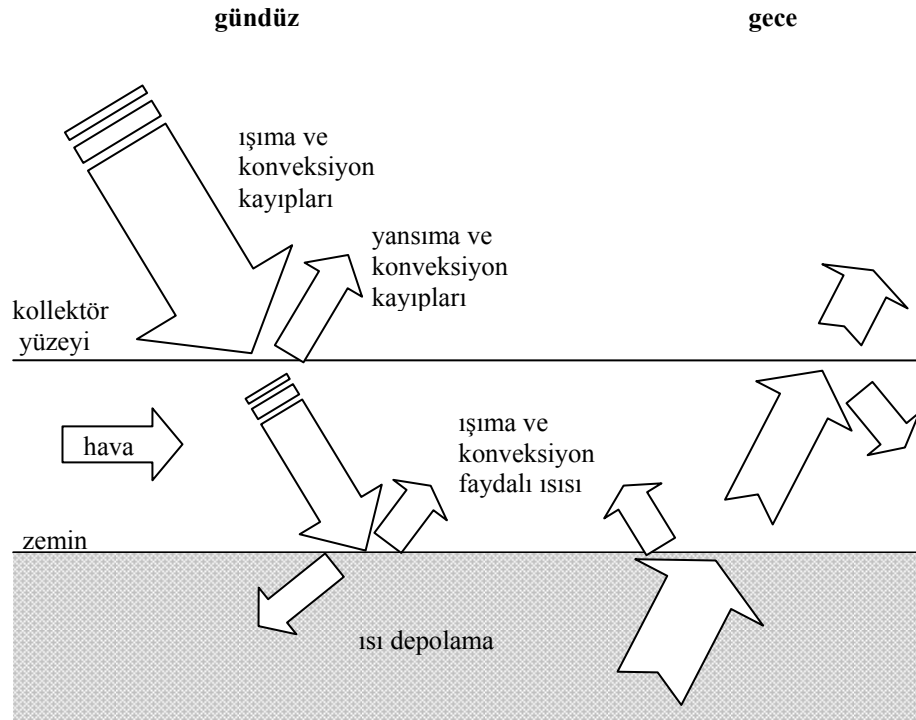
- Kollektör (cam yada geçirgen folyo kaplı),
- Baca,
- Bir veya birden fazla türbin,
- Generatör.

1.5.1. Kollektör

Güneş bacasının en önemli bileşenini oluşturan kollektör, güneşten gelen ışınlarını ortamdaki havaya aktarır. Yüzeyi cam veya geçirgenliği yüksek bir folyo malzemesi olabilir. Kollektörün yerden yüksekliği yan giriş bölgesinde daha az, güneş bacası merkezine doğru yani bacaya doğru gittikçe artar. Böylece hava akış hızının çok fazla artması dolayısıyla sürtünme kayıplarının artması engellenmiş olur. Diğer taraftan hava minimum kayıpla bacaya yönlendirilmiş olur. Kollektör yüzeyi, güneş ışığını iyi bir oranda geçirmesi gerekir. Ancak kollektörden geçerek zemine ulaşan güneş ışını aynı zamanda zemini de ısıtıp, bir miktar ışın tekrar kollektör yüzeyine geri yansır. Kollektör aynı zamanda bu yansıyan güneş ışınımını da mümkün

olduğunca geçirmemelidir.

Kollektör, gelen ışının tamamını faydalı enerjiye dönüştüremez. Yansıma ve konveksiyon nedeniyle kayıplar oluşur. Gündüz kollektöre gelen güneş ışınının küçük bir kısmı yansır, yine küçük bir miktar kollektör tarafından absorbe edilir ve büyük bir kısmı kollektörden geçer. Kollektörü geçerek zemine ulaşan güneş ışınının yine bir kısmı yansır, geri kalanı ise zemin tarafından absorbe edilir veya depolanır. Gece ise; ortam sıcaklığı zemin sıcaklığından düşük olduğu için zeminde yada depolayıcıdaki ısı enerjisi ortama aktarılır. Bu aktarım esnasında güneş ışınımının bir kısmı yine ortamı geçerek kollektörden geçerek havaya aktarılır (Şekil 1.7).

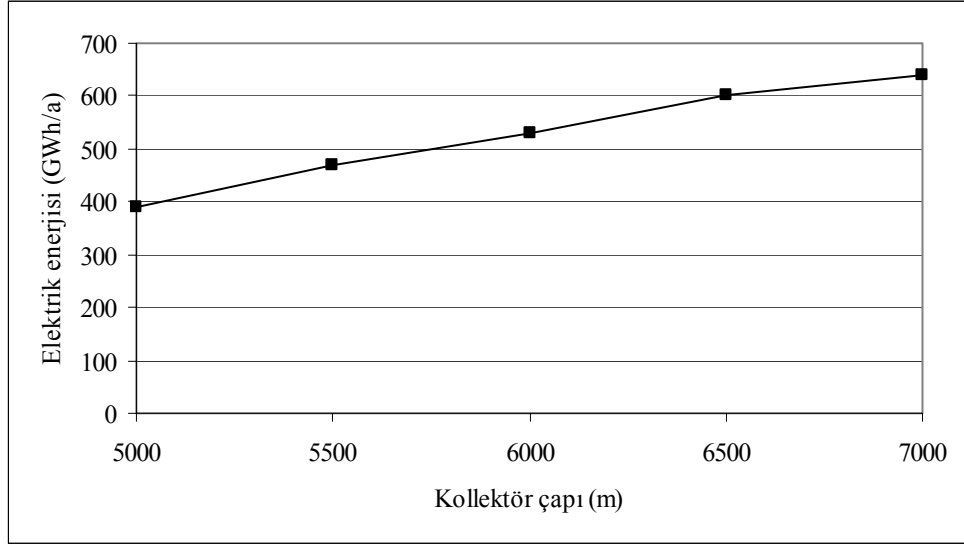


Şekil 1.7. Kollektöre gelen güneş ışını ve kayıp durumu (Bernardes, 2004)

Kollektör girişindeki hava sıcaklığı ile baca girişindeki sıcaklık arasındaki fark kollektöre gelen güneş ışınımı ile doğru orantılıdır.

Kollektör yüzeyine daha fazla güneş ışınımının gelmesini sağlamak ve kollektör altındaki hava miktarını artırmak için kollektör çapının yeterince büyük olması

gerekir. Sadece bu durumda istenen güce ulaşılır. Kollektör çapının elektrik enerjisi üretimine etkisi Şekil 1.8’de gösterilmiştir.

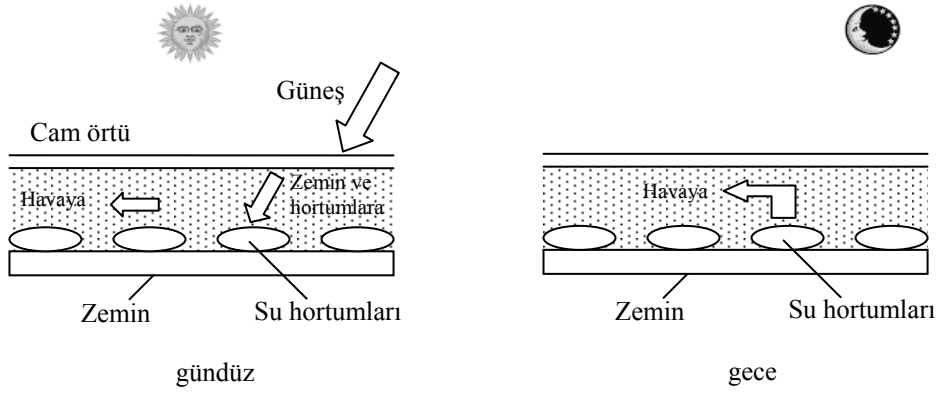


Şekil 1.8. Kollektör çapının güneş bacasındaki elektrik enerjisi üretimine olan etkisi (Schlaich, 1995)

Kollektör malzemesi olarak, kollektörün üstten olan ısı kayıplarını en aza indirgeyen ve güneş ışınlarının geçişini engellemeyen bir madde seçilmelidir. Cam, güneş ışınlarını geçirmesi ve ayrıca absorban plakadan yayınlanan uzun dalga boylu ışınları geri yansıtması nedeni ile örtü maddesi olarak son derece uygun bir maddedir.

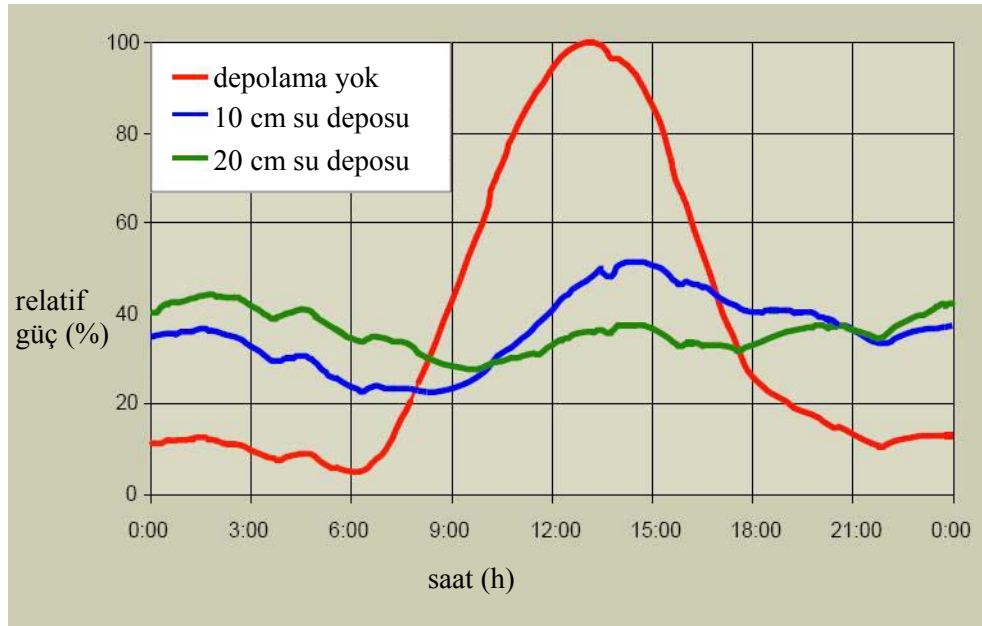
1.5.1.2. Zeminde Isı Depolama

Güneş ışınımının olmadığı gece saatlerinde de güneş bacasının çalışmasını sağlamak için bazı ek düzenekler kullanılabilir. Şekil 1.9’da da görüldüğü üzere, bunun için kollektör zemine, içi su dolu hortum ya da borular döşenebilir. Hortum içerisindeki bu su gündüz ısınır ve bir miktar ısı enerjisi depolar. Depolanan bu enerji, güneş ışınımının olmadığı gece tekrar kollektör altındaki havaya aktarılır ve havanın sıcaklığının düşmesi engellenmiş olur (Şekil 1.9.). Bu hortumların sadece bir kere su ile doldurulması yeterli olup, içindeki suyun zamanla buharlaşmasını engellemek için, açık olan kısımlarının sıkıca kapatılması gerekir.



Şekil 1.9. Gündüz ve gece durumları için çalışma prensibi (Weinrebe, 2004)

Burada seçilecek olan hortum veya boru yüksekliğinin, istenen güce göre farklılık göstermekle birlikte, 5 ile 20 cm arasında olması gerekir. Bu depolama sayesinde güneş bacasının sürekli çalışması sağlanır. Zeminde bir ısı depolama sistemine sahip olan ve olmayan iki güneş bacası sistemine ait temel büyüklüklerin karşılaştırılması Çizelge 1.4 ve Çizelge 1.5’de verilmiştir. Ayrıca elde edilecek ısı kazancına ait bir grafik Şekil 1.10’da verilmiştir.



Şekil 1.10. Isı depolayıcı sistem olan su hortumlarının zamana bağlı olarak ısı kazancına etkisi (SBP, 2006)

Çizelge 1.4. Zeminde bir ısı depolama sistemine sahip bir güneş bacasının fiziksel ölçüleri (Schlaich vd., 2004)

| | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|
| Elde edilen güç | MW | 5 | 30 | 100 | 200 |
| Kollektör çapı | m | 1250 | 2900 | 4300 | 7000 |
| Baca yüksekliği | m | 550 | 750 | 1000 | 1000 |
| Baca çapı | m | 45 | 70 | 110 | 120 |
| Yıllık enerji kazanımı (2300 KWh/m ² a güneş ışınması altında) | GWh/a | 14 | 99 | 320 | 680 |

Çizelge 1.5. Isı depolama sistemine sahip olmayan bir güneş bacasının fiziksel ölçüleri (Schlaich vd., 2004)

| | | | | | |
|---|-------|------|------|------|-------|
| Elde edilen güç | MW | 5 | 30 | 100 | 200 |
| Kollektör çapı | m | 1750 | 3800 | 6100 | 10000 |
| Baca yüksekliği | m | 550 | 750 | 1000 | 1000 |
| Baca çapı | m | 45 | 70 | 110 | 120 |
| Yıllık enerji kazanımı (2300 KWh/m ² a güneş ışınması altında) | GWh/a | 25 | 179 | 618 | 1318 |

1.5.2. Baca

Güneş bacası sisteminin esas güç üreten kısmıdır. Kollektördeki ısınan havanın yukarı çıkması öncelikle kollektördeki sıcaklık artışı ΔT ve bacanın hacmiyle, yani baca çapı ve baca yüksekliğiyle doğru orantılıdır. Büyük güneş bacası sistemlerinde kollektörde yaklaşık 35 K'lık bir sıcaklık artışı gerçekleşebilir. Bu sayede baca içindeki hava hızı da $v=15$ m/s mertebesine çıkabilir. Böylece kinetik enerji artmış ve elde edilen güç artmış olur. Kollektörde ısınarak bacaya yönelen hava, baca boyunca bir basınç düşüşüne neden olur. Bu basınç düşüşü (Schlaich vd., 2004)'e göre

$$\Delta p_{\text{top}} = gH \frac{\Delta T}{T_0} \rho \quad (1.3)$$

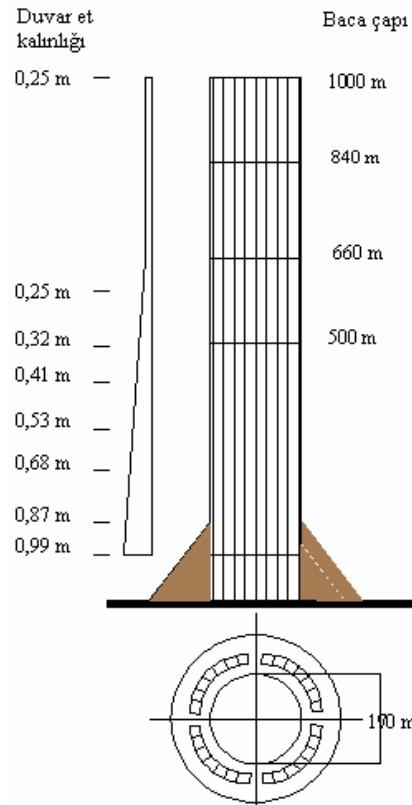
ile ifade edilebilir. Burada; T_0 çevre sıcaklığıdır.

Teorik olarak bacalı sistemin maksimum verimi, kollektördeki ΔT sıcaklık farkına bağlıdır. Burada da bacanın yüksekliği etkindir.

$$\eta_t = \frac{\dot{m}\Delta p_{ges}}{\dot{m}c_p\Delta T} = \frac{gH}{c_p T_0} \quad (1.4)$$

Bu verim, diğer güneş enerjili güç sistemleriyle karşılaştırıldığında oldukça küçüktür ve yaklaşık 1000 m baca yüksekliğine sahip bir güneş bacasında maksimum %3 mertebesindedir.

Baca kısmı, beton yada çelik gibi çok farklı konstrüksiyonlarda imal edilebilirler. Büyük güneş bacası sistemlerinde çelik demirlerle güçlendirilmiş beton yapı tarzı tercih edilir. Ayrıca membran yapı tarzı da mevcuttur. Şekil 1.11'de 1000 m baca boyuna sahip bir bacanın yandan ve üstten görünümü şematik olarak verilmiştir (SBP, 2006).

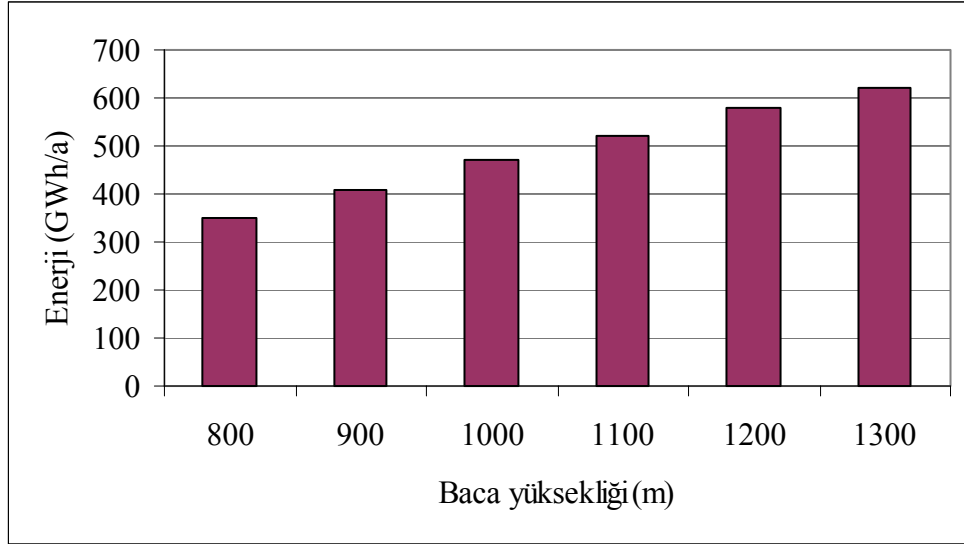


Şekil 1.11. 1000 m. baca yüksekliğine ve 170 m. baca çapına sahip bir bacanın duvar et kalınlıkları (SBP, 2006)

Baca, ayrıca serbest konumlu ya da çeşitli baca boylarından çelik gergi halatları ile yere sabitlenmiş olabilirler.

Teknolojik olarak bakıldığında güneş bacasındaki baca esas olarak doğal çekişli normal bir bacadan farklı değildir. Şekil 1.11’de görüldüğü gibi 170 m çap ve 1000 m yüksekliğe sahip bacanın altı kısmında yaklaşık 99 cm.lik, orta kısımdan itibaren ise yaklaşık 25 cm.lik sabit bir et kalınlığı mevcuttur.

Ayrıca baca yüksekliğinin, üretilen elektrik enerjisi miktarına etkisi oldukça fazladır. Bu ilişki Şekil 1.12’de verilmiştir.



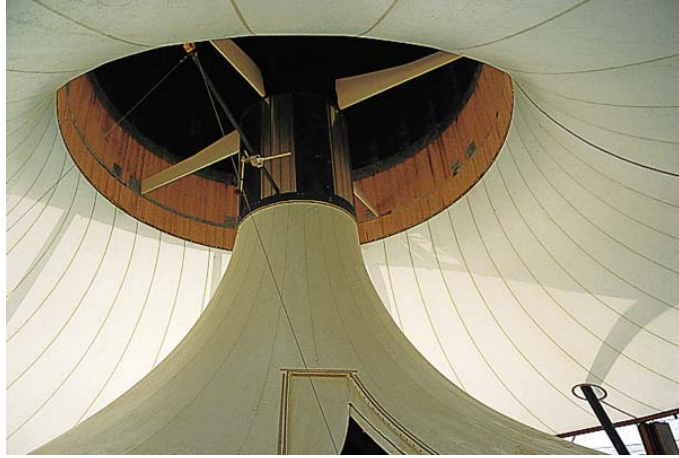
Şekil 1.12. Baca yüksekliğinin elektrik enerjisi üretimine olan etkisi (Schlaich vd., 2004)

1.5.3. Türbin

Kinetik enerjinin mekanik enerjiye dolayısıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır. Güneş bacasında kullanılan türbinler, rüzgar türbini gibi hız kademeli değil tam tersine basınç kademeli rüzgar turbo jeneratörleri gibi çalışırlar. Bu tip türbinlerdeki güç yoğunluğu (rotor yüzey alanı başına alınan güç) hız kademeli

türbine göre oldukça yüksektir. Aynı çapa sahip olması durumunda yaklaşık 10 katlık bir güç farkı vardır (Weinrebe, 2004).

Türbinin girişinde ve çıkışındaki hava hızı hemen hemen eşittir. Elde edilen güç türbinden geçen hava miktarına ve basınç düşüm miktarına bağlıdır. Türbinler normalde bacanın alt kısmına yani bacanın dirsek kısmının alt tarafına yerleştirilirler (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Manzaranes prototipinde kullanılan türbin (Schlaich vd., 2004)

Dikey eksenli türbinler sağlam ve sessiz çalışırlar. Yerleştirilecek olan türbin sayısı güneş bacasının büyüklüğüne göre ya bir adet ya da birden fazla olabilir. Örneğin altı adet türbin yerleştirilmek istenirse her bir türbinin kanat çapı, baca çapının yaklaşık altıda biri olmalıdır. Birden fazla türbin kullanılması durumunda türbinler, ön çatı ve baca arasındaki geçiş bölgesinde dağıtılmış olarak yerleştirilebilir. Bir başka türbin yerleştirme şekli de 7 türbinli sistemlerdir. Bu sistemde 6 adet türbine ek olarak 7. türbin bacanın merkezine yerleştirilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Teorik Çalışmalar

Haaf vd (1983), Haaf (1984) ve Schlaich (1986) güneş bacasındaki akımın genel olarak modellemişlerdi. 1984 yılında Haaf, Manzaranes prototipinin sonuçlarını yayınladı. İlk termodinamik modeller, gaz dinamiği alanına aitti. Burada, kollektördeki sıcaklık artışının kütle akımından bağımsız olduğu kabul edilmişti. Prof. Schlaich, ilki 1995 yılında ve diğeri de 2004 yılında olmak üzere güneş bacasının temel esaslarını anlattığı bir kitap yayınladı.

Pasumarthi ve Sherif (1987, 1989) ve Padki ve Sherif (1999) kendi yaptıkları bir güneş bacasının çalışma prensibini deneysel olarak incelemiş ve basit bir termodinamik model geliştirmişlerdir. Bu bir model üzerinde, kollektördeki kütle akımı ve sıcaklık artışı arasındaki bağlantı ısı denkleği modeline göre sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak bu sistemde türbinin baca çıkışına konması nedeniyle, hem statik hem de dinamik problemler yaratabileceği nedeniyle büyük sistemler için uygun değildir.

Kreetz (1997) ayrıca zemine döşenen su depolama sistemlerinin güneş bacasının gücüne etkisini zamana bağlı olarak incelemiştir.

Pasumarthi ve Sherif (1998), güneş bacasının hem teorik hem de deneysel olarak performans karakteristikleri incelemiştir. Ortam havasının sıcaklığı, güç çıkışı gibi parametrelerin etkisini incelemek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Ayrıca üç farklı kollektör tipi incelenmiştir. Kollektör altındaki hava sıcaklığı, farklı uzaklıklarda, her üç farklı kollektör tipi için ayrı ayrı ölçülmüş ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde vermişlerdir.

Padki ve Sherif (1999), güneş bacası için basit bir analitik model geliştirmişlerdir. Farklı güneş bacası geometrileri için güç ve verimler elde edilmiştir.

Bernardes vd. (1999), doğal konveksiyon, laminer ve daimi akış şartları baz alınarak, farklı sınır şartları için güneş bacasının termo-hidrokinamik analizi yapılmıştır. Hava akışını sayısal analizi için sonlu hacim metodu kullanılmıştır.

Gannon (2000), sistem kayıpları ve kollektör performansı düşünülerek güneş bacası çevrim analizi yapmıştır. Sistem kayıpları olarak sürtünme kayıpları, sistem, türbin ve kinetik enerji kayıpları düşünülmüştür. Daha büyük güneş bacası sistemlerinin tasarımını yapabilmek için basit bir kollektördeki kütle akışı ve sıcaklık artışı kullanılmıştır.

Backström ve Gannon (2000), baca yüksekliği, sürtünme kaybı gibi parametrelere bağlı olan termodinamik değişkenlerin hesaplanabilmesi için tek boyutlu sıkıştırılabilir akış için bazı yaklaşımlar geliştirmiştir. Fiziksel model olarak ise 1500 m'lik baca yüksekliğine, 160 m baca çapına ve 4 km kollektör çapına sahip bir sistem düşünülmüştür. Bu bacada, basınç değişiminin, akışkan sürtünme kayıplarının, yüzey alanı değişiminin, mach sayısına olan etkisi incelenmiştir.

Backström ve Gannon (2002), güç üreten türbin kısmını ayrıntılı olarak incelemiş ve maksimum verimin elde edilebilmesi için hangi özelliklerin mevcut olması gerektiğini araştırmıştır.

Türbin veriminin daha çok, türbin kanat sayısına ve türbin difüzör kayıp katsayısına bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Türbinin optimum reaksiyon derecesi, gerekli güç için maksimum türbin verimi ve en uygun türbin büyüklüğü için analitik çözümler bulunmuştur. 720 cm çapa sahip türbin modelindeki karakteristikler analitik modelin geçerliliğini onaylamaktadır.

Büyük güneş bacası sistemleri için ise türbin verimi %90 seviyelerine kadar çıkmaktadır.

Gannon (2002), daha çok kollektör modelini ve türbini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Gannon kollektör için ısı denklemini çıkarmış ve burada $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

değerine sahip sabit bir ısı iletim katsayısı kullanmıştır. Bu değer ile 2000 m kollektör çapına sahip bir güneş bacası hesaplanmıştır. Ayrıca zemin sıcaklığının maksimum 168 °C'ye ulaştığı sonucuna varmıştır. Zemin sıcaklığının bu denli yüksek olmasının nedeni, ısı depolama sisteminin bulunmaması ve sabit bir ısı iletim katsayısının kullanılmasıdır.

Müller (2002) ise türbin bölgesindeki akım profillerini sonlu elemanlar metodu ile ortaya çıkarmıştır.

Bernardes vd. (2003), güneş bacasının termal ve teknik analizi ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Sıcaklık ve güç çıkışı hesaplamak için ayrıca çeşitli çevre sıcaklıklarının güce olan etkisini incelemek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu matematiksel model sonuçları Manzaranes prototipinde, elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Dai vd. (2003) ise Çin'in kuzey batı bölgesindeki şehir dışındaki bir yerleşim biriminin elektrik ihtiyacını karşılamak için bir güneş bacası sistemi dizayn ve analiz etmişlerdir. Güneş ışınımının diğer bölgelere göre daha yoğun olduğu bu bölgede aylık yaklaşık 110-190 kW'lık bir elektrik enerjisinin üretilebileceği öngörülmüştür. Baca yüksekliği, kollektör çapı, çevre sıcaklığı, güneş ışınım miktarı ve türbin verimi gibi faktörlerin güç artışına etkileri analiz edilmiştir.

Sonuçta, baca yüksekliği, kolektör verimi, türbin verimi ve kollektör yüzey alanı gibi parametrelerin önemli olduğu, öncelikler güneş ışınımının elde edilen güce direkt etkisinin olduğu ve çevre sıcaklığının ikinci derecede etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Pastohr vd. (2004), güneş bacası içindeki akışın sıcaklık ve akış özellikleri sayısal ve analitik olarak incelemiştir. Zemin, kollektör, baca ve türbin kısımları sayısal olarak FLUENT paket programı yardımıyla incelenmiştir. Sayısal hesaplama sonuçları basit bir model ile karşılaştırılmıştır. Bu modelin geometrisi ise Manzaranes prototipinden alınmıştır.

Sayısal çözüm için şu kabuller yapılmıştır:

- Sürekli daimi akış, eksenal simetri, kollektör model, zemin modeli
- Türbin ve baca modeli yok

Analitik çözüm olarak ise Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır.

Sayısal çözüm ile analitik çözümler karşılaştırıldığında yaklaşık %4'lük bir sapmanın olduğu görülmüştür.

Schlaich vd. (2004), genel olarak güneş bacalarının teorisi, pratik uygulamaları ve ekonomik analizi incelemiştir. Güneş bacasının temel çalışma prensibi anlatıldıktan sonra güç çıkışı ile ilgili temel bağıntılar verilmiş, ilk güneş bacası prototip olan Manzaranes prototipi hakkında teknik bilgilerden bahsedilmiştir.

Bilgen ve Rheault (2005), yüksek enlemlerdeki güç üretimi için bir güneş bacası sistemi dizayn etmişler ve bu sistemin performansını değerlendirilmişlerdir. Aylık ortalama meteorolojik ve termodinamik çevrime dayalı olarak matematiksel bir model ve MATLAB programında bazı kodlar geliştirilmiştir. Kanada'nın Ottawa bölgesinde kurulu, 5 MW nominal güce sahip güç üreten sistemin termal performansı incelenmiştir.

Denantes ve Bilgen (2006), verimli bir karşı dönüşlü türbin modeli geliştirilmiş ve kullanılabilirliği araştırmıştır.

Pretorius ve Kröger (2006)'in yaptığı incelemeler sonucunda, yeni ısı transfer denkleminin tesis güç çıkışını önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Kollektör camı olarak daha kaliteli cam kullanılması, güç üretimini artırdığı için daha hassas türbin giriş kayıp katsayısının etkisi önemsiz olmaktadır. Farklı kollektör camının ısı iletimine etkisi ve zemin olarak kireçtaşı, kumtaşı ve granitin kullanılması durumunda bunun güç üretimine etkisi araştırılmıştır.

2.2. Uygulamalı Çalışmalar

2.2.1. Manzaranes Prototipi

Manzaranes prototipi güneş bacası fikrini ilk ortaya atan Prof.Dr. Schlaich'ın, Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yaklaşık 3,5 milyon USD ile finanse edilen bir proje kapsamında İspanya'nın Manzaranes bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Schlaich vd., 2004). Bu kurulan prototipe ait teknik özellikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Manzaranes prototipinin ana ölçüleri ve teknik özellikleri (Weinrebe, 2004)

| | |
|---|---------------------------|
| Baca yüksekliği | 194,6 m |
| Baca çapı | 10 m |
| Kollektör çapı | 240 m |
| Ortalama kollektör çapı | 122 m |
| Ortalama kollektör yüksekliği | 1,85 m |
| Türbin kanat sayısı | 4 |
| Kollektördeki düşünülen sıcaklık artışı | $\Delta T = 20 \text{ K}$ |
| Nominal türbin gücü | 50 kW |
| Naylon kollektör yüzey alanı | 40000 m ² |
| Cam kollektör yüzey alanı | 6000 m ² |

Bu prototipin inşasına 1982 yılında başlanmış olup, 1986 ve 1989 yılları arasında gerçek ölçümler alınmış ve başarılı bir şekilde çalışmıştır. Sistem üzerinde bulunan 180 adet farklı ölçüm sensörü vasıtasıyla binlerce veri her saniyede ölçüm yapılarak alınmıştır. Şekil 2.1'de bu prototipinin bir fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 2.1. Manzaranes prototipi (Schlaich vd., 2004)

Bu çalışmanın amacı; o ana kadar geliştirilen teorik çalışmaların deneysel verilerle doğruluğunu kanıtlamak ve sistem üzerindeki her bir elemanın verim ve güç üzerine etkisini gerçek meteorolojik şartlar altında incelemektir (Weinrebe, 2004).

Kurulan prototip 3 yıllık bir süre için deneme amaçlı kurulduğu için sistemin demonte edilebilir ve kullanılan parçaların daha sonra tekrar kullanılabilir olması düşünülmüştür. Bu amaçla baca kısmı trapez levhaların boru haline getirilerek üst üste birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Levhaların kalınlığı 1,25 mm dir. Ayrıca bacanın kötü hava şartlarında devrilmemesi için dört eşit yükseklikten 3 ayrı yöne çelik gergi halatları ile zemine bağlanmıştır.

Kollektör kısmında kullanılan malzemenin, iyi geçirgenlik özelliğinin yanı sıra uzun ömürlü, dayanıklı ve uygun fiyatlı olması gerekir. Bu nedenle, kollektörün bazı bölgelerinde cam, bazı bölgelerinde ise naylon folyo kullanılıp, ikisi arasındaki farklar ortaya çıkarılmıştır.

2.2.2. Florida Üniversitesi Prototipi

1997 yılında Amerika'nın, Florida Enerji Servisi'nin desteklediği bir proje kapsamında Padki ve Sherif tarafından Florida bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Baca yüksekliği 7,92 m, kollektör çapı 9,15 m, baca giriş çapı 2,28 m ve baca çıkış çapının

ise 0,61 m olması nedeniyle deneysel amaçlı bir sistem olduğu söylenebilir. Şekil 2.2’de bu sistemin bir fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 2.2. Florida Üniversitesi’nin kurduğu sistem (Florida University, 2005)

Güneş bacası teorisinde türbin, esasen baca girişinde yer almaktadır. Sözü edilen çalışmada ise toplayıcı ve baca arasında kademeli bir geçiş düşünülmüş; baca, hava hızını arttırmak amacıyla daralan bir yapıda tasarlanmış ve türbinin, hava hızının en yüksek olduğu yer olan baca çıkışına yerleştirilmesi planlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur; prototip sistemde sadece sıcaklıklar belirlenmiş, sistemden elde edilebilecek güç analitik model kullanılarak hesaplanmıştır. Bu ebatta bir sistem için (baca yüksekliği 7,92 m) baca çıkışına türbin yerleştirmek problem teşkil etmeyebilir. Ancak gerçekte, kurulan bu tip bir sistemin baca yüksekliği göz önüne alındığında (200–1000 m), böyle bir yüksekliğe türbin yerleştirmenin kolay ve ekonomik olmayabileceği akıldan çıkarılmamalıdır (Kara, 2002).

Bu prototip ile ilgili başta Sherif olmak üzere Pasumarthi ve Padki tarafından birçok çalışma yapılmıştır.

2.2.3. İnan prototipi

İnan'daki Shahid Bahonar University of Kerman Üniversitesi'nden Mohammad Rahnama'nın gerçekleştirdiği bir sistemdir. Yaklaşık 10 kW güç üretmesi öngörölmüştür. Şekil 2.3'de bu sisteme ait bir fotoğraf görölmektedir.



Şekil 2.3. İnan Shahid Bahonar Üniversitesi'nin kurduğu güneş bacası sistemi (Shahid Bahonar University of Kerman, 2005)

Gerçekleştirilen bu prototipler haricinde ise yine tamamen deneysel amaçlı olarak Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin'de (Berlin Teknik ve Ekonomi Yüksek Okulu) inşa edilmiştir. Bu sisteme ait bir görüntü Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin'de kurulan güneş bacası sistemi (FHTW, 2006)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Temel Denklemler

Temel denklemler, güneş bacasının başlangıç ve sınır şartları ile malzeme kanunları ve fiziksel modeli ifade eder. Aşağıda bu kanunlar ve modeller belirtilmektedir.

- Yoğunluk denklemi
- Kütlelerin korunumu kanunu (Süreklilik denklemi)
- Momentumun korunumu kanunu (Navier Stokes denklemi)
- Enerjinin korunumu kanunu
- Türbülans denklemi (k- ϵ türbülans modeli)

3.1.1. Yoğunluk

a) İdeal gaz kanununda $\rho = \frac{P}{RT}$ ile tanımlıdır. Bu kanun güneş bacasındaki yoğunluğu tam olarak ifade eder.

Küçük akış hızları, küçük fiziksel ölçüler ve küçük sıcaklık farkları mevcut olması durumunda bazı basitleştirmeler ve sadeleştirmeler yapılabilir. Genel olarak iki türlü sadeleştirme söz konusu olabilir.

b) Sıkıştırılmaz gaz kanunu: $\rho = \frac{P_0}{RT}$

Burada sadece, sıcaklık değişimine dayanarak yoğunluk değişimleri dikkate alınır. Basınç ise yoğunluğa bağlı olarak sabittir.

c) Boussinesq yaklaşımı: $\rho = \rho_0[1 - \beta_0(T - T_0)]$

Bu yaklaşımda ise yoğunluk, sıcaklığa bağlı olarak lineer bir değişim gösterir ve aynı zamanda basıncın da bir fonksiyonudur. $\rho_0(T_0 - p_0)$ nun $\rho(T - p)$ ya göre Taylor açılımını (Jaluria, 1980) şöyle vermiştir.

$$\begin{aligned} \rho = \rho_0 + (T - T_0) \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_{T=T_0} + \frac{(T - T_0)^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 \rho}{\partial T^2} \right|_{T=T_0} + \dots + (p - p_0) \left. \frac{\partial \rho}{\partial p} \right|_{p=p_0} + \\ + \frac{1}{2!} (p - p_0)^2 \left. \frac{\partial^2 \rho}{\partial p^2} \right|_{p=p_0} + \dots + (p - p_0)(T - T_0) \left. \frac{\partial^2 \rho}{\partial p \partial T} \right|_{T_0, p_0} + \dots \end{aligned} \quad (3.1)$$

Dikey levhadaki sürtünmesiz bir durum için maksimum basınç farkı $(p_0 - p) \approx gx(\rho - \rho_0) \approx \rho \frac{u_x^2}{2}$ olmaktadır.

Taylor açılımını ise $\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right) \Big|_{T_0}$ ile

$$\begin{aligned} \rho = \rho_0 - \rho_0 \beta (T - T_0) + \underbrace{\frac{\rho_0}{2!} \beta^2 (T - T_0)^2}_1 + \underbrace{\frac{1}{R} \beta g x (\rho_0 - \rho)}_2 + \\ + \frac{g^2 x^2 (\rho_0 - \rho)^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 \rho}{\partial p^2} \right|_{T=T_0} + \dots + g x (\rho_0 - \rho) (T_0 - T) \left. \frac{\partial^2 \rho}{\partial p \partial T} \right|_{T_0, p_0} + \dots \end{aligned} \quad (3.2)$$

haline dönüşür. Buradaki 1. terim, eğer $\beta(T - T_0) \ll 1$ ise lineer terime göre oldukça küçüktür ve küçük sıcaklık değişimleri için ihmal edilebilir. 2 nolu terim ise geometrik büyüklük çok küçük kalırsa ($\beta g x / R \ll 1$) olması durumunda küçük olacaktır. Eğer x değeri büyük olursa (200 m den büyük) bu terim dikkate alınmalıdır.

Eğer bu şartlar tam olarak sağlanırsa Boussinesq yaklaşımını kullanmak daha doğru ve mantıklı olacaktır. Ayrıca gerçek büyüklükteki güneş bacaları için (baca yüksekliği 500 m - 1000 m) büyük basınç farkları ve akış hızları oluşacağı için ideal gaz denklemini kullanmak gerekir (Pastohr, 2004).

3.1.2. Genel Temel Denklemler

Herhangi bir ortamdaki akışkanın hareketi, kütle, momentum ve enerji denklemleri en genel haliyle silindirik koordinatlarda aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir (Pastohr vd., 2003).

a. Süreklilik denklemi: Genel olarak bir kontrol hacmine giren ve çıkan kütle akımının toplamı olarak yoğunluğun zamana bağlı olarak değişimini ifade eder.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.3)$$

b. Momentum Denklemi (Navier-Stokes Denklemi): Her akış elemanı, sahip olduğu kütlesi ve hızı dolayısıyla bir momentuma sahiptir. Bu momentum Newton kanunlarına göre sadece dış bir kuvvet tarafından değiştirilebilir.

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + g_i (\rho - \rho_{cev}) \quad (3.4)$$

c. Enerjinin Korunumu Denklemi: Bir sistemin enerjisi, işin yapılması veya ısının verilmesi veya alınması ile değişir. Bir kontrol hacmi için enerji denkliği şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho c_p T) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho c_p u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \beta T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} \right) \quad (3.5)$$

d. Türbülans Kinetik Enerji Denklemi:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho \epsilon \quad (3.6)$$

e. Enerji Disipasyon denklemi:

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \left(G_k + C_3 \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3.7)$$

Ayrıca (Jischa, 1982)'de hareket denklemleri silindirik koordinatlarda şöyle verilmiştir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho u) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v) = 0 \quad (3.8)$$

$$\rho \frac{du}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial r} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial r} + \mu' \nabla \cdot \vec{v} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial r} \right) \right] + \frac{2\mu}{r} \left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{v}{r} \right)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial z} + \mu' \nabla \cdot \vec{v} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\mu r \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial r} \right) \right]$$

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial r} + v \frac{\partial}{\partial z} \quad \text{ve} \quad \nabla \cdot \vec{v} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru) + \frac{\partial v}{\partial z} \quad (3.9)$$

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rTu) + \frac{\partial}{\partial z} (Tv) \right] = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\rho u) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v) + \Phi \quad (3.10)$$

Burada denklem (3.8) süreklilik denklemi, denklem (3.9) Navier-Stokes denklemi, denklem (3.10) ise enerji denklemi olmaktadır.

Zemindeki ısı iletimi, enerji denklemi ile açıklanabilir. Ayrıca zemin bölgesinde ısı iletiminin, yoğunluğun ve özgül ısı iletim katsayısının sabit olduğu kabul edilmiştir.

3.1.3. Türbülans Modeli

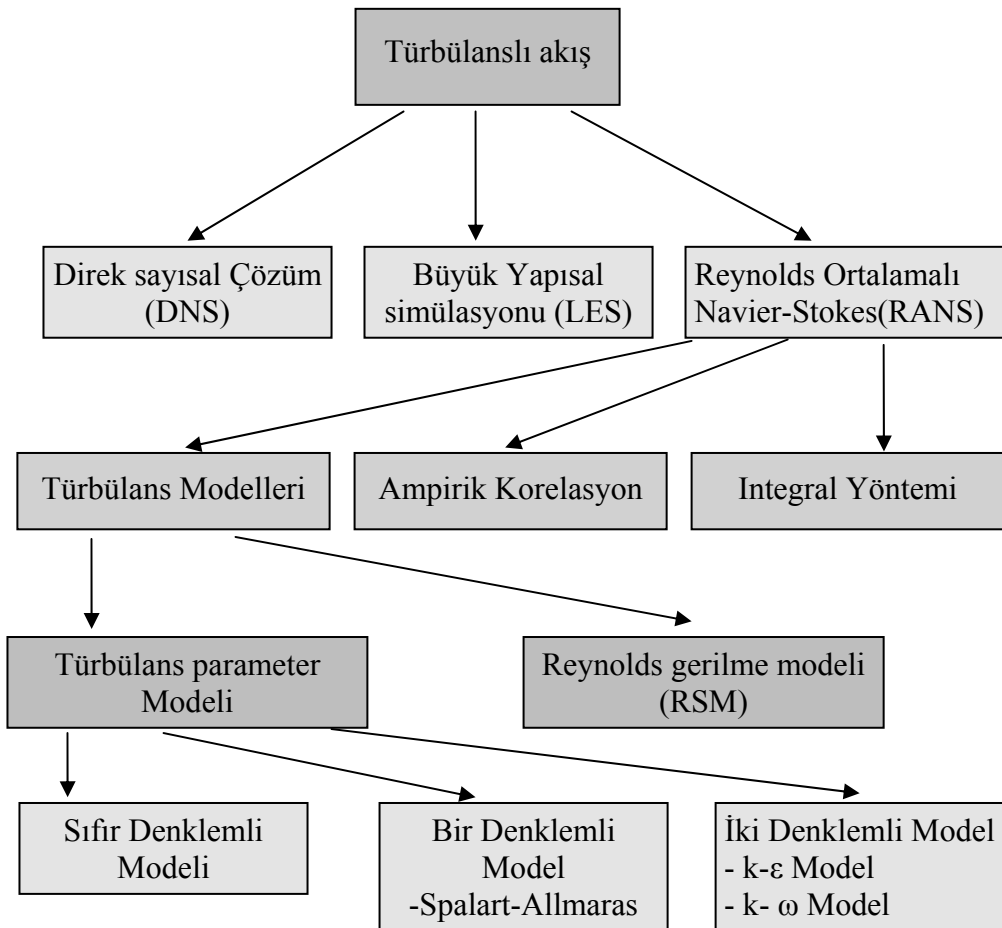
Herhangi bir akışı tam olarak inceleyebilmek için akış içerisindeki en küçük hareketlerin dahi incelenmesi gerekir. Bu küçük hareketler türbülans olarak adlandırılır. Bir akış laminer veya türbülanslı olabilir. Her iki akış arasındaki sınır, Reynolds sayısı ile belirlenir. Reynolds sayısı ise şöyle tanımlıdır:

$$Re = \frac{ul}{\nu} \quad (3.11)$$

Burada u hızı, l karakteristik uzunluğu ν ise kinematik viskoziteyi ifade etmektedir. Genel olarak eğer, Reynolds sayısı kritik bir değerin altında ise, örneğin bir boru akışında bu değer 2300 dür, o zaman akış laminerdir, üstünde ise türbülanslıdır.

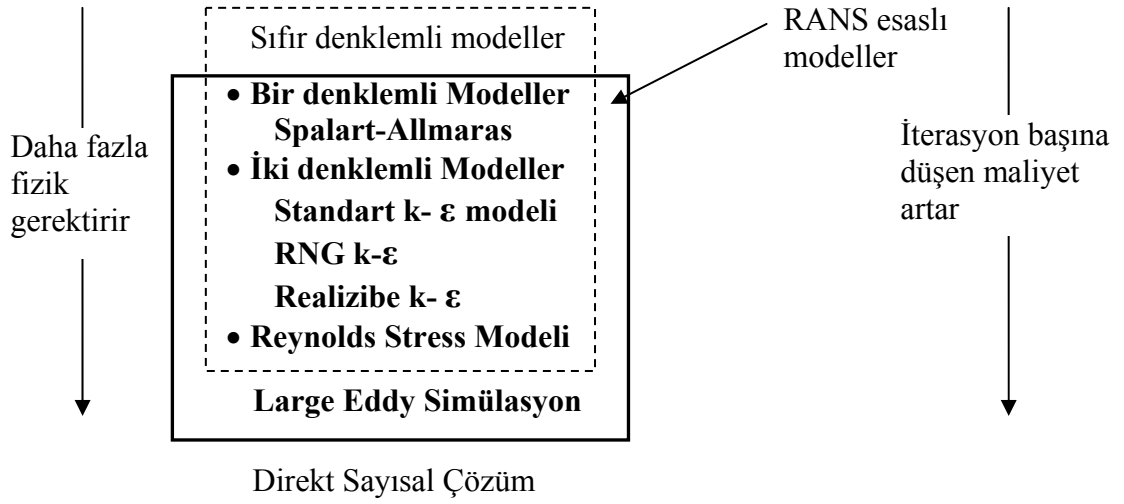
Türbülanslı bir akışı incelemek için, akışı çok küçük hacim elemanlarına ayırmak gereklidir. Bu da çok fazla hareket denklemleri ve hesap süresini de beraberinde getirir.

Türbülanslı bir akışı sayısal çözüm yöntemleriyle inceleyebilmek için genel olarak Şekil 3.1’de çözüm yöntemlerinden uygun olanı seçilir.



Şekil 3.1. Türbülanslı akış çözüm yöntemleri (Agar, 2004)

Burada bütün türbülans modellerini anlatmak yerine, güneş bacası sistemindeki akış için en uygun olan modellerin kısa bir açıklaması ve birbirlerine göre üstünlüklerinin belirtilmesi daha uygun olacaktır. Türbülans modellerinin birbirlerine göre kapsadığı sistemler ve durumlar, ayrıca birbirine göre ilişkileri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Türbülans modelleme yaklaşımlarının özellikleri (FLUENT, 2006)

3.1.3.1. RANS Modelinin Esasları:

Süreklilik denklemi: $\bar{v}_{ij} = 0$

Momentum denklemi: $\rho \frac{\partial \bar{v}_j}{\partial t} + \rho \bar{v}_{j,i} \bar{v}_i = -\bar{p}_{,j} + (\bar{\tau}_{ij} + \tau_{ij}^*)$

Burada;

$$\bar{\tau}_{ij} = 2\mu \bar{d}_{ij}$$

$$\bar{\tau}_{ij} = \frac{1}{2} (\bar{v}_{i,j} + \bar{v}_{j,i})$$

$$\tau_{ij}^* = -\rho \overline{v_i v_j}$$

olmaktadır (Habar, 2005).

Enerji denklemi: $\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{v}_i \bar{T}_{,i} = -(\bar{q}_i + \bar{q}_i^*)_{,i}$

Burada;

$$q_i = -\alpha \bar{T}_{,i}$$

$$q_i^* = -\overline{v_i' T'}$$

olmaktadır (Habar, 2005).

RANS (Reynolds Stress esasına dayanan modeldeki) reynolds gerilme terimleri:

RANS denklemlerindeki Reynolds gerilmesi için Boussinesq yaklaşımı şöyle verilmiştir (FLUENT, 2006).

$$R_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = -\rho \frac{2}{3} k \delta_{ij} + \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.12)$$

Türbülans viskozitesi, bir denklemler için modifiye edilmiş basit transport denklemlerinden indirekt olarak çözülmüştür (FLUENT, 2006).

İki denklemler modeller için türbülans viskozitesi, türbülans kinetik enerjisi ve disipasyon oranı ile ilişkilidir.

Türbülans viskozitesi: $\mu_t \equiv \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$

Türbülans kinetik enerjisi ve disipasyon oranı için türbülans denklemleri çözülmüş ve böylece RANS denklemleri için türbülans viskozitesi hesaplanmış olur.

Türbülans kinetik enerjisi: $k \equiv \overline{u_i u_i} / 2$

Türbülans kinetik enerjinin disipasyon oranı $\varepsilon \equiv \overline{v \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)}$

olmaktadır (FLUENT, 2006).

3.1.3.2. Direkt Sayısal Çözüm (DNS-Direct Numeric Simulation) : Bu metotta Navier-Stokes denklemleri direkt olarak çözülür. Bu esnada hesap alanı öyle küçük parçalara ayrılmalıdır ki, bütün türbülans uzunlukları çözülebilsin, yani mikroskala Kolmogrov uzunluğuna kadar:

$$\eta = \left(\frac{v^3}{\varepsilon} \right)^{1/4} \quad (3.13)$$

Bu yöntem sadece basit geometrik şekiller ve küçük Reynolds sayıları için uygundur (Habar, 2005).

3.1.3.3. Büyük Yapısal Simülasyon (LES-Large Eddy Simulation): Türbülans yapıları büyük ölçekli ve hassas ölçekli parçalara bölünür. Büyük ölçekli yapılar direkt olarak simüle edilir. Hassas ölçekli yapılar ise modellenir.

3.1.3.4. Sıfır Denklem Modeli: Mevcut türbülans modelleri arasında en basit ve en hızlı sonuç veren modeldir. Yapılan kabullerin çok olması nedeniyle sonuçların hassasiyeti ve doğruluğu düşük olmaktadır. Bu modelde amaç, sistemi ilave bir diferansiyel denklem olmadan kapatmaktır. En bilinen ve en eski uygulayıcısı Prandtl-Karışım modelidir (1925). Yeni modeller ise Cebeci-Smith modeli (1974) ve Baldwin-Lomax modeli (1978) dir. Bütün bu modeller türbülanslı kayma gerilmelerini, türbülanslı bir çalkantı viskozitesini (Eddy viskozitesi) μ_t belirlerler.

$$\tau_{ij}^* = -\overline{\rho v_i' v_j'} = 2\mu_T \bar{d}_{ij} = \mu_T (\bar{v}_{i,j} + \bar{v}_{j,i}) \quad (3.14)$$

Prandtl karışım modeli ,

$$\mu_T = \rho l^2 \frac{d\bar{u}}{dy} \quad \text{olarak tanımlıdır. Bu modelde dikkati çeken en önemli unsur diğer}$$

modellerde bulunan türbülans kinetik enerjisinin ve viskoz kayma gerilmesinin olmamasıdır.

3.1.3.5. Bir Denklemlilik Modeller (Spalart-Allmaras Modeli): Bu modelde Eddy viskozitesi

$$v_T = c_\mu l \sqrt{K}, \quad c_\mu = 0.09 \quad \text{olarak tanımlıdır.}$$

$$K \text{ ise türbülans kinetik enerjisidir: } K = \frac{1}{2} \overline{v'_i v'_j}$$

Burada yeni bir bilinmeyen ortaya çıkması nedeniyle, denklem takımını çözebilmek için ilave bir denkleme daha ihtiyaç vardır.

$$\frac{DK}{Dt} = (v_k K_{,i})_{,i} + (\bar{\tau}_{ij} \bar{v}_i)_{,j} \quad (3.15)$$

burada $v_k = \nu + v_T$ dır.

Bu denklemler daha çok aşağıdaki şartlara sahip, havacılık uygulamaları için geliştirilmiştir (FLUENT, 2006).

- Zıt basınç gradyanına sahip sınır tabaka
- Turbo makinalar

3.1.3.6. İki Denklemlilik Modeller (Standart k-ε Model) : En çok bilinen iki denklemlilik model olan bu yöntem uygulamada en fazla kullanılan modeldir. Türbülans kayma gerilmesi tensörü ise şu şekilde hesaplanabilir:

$$\tau_{ij}^* = 2\mu_T \bar{d}_{ij} - \frac{2}{3} \bar{\rho} K \delta_{ij} \quad (3.16)$$

Burada μ_T , Eddy veya türbülans viskozitesi olarak adlandırılır ve şöyle tanımlıdır:

$$\mu_T = \bar{\rho} c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.17)$$

Burada;

c_μ : sabit bir katsayıdır.

ε : türbülans kinetik enerji disipasyon oranıdır.

$$\varepsilon = v_k \overline{v'_{i,j} v'_{j,i}}$$

Eddy viskozite formülünde, k ve ε bilinmeyenleri bulunduğu için, iki adet hareket denklemine ihtiyaç vardır. Bu model; sanayide ve uygulamada en yaygın kullanılan denklemlerdir. Yarı deneysel ve sadece tam türbülanslı akışlar için kullanılması uygun olmaktadır. Bu modelde kullanılan türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kayma gerilmeleri denklemleri aşağıdaki şekilde türetilmiştir (Fluent, 2003).

$$\rho \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rku) + \frac{\partial}{\partial z} (kv) \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial r} \right) + G_k + \beta g_z \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial z} - \rho \varepsilon \quad (3.18)$$

$$\rho \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\varepsilon u) + \frac{\partial}{\partial z} (\varepsilon v) \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right) + C_{1\varepsilon} G_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.19)$$

Burada;

μ_t : eddy viskozitesi

G_k : türbülans üretim miktarı olmakta ve aşağıdaki şekilde tanımlıdır:

$$G_k = \mu_t \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 \quad (3.20)$$

Denklemlerdeki diğer terimler ise deneysel sonuçlardan elde edilen sabit katsayılar olup yaklaşık olarak aşağıdaki değerler sahiptir.

$$Pr_t = 1 \quad , \quad C_{1\varepsilon} = 1.44 \quad , \quad C_{2\varepsilon} = 1.92 \quad , \quad C_\mu = 0.09 \quad , \quad \sigma_k = 1.0 \quad , \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Burada; Pr_t , $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, C_μ , σ_k , σ_ε bu modelde kullanılan sabitlerdir.

3.1.3.7. İki Denklemlı Modeller (RNG k-ε Türbölans Modeli) : RNG “renormalization group theory” k- ε modeli kullanılan istatistik tekniklerden üretilmiştir. Standart k- ε model ile benzerlik taşır. Fakat birkaç farklılık gösterir (Koçyiğit ve Ünal, 2005):

- RNG k- ε modelinde, ε denklemine ek bir terim sağlar ki bu ek terim hızlı akan akışkanların doğruluğunu düzenler,
- RNG modelinde girdap etki türbölanslı viskozite tanımı ile temsil edilebilir ,
- RNG teorisi bir analitik formül ile türbölans Prandtl sayısını tanımlar fakat standart k-ε modelinde sabit değerindedir,
- Standart k-ε modeli yüksek Reynolds sayısı modeli iken RNG k-ε modeli, sürüklenme etkileri için farklı bir analitik denklem sağlar ki buda düşük Reynolds sayısı etkilerini hesaplanmasında kullanılır. Bu özelliğın kullanılması yakın-duvar bölgesi yaklaşımında güvenilir yapar.

Bu özelliklerle RNG k-ε modeli standart k-ε modelinden akışkanlar sınıfında doğru ve güvenilir yapar.

Standart k-ε modeli ile karşılaştırıldığında, ε'nun az tüketilmesi, k'nın ve efektif viskozitenin azalması demektir (Koçyiğit ve Ünal, 2005).

RNG analizlerinden doğan sabitler şöyledir:

$$c_{\mu} = 0,0845, c_{\epsilon 1} = 1,42, c_{\epsilon 2} = 1,68, \sigma_k = \sigma_{\epsilon} = 0,72$$

3.1.3.8. İki Denklemlı Modeller (Standart k-ω Model) : Kolmogrov'un 1925'de geliştirdiği bu modelde türbölans vorticity ω'ya tanzim edilmiştir.

$$\omega = c \frac{K^2}{l}$$

olarak tanımlıdır.

Burada;

c : sabit bir katsayı olmaktadır. Eddy viskozitesi ise şu şekilde tanımlıdır:

$$\mu_T = \rho \frac{K}{\omega}$$

K ve ω için hareket denklemleri ise Wilcox geliştirmiştir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}K) + (\bar{\rho}K\bar{v}_{i,i}) = (\mu_k K_{,i})_{,i} + (\bar{\tau}_{ij}\bar{v}_j)_{,i} - \beta^* \bar{\rho}K\omega$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}\omega) + (\bar{\rho}\omega\bar{v}_i)_{,i} = (\mu_\varepsilon \omega_{,i})_{,i} + \alpha \frac{\omega}{K} (\bar{\tau}_{ij}\bar{v}_j)_{,i} - \beta^* \bar{\rho}\omega^2$$

3.1.3.9. Standart Wand modeli : FLUENT’deki standart wand modeli, Launder ve Spalting’in yayınlarına dayanmaktadır. Bu model pratik akış problemlerinin çözümü için şimdiye kadar başarıyla kullanılmıştır (Fluent, 2003).

$$\text{Standart wand modeli: } \frac{U}{U_\tau} = 2.5 \cdot \ln\left(\frac{U_\tau y}{\nu}\right) + 5.45 \quad u^* = \frac{1}{\kappa} \ln(C_E y^*)$$

Burada, çeper kayma gerilmesi : $U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$, $u^* = \frac{u_p C_\mu^{0.25} k_p^{0.5}}{\tau_w / \rho}$ olmakta ve ayrıca

boyutsuz çeper mesafesi ise $y^+ = \frac{\rho U_\tau y_p}{\mu}$ ve $y^* = \frac{\rho C_\mu^{0.25} k_p^{0.25} y_p}{\mu}$ olmaktadır.

$\kappa=0.42$ ve $C_E=9.81$ ise ampirik sabitlerdir.

u_p : p noktasındaki ortalama hız

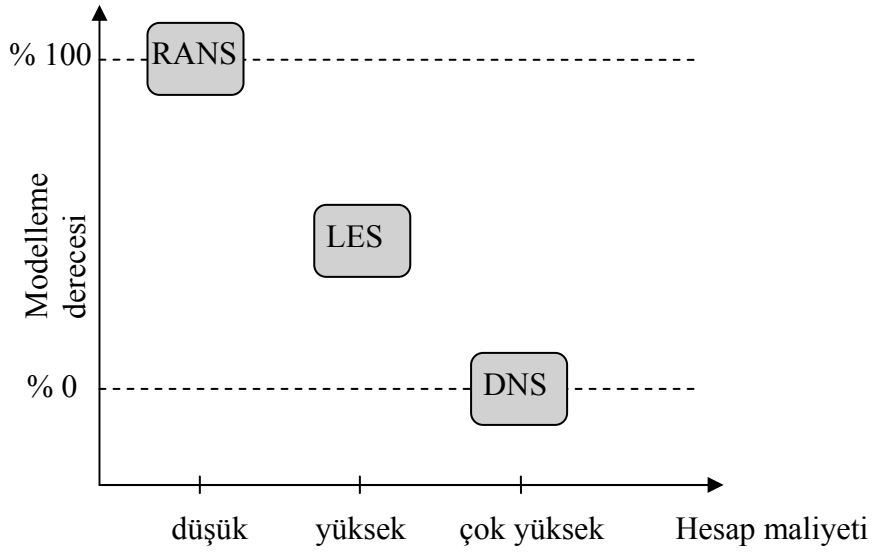
k_p : p noktasındaki türbülans kinetik enerjisi

y_p : p noktasından olan wand mesafesi

τ_p : çeper kayma gerilmesi

olmaktadır.

Direkt Sayısal Çözüm (DNS), Büyük Yapısal Simülasyon (LES) ve Statik Hesap Yöntemi (RANS) bir karşılaştırması Şekil 3.3’de, birbirlerine göre zayıf ve güçlü tarafları ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Üç çözüm yönteminin karşılaştırılması (Breuer, 2004)

Çizelge 3.1. RANS Türbülans modellerinin karşılaştırılması (FLUENT, 2006)

| Model | Güçlü yanları | Zayıf yanları |
|------------------------|--|--|
| Spalart-Allmaras | Bir denklem olduğu için ekonomiktir. Az karmaşık sınır tabaka akışları için iyi sonuç verir. | Yeterince denenmemiştir. Yanma, yükselme gibi alt modelleri için eksiklikleri vardır. |
| Standart k-ε | Sağlam, ekonomik, yeterince hassas, uzun süreli veri kaydı. | Yüksek basınç gradyanı, güçlü akış eğrileri ve dönme gibi durumları içeren akışlar için orta hassasiyette çözüm sunar. |
| RNG k-ε | Fıskiye çarpması, ayrılmış akış, dönen akış gibi kısmen karmaşık hareketler için iyidir. | İzotropik eddy viskozitesi nedeniyle sınırlamalara maruzdur. |
| Realizable k-ε | RNG gibi aynı avantajlara sahiptir, ayrıca yuvarlak jet akışlarını da çözer | İzotropik eddy viskozitesi nedeniyle sınırlamalara maruzdur. |
| Reynolds Stress Modeli | Fiziksel olarak en karmaşık modeldir. | Daha fazla bilgisayar performansı gerektirir. |

3.1.3.10. Modelde Uygulanan Denklemler

Kollektör içindeki akışın yatay bir levha üzerinde(zemin), doğal taşınımınla gerçekleştiği düşünülecek olursa, aşağıdaki veriler ışığında Rayleigh sayısı hesaplanabilir.

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = 0,003044$$

$$\Delta T = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\nu = 1,589 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha = 2,12 \cdot 10^{-5}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$Gr = \frac{g \cdot L^3 \cdot \beta \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 1^3 \cdot 0,003044 \cdot 18}{(1,589 \cdot 10^{-5})^2} = 2,12 \cdot 10^9$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{1,589 \cdot 10^{-5}}{2,12 \cdot 10^{-5}} = 0,7495$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 2,12 \cdot 10^9 \cdot 0,7495 = 1,59 \cdot 10^9$$

sonucu elde edilir. Yatay levhadaki türbülanslı akış için $4 \cdot 10^8 < Ra < 6 \cdot 10^9$ (Altınışik, 2003) ve $10^9 < Ra < 10^{12}$ (Bejan ve Kraus, 2003) aralığı verilmiştir. Elde edilen Rayleigh sayısına göre akış türbülanslı olarak incelenebilir. Ayrıca Reynolds sayısı yaklaşık olarak $1,5 \cdot 10^5$ mertebesinde olduğu için biz hesaplamalarımızda RANS denklemlerini dolayısıyla k-ε türbülans modelini ve Standart-wand modelini kullanacağız. Genel olarak k-ε modeli, çok yaygın olarak birçok akış için başarıyla kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3.22)$$

3.1.4. Fiziksel Model

Genel olarak güneş bacasının çıkış gücü, sisteme giren güneş enerjisinin toplam verimle çarpılmasıyla denklem (3.23)'deki gibi bulunabilir.

$$P = Q \cdot \eta_{\text{toplam}} \quad (3.23)$$

η_{toplam} ise kollektör, baca ve türbin verimlerinden oluştuğu için güç ifadesi denklem (3.25)'deki gibi düzenlenebilir (Schlaich vd., 2004).

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{kol}} \cdot \eta_{\text{baca}} \cdot \eta_{\text{türbin}} \quad (3.24)$$

$$P = Q \cdot \eta_{\text{kol}} \cdot \eta_{\text{baca}} \cdot \eta_{\text{türbin}} \quad (3.25)$$

Sisteme gelen güneş enerjisi toplam ışınlam ve kollektör yüzey alanından hesaplanabilir:

$$Q = I \cdot A_{\text{kol}} \quad (3.26)$$

Baca, kollektörden gelen ısı enerjisini kinetik enerji ve potansiyel enerjiye dönüştürür. Bu suretle havanın yoğunluk farkı itici güç olarak ortaya çıkar. Baca girişi ve dış ortam arasında oluşan basınç farkı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Delta p_{\text{top}} = g \cdot \int_0^H (\rho_a - \rho_t) \cdot dH \quad (3.27)$$

Burada;

g : Yerçekimi ivmesi,

H : Baca yüksekliği,

ρ_a : Dış ortamdaki hava yoğunluğu,

ρ_t : Baca içindeki hava yoğunluğu

Toplam basınç farkı Δp_{top} , statik ve dinamik bileşenlerin toplamıdır.

$$\Delta p_{\text{top}} = \Delta p_s + \Delta p_d \quad (3.28)$$

Statik basınç farkı türbinde azalır buna karşın dinamik basınç farkı ise kinetik enerjiyi belirler. Toplam basınç farkı ve havanın kütle akışı ile akışın sahip olduğu güç hesaplanabilir:

$$P_{\text{top}} = \Delta p_{\text{top}} \cdot v_{\text{baca}} \cdot A_{\text{baca}} \quad (3.29)$$

Buradan da baca için verim ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\eta_{\text{baca}} = \frac{P_{\text{top}}}{Q} \quad (3.30)$$

Baca içinde türbin olmadığı bir durumda maksimum bir akış hızı söz konusu olacak ve toplam basınç farkı kinetik enerjiye dönüşmüş olacaktır.

$$P_{\text{top}} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v_{\text{baca,max}}^2 \quad (3.31)$$

Baca içindeki hava akışının üniform olduğu varsayımı ile baca içindeki maksimum hava hızı denklem (3.32) ile hesaplanabilir.

$$v_{\text{baca,max}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot \frac{\Delta T}{T_0}} \quad (3.32)$$

Burada;

T_0 : Çevre sıcaklığı,

ΔT : Çevre sıcaklığından kollektör çıkışındaki (baca girişi) sıcaklığa kadar olan artış olmaktadır.

Denklem (3.30), $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ ifadesi ile denklem (3.31) ve denklem (3.32) kullanılarak baca verimi aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$\eta_{\text{baca}} = \frac{g \cdot H}{c_p \cdot T_0} \quad (3.33)$$

Kollektör verimini ise genel olarak

$$\eta_{kol} = \frac{Q}{A_{kol} \cdot I} \quad (3.34)$$

şeklinde yazabiliriz.

Burada; Q kollektör çıkışındaki güç, A_{kol} kollektör yüzey alanı, I ise kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınımı olmaktadır.

$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$ ve $\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A_t$ formüllerini kullanarak sonuçta kollektör için aşağıdaki verim ifadesi elde edilmiş olur:

$$\eta_{kol} = \frac{\rho_t \cdot v_t \cdot A_t \cdot c_p \cdot \Delta T}{A_{kol} \cdot I} \quad (3.35)$$

Ayrıca kollektördeki ısı denkleği için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$Q = \alpha \cdot A_k \cdot I - \beta \cdot \Delta T \cdot A_{kol} \quad (3.36)$$

Bu denklemi yine denklem (3.34)'de yerine yazarsak kollektör verimi için ikinci bir eşitlik daha bulunur:

$$\eta_{kol} = \alpha - \frac{\beta \cdot \Delta T}{I} \quad (3.37)$$

Denklem (3.34) ve denklem (3.37) birbirine eşitlenirse denklem (3.38) elde edilir.

$$\frac{\rho_t \cdot v_t \cdot A_t \cdot \Delta T}{A_{kol} \cdot I} = \alpha - \frac{\beta \cdot \Delta T}{I}$$

Buradan hava hızı v_t çekilirse

$$v_t = \frac{\alpha \cdot A_{kol} \cdot I - \beta \cdot \Delta T \cdot A_{kol}}{\rho_t \cdot A_t \cdot \Delta T} \quad (3.38)$$

elde edilir. Denklem (3.30) ifadesini

$$P_{top} = \eta_{baca} \cdot Q$$

şeklinde yazıp ve Q yerine konursa türbinde elde edilecek toplam mekanik güç için

$$P_{top} = \frac{g \cdot H}{c_p \cdot T_0} \rho_t \cdot c_p \cdot v_t \cdot \Delta T \cdot A_t \quad (3.39)$$

elde edilir. Ayrıca hacimsel debi için

$$\dot{v} = v_t \cdot A_t$$

eşitliği yazılırsa; denklem (3.29)

$$P_{tür} = \dot{v} \cdot \Delta p_{tür} \quad (3.40)$$

haline dönüşmüş olur. Bu denklem elektrik sistemlerindeki $P = U \cdot I$ denklemindeki akım ve gerilimin çarpılmasıyla elde edilen güç ifadesine benzemektedir. Buradaki I , hacimsel debiye ve U ise $\Delta p_{tür}$ terimine karşılık gelmektedir. $\Delta p_{tür}$ 'nin sıfır olduğu durumda elde edilen güç sıfır olur. Diğer taraftan $\Delta p_{tür} = \Delta p_{top}$ olduğunda ise boşa çalışma ortaya çıkar. Bu iki durum arasında $P_{tür}$ maksimum bir değer alır. Bu durumdaki hava hızı için verilmiştir (Schlaich vd., 2004).

$$v_{t,max} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta p_{tür}}{\rho_t}} \quad (3.41)$$

Bu sadeleştirmeler ile anlaşılmaktadır ki, maksimum bir güç elde etmek için, tüm basınç farkının 2/3'ünün türbinde düşmesi gerekir. Böylece türbinden elde edilecek mekanik güç ise

$$P_{mek} = \frac{2}{3} \eta_{baca} \cdot \eta_{kol} \cdot A_{kol} \cdot I$$

olmakta, ve verim ifadelerinin yerine yazılmasıyla ise

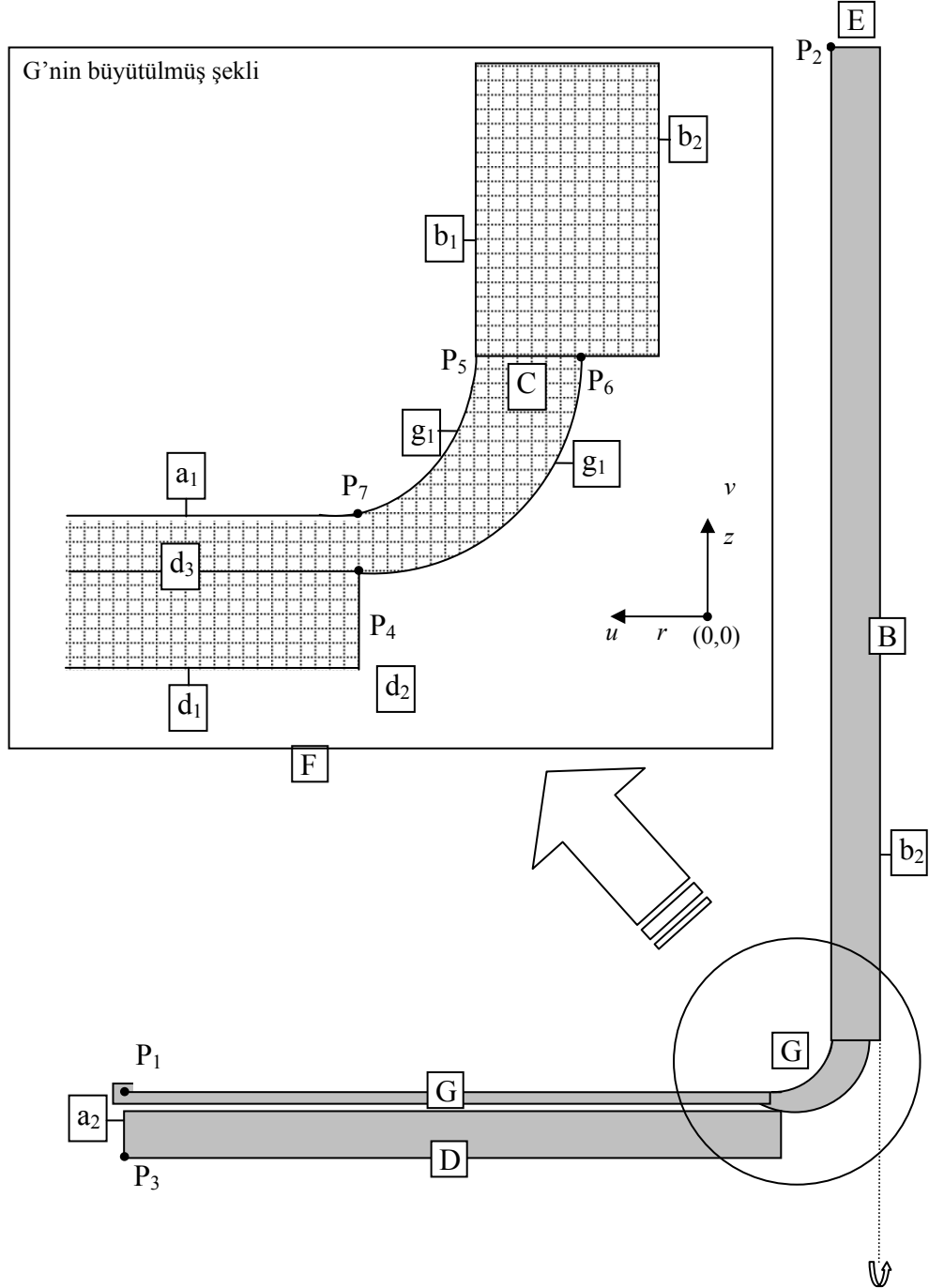
$$P_{mek} = \frac{2}{3} \frac{g \cdot H}{c_p \cdot T_0} \left(\alpha - \beta \cdot \frac{\Delta T}{I} \right) A_{kol} \cdot I \quad (3.42)$$

olmaktadır. Buradan elde edilen mekanik güç türbin verimiyle çarpılarak sistemden elde edilecek elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$P_{elk} = P_{mek} \cdot \eta_{tür} \quad (3.43)$$

3.2. Koordinat Sistemi ve Sınırlar

Şekil 3.4, güneş bacası sisteminin dik bir kesitini ve baca dirsek kısmının büyütülmüş bir çizimini göstermektedir. Bu şekilde bölgeler, sınırlar, koordinatlar ve koordinat sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Güneş bacasının kesit alınarak büyütülmüş hali (Pastohr vd., 2003)

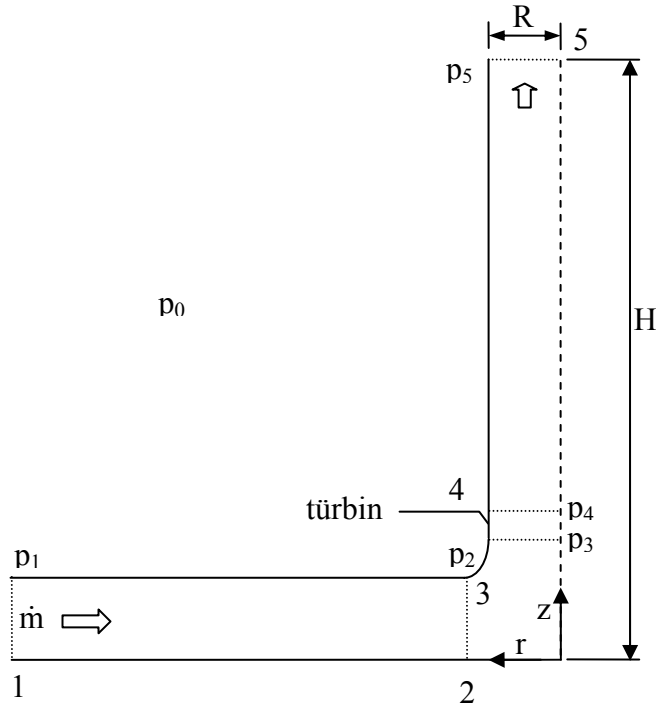
Deneysel çalışmanın yapıldığı prototip güneş bacasının ölçülerini, yukarıdaki koordinat sistemine uygularsak aşağıdaki sınır şartlarını elde etmiş oluruz. Bu sınır değerleri ve bölgeler daha sonra FLUENT programında esas veri olarak kullanılacaktır.

| Alanlar | Koordinatlar | Sınırlar |
|----------------|-----------------------|-----------------------------------|
| A) Kollektör | $P_n (z,r), n = 1..7$ | a ₁) Cam |
| B) Baca | $P_1 (0,6; 8)$ | a ₂) Kollektör girişi |
| C) Türbin | $P_2 (15; 0,6)$ | b ₁) Baca duvarı |
| D) Zemin | $P_3 (-1; 8)$ | b ₂) Baca eksenini |
| E) Çıkış | $P_4 (0; 12)$ | d ₁) Zemin altı |
| F) Çevre | $P_5 (2,4; 0,6)$ | d ₂) Zemin sol kenar |
| G) Dirsek | $P_6 (2,4; 0,4)$ | d ₃) Zemin |
| | $P_7 (1,5; 1,2)$ | g ₁) Dirsek duvarı |

3.3. Sistemin Teorik Analizi

3.3.1. Kollektördeki Hava Durumunun Modellenmesi

Bu bölümde güneş bacası içinde akan havanın farklı bölgelerdeki (kollektör, baca ve türbin) durumları Şekil 3.5'e göre incelenmiştir. Bu esnada her bölge için kütle, momentum ve enerji denklilikleri türetilip, incelenmiştir. Şekil 3.5'deki 1 nolu giriş bölgesinde giren hava 2 numaralı kollektör çıkış ucuna ulaşır, daha sonra 3 nolu dirsekten yukarıya yönelir, türbinden geçerek 4 nolu türbin çıkış noktasına ulaşır. Baca boyunca yükselmeye devam eder ve nihayet 5 nolu baca çıkış noktasında tekrar atmosfere atılır. Şekildeki modelin aksel simetriye sahip olduğu ve kollektörün bütün yüzeyinin eşit şekilde ısındığı kabul edilmiştir.



Şekil 3.5. Güneş bacasının teorik analiz modeli

Kollektörden dışarıya ve içeriye hava geçişi olmayacağı için kütle transferi için denklem (3.44) yazılabilir.

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial r} = 0 \quad (3.44)$$

Momentum denkliği ise şöyle ifade edilebilir:

$$\frac{\partial(\rho A_c u)}{\partial t} = -\frac{\partial(\dot{m}u)}{\partial r} - \frac{\partial(pA_c)}{\partial r} + p \frac{\partial A_c}{\partial r} - 2\pi r \tau \quad (3.45)$$

Denklem (3.45)'den yola çıkılarak, kollektördeki bütün hava hacmi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\frac{\partial(\dot{m}u)}{\partial t} = -\dot{m}u_2 + \dot{m}u_1 + p_1 A_1 - p_2 A_2 - 2\pi r_c \tau \quad (3.46)$$

Kollektör girişindeki p_1 basıncı (Bernardes, 2004)'de aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$p_1 = p_0 - \frac{\rho_0}{2} u_1^2 \quad (3.47)$$

Kollektördeki sürtünme kayıpları laminer akış için

$$\frac{c_w}{2} = \frac{0,664}{\sqrt{Re_L}} \quad (3.48)$$

şeklinde ve türbülanslı akış ($10^5 \leq Re \leq 10^7$) için ise

$$\frac{c_w}{2} = \frac{0,0592}{Re_L^{1/5}} \quad (3.49)$$

şeklinde verilmiştir (Baehr ve Stephan,1996).

Sürekli bir sistem için ise

$$\frac{\partial(\mu)}{\partial t} = 0 \quad (3.50)$$

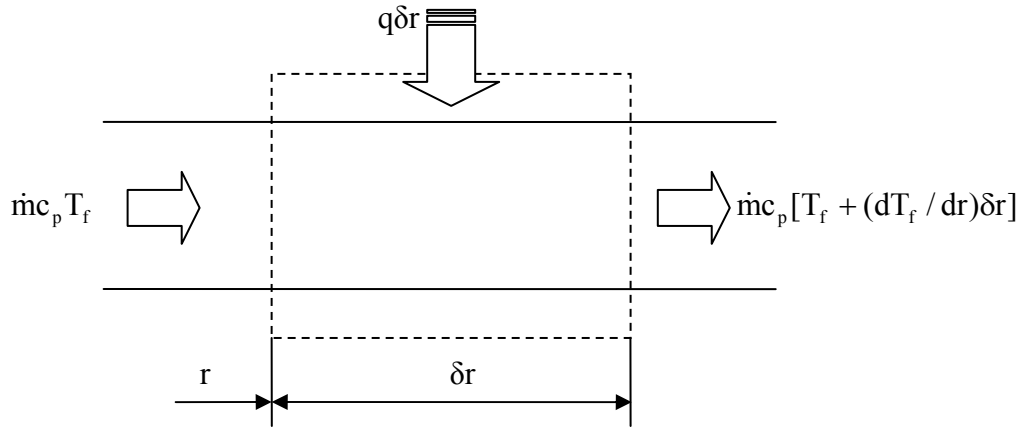
yazılabilir. Ayrıca;

$m = u \cdot \rho \cdot A$ olduğu düşünülürse ve yukarıdaki diğer eşitlikler denklem (3.45)'de yerine yazılırsa, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$0 = -\frac{\dot{m}^2}{\rho_2 A_2} + \frac{\dot{m}^2}{\rho_1 A_1} + \left(p_0 - \frac{\rho_0}{2} u_1^2 \right) A_1 - p_2 A_2 - 2\pi r_c \tau \quad (3.51)$$

3.3.1.1. Enerji denkliği

Kollektör, Şekil 3.6'daki gibi toplayıcı örtü ve zemin arasında havanın aktığı tek boyutlu bir kanal olarak düşünülebilir. Enerji denkliği için denklem (3.52) yazılabilir.



Şekil 3.6. Bir hacim elemanı boyunca enerji denkliği

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = -\nabla \bar{q} + \frac{Dp}{Dt} + \tau \frac{\partial u}{\partial r} \quad (3.52)$$

İdeal gaz için ise $(\partial e_i / \partial v)_T = 0$ olduğu düşünülürse;

$$\frac{Dh}{Dt} = c_p \frac{DT}{Dt} \quad (3.53)$$

elde edilir. Bu denklemin denklem (3.52)'de yerine yazılmasıyla

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = -\nabla \bar{q} + \frac{Dp}{Dt} + \tau \frac{\partial y}{\partial r} \quad (3.54)$$

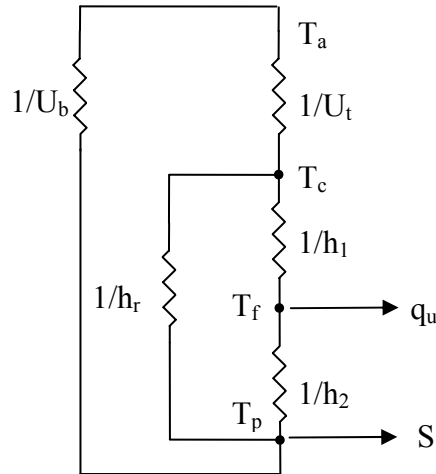
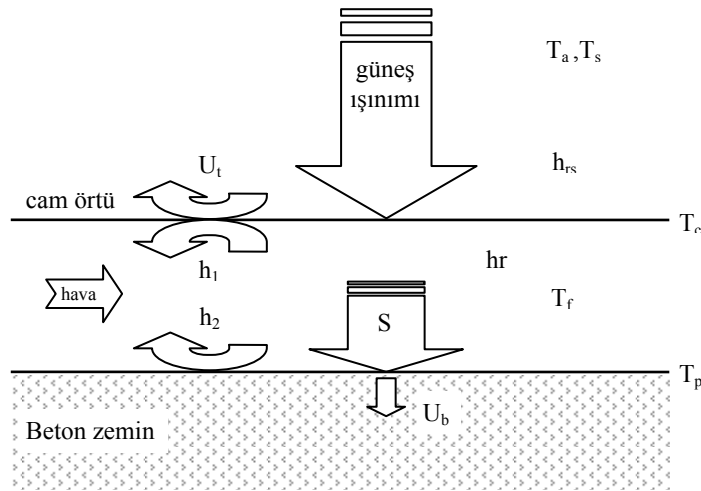
elde edilir.

Süreklilik denklemi ve belirtilen kabüller denklem (3.52)'e uygulanırsa aşağıdaki denklem türetilebilir.

$$m \dot{c}_p T_f + q 2\pi r dr = m \dot{c}_p \left(T_f + \frac{dT_f}{dr} dr \right) \quad (3.55)$$

3.3.1.2. Isıl Ağ

Güneş bacası sistemindeki kollektör Şekil 3.7'den görüldüğü üzere bir boyutlu bir akış kanalı olarak düşünülebilir. Kollektördeki cam örtü yüzeyi ve zemin arasındaki hava ısınır. Güneş bacası sisteminde cam örtü malzemesi esasen zemine paralel değildir. Ancak geliştirilen ve diğer kaynaklardan alınan denklemlerde, cam örtü malzemesinin zemine paralel olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.7. Kollektördeki fiziksel olaylar ve ısıtım ağ (Duffie ve Beckmann, 1991)

Burada;

T_a : Dış ortam sıcaklığı,

T_f : Kollektör ortalama sıcaklığı,

T_c : Kollektör üst yüzey sıcaklığı
 T_p : Zemin sıcaklığı,
 h_r : Radyasyon ısı transfer katsayısı,
 U_b : Zemin ısı transfer katsayısı,
 U_t : Cam örtüden olan ısı transfer katsayısı
 olmaktadır.

Burada, cam örtü yüzeyi için ısı balansı denklem (3.56)'deki gibi,

$$U_t(T_a - T_c) + h_r(T_p - T_c) + h_1(T_f - T_c) = 0 \quad (3.56)$$

Zemin için ısı balansı denklem (3.57)'deki gibi,

$$S + U_b(T_a - T_p) + h_2(T_f - T_p) + h_r(T_c - T_p) = 0 \quad (3.57)$$

Ortamdaki hava için ise denklem (3.58)'deki gibi,

$$h_1(T_c - T_f) + h_2(T_p - T_f) = q_u \quad (3.58)$$

yazılabilir (Duffie ve Beckmann, 1991).

Bu üç denklem, yararlı ısı U_t , h_1 , h_2 , h_r , T_f ve T_a 'nın bir fonksiyonu olarak çözümlenmelidir. T_p ve T_c elimine edilmelidir. Bunun için ise ilk iki denklemden $T_p - T_f$ ve $T_c - T_f$ nin çekilmesiyle;

$$T_p - T_f = \frac{S(U_t + h_r + h_1) - (T_f - T_a)(U_t h_r + U_t U_b + U_b h_r + U_b h_1)}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \quad (3.59)$$

$$T_c - T_f = \frac{h_r S - (T_f - T_a)(U_t h_2 + U_t U_b + U_t h_r + U_b h_r)}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \quad (3.60)$$

elde edilir. Bu iki denklem yararlı ısı denklemi olan denklem (3.59)'te yerine konup yeniden düzenlenirse aşağıdaki denklem elde edilir:

$$q = F'[S - U_L(T_f - T_a)] \quad (3.61)$$

burada

F' : Toplayıcı verimlilik faktörü olup, aşağıdaki şekilde verilmiştir (Duffie ve Beckmann, 1991)

$$F' = \frac{h_r h_1 + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \quad (3.62)$$

ve

$$U_L = \frac{(U_b + U_t)(h_r h_1 + h_2 h_r + h_1 h_2) + U_b U_t (h_1 + h_2)}{h_r h_1 + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2} \quad (3.63)$$

olmaktadır. Burada U_L sadece cam örtünün üst yüzeyinden olan ısı transfer katsayısı olmayıp, yutucu yüzey (zemin) ile cam örtünün alt kısmı arasındaki ısı transferini de kapsamaktadır (Duffie ve Beckmann, 1991).

3.3.1.3. Isı Transfer Katsayıları

Toplam ısı transfer katsayısı için aşağıdaki ifade yazılabilir (Bernardes vd., 2003)

$$U_t = h_w + h_{rs} \quad (3.64)$$

Burada;

h_w : rüzgarla olan ısı transfer katsayısı,

h_{rs} : radyasyon ısı transfer katsayısı olmakta ve aşağıdaki gibi tanımlıdır:

$$h_w = \frac{k}{L} Nu \quad (3.65)$$

ve

$$h_{rs} = \frac{\sigma \varepsilon (T_c + T_a)(T_c^2 + T_a^2)(T_c - T_a)}{(T_c - T_a)} \quad (3.66)$$

olmaktadır. Eğer gökyüzü sıcaklığı zamana bağlı ise aşağıdaki şekilde verilmiştir (Bernardes vd., 2003).

$$T_s = T_0 [0,711 + 0,0056(T_{dp} - 237,15) + 0,000073(T_{dp} - 273,15)^2 + 0,013 \cos(15t)]^{1/4}$$

Burada t gece yarısından itibaren olan saattir.

Zemin ısı transfer katsayısı şöyle yazılabilir:

$$U_b = \frac{2b}{\sqrt{\pi t}} \quad (3.67)$$

burada

$$b = \sqrt{k\rho c_p} \text{ olmaktadır.}$$

İki paralel levha arasındaki ışımayla olan ısı transfer katsayısı ise

$$h_{r21} = \frac{\sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \quad (3.68)$$

şeklinde yazılabilir. Ayrıca cam örtü yüzeyinin ve zeminin absorbe ettiği ışınım ise

$$S_1 = \alpha_1 I$$

$$S_2 = \tau \alpha_2 I$$

şeklinde yazılabilir.

Cebri taşınım:

Laminer akıştaki cebri taşınım aşağıdaki gibi yazılabilir (Bernardes vd., 2003):

$$Nu_x = \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \sqrt{Re_x} \frac{Pr}{(1 + 1,7 Pr^{1/4} + 21,36 Pr)^{1/6}} \quad (3.69)$$

Ortalama Nusselt sayısı ise

$$Nu_{m,lam} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{Re} \frac{\sqrt{Pr}}{(1 + 1,7 Pr^{1/4} + 21,36 Pr)^{1/6}} \quad (3.70)$$

olmaktadır. Ayrıca türbülanslı akış için ise

$$Nu_{m,tur} = \frac{0,037 Re^{0,8} Pr}{1 + 2,443 Re^{-0,1} (Pr^{2/3} - 1)} \quad (3.71)$$

verilmiştir (Bernardes vd., 2003). Bu denklem $5 \times 10^5 < Re < 10^7$ ve $0,6 < Pr < 2000$ şartları için geçerlidir. Toplam Nusselt sayısı için ise

$$Nu_m = \sqrt{Nu_{m,lam}^2 + Nu_{m,tur}^2} \quad (3.72)$$

yazılabilir. Denklemlerde kullanılan sabitler ise şöyle tanımlıdır:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}, \quad Re = \frac{ul}{\nu}$$

Serbest Taşınım:

Bir tarafı ısıtılan yüzey durumunda Nusselt sayısı için aşağıdaki eşitlik verilmiştir (Incropera und DeWitt, 2003).

$$Nu = 0,14(Ra)^{1/3} \quad 10^4 \leq Ra \leq 10^7$$

$$Nu = 0,54(Ra)^{1/4} \quad 10^7 \leq Ra \leq 10^{11}$$

Rayleigh sayısı ise

$$Ra = \frac{g\beta' \Delta T L^3}{\nu \alpha}$$

olmaktadır.

3.3.2. Baca İçindeki Hava Durumunun Modellenmesi

Bacadaki hava akışı yine tek yönlü bir kanal akışı olarak düşünülmüştür. Baca malzemesinden içeriye ve dışarıya kütle geçişi olmadığı için yine aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial r} = 0 \quad (3.73)$$

Baca, kollektörden gelen havanın sahip olduğu ısı enerjisini kinetik ve mekanik enerjiye dönüştürür. Bu esnada kollektördeki sıcaklık artışıyla ortaya çıkan yoğunluk farkı hava için itici güç olmaktadır. Bacanın üst kısmı atmosfere açık olduğu için yukarıya doğru çekiş olacaktır. Baca alt ucu ile çevre arasında bir basınç farkı ortaya çıkmaktadır.

Baca içindeki akış için momentum denkliği şöyle yazılabilir:

$$\rho \frac{D\vec{w}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \tau + \rho g \quad (3.74)$$

Baca içindeki basınç statik ve dinamik basınç olmak üzere ikiye ayrılabilir:

$$p = p_{sta} + p_{din} \quad (3.75)$$

Denklem (3.74)'den hareketsiz olarak düşünülen bir akışkan sözkonusu olması durumunda statik basınç

$$\frac{dp_{sta}}{dz} = \rho_0 g \quad (3.76)$$

olur.

$$\rho \frac{D\bar{w}}{Dt} = -\nabla p_{\text{din}} + \nabla \tau + (\rho - \rho_0)g \quad (3.77)$$

Ayrıca ρg kütle kuvveti yerine $\rho - \rho_0$ itme kuvveti kullanılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{d\rho w^2}{dz} = \frac{dp}{dz} - (\rho - \rho_0)g \quad (3.78)$$

Denklem (3.78)'in integrali alınırsa baca içindeki hava hızı için denklem (3.79) ve dolayısıyla denklem (3.79) elde edilir:

$$\frac{1}{2} \rho w^2 = \int_0^H (\rho_0 - \rho) dz - \Delta p_{\text{sür}} \quad (3.79)$$

$$w = \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\int_0^H (\rho_0 - \rho) dz - \Delta p_{\text{sür}} \right)} \quad (3.80)$$

Manzaranes prototipinden elde edilen sonuçlara göre, baca içindeki havanın adyabatik genişleme esasına göre değiştiği görülmüştür (Bernardes, 2004). Buna göre ise çevre durumu için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$T_0(z) = T_0(0) \left(1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{z}{H_0} \right) \quad (3.81)$$

$$p_0(z) = p_0(0) \left(1 + \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{z}{H_0} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \quad (3.82)$$

$$\rho_0(z) = \rho_0(0) \left(1 + \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{z}{H_0} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \quad (3.83)$$

Burada;

$$H_0 = \frac{R_1 T_\infty}{g}$$

ve

$\kappa = 1,235$ olmaktadır.

Ayrıca, baca içinde ise

$$T_t(z) = T_{t,giris} \left(1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{z}{H_0} \right)$$

$$p_t(z) = p_t(0) \left(1 + \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{z}{H_0} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

$$\rho_t(z) = \rho_t(0) \left(1 + \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{z}{H_0} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}}$$

denklemleri geçerli olmaktadır. Yine burada;

$$H_0 = \frac{R_1 T_{t,giris}}{g} \text{ ve } \kappa = 1,4005 \text{ olmaktadır.}$$

3.3.2.1. Enerji Denkliği

Entalpi için, dz elemanı boyunca komple diferansiyel denklemi yazacak olursak

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = -\nabla \bar{q} + \frac{Dp}{Dt} + \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.84)$$

elde edilir. Eşitlik çeşitli düzenlemeler ve sadeleştirmeler ile aşağıdaki şekle dönüşür.

$$q_i = \frac{(T_{f,i} - T_0)}{\left(\frac{1}{h_t D_{in}} + \frac{1}{2k} \ln \frac{D_{ex}}{D_{in}} + \frac{1}{h_\infty D_{ex}} \right)} + q_{i-1} \quad (3.85)$$

3.3.3. Türbindeki Hava Durumunun Modellenmesi

Türbindeki basınç düşüşü toplam basınç düşüşünden kinetik enerjinin çıkarılmasıyla bulunabilir.

$$\Delta p_{tür} = \Delta p_{top} - \frac{1}{2} \rho w^2 \quad (3.86)$$

Türbindeki basınç düşüşü, oluşan toplam basınç farkının bir fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$\Delta p_{\text{tür}} = x \Delta p_{\text{top}} \quad (3.87)$$

Burada;

x : basınç düşüş faktörü olmaktadır.

Denklem (3.87)'i, denklem (3.86)'de yerine yazarsak denklem (3.88) elde edilir.

$$x \Delta p_{\text{top}} = \Delta p_{\text{top}} - \frac{1}{2} \rho w^2 \quad (3.88)$$

$$\frac{1}{2} \rho w^2 = (1 - x) \Delta p_{\text{top}}$$

$$\frac{1}{2} \rho w^2 = (1 - x) \frac{1}{2} \rho w_{\text{top}}^2$$

Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra z yönündeki hız için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$w = w_{\text{top}} \sqrt{1 - x} \quad (3.89)$$

Teorik olarak kullanılabilir güç ise

$$P = \Delta p A_t w \quad (3.90)$$

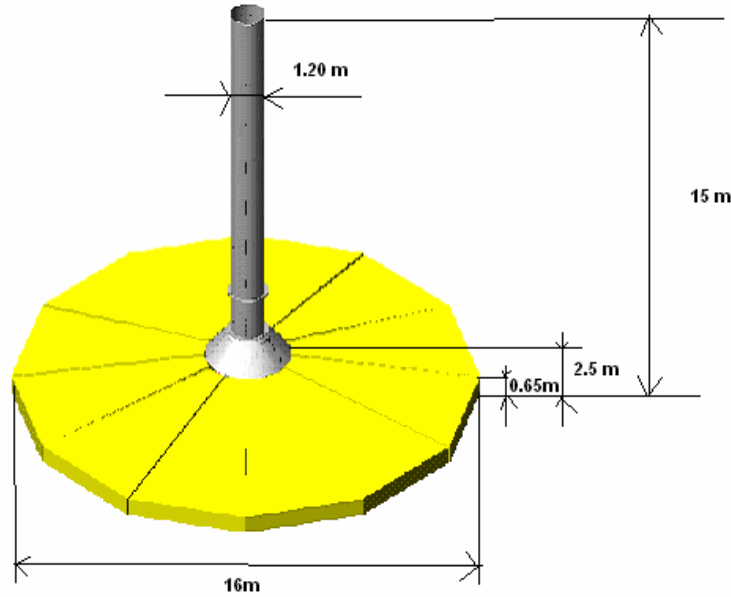
olur (Schlaich vd., 2004). Denklem (3.89), denklem (3.90)'de yerine yazılırsa, aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

$$P = \Delta p_{\text{top}} A_t w_{\text{top}} \eta_{\text{sis}} x \sqrt{1 - x} \quad (3.91)$$

3.4. Deneysel Çalışma

3.4.1. Kurulan Güneş Bacası Sistemi

Güneş bacasında yapılması gereken ölçümler için deneysel amaçlı bir güneş bacası sisteminin kurulması gerekli idi. Bu amaçla Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından D.P.T.'ye önerilen bir proje kapsamında, sistemin kurulması için gerekli olan maddi destek sağlanmış oldu. Şubat 2004'de ise S.D.Ü. kampüs alanında bu proje için ayrılan alana güneş bacası sistemi kuruldu. Ölçüleri Şekil 3.8'de verilen güneş bacasında; maliyeti üniversite tarafından karşılanan bir beton kaide üzerine kollektörün demir profil ayakları, 16 m çapında şeffaf cam örtü (kollektör) ve merkezde ise 15 m yükseklik ve 1,20 m çapında baca yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Sistemin Fiziksel Büyüklükleri (ölçüler metre cinsindedir)

Baca kısmının dirsekten sonraki yaklaşık 2 metrelik kısmı 6 mm kalınlığında saç malzemedен geri kalan kısımları ise 4 mm kalınlığında saç malzemedен oluşmaktadır. İki kısım ayrı ayrı olup bir flanş ile birbirine bağlanmıştır. Ayrıca

bacanın rüzgarlı havalarda sallanmaması, stabil kalması için baca, en üst tepe noktasından 3 adet gergi halatı ile zemine sabitlenmiştir. Ölçüm sensörlerini yerleştirmek için baca boyunca belirli aralıklarla toplam 5 adet delik açılmıştır. Bacanın uygun bir bölgesine yerleştirilen ölçüm sisteminden gelen sensör kabloları bu deliklerden baca içine sokulmak suretiyle yerleştirilmiştir.

Sistemde kollektör örtü malzemesi olarak, hem geçirgenlik hem de uzun yıllar dayanıklı olması nedeniyle cam kullanılmıştır. Sisteme ait fiziksel büyüklükler ve bazı hesaplanan temel parametreler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Prototip güneş bacası özellikleri

| Parametre | Sembol | Değer |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Baca yüksekliği | H_{baca} | 15 m |
| Kollektör çapı | D_{kol} | 16 m |
| Baca çapı | D_{baca} | 1,2 m |
| Kollektör giriş ağız açıklığı | h_a | 0,65 m |
| Kollektör ortalama yüksekliği | h_{or} | 1 m |
| Kollektör yüzey alanı | A_{kol} | 200,96 m ² |
| Baca kesit alanı | A_{baca} | 1,19 m ² |
| Giriş ağız çevresel alanı | A_t | 31,148 m ² |

Bu kuruluş aşamalarıyla ilgili olarak birkaç resim Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.9. Baca ayağının zemine monte edilmiş durumu



Şekil 3.10. Bacanın monte edilmemiş hali



Şekil 3.11. Kollektör ve bacanın montaj aşaması



Şekil 3.12. Kollektör cam örtü malzemesinin yerleştirilmesinden sonraki görüntü



Şekil 3.13. Bacanın alt kısmına yerleştirilen pervane

3.4.2. Ölçüm Sistemi

Güneş bacasının sağlıklı ve detaylı bir analizini yapabilmek için mümkün olduğunca çok noktadan deneysel veriye ihtiyaç vardır. Bu nedenle eldeki olanaklar dahilinde güneş bacasının farklı birçok noktasından gerek veri kaydedici gerekse kendi geliştirdiğimiz sistemle ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan Ölçüm Cihazları:

Güneş bacası sisteminde ölçüm yapılacak nokta sayısının çok olması ve ölçüm noktaları arasındaki mesafenin uzak olması nedeniyle, ölçümler iki ayrı cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Bunlar veri kaydedici bir cihaz ve kendi geliştirdiğimiz bir ölçüm ve veri toplama kartıdır.

Veri kaydedici: 1 adet Almemo marka 2590-9 veri kaydedici, 1 adet Almemo marka global güneş radyasyon sensörü, 3 adet Almemo marka sıcaklık ölçüm (Cu-Ni) probu, 2 adet Almemo marka hız sensöründen oluşmaktadır. Bu veri kaydedici, 9 girişli, 36 kanallı, yaklaşık 100.000 ölçüm değerini kaydedebilecek olan 500 kB hafızaya sahiptir. Ayrıca gerektiği durumda ilave hafıza kartları da takılabilir. Seçilen kanalın ölçüm değerleri aynı zamanda üzerinde bulunan LCD ekranda ister sayısal isterse grafik olarak anlık olarak görülebilir. Kaydedilen veriler daha sonra bilgisayarın RS-232 portu üzerinden bilgisayara istenilen formatta aktarılabilir. Bu veri kaydediciye ait resimler Şekil 3.14’de genel bir görüntüsü, Şekil 3.15’de sıcaklık ve hız sensörünün birlikte olduğu anemometre, Şekil 3.16’de sıcaklık sensörü ve Şekil 3.17’de ise hız sensörü olarak görülmektedir.



Şekil 3.14. Veri kaydedici cihazın görüntüsü



Şekil 3.15. Anemometre sensörü (hız ve sıcaklık sensörü birlikte)



Şekil 3.16. Sıcaklık sensörü



Şekil 3.17. Hız sensörü

b. Kendi geliştirdiğimiz veri toplama kartı: 8 kanallı olarak tasarlanan ve geliştirilen bu kartın üzerinde entegre olarak PIC16F87 entegresi kullanılmıştır. Bu kart, bilgisayarın seri portu üzerinden haberleşmekte ve üzerine maksimum sekiz adet sensör bağlanabilmektedir. Bu sensörler, sıcaklık sensörü (LM35), nem sensörü (SHT11) veya ışık sensörü olabilmektedir. Anlık gelen verilerin daha sağlıklı okunabilmesi için Basic programlama dilinde geliştirilen bir bilgisayar programı aracılığıyla bütün kanalların verileri istenilen zaman aralıklarında hem anlık bilgisayar ekranında görülmekte hem de aynı anda bilgisayardaki bir text dosyasına kaydedilmektedir. Bu sayede ölçüm esnasında oluşabilecek herhangi bir arıza yada veri okuyamama durumunda, sorunun hemen giderilebilmesi mümkün olmaktadır. Kaydedilmiş olan bu veriler daha sonra istenilen uygun bir program ile her türlü analiz ve karşılaştırma için kullanılabilir. Burada kullanılan bilgisayar, DOS işletim sistemi altında çalışacağı için özelliklerinin fazla gelişmiş olması gerekmemektedir. Şekil 3.18’de geliştirilen bu kartın genel bir görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.18. Geliştirilen veri toplam kartı

Ölçüm kartının bağlı olduğu ve ölçüm sonuçlarının değerlendirildiği bilgisayarın çalışma esnasındaki bir görüntüsü Şekil 3.19’de verilmiştir.



Şekil 3.19. Veri toplam kartının bağlı olduğu bilgisayar

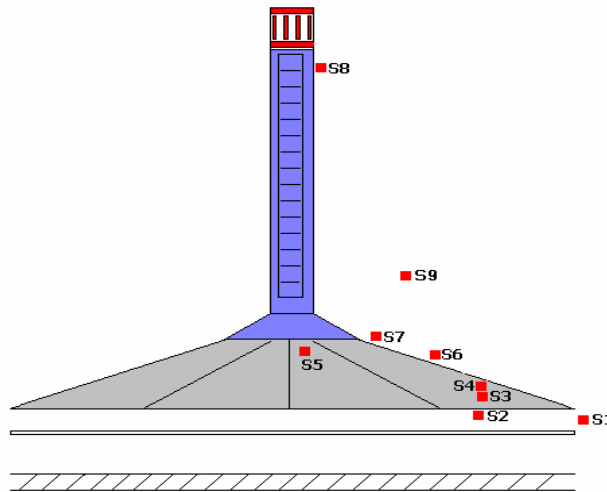
Geliştirilen bu veri toplama kartı, SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birim tarafından 0884-D-04 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

3.4.3. Gerçekleştirilen Ölçümler

Ölçülmesi gerekli parametreler sıcaklık, hız ve nem parametreleridir. Bu amaçla, öncelikle kollektöre giren taze havanın sıcaklık ve hızı, türbine giren havanın sıcaklık ve hızı, baca çıkışındaki havanın sıcaklık ve hızı, dış ortam sıcaklığı gibi temel büyüklüklerin ölçülmesi amaçlandı. Sistem üzerinde ölçüm yapılacak noktalar aşağıda belirtilmiştir.

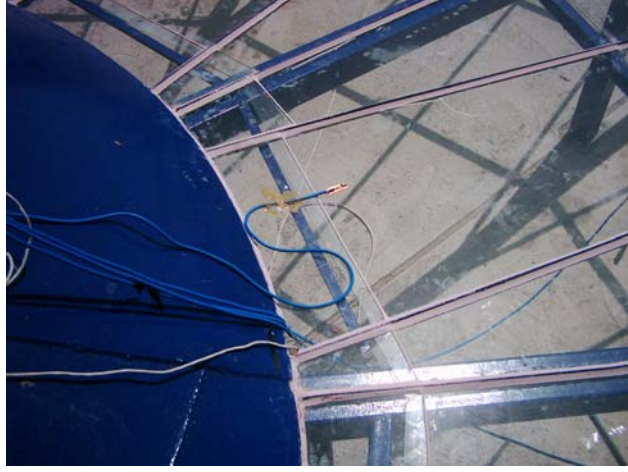
1. Kollektöre giren taze havanın sıcaklık ve hızı, S1 noktası
2. Kollektörden bacaya doğru yatayda 3,5 m mesafedeki havanın zemindeki sıcaklığı S2 noktası,
3. Kollektörün yaklaşık 30 cm altındaki havanın sıcaklığı S3 noktası,
4. Kollektörün hemen altındaki havanın sıcaklığı S4 noktası,
5. Türbin girişindeki havanın sıcaklık ve hızı, S5 noktası,
6. Kollektör cam üst yüzeyindeki sıcaklık, S6 noktası,
7. Kollektör cam yüzeyine gelen güneş ışınımı, S7 noktası,
8. Baca çıkışındaki havanın sıcaklığı, S8 noktası,
9. Dış ortam sıcaklığı, S9 noktası,

Şekil 3.20’de bu noktaların güneş bacası üzerindeki konumları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Güneş bacası üzerindeki ölçüm noktaları

Şekil 3.21’de kollektör yüzeyine yerleştirilen bir sıcaklık ölçüm sensörü, Şekil 3.22’de kollektör alt bölgesine, Şekil 3.23’de ise pervane kısmına yerleştirilen ölçüm sensörleri görülmektedir.



Şekil 3.21. Kollektör üst yüzeyine yerleştirilen sıcaklık sensörü



Şekil 3.22. Kollektör giriş ağzından yatayda 3,5 m içeriye doğru, kollektör altındaki ve zemindeki sıcaklık sensörleri



Şekil 3.23. Pervane kısmına yerleştirilen hız ve sıcaklık sensörleri

3.5. Güneş Bacasındaki Akışın CFD Analizi

3.5.1. CFD Nedir?

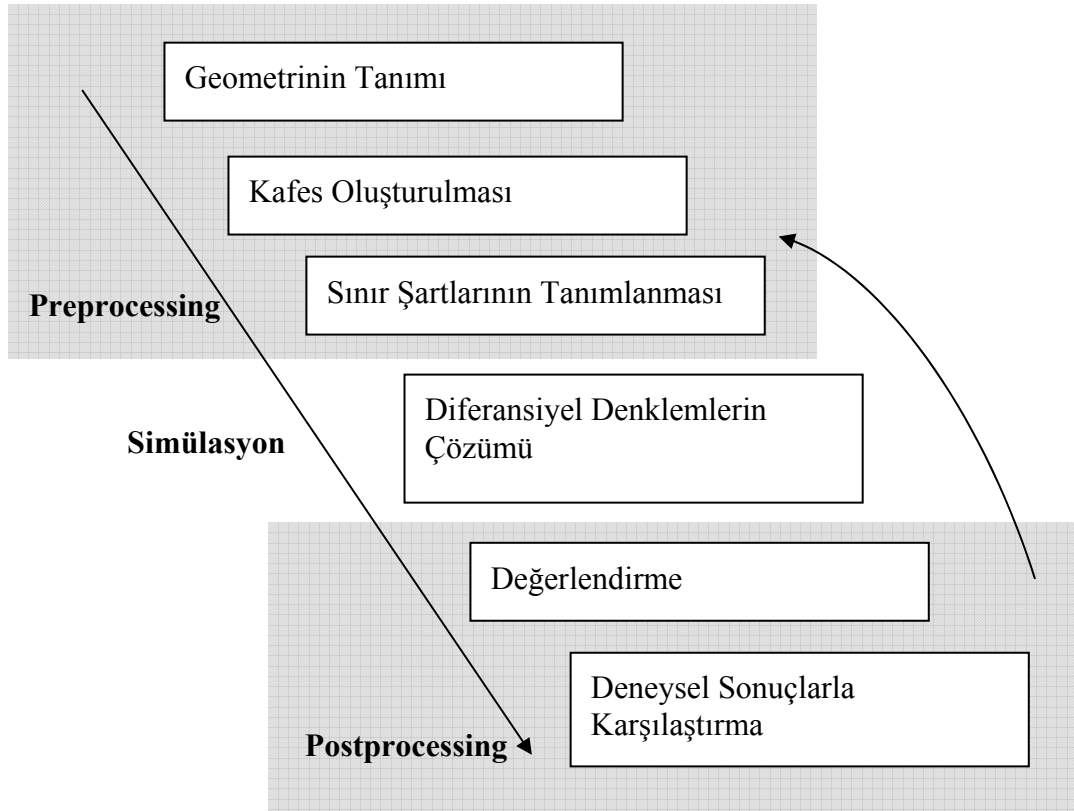
Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişmeleri nedeniyle, mühendislik problemlerinin çözümünde sayısal çözüm yöntemleri artık vazgeçilmez bir çözüm yöntemi olmuştur. Diğer bir neden ise incelenmesi gereken her sistemin deneysel olarak kurulabilmesinin güç olmasıdır. Akışkanlar mekaniği alanında ise CFD (Computational Fluid Dynamics), Türkçe karşılığıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, akış ve ısı transferi problemlerinin bilgisayar ortamında çözülmesini mümkün kılan bir simülasyon yöntemidir. Burada, akışkanlar dinamiği denklemlerinin çözümü, preprocessing ve postprocessing için modern yöntemler kullanılır.

CFD'nin temelini, sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akışkanların, laminar ve türbülanslı bir veya çok fazlı akışı simüle etmek için Navier-Stokes veya Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemlerinin çözümü teşkil eder.

Bu denklemlerin başarılı bir şekilde çözümünden sonra basınç, hız, sıcaklık, türbülans gibi büyüklükler için akım alanlarının ayrıntılı bir tanımlanması gerekir. Bu sayede akım alanının detaylı bir incelenmesi ve değerlendirilmesi ve ayrıca akım gövdesinin akışkanlar dinamiği özelliklerini tespit etmek mümkün olmaktadır. Bu incelemelerin sonuçları da ayrıntılı grafikler ile görselleştirilebilir.

CFD toplam süreci Şekil 3.24’de görüldüğü gibi esas olarak üç ana gruba ayrılabilir:

- Preprocessing (işlem öncesi)
- Simülasyon ve denklem çözümü
- Postprocessing (işlem sonrası)



Şekil 3.24. Bir CFD Simülasyonunun Genel İşlem Basamakları (Janicka, 2004)

Preprocessing denilen işlem öncesi adımında, problemin tanımı ile bağlantılı olan her şey tarif edilir. Buna sistemin fiziksel geometrisi, kafes yapısı ve sınır şartları dahildir. Bu işlemler genellikle kullanılacak olan simülasyon programından farklı bir program ile gerçekleştirilir.

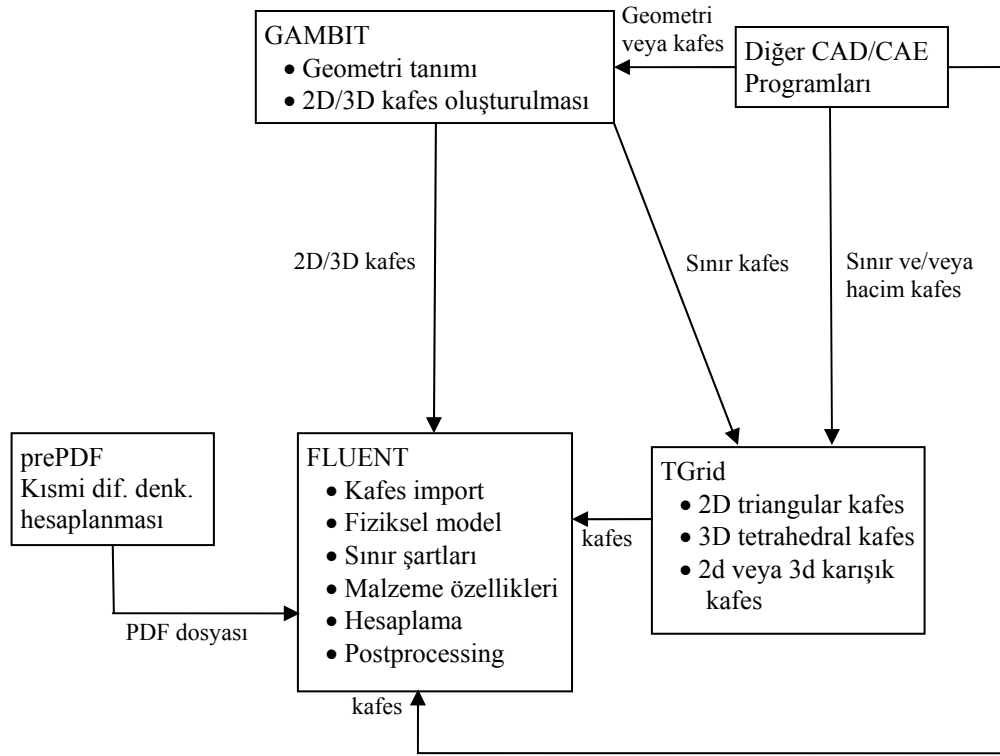
Simülasyonun yapıldığı ve denklemlerin çözüldüğü esas kısımda ise, akışın tanımına bağlı olarak kullanılan kısmi diferansiyel denklemler, sonlu hacim, sonlu eleman veya sonlu farklar yöntemlerinden biriyle çözümler. Belirli fiziksel olayları tanımlamak için ilave modüller de sisteme dahil edilebilir. Örneğin bir türbülans akımının modellenmesi için farklı türbülans modelleri kullanılabilir.

Simülasyonun başarılı olması halinde ise postprocessing denilen, verilerin değerlendirilmesi aşamasına gelinir. Bu aşamada ise, simülasyon sonunda elde edilen sayısız veri, istenilen herhangi bir grafik haline getirilebilir. Ayrıca bu sonuçlar sayısal değer olarak ta alınıp eğer varsa deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir. Bu sayede farklı yöntem sonuçlarının (sayısal, deneysel ve analitik) direkt olarak karşılaştırılması kolaylaşmış ve söz konusu sistemin doğruluğu kanıtlanmış olur.

Ancak bütün bu sonuçlardan ve karşılaştırmalar sonucunda büyük hatalar ve farklılıklar söz konusu ise iteratif bir yaklaşımla ilk adıma dönülerek, öncelikle sistemin fiziksel tanımı, kafes yapısı, sınır şartları ve kullanılan denklemler kontrol edilerek simülasyon tekrar gerçekleştirilip, deneysel sonuçlara ya da istenilen verilere ulaşılmaya çalışılır.

Bu çalışmada söz konusu CFD analizi, FLUENT paket programı ile gerçekleştirilmiştir. FLUENT programı geniş bir aralıktaki sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz, laminar ve türbülanslı akış problemleri için oldukça kapsamlı modelleme imkanı sağlar (Fluent, 2003).

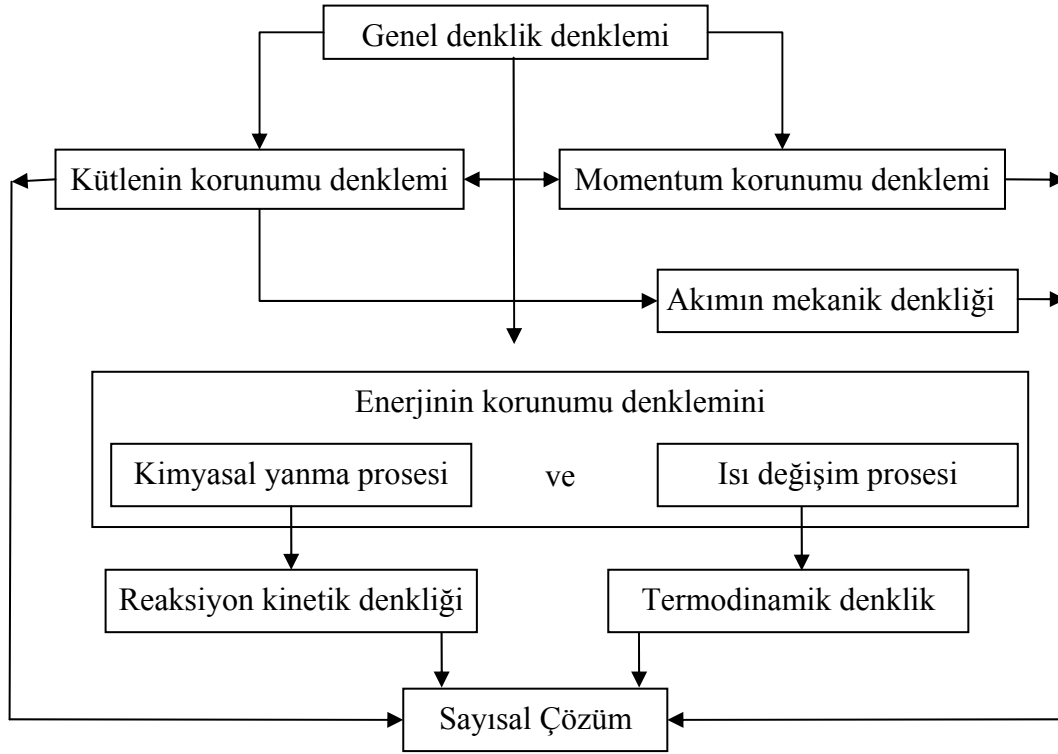
Sistemin fiziksel büyüklüklerinin girilmesi ve kafes yapısının oluşturulması ise Gambit programında gerçekleştirildi. Preprocessing dediğimiz işlem sonrası değerlendirme aşaması ise yine FLUENT programında gerçekleşti. Şekil 3.25’de FLUENT programının hangi alt programlardan oluştuğu ve aralarındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 3.25. FLUENT programının yapısı (Fluent, 2003)

FLUENT programı tüm akışlar için kütle ve momentum korunum denklemlerini çözer. Isı transferi ya da sıkıştırılabilir akışlar için ayrıca enerji denklemini içermektedir. Ayrıca akış türbülanslı olduğu zaman bunlara ilave olarak taşınım denklemleri de çözülebilir.

Şekil 3.26'de ise FLUENT programının hangi denklemleri içerdiği ve çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 3.26. FLUENT programının göre matematik işlem adımları (Brune vd., 1996)

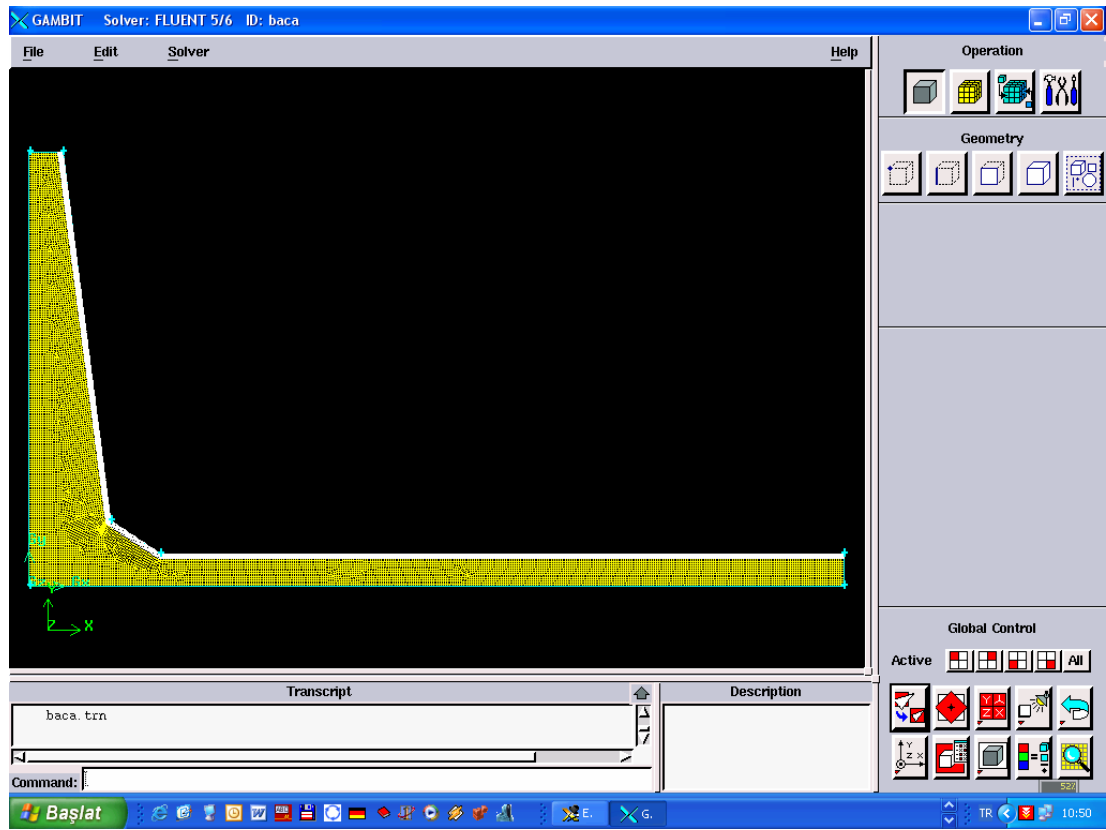
3.5.2. Modelleme

Güneş bacasındaki akış, sıkıştırılabilir, daimi, 2 boyutlu simetrik, Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemi (RANS) denklemlerinin sayısal çözümü ile hesaplanacaktır. Daimi akış olması nedeniyle zamana bağlı terimler ortadan kalkar. Türbülans için ise k-ε türbülans modelinden standart duvar modeli kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili denklemler Bölüm 3.1.3.'de verilmiştir.

3.5.3. Kafes Oluşturulması

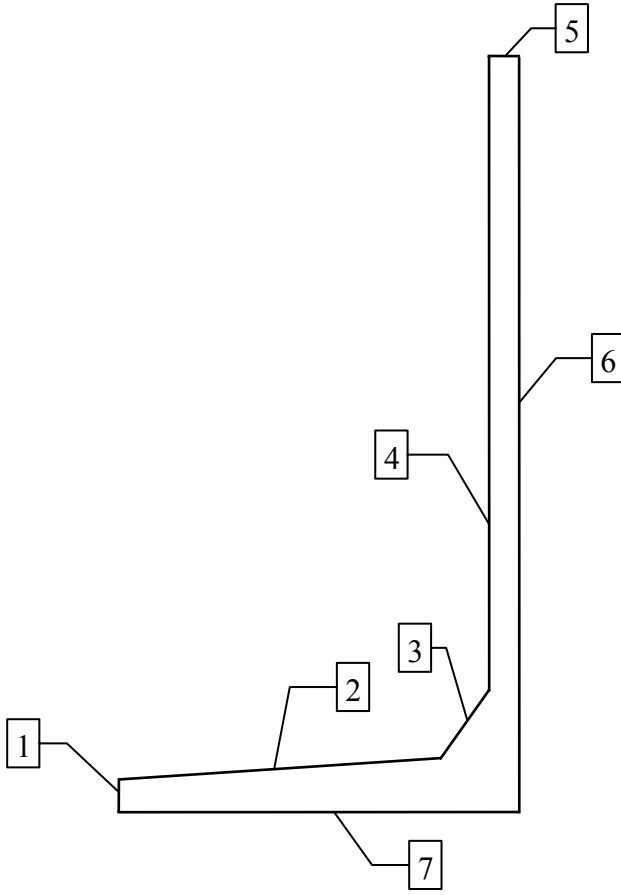
Güneş bacasını FLUENT programında modelleyebilmek için sistemin fiziksel büyüklüklerinin belirtilmesi ve bir kafes oluşturulması gerekir. Bu amaçla FLUENT programının bir alt programı olan GAMBIT programı kullanılmıştır. Bu programda önce fiziksel büyüklükler girilmiş, daha sonra istenilen hassasiyete göre kafes yapısı oluşturulmuş ve sistemin giriş-çıkış parametreleri tanımlanmıştır. Oluşturulan kafes

yapısının hassasiyeti, sistemin hangi hassasiyetle çözümünün istenmesine ve kullanılan bilgisayarın kapasitesine bağlıdır. Çünkü kafes yapısı ne kadar sık ve detaylı olursa çözüm için gerekli olan zaman ve bilgisayar kapasitesi o oranda artar. İnceleyeceğimiz güneş bacasında termodinamiksel özellikler anlık olarak çok fazla değişmediğinden, oluşturduğumuz kafes yapısı normal hassasiyette oluşturulmuş ve 18763 node (düğüm noktasına) ve 18219 hacim elemanına sahip olmaktadır. Eğer daha fazla hassasiyet istenmiş olsaydı bu node sayısı artırılabilir ve daha hassas sonuçlar elde edilebilirdi. GAMBIT programında oluşturulan güneş bacası sisteminin kafes yapısı oluşturulduktan sonraki bir görüntüsü Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. GAMBIT programında oluşturulan güneş bacası kafes yapısı

Sistemin aksenal simetrisi olmasından dolayı GAMBIT’te sadece yarım kesit alanı oluşturuldu. Kafes yapısı FLUENT programında çözüm için incelenirken bu durum belirtilerek sistem komple çözüldü. GAMBIT’te tanımlı parametreler Şekil 3.28’da gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Gambit'te tanımlanan kenar parametreleri

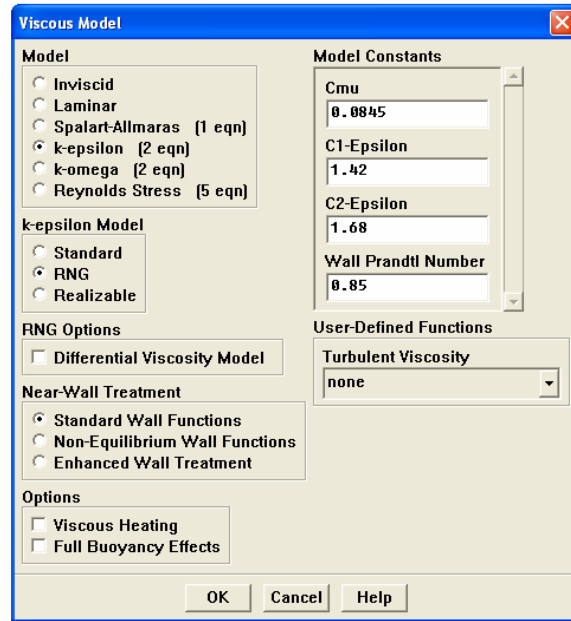
Gambit'te tanımladığımız kenar (edge) parametreleri

1. giriş, VELOCITY_INLET
2. cam, WALL
3. dirsek, WALL
4. baca, WALL
5. çıkış, OUTFLOW
6. eksen, AXIS
7. zemin, WALL

3.5.4. Sayısal Çözüm

Gambit programında hazırlanan model yapısının sayısal çözümü, CFD alanında neredeyse bir standart program haline gelen ve çözüm için sonlu hacim metodunu kullanan FLUENT paket programı (Version 6.2) yardımıyla gerçekleştirildi. Baca içindeki akışın daimi olduğu, havanın yoğunluğunun değişiminin ise Boussinesq yaklaşımıyla değiştirildiği kabul edilmiştir.

Çözüm için ayrıca türbülans modelleme olarak RNG k-ε modeli seçilmiştir. Bu işlemle ilgili seçim ekranı Şekil 3.29'de verilmiştir. Çalışma basıncı olarak ise programda standart olarak verilen 101325 Pa değeri değiştirilmemiştir.



Şekil 3.29. Türbülans modeli seçim ekranı

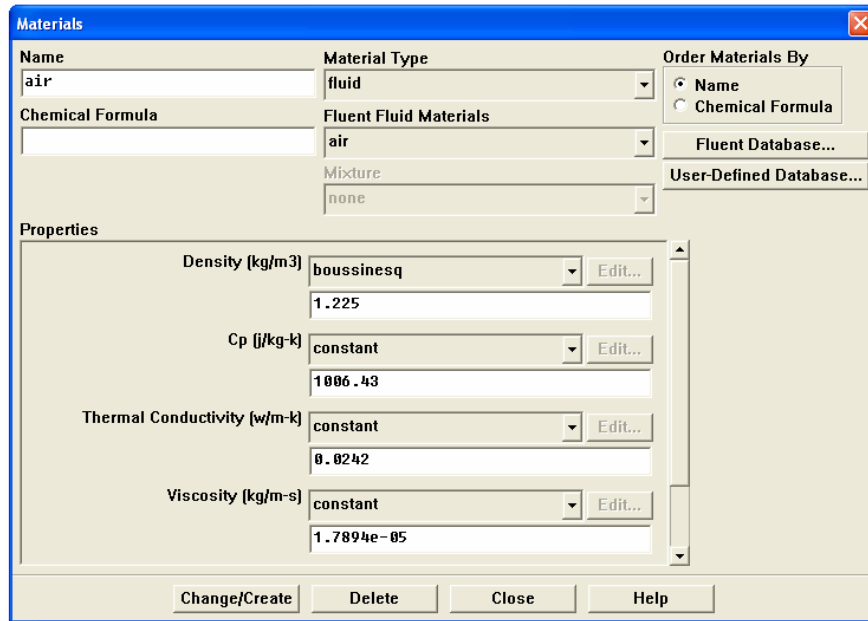
Simülasyon işlemine başlayabilmek için sistemdeki her bileşen için başlangıç şartlarının verilmesi gerekir. Bu başlangıç değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Burada deneysel verilerdeki herhangi bir anlık ölçüm değerlerini programa başlangıç şartı olarak girmek; hem deneysel sonuçlarla FLUENT programının sonuçlarını karşılaştırmak hem de gerçeğe yakın bir simülasyonun gerçekleşmesi için daha

uygun olacaktır. Bu nedenle 11 Ağustos 2004 gününe ait maksimum güneş ışımalarının ölçüldüğü saat olan 13:00 anındaki değerler baz alınmıştır.

Çizelge 3.3. Programın başlangıç şartları

| | |
|--------|---|
| giriş | $v = 1 \text{ m/s}$, $T_0=300 \text{ K}$ |
| cam | $h = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_0=300 \text{ K}$ |
| baca | $T_0=300 \text{ K}$ |
| dirsek | $T_0=300 \text{ K}$ |
| zemin | $q=900 \text{ W/m}^2\text{K}$ |

Sistemde dolaşan havanın yoğunluk, özgül ısı kapasitesi, ısıl iletkenlik ve viskozite özellikleri için başlangıç şartları olarak ise Şekil 3.30'da verilen standart değerler alınmıştır.



Şekil 3.30. Fluent programında kullanılan havanın özellikleri

Bu kabuller neticesinde elde edilen diferansiyel denklemler, program içinde sıralı şekilde arka arkaya çözülmüştür. Programın bir özelliği de Navier-Stokes denklemlerini bir basınç düzeltme yöntemi kullanılması gerekmektedir. Basınç düzeltme faktörü olarak SIMPLE (Semi Implicit Method of Pressure Linked

Equations) yöntemi seçildi. Diğer basınç düzeltme faktörleri olarak ise ayrıca SIMPLEC, SIMPLER ve PISO metotları mevcuttur. Daha sonra ise diğer denklemler (türbülans ve enerji denklemleri) çözülmüştür.

Gambit programında oluşturulan kafes sayısına bağlı olarak, programı çalıştırılırken seçilecek iterasyon sayısı da değişim göstermektedir. Sonuçların yaklaşık 2000 iterasyon adımı sonunda sınır şartlarına ulaştığı görülmüştür.

3.6. Büyük Güneş Bacası Sistemleri

Manzanares'deki deneysel çalışmadan elde edilen veriler ve güneş bacalarının termodinamik davranışının simülasyon hesapları neticesinde 200 MW'tan daha büyük sistemlerin bile tasarımı mümkün olmaktadır. Detaylı incelemeler ve Manzanares'deki deneysel sistemden elde edilen kollektör, baca ve türbin verilerinin, büyük sistemler için de geçerli olduğu görülmüştür. Kollektör yüzey alanının ve dolayısıyla hacmin çok artmasına karşılık, termodinamik büyüklükler aynı oranda artmaz. Örneğin Manzanares'te kollektördeki sıcaklık artışı maksimum 19 K ve hava hızı 8 m/s olmasına rağmen, 100 MW'lık bir sistemde ise sıcaklık artışı ortalama 11 K maksimum ise 19 K ve hava hızı ise ortalama 9 m/s , maksimum ise 16 m/s olmaktadır (Schlaich vd., 2004). Çizelge 3.4'de 50 kW güce sahip Manzanares projesi ve diğer büyük sistemlerdeki bazı önemli parametrelerin karşılaştırılması verilmiştir. Bu tablodan da görülmektedir ki, kollektördeki sıcaklık artışı gibi temel termodinamik büyüklükler ve baca içindeki hava hızı gibi önemli akım parametreleri hemen hemen her büyüklükteki güneş bacası sistemleri için yaklaşık değerlere sahiptir (Schlaich vd., 2004).

Bir güneş bacası sisteminin gücünü, üç önemli faktör belirlemektedir. Bunlar; güneş ışınımı, baca yüksekliği ve kollektör yüzey alanıdır. Bu parametreler arasında orantısal bir ilişki vardır. Yüksek bir baca ve küçük bir kollektörden aynı güneş ışınımı ile elde edilecek güç ile küçük bir baca ve daha büyük bir kollektörden elde edilecek güç aynı olmaktadır. Kısaca yükseklik ve kollektör alanı sabit ise elde edilecek güçte fazla bir değişim olmayacaktır.

Bir güneş bacası sistemini dizayn ederken, onun boyutları ve maliyetini belirlerken, kurulacak yerin yanı sıra kullanılacak malzemenin maliyeti de önemlidir. Zira eğer beton ucuz buna karşılık cam pahalı ise burada yüksek baca boyuna, nispeten daha küçük bir kollektör düşünmek daha akılcı olacaktır. Bunun tersi de geçerlidir. Manzanares örneğinde, kollektör yüzey eleman olarak naylon folyo yerine cam kullanılmasının hem güneş ışığının geçirgenliği hem de dayanıklılık açısından daha uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca baca malzemesi olarak sağlamlık açısından çelik konstrüksiyon yerine beton kullanmak gerekir. Türbin olarak ise basınç farkı esasına göre çalışan kaplan türbinlerinin kullanılması elde edilecek güç çıkışını önemli ölçüde artıracaktır (Schlaich vd., 2004).

Çizelge 3.4. Bazı büyük güneş bacası sistemlerinin önemli parametreleri(Schlaich vd., 2004)

| Sistem Büyüklüğü | Birim | Sistem gücü | | | |
|--|----------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
| | | 50 kW (Manzanares Projesi) | 30 MW | 100 MW | 200 MW |
| Baca yüksekliği | m | 200 | 750 | 1000 | 1000 |
| Kollektördeki ort. ve max. sıcaklık artışı | ⁰ C | 8 / 19 | 12 / 32 | 13 / 33 | 17 / 43 |
| Baca içindeki ort.ve max.hava hızı | m/s | 4 / 8 | 8 / 14 | 9 / 16 | 11 / 19 |

Büyük güneş bacası sistemlerini kurarken amaç, optimum maliyete sahip olması, uzun yıllar çalışabilmesi, ucuz elektrik enerjisi üretebilmesi olmalıdır. Bu amaçları gerçekleştirmek için bazı kriterlerin yerine getirilmesi gerekir.

1. Global yer seçimi: Öncelikle meteorolojik ve coğrafi durumun uygun olduğu, yıllık en azından 1900 kWh/m²/a lık bir güneş ışınımına sahip, deprem rizikosu taşımayan büyük alanlar belirlenir (Schlaich vd., 2004).

2. Lokal yer seçimi: Bu aşamada ise belirli bir ülke ya da bölge için teknik ve ekonomik açıdan en uygun yer seçilmelidir. Bunun için farklı bölgeler için meteorolojik bilgiler (rüzgar, sıcaklık gibi) ile ilgili ve ayrıca alt yapı konusunda da (elektrik şebekesi, metro, su hattı vs.) detaylı incelemeler yapılmalıdır.

3. Model seçimi: Yer konusu incelendikten sonra, kurulacak güneş bacası için en uygun modelin tespit edilmesi gerekir. Burada sistemin, zeminde ısı depolama mevcut mu, ne kadarlık bir güç çıkışı gerektiği, ayrıca üretilen elektrik enerjisinin yerel elektrik şebekesine mi yoksa direkt olarak kullanıma mı verileceği belirlenmelidir. İstenen güç miktarına göre kollektör çapı, baca çapı ve boyu gibi sistemin temel fiziksel büyüklükleri belirlenmelidir.

4. Ekonomiklik analizi ve optimizasyon: Kollektöre gelen güneş ışınımını değiştirmek mümkün olmadığı için, güneş bacasında fiziksel parametrelerin bir optimizasyonu söz konusu olmamaktadır. 3. maddede belirlenen temel fiziksel büyüklükleri belirlerken kullanılacak malzemelerin fiyatları da göz ardı edilmemelidir. Örneğin güneş bacası kurulacak yörede çimento ve dolayısıyla beton ucuz ise nispeten yüksek baca ve boyu buna karşın ise daha küçük bir kollektör seçilebilir. Ayrıca kollektör örtü malzemesi olarak yine cam yada naylon folyodan hangisi daha ekonomik olacak ise o malzeme seçilmelidir.

3.7. Geliştirilen Bilgisayar Programı

Güneş bacası ile ilgili bazı temel büyüklükleri kolay bir biçimde hesap etmek, kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımını, sistemde oluşan ısı kayıplarını belirleyebilmek ve uygun güneş bacası modelini tespit edebilmek için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program, Windows altında Delphi 5.0 programlama dilinde yazılmıştır. Program esas itibariyle dört modülden oluşmaktadır. Bunlar;

- Güç hesap modülü,
- Güneş ışınım hesap modülü,
- Isı kaybı hesap modülü,
- Fiziksel büyüklük hesap modülüdür

Program çalıştırıldığı zaman Şekil 3.31'deki gibi bir menü gelmektedir. Bu menüden istenen modül seçilerek işleme başlanır.



Şekil 3.31. Güneş bacası hesap programı açılış ekran görüntüsü

Güç hesap modülü: Öncelikle güneş bacası sisteminin verilen temel büyüklüklerine göre bazı temel parametrelerin ve gücün hesaplandığı modüldür.

Bu modülde kullanılan parametreler şunlardır:

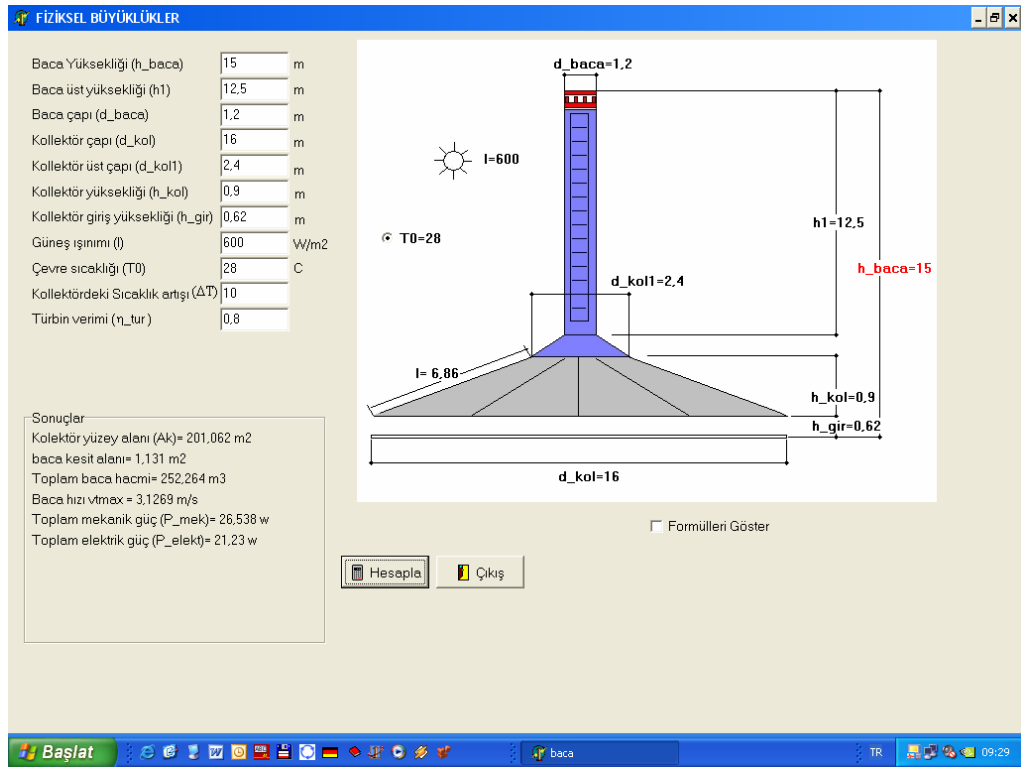
Giriş parametreleri:

- Baca yüksekliği
- Baca üst yüksekliği
- Baca çapı
- Kollektör çapı
- Kollektör üst çapı
- Kollektör yüksekliği
- Kollektör giriş yüksekliği
- Güneş ışınımı
- Çevre sıcaklığı
- Kollektördeki sıcaklık artışı
- Türbin verimi
- Debi

Hesaplanan parametreler:

- Kollektör yüzey alanı
- Baca kesit alanı
- Kollektör uzunluğu
- Toplam baca hacmi
- Baca hızı v_{tmax}
- Toplam mekanik güç
- Toplam elektrik güç

Bu modüle ait bir ekran görüntüsü Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32. Güç hesap modülü ekran görüntüsü

Güneş ışınım hesap modülü: Bu modülde ise seçilen herhangi bir gün içindeki her saat için güneş ışınım hesapları yapılır. Hesaplamalarda kullanılan formüller (Kılıç, 1983)’dan alınmıştır.

Bu modüldeki hesaplamalar için gerekli olan aylık ortalama ışıınım değerleri Isparta bölgesi için tablo halinde programa girilmiştir. Bu değerler (Kılıç, 1983) kaynağından alınmıştır. Hesaplamalar eğer Isparta haricinde farklı bir bölge için yapılmak istenirse, seçilen ay için aylık ortalama ışıınım değerleri programın çalışması esnasında girilebilir. Hesaplanacak tarih seçildikten sonra, gün sayısı program tarafından hesaplanır.

Giriş parametreleri:

- Enlem
- Boylam
- Tarih
- Kollektör eğim açısı
- Çevre yansımaya oranı
- Yoğunlaştırılabilir su buharı miktarı
- Yatay düzleme gelen aylık ortalama direkt güneş ışıınımı
- Yatay düzleme gelen günlük yayılı güneş ışıınımı
- Yatay düzleme gelen aylık ortalama toplam güneş ışıınımı
- Atmosfer dışına bir gün boyunca gelen güneş ışıınımı
- İzafi güneşlenme süresi

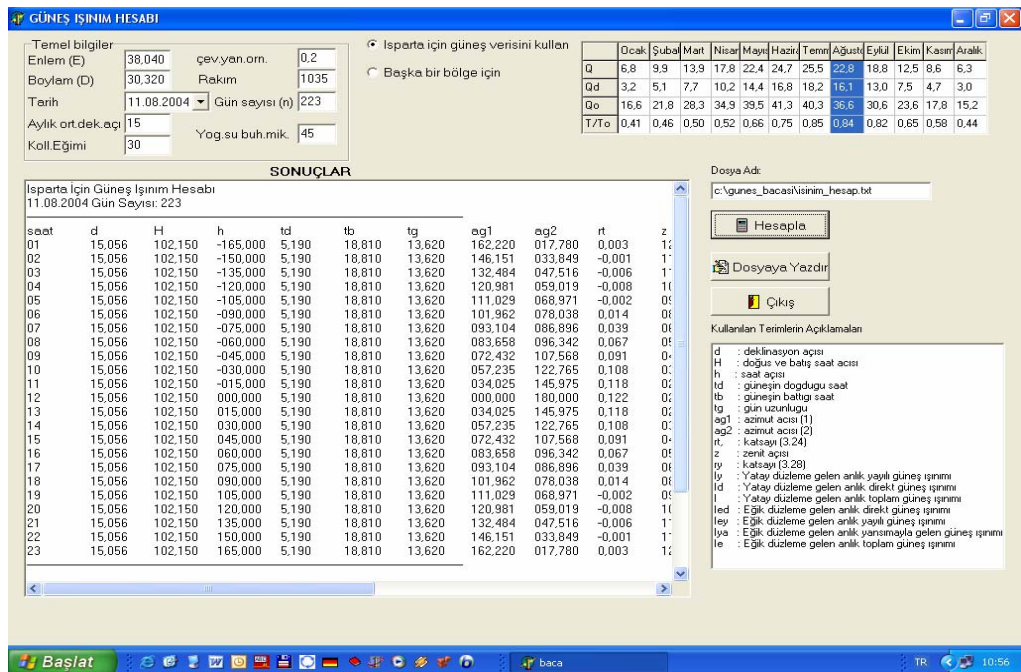
Hesaplanan parametreler:

- Deklinasyon açısı
- Doğu ve batı saat açısı
- Saat açısı
- Güneşin doğduğu saat
- Güneşin battığı saat
- Gün uzunluğu
- Azimut açısı
- Zenit açısı
- Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışıınımı
- Yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışıınımı
- Yatay düzleme gelen anlık toplam güneş ışıınımı

- Eğik düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı
- Eğik düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı
- Eğik düzleme gelen anlık yansımaya gelen güneş ışınımı
- Eğik düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı

Ayrıca programdan elde edilen sonuçlar hem ekranda görünmekte hem de istenirse bir text dosyasına kaydedilmektedir. Daha sonra bu veriler, uygun bir program ile çeşitli grafikler elde etmek için kullanılabilir.

Program ile seçilmiş bazı günler için ışınım hesapları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar resmi meteorolojik verilerle karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu da, programda kullanılan formüllerin doğruluğunu onaylamaktadır.



Şekil 3.33. Güneş ışınım hesap modülü ekran görüntüsü

Isı kaybı hesap modülü: Bu modülde zemin ve kolektör arasındaki bölgede oluşan ısı kayıpları tespit edilmiştir. Bu modülde kullanılan sabit katsayıların değerleri (Incropera ve Dewitt, 2003) ve (Duffie ve Beckmann, 1991) kaynaklarından alınmıştır.

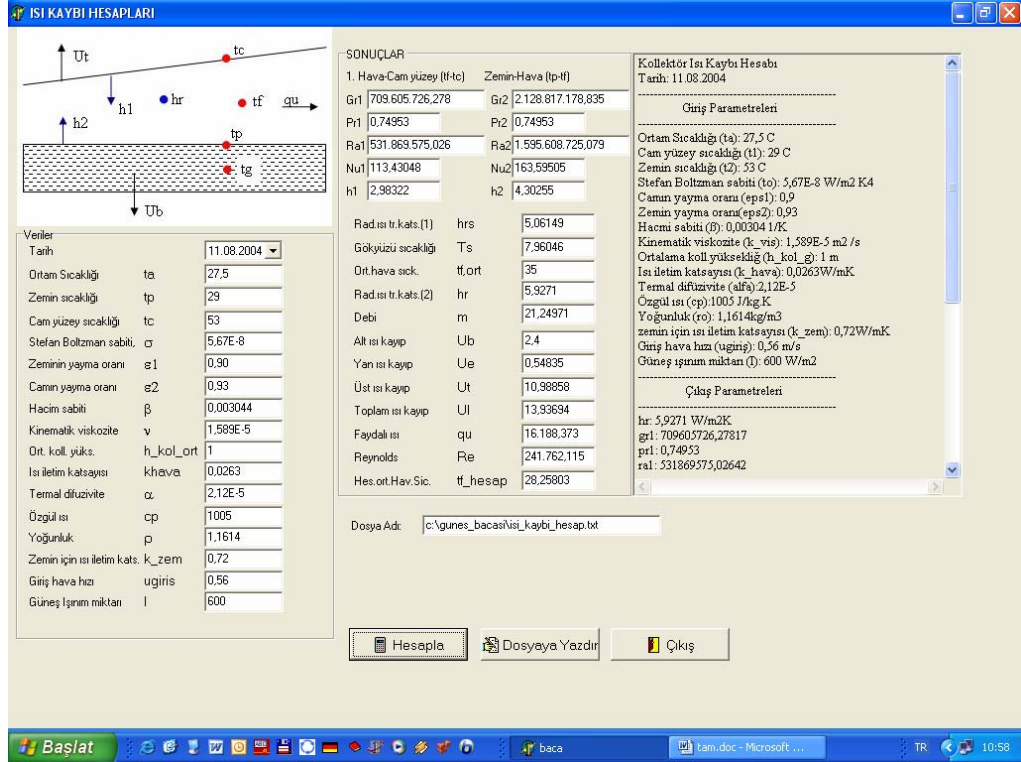
Giriş parametreleri:

- Dış ortam sıcaklığı
- Kollektör üst yüzey sıcaklığı
- Stephan-Boltzman sabiti
- Camın yayma katsayısı
- Zeminin yayma katsayısı
- Hacim sabiti
- Kinematik viskozite
- Ortalama kollektör yüksekliği
- Termal difüzivite
- Özgül ısı katsayısı
- Yoğunluk
- Zemin için ısı iletim katsayısı
- Giriş hava hızı
- Toplam güneş ışınımı

Hesaplanan parametreler:

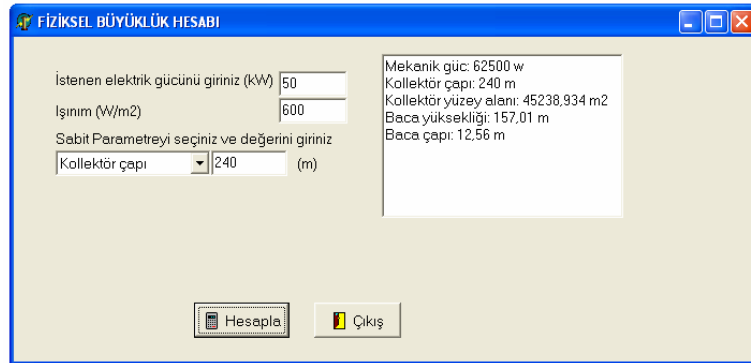
Hava ve kollektör cam yüzeyi arasında;

- Grashof sayısı
- Prandtl sayısı
- Rayleigh sayısı
- Nusselt sayısı
- Rüzgarla ısı transfer katsayısı
- Radyasyon ısı transfer katsayısı
- Gökyüzü sıcaklığı
- Debi
- Zemin ısı transfer katsayısı
- Kollektörden olan ısı transfer katsayısı
- Toplam ısı transfer katsayısı
- Yararlı ısı
- Reynolds sayısı
- Kollektör verim faktörü



Şekil 3.34. Isı kaybı hesap modülü ekran görüntüsü

Fiziksel büyüklük hesap modülü: Öncelikle güneş bacası sisteminin temel büyüklüklerine göre bazı temel parametrelerin hesaplanması öngörülmüştür. Bu parametreler, kollektör çapı, baca yüksekliği ve baca çapıdır.



Şekil 3.35. Fiziksel büyüklük hesap modülü ekran görüntüsü

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

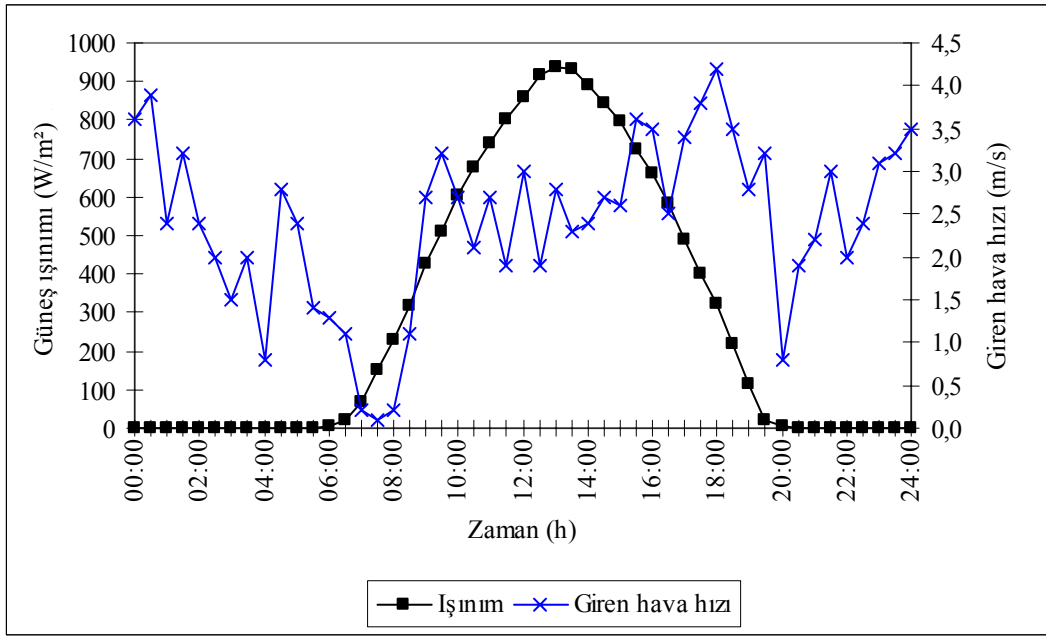
Elde edilen sonuçlar; deneysel, simülasyon ve bilgisayar programı sonuçları olmak üzere üç kısımda değerlendirilmiştir.

4.1. Güneş Bacası Deneysel Sonuçları

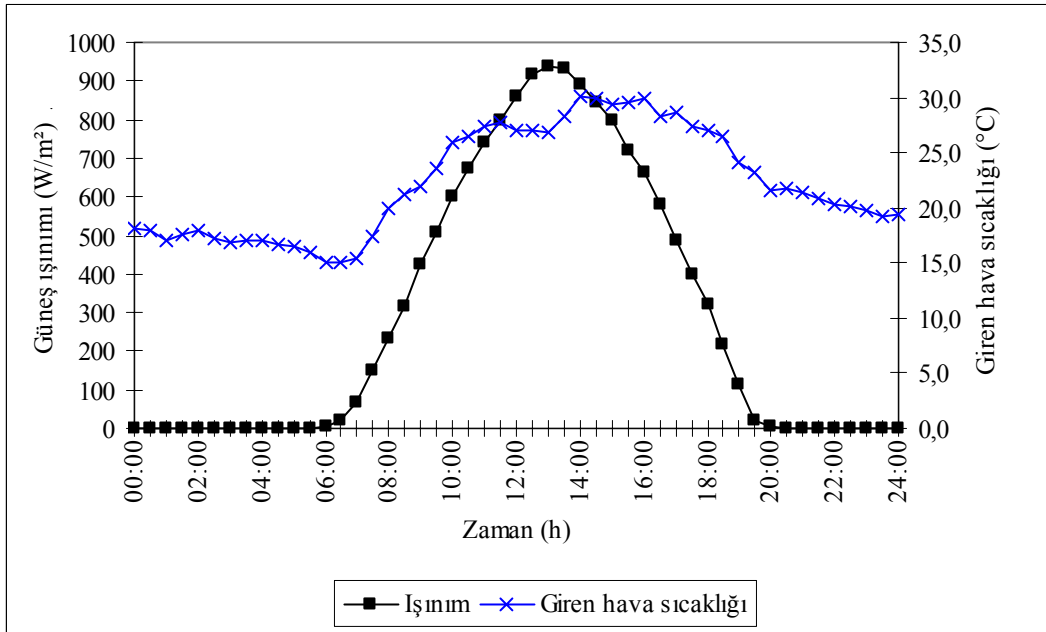
Deneysel, 11 ve 14 Ağustos 2004 tarihlerinde tam gün olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde Bölüm 3.4.3’de belirtilen noktalarda gerekli ölçümler yapılmıştır. Güneş bacası için giren enerji kaynağı olarak sadece kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı söz konusudur. Bu nedenle elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi ise, ölçülen büyüklüklerin genellikle güneş ışınımıyla karşılaştırılması ve aralarındaki ilişkiyi incelemek şeklinde olmuştur.

Ölçüm yapılan her iki gün için elde edilen veriler birbirine paralellik gösterdiği için sadece 11 Ağustos 2004 tarihine ait verilerden elde edilen grafikler verilmiştir.

Öncelikle bacaya giren hava sıcaklığının ve hızının, kollektöre gelen güneş ışınımıyla olan ilişkisi incelenmiştir. Buna ilişkin grafikler, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Bu iki grafikten de görülmektedir ki, kollektöre giren hava hızının, kollektöre gelen güneş ışınımıyla direkt olarak bir ilişkisinin olmadığı, ancak buna karşın kollektöre giren hava sıcaklığının, kollektöre gelen güneş ışınımıyla aynı oranda değişmektedir.

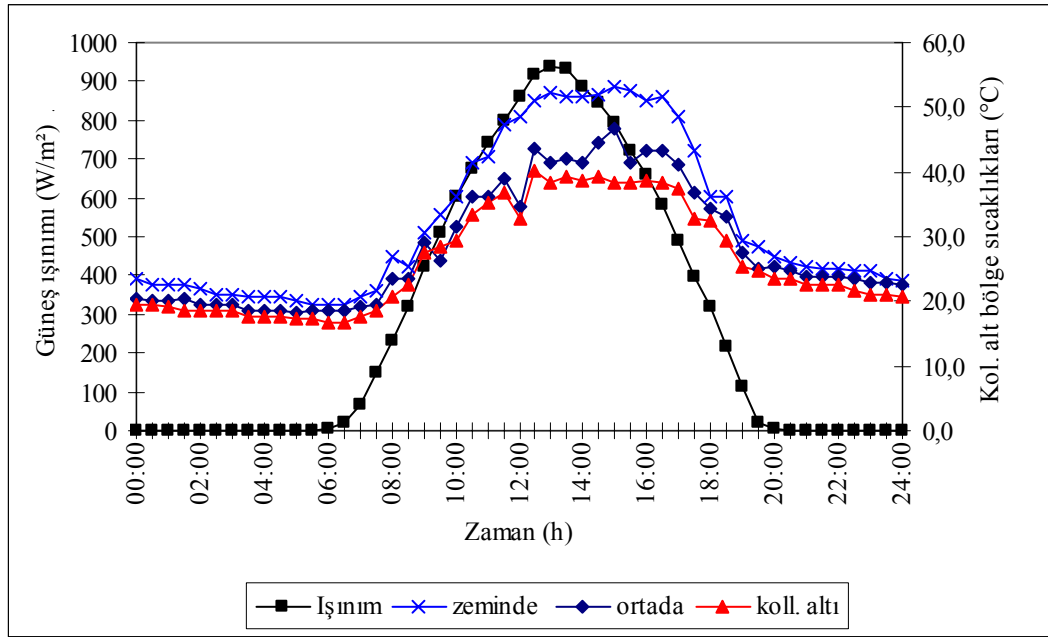


Şekil 4.1. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile giren hava hızı arasındaki ilişki



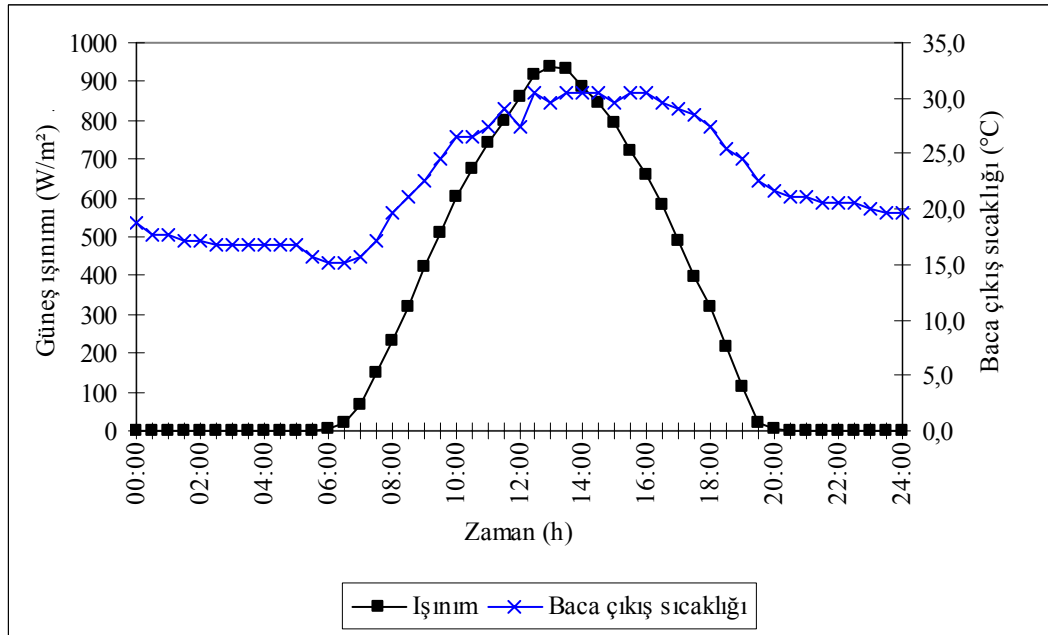
Şekil 4.2. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile giren hava sıcaklığı arasındaki ilişki

Şekil 4.3'ten anlaşılacağı üzere kollektör altındaki bölgede, girişten 3,5 m mesafede sıcaklığın, kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımıyla direkt olarak bir ilişkisi vardır.

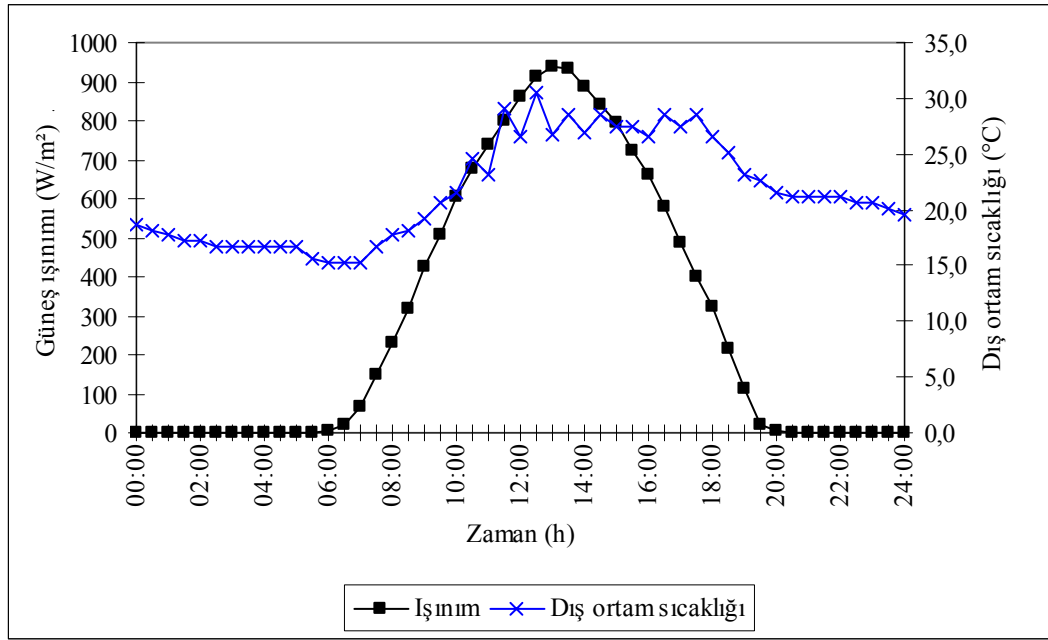


Şekil 4.3. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile kollektör alt bölgesindeki havanın sıcaklıkları arasındaki ilişki

Baca çıkış sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı ise yine güneş ışınımıyla doğru orantılı olarak değişir (Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.).

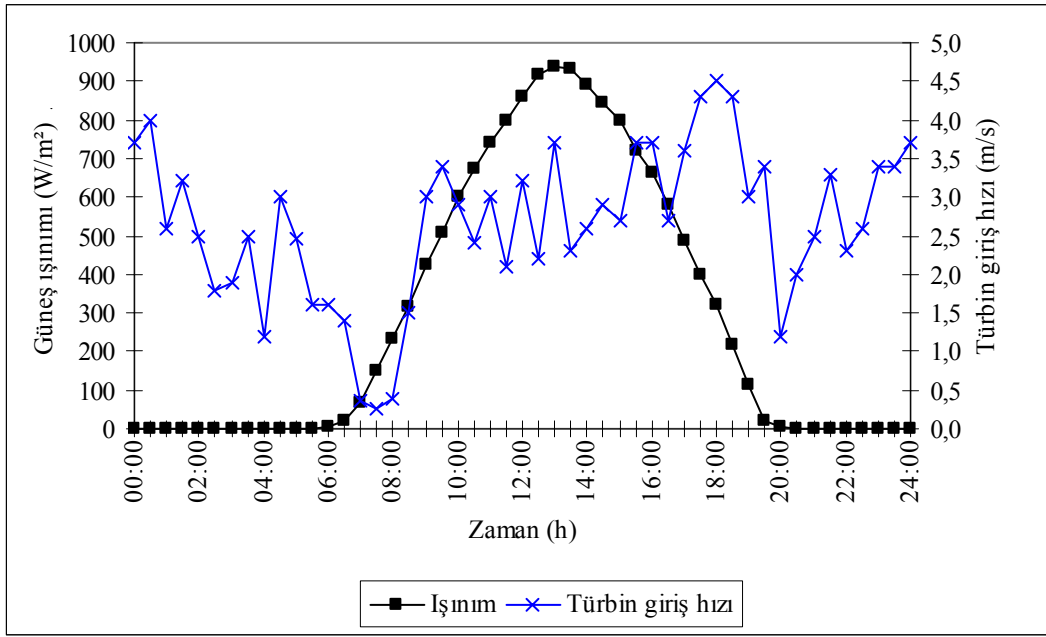


Şekil 4.4. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile baca çıkış sıcaklığı arasındaki ilişki

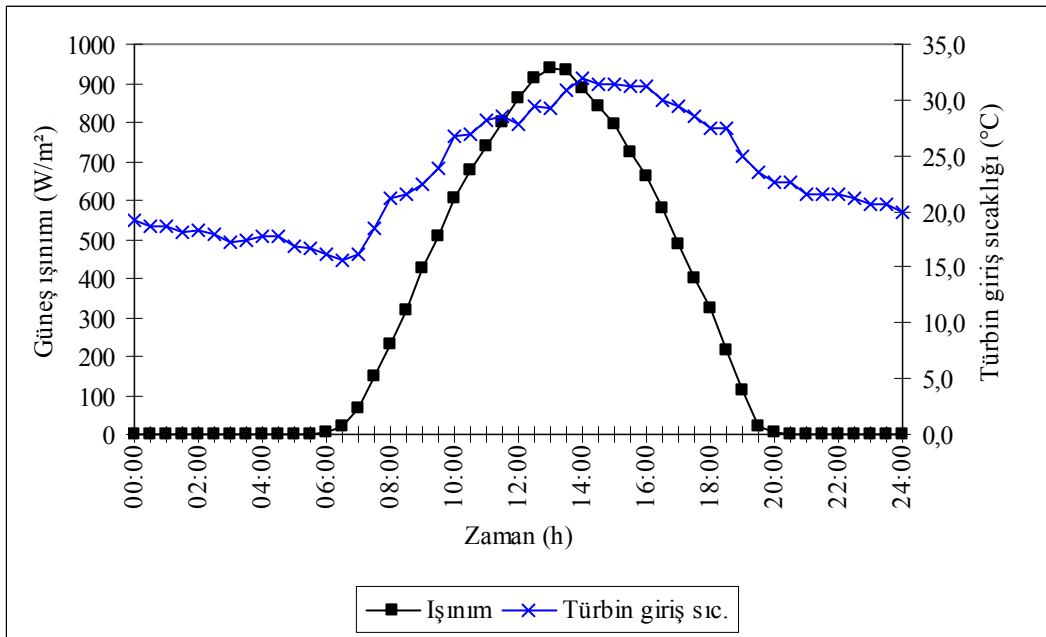


Şekil 4.5. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki ilişki

Bacadan elde edilecek güç için en belirleyici faktör türbin giriş hızı olmaktadır. Bu nedenle türbin giriş hızı ve sıcaklığın kollektöre gelen güneş ışınımıyla olan ilişkisi Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekil 4.6'da türbin giriş hızının ani olarak değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni ise; deneysel ölçüm yapılan prototipin küçük ebatlarda olması, türbin bölgesi ve kollektör alt bölgesinin tamamen açık olması, dikey olarak herhangi bir hava perdesinin olmaması nedeniyle dış hava akımlarına maruz kalmasıdır. Dış ortamdaki herhangi bir rüzgar olması durumunda, bu rüzgar hem kollektöre giren havanın etkilenmesine hem kollektör altındaki havanın dolaştığı bölgede küçük çapta da olsa girdapların oluşmasına, kollektöre bir taraftan giren havanın türbin bölgesine ulaşmadan, kollektörün açık olan diğer taraftan çıkmasına neden olmaktadır.

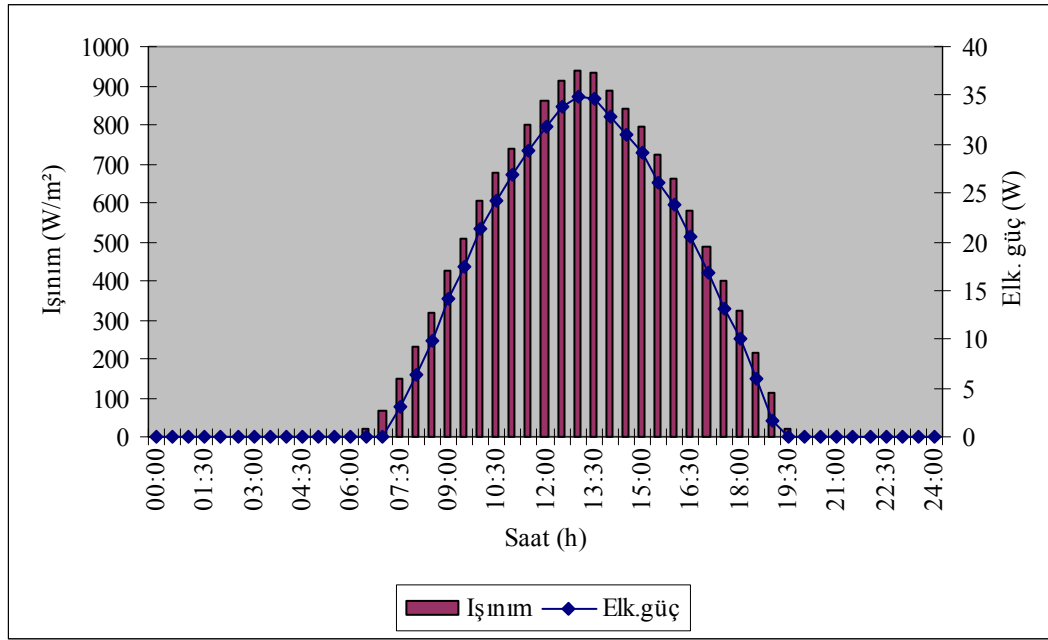


Şekil 4.6. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki



Şekil 4.7. Kollektöre gelen güneş ışınımı ile türbin giriş sıcaklığı arasındaki ilişki

Şekil 4.8'de kollektöre gelen güneş ışınımı ile sistemden elde edilebilecek elektrik gücü arasındaki ilişki gösterilmiştir. Ayrıca 11 Ağustos 2004 tarihine ait ölçüm sonuçları Çizelge 4.1'de bir tablo halinde verilmiştir.



Şekil 4.8. Kollectöre gelen güneş ışınımı ile türbinden elde edilen elektrik gücü arasındaki ilişki

Çizelge 4.1. 11 Ağustos 2004 gününe ait deneysel ölçüm değerleri

| Saat | S1 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|-------|-----------------|----------------------|---------------|--------|------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------|-----------------|----------------|
| | Giren hava hızı | Giren hava sıcaklığı | 3,5 m ileride | | | Türbin giriş sic. | Türbin giriş hızı | Cam üst yüzey sic. | Işınım | Baca çıkış sic. | Dış ortam sic. |
| | | | zeminde | ortada | Koll. altı | | | | | | |
| 00:00 | 3,6 | 18,2 | 23,6 | 20,3 | 19,6 | 19,2 | 3,7 | 18,7 | 0 | 18,7 | 18,7 |
| 00:30 | 3,9 | 18 | 22,6 | 20,2 | 19,6 | 18,7 | 4 | 18,7 | 0 | 17,7 | 18,2 |
| 01:00 | 2,4 | 17 | 22,6 | 20,1 | 19,2 | 18,7 | 2,6 | 18,7 | 0 | 17,7 | 17,7 |
| 01:30 | 3,2 | 17,6 | 22,6 | 20,3 | 18,7 | 18,2 | 3,2 | 17,7 | 0 | 17,2 | 17,2 |
| 02:00 | 2,4 | 18 | 22,1 | 19,4 | 18,7 | 17,7 | 2,5 | 17,2 | 0 | 17,2 | 17,2 |
| 02:30 | 2,0 | 17,2 | 21,1 | 19,4 | 18,7 | 17,2 | 1,8 | 17,7 | 0 | 16,7 | 16,7 |
| 03:00 | 1,5 | 16,8 | 21,1 | 19,6 | 18,7 | 17,2 | 1,9 | 17,7 | 0 | 16,7 | 16,7 |
| 03:30 | 2,0 | 17 | 20,6 | 18,6 | 17,7 | 17,2 | 2,5 | 16,7 | 0 | 16,7 | 16,7 |
| 04:00 | 0,8 | 17 | 20,6 | 18,6 | 17,7 | 16,7 | 1,2 | 16,7 | 0 | 16,7 | 16,7 |
| 04:30 | 2,8 | 16,7 | 20,6 | 18,5 | 17,7 | 16,7 | 3 | 16,7 | 0 | 16,7 | 16,7 |
| 05:00 | 2,4 | 16,5 | 20,1 | 18,4 | 17,2 | 16,7 | 2,45 | 17,2 | 0 | 16,7 | 16,7 |
| 05:30 | 1,4 | 16 | 19,6 | 18,6 | 17,2 | 16,7 | 1,6 | 15,7 | 0 | 15,7 | 15,7 |
| 06:00 | 1,3 | 15 | 19,6 | 18,6 | 16,7 | 16,2 | 1,6 | 16,7 | 3 | 15,2 | 15,2 |
| 06:30 | 1,1 | 15,1 | 19,6 | 18,6 | 16,7 | 15,7 | 1,4 | 15,7 | 21 | 15,2 | 15,2 |
| 07:00 | 0,2 | 15,4 | 20,6 | 19,2 | 17,7 | 16,2 | 0,35 | 16,7 | 66 | 15,7 | 15,2 |
| 07:30 | 0,1 | 17,5 | 21,6 | 19,6 | 18,7 | 17,2 | 0,25 | 17,7 | 149 | 17,2 | 16,7 |
| 08:00 | 0,2 | 20 | 27 | 23,4 | 20,6 | 19,2 | 0,4 | 19,6 | 231 | 19,6 | 17,7 |
| 08:30 | 1,1 | 21,2 | 25,5 | 23,4 | 22,6 | 20,6 | 1,5 | 19,6 | 318 | 21,1 | 18,2 |
| 09:00 | 2,7 | 22 | 30,5 | 29 | 27,5 | 21,6 | 3 | 21,1 | 425 | 22,6 | 19,2 |
| 09:30 | 3,2 | 23,6 | 33,4 | 26,4 | 28,5 | 23,1 | 3,4 | 22,1 | 508 | 24,6 | 20,6 |

Çizelge 4.1. (devam)

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|
| 10:00 | 2,7 | 26 | 36,3 | 31,5 | 29,5 | 25,1 | 2,9 | 24,6 | 603 | 26,5 | 21,6 |
| 10:30 | 2,1 | 26,4 | 41,3 | 36,1 | 33,4 | 25,5 | 2,4 | 24,6 | 676 | 26,5 | 24,6 |
| 11:00 | 2,7 | 27,3 | 39,3 | 36,3 | 35,4 | 26,5 | 3 | 25,1 | 741 | 27,5 | 23,1 |
| 11:30 | 1,9 | 27,7 | 47,2 | 38,9 | 36,8 | 28,5 | 2,1 | 26,5 | 800 | 29 | 29 |
| 12:00 | 3,0 | 27 | 38,3 | 34,7 | 32,9 | 27,5 | 3,2 | 26,0 | 861 | 27,5 | 26,5 |
| 12:30 | 1,9 | 27 | 51,1 | 43,6 | 40,3 | 29,5 | 2,2 | 28,5 | 915 | 30,5 | 30,5 |
| 13:00 | 2,8 | 26,9 | 52,2 | 41,5 | 38,4 | 29,3 | 2,4 | 3,7 | 938 | 29,5 | 26,7 |
| 13:30 | 2,3 | 28,2 | 51,1 | 42,1 | 39,3 | 30,5 | 2,3 | 29,0 | 933 | 30,5 | 28,5 |
| 14:00 | 2,4 | 30,1 | 44,2 | 41,4 | 38,8 | 30,5 | 2,6 | 29,0 | 889 | 30,5 | 27 |
| 14:30 | 2,7 | 30 | 52,1 | 44,6 | 39,3 | 30,5 | 2,9 | 29,5 | 843 | 30,5 | 28,5 |
| 15:00 | 2,6 | 29,4 | 53,1 | 46,7 | 38,3 | 30,5 | 2,7 | 29,0 | 796 | 29,5 | 27,5 |
| 15:30 | 3,6 | 29,6 | 48,6 | 41,5 | 38,3 | 30,5 | 3,7 | 29,0 | 722 | 30,5 | 27,5 |
| 16:00 | 3,5 | 30 | 51,1 | 43,2 | 38,8 | 30,5 | 3,7 | 29,0 | 662 | 30,5 | 26,5 |
| 16:30 | 2,5 | 28,2 | 51,6 | 43,2 | 38,3 | 30 | 2,7 | 28,5 | 581 | 29,5 | 28,5 |
| 17:00 | 3,4 | 28,6 | 48,6 | 41,2 | 37,3 | 29,5 | 3,6 | 28,5 | 488 | 29 | 27,5 |
| 17:30 | 3,8 | 27,4 | 43,2 | 36,7 | 32,9 | 28,5 | 4,3 | 27,5 | 399 | 28,5 | 28,5 |
| 18:00 | 4,2 | 27,1 | 36,3 | 34,2 | 32,4 | 27,5 | 4,5 | 26,5 | 322 | 27,5 | 26,5 |
| 18:30 | 3,5 | 26,4 | 36,3 | 33,1 | 29,5 | 25,5 | 4,3 | 24,6 | 217 | 25,5 | 25,1 |
| 19:00 | 2,8 | 24,2 | 29,5 | 27,5 | 25,5 | 24,6 | 3 | 23,6 | 112 | 24,6 | 23,1 |
| 19:30 | 3,2 | 23,2 | 28,5 | 25,1 | 24,6 | 23,6 | 3,4 | 22,6 | 20 | 22,6 | 22,6 |
| 20:00 | 0,8 | 21,5 | 27 | 25,3 | 23,6 | 22,6 | 1,2 | 21,6 | 3 | 21,6 | 21,6 |
| 20:30 | 1,9 | 21,7 | 26 | 24,7 | 23,6 | 22,6 | 2,0 | 21,1 | 0 | 21,1 | 21,1 |
| 21:00 | 2,2 | 21,4 | 25,5 | 23,9 | 22,6 | 21,6 | 2,5 | 21,6 | 0 | 21,1 | 21,1 |
| 21:30 | 3,0 | 20,8 | 25,1 | 23,8 | 22,6 | 21,6 | 3,3 | 20,6 | 0 | 20,6 | 21,1 |
| 22:00 | 2,0 | 20,4 | 25,1 | 23,8 | 22,6 | 21,6 | 2,3 | 20,6 | 0 | 20,6 | 21,1 |
| 22:30 | 2,4 | 20,1 | 24,6 | 23,4 | 21,6 | 21,1 | 2,6 | 20,6 | 0 | 20,6 | 20,6 |
| 23:00 | 3,1 | 19,8 | 24,6 | 22,9 | 21,1 | 20,6 | 3,4 | 19,6 | 0 | 20,1 | 20,6 |
| 23:30 | 3,2 | 19,2 | 23,6 | 22,8 | 21,1 | 20,6 | 3,4 | 20,1 | 0 | 19,6 | 20,1 |
| 24:00 | 3,5 | 19,4 | 23,1 | 22,6 | 20,6 | 19,6 | 3,7 | 19,6 | 0 | 19,6 | 19,6 |

Yukarıda açıklanan deneysel ölçüm sonuçları ve grafikleri haricinde, ölçüm yapılamayan süreler için Isparta bölgesine ait 2004 yılına ait gerekli güneş ışınım değerleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu verilerden, 11 Ağustos 2004 gününe ait olan saatlik ışınım değerleri Çizelge 4.2'de ve 2004 yılına ait aylık ışınım değerleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 11 Ağustos 2004 gününe ait ışınım değerleri (EIE, 2005)

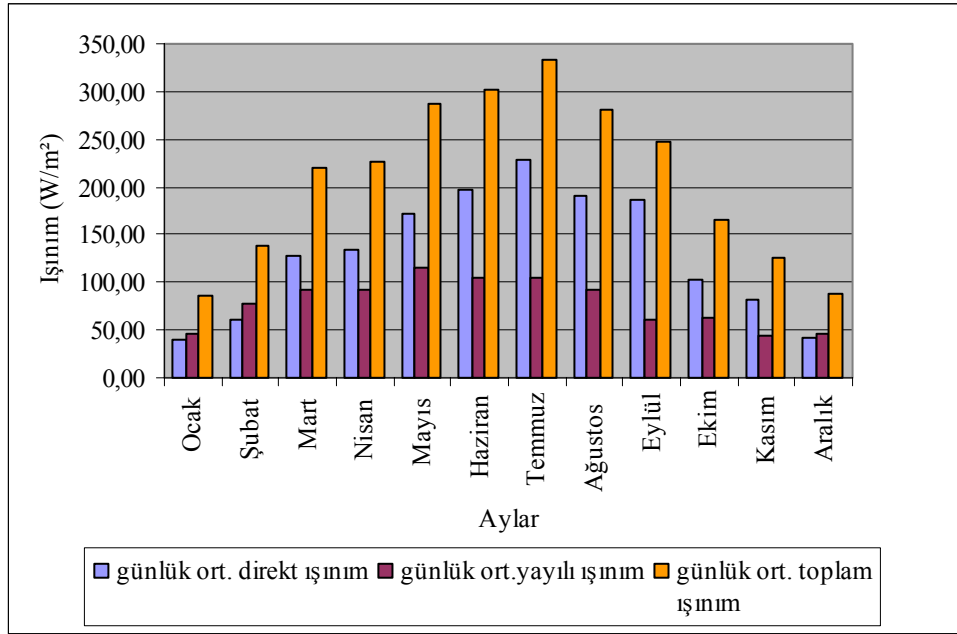
| Saat | direkt ışınım (W/m ²) | yayıllı ışınım (W/m ²) | toplam ışınım (W/m ²) |
|-------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 00:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 01:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 02:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 03:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 04:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 05:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 06:00 | 3,5 | 34,7 | 38,2 |
| 07:00 | 12,4 | 205,8 | 218,2 |
| 08:00 | 161,3 | 231,0 | 392,3 |
| 09:00 | 344,1 | 245,0 | 589,1 |
| 10:00 | 384,9 | 373,1 | 758,0 |
| 11:00 | 762,6 | 125,4 | 888,0 |
| 12:00 | 786,4 | 150,6 | 937,0 |
| 13:00 | 288,4 | 280,1 | 568,5 |
| 14:00 | 141,7 | 276,0 | 417,7 |
| 15:00 | 262,6 | 291,2 | 553,8 |
| 16:00 | 237,3 | 241,1 | 478,4 |
| 17:00 | 256,7 | 187,0 | 443,7 |
| 18:00 | 96,2 | 64,6 | 160,8 |
| 19:00 | 3,6 | 11,8 | 15,3 |
| 20:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 21:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 22:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 23:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Çizelge 4.3. Isparta için 2004 yılına ait aylık ortalama güneş ışınım değerleri (EIE, 2005)

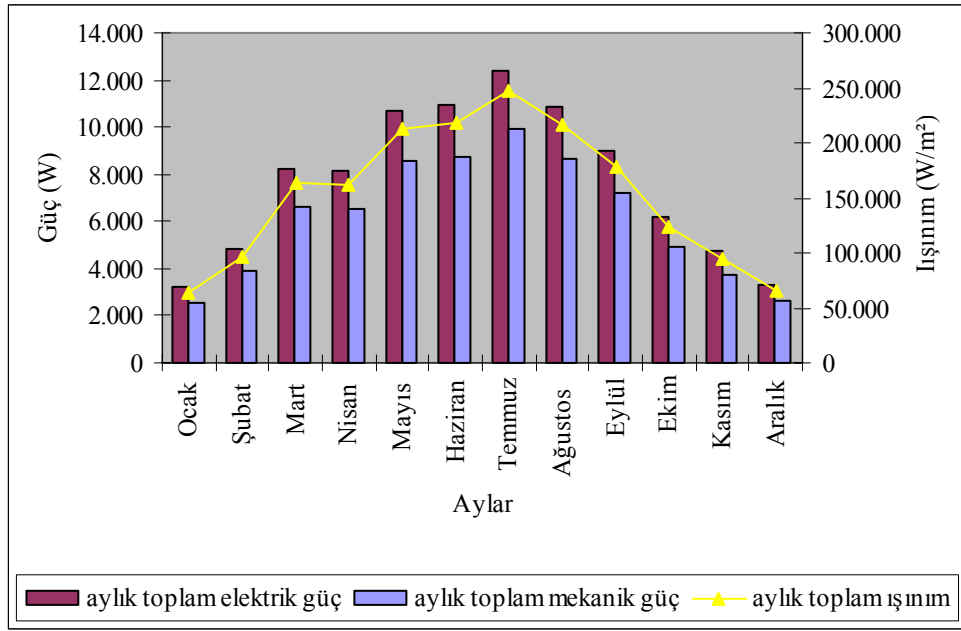
| Aylar | günlük ort. direkt ışınım | günlük ort. yayıllı ışınım | günlük ort. toplam ışınım | Aylık toplam ışınım |
|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| Ocak | 39,06 | 46,24 | 85,30 | 63.466,00 |
| Şubat | 60,21 | 78,50 | 138,71 | 96.538,91 |
| Mart | 128,60 | 92,16 | 220,77 | 164.252,29 |
| Nisan | 133,42 | 91,93 | 225,35 | 162.248,94 |
| Mayıs | 171,11 | 115,08 | 286,19 | 212.928,00 |
| Haziran | 197,67 | 105,15 | 302,83 | 218.035,93 |
| Temmuz | 228,65 | 103,96 | 332,62 | 247.466,79 |

| | | | | |
|---------|--------|-------|--------|------------|
| Ağustos | 190,03 | 91,46 | 281,49 | 216.361,05 |
| Eylül | 187,12 | 61,05 | 248,17 | 178.684,27 |
| Ekim | 103,02 | 62,78 | 165,80 | 123.352,25 |
| Kasım | 82,11 | 44,19 | 126,30 | 93.969,09 |
| Aralık | 42,95 | 45,54 | 88,49 | 65.834,83 |

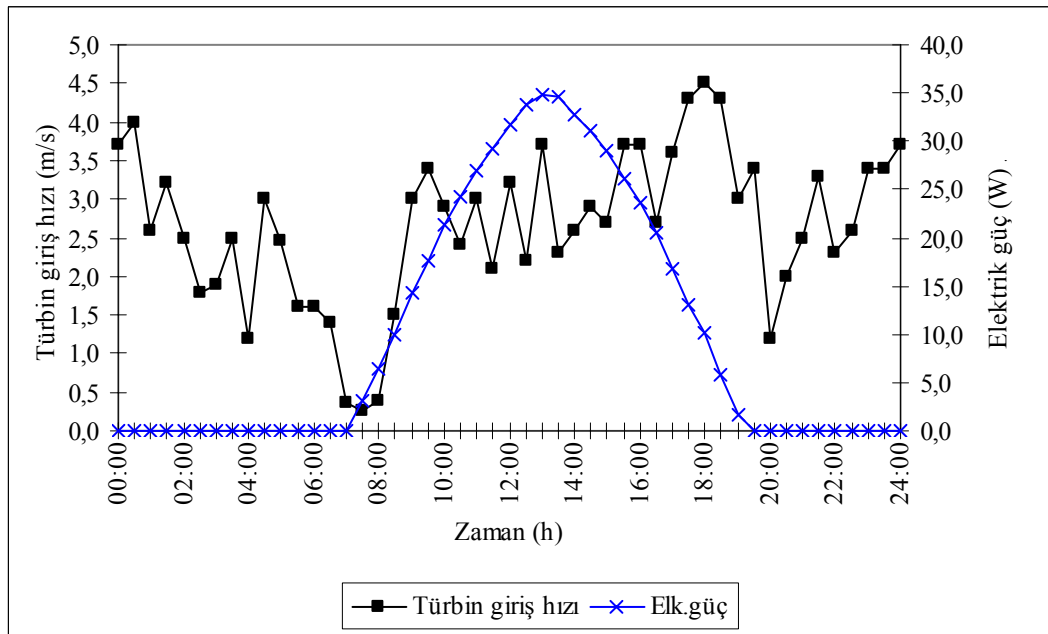
Bu veriler ışığında, Isparta bölgesi için aylık ışınlam değerleri ve prototip güneş bacasından elde edilebilecek aylık toplam güç miktarları, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Isparta bölgesi için 2004 yılına ait aylık ışınlam değerleri



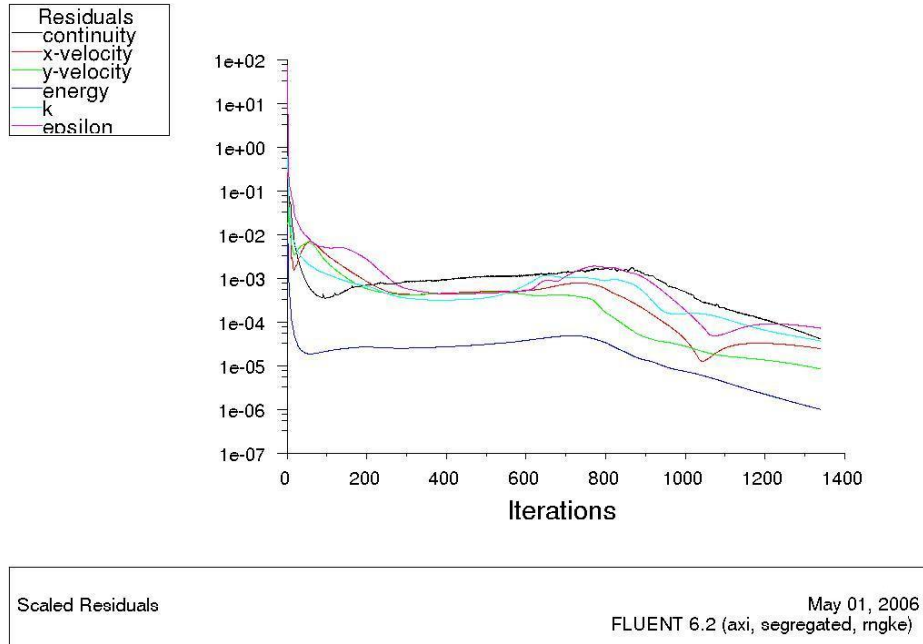
Şekil 4.10. Elde edilebilecek aylık toplam güç değerleri ve ışınım arasındaki ilişki



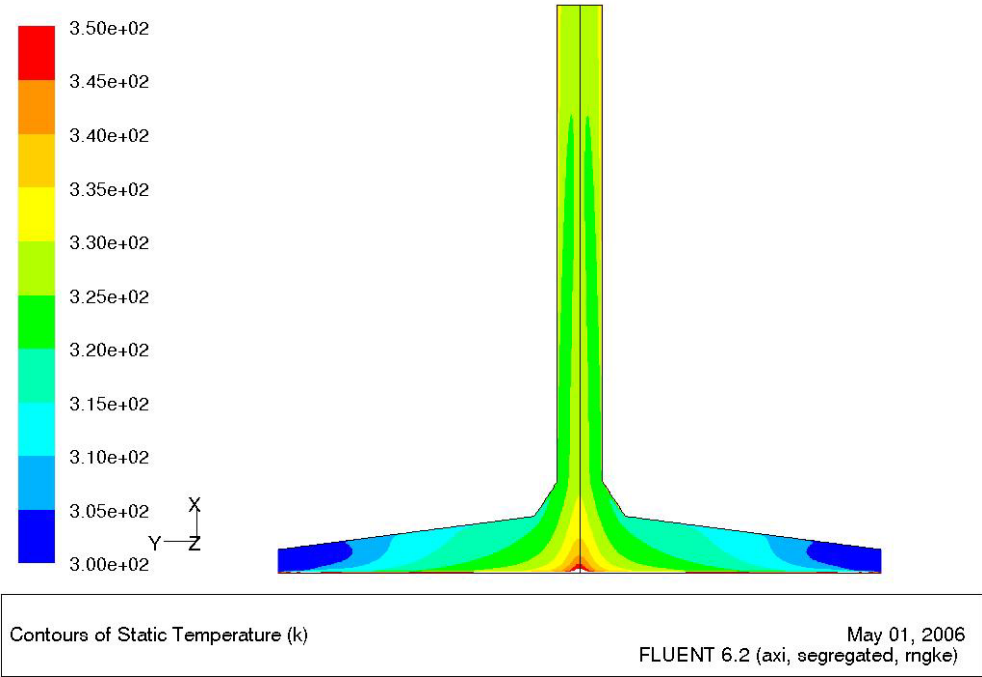
Şekil 4.11. Türbin giriş hızı ile elde edilebilecek anlık elektrik gücü arasındaki ilişki

4.2. Sayısal Hesaplama Sonuçları

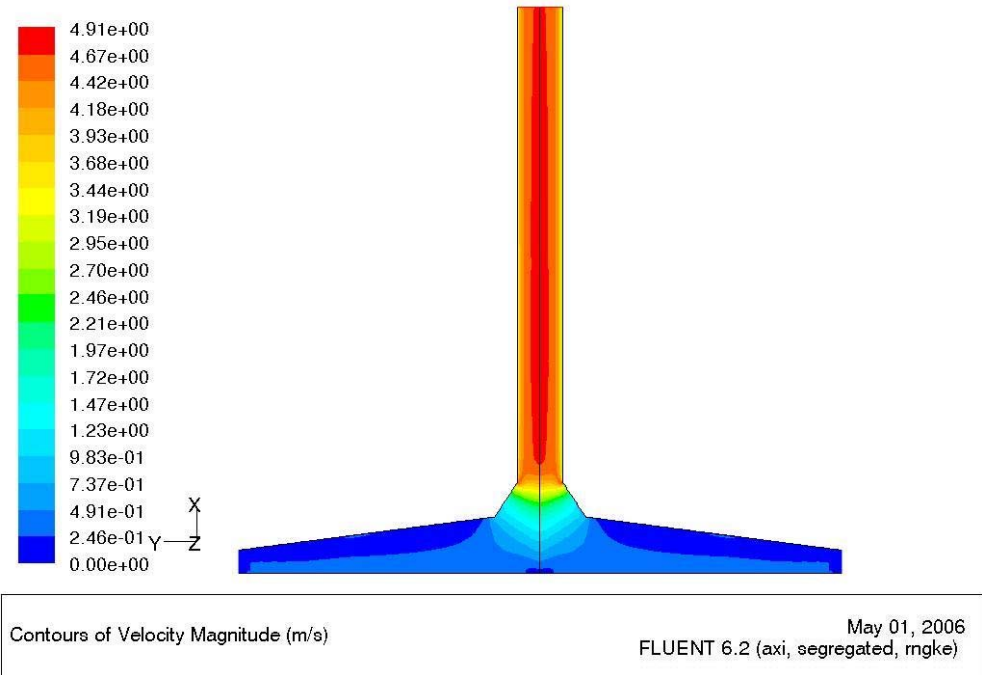
Bölüm 3.5.5’de verilen bilgiler ve şartlar doğrultusunda FLUENT programından elde edilen veriler değerlendirilecektir. FLUENT’te yapılan iterasyon neticesinde çıkış şartları olduğu zaman simülasyon işlemi sona erer. Yapılan simülasyonda ise yaklaşık 2000 iterasyon sonucunda simülasyon sona ermiştir. Bu iterasyonlar sonucunda Şekil 4.12’de grafik olarak gösterilen yaklaşık 10^{-3} ile 10^{-5} arasında kalan yakınsama şartları oluşmuştur. Bu durum elde edilen sonuçların yeterince hassas olduğu sonucunu ispatlamaktadır. FLUENT programının bir avantajı da simülasyon sonucunda basınç, hız, yoğunluk ve sıcaklık gibi parametrelerin değişiminin noktasal olarak çok ayrıntılı bir biçimde vermesidir. Buna göre güneş bacası içinde oluşan sıcaklık dağılımı Şekil 4.13’de, hız dağılımı Şekil 4.14’de, türbülans kinetik enerjisi dağılımı ise Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Ayrıca baca eksenı boyunca oluşan hız değerleri ise Şekil 4.16’de verilmiştir.



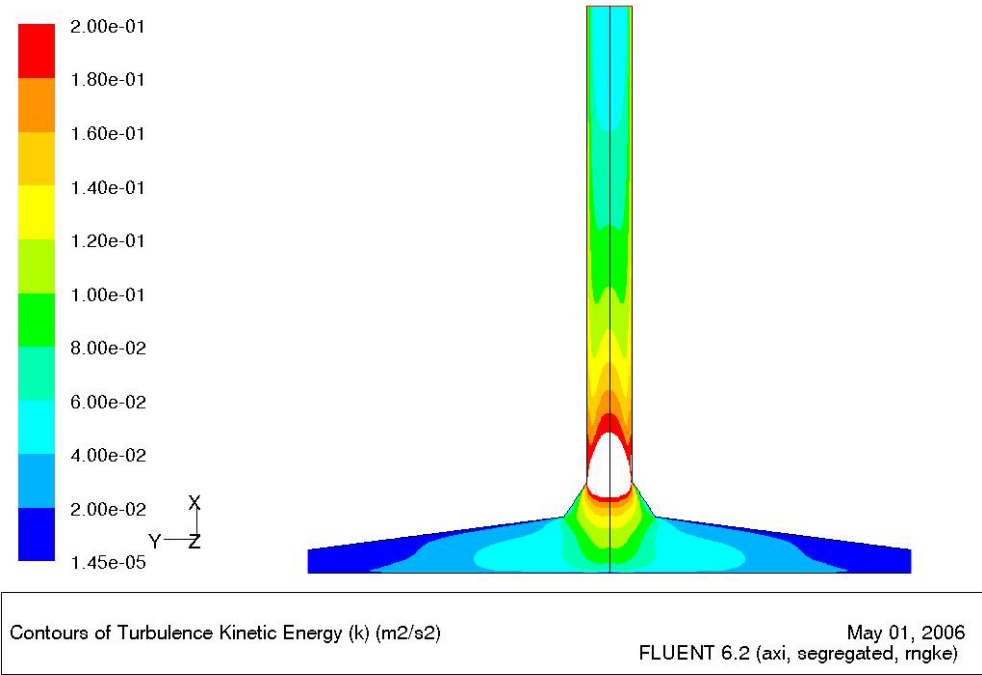
Şekil 4.12. Simülasyon sonunda oluşan yakınsama eğrileri



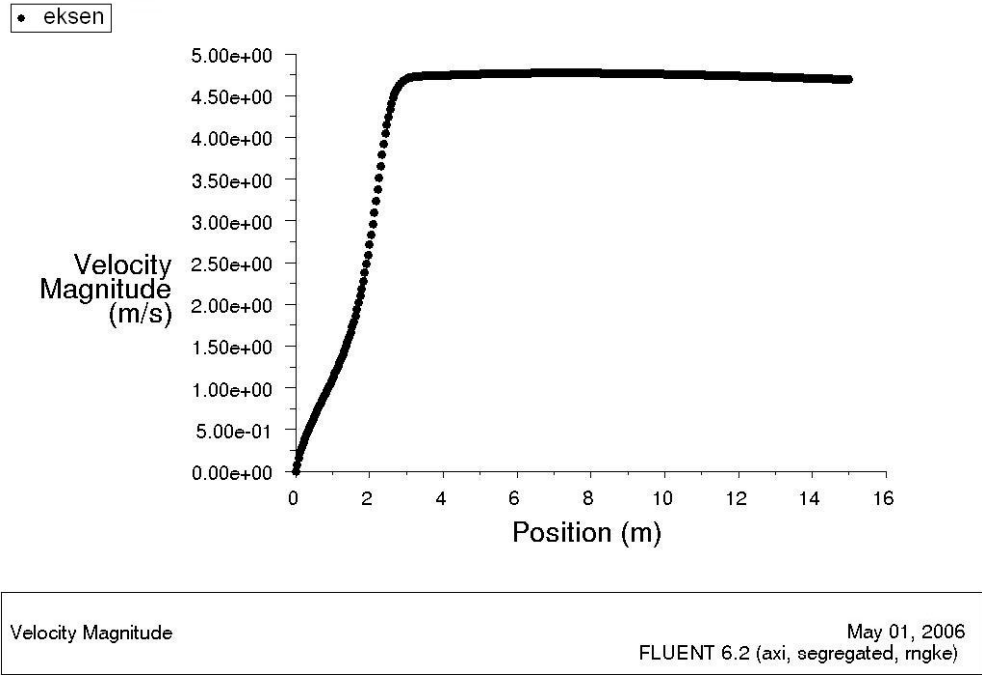
Şekil 4.13. Güneş bacası içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.14. Güneş bacası içindeki hız dağılımı



Şekil 4.15. Güneş bacası içindeki türbülans kinetik enerjisi dağılımı



Şekil 4.16. Güneş bacası eksenini boyunca oluşan hız değerleri

FLUENT programında ve deneysel ölçümler sonucunda elde edilen örnek bir kaç noktadaki sonuçları karşılaştırmak istersek; Bölüm 3.4.3’de belirtilen ölçüm noktalarından S2, S3 ve S4 noktalarındaki sıcaklık karşılaştırmaları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deneysel ve Simülasyon sonucu karşılaştırması

| Ölçüm noktası | Deneysel sonuç (Çizelge 4.1’e göre) | FLUENT sonucu |
|---------------|-------------------------------------|---------------|
| S2 (sıcaklık) | 325,35 K | 331 K |
| S3 (sıcaklık) | 314,65 K | 320 K |
| S4 (sıcaklık) | 311,55 K | 316 K |
| S5 (hız) | 3,7 m/s | 3,5 m/s |

4.3. Bilgisayar Programı Sonuçları

Geliştirilen bilgisayar programı, 11 ve 14 Ağustos 2004 tarihleri için çalıştırılıp, elde edilen güneş ışıınımı ve ısı kayıpları sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Söz konusu günlere ait sonuçlardan güneş ışıması sonuçları Çizelge 4.5’de ve ısı kaybı sonuçları ise Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 11 Ağustos 2004 gününe ait bilgisayar programı ısı kaybı sonuçları

Kollektör Isı Kaybı Hesabı
Tarih: 11.08.2004

Giriş Parametreleri

Ortam Sıcaklığı (ta): 26,9 C
Cam yüzey sıcaklığı (t1): 29 C
Zemin sıcaklığı (t2): 53 C
Stefan Boltzman sabiti (to): 5,67E-8 W/m² K⁴
Camın yayma oranı (eps1): 0,9
Zemin yayma oranı(eps2): 0,93
Hacmi sabiti (β): 0,00304 1/K
Kinematik viskozite (k_vis): 1,589E-5 m² /s
Ortalama koll.yüksekliğ (h_kol_g): 1 m
Isı iletim katsayısı (k_hava): 0,0263W/mK
Termal difüzivite (alfa):2,12E-5
Özgül ısı (cp):1005 J/kg.K
Yoğunluk (ro): 1,1614kg/m³
zemin için ısı iletim katsayısı (k_zem): 0,72W/mK

Giriş hava hızı (ugiriş): 2,8 m/s
Güneş ışınım miktarı (I): 938 W/m²

Çıkış Parametreleri

hr: 5,9271 W/m²K
gr1: 709605726,27817
pr1: 0,74953
ra1: 531869575,02642
nu1: 113,43048
h1: 2,98322 W/m²K
gr2: 2128817178,83451
pr2: 0,74953
ra2: 1595608725,07926
nu2: 163,59505
h2: 4,30255 W/m²K
ut: 10,98201 W/m²K
ub: 2,4 W/m²K
m: 106,24856
tf_ort_kabul: 35 C
ue: 0,54835 W/m²K
ul: 13,93036 W/m²K
qu: 26960,22638 W/m²K
re: 1208810,57269
hrs: 5,05491 W/m²K
ts: 7,70136 C
tf_hesap: 27,15248 C
F': 0,41926

Çizelge 4.6. 11 Ağustos 2004 gününe ait bilgisayar programı güneş ışınım sonuçları

Isparta İçin Güneş Işınım Hesabı (Işınım birimleri: W/m²)
11.08.2004 Gün Sayısı: 223

| saat | d | H | h | td | tb | tg | agl | ag2 | rt | z | ry | Iy | Id | I | Ied | Iey | Iya | Ie |
|------|--------|---------|----------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
| 01 | 15,056 | 102,150 | -165,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 162,220 | 017,780 | 0,003 | 125,069 | -0,073 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 02 | 15,056 | 102,150 | -150,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 146,151 | 033,849 | -0,001 | 119,906 | -0,063 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 03 | 15,056 | 102,150 | -135,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 132,484 | 047,516 | -0,006 | 112,192 | -0,048 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 04 | 15,056 | 102,150 | -120,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 120,981 | 059,019 | -0,008 | 102,721 | -0,028 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 05 | 15,056 | 102,150 | -105,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 111,029 | 068,971 | -0,002 | 092,107 | -0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 06 | 15,056 | 102,150 | -090,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 101,962 | 078,038 | 0,014 | 080,789 | 0,020 | 37,901 | 52,608 | 90,510 | 40,133 | 37,613 | 0,138 | 77,884 |
| 07 | 15,056 | 102,150 | -075,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 093,104 | 086,896 | 0,039 | 069,089 | 0,045 | 84,509 | 165,012 | 249,522 | 158,445 | 83,868 | 0,379 | 242,692 |
| 08 | 15,056 | 102,150 | -060,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 083,658 | 096,342 | 0,067 | 057,293 | 0,069 | 127,941 | 296,084 | 424,025 | 300,429 | 126,970 | 0,644 | 428,043 |
| 09 | 15,056 | 102,150 | -045,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 072,432 | 107,568 | 0,091 | 045,745 | 0,089 | 165,237 | 410,240 | 575,477 | 426,075 | 163,982 | 0,874 | 590,932 |
| 10 | 15,056 | 102,150 | -030,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 057,235 | 122,765 | 0,108 | 035,043 | 0,104 | 193,855 | 489,256 | 683,112 | 514,070 | 192,383 | 1,038 | 707,490 |
| 11 | 15,056 | 102,150 | -015,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 034,025 | 145,975 | 0,118 | 026,530 | 0,114 | 211,845 | 533,378 | 745,223 | 563,597 | 210,236 | 1,132 | 774,966 |
| 12 | 15,056 | 102,150 | 000,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 000,000 | 180,000 | 0,122 | 022,984 | 0,117 | 217,982 | 551,782 | 769,763 | 584,038 | 216,326 | 1,169 | 801,534 |
| 13 | 15,056 | 102,150 | 015,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 034,025 | 145,975 | 0,118 | 026,530 | 0,114 | 211,845 | 533,378 | 745,223 | 563,597 | 210,236 | 1,132 | 774,966 |
| 14 | 15,056 | 102,150 | 030,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 057,235 | 122,765 | 0,108 | 035,043 | 0,104 | 193,855 | 489,256 | 683,112 | 514,070 | 192,383 | 1,038 | 707,490 |
| 15 | 15,056 | 102,150 | 045,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 072,432 | 107,568 | 0,091 | 045,745 | 0,089 | 165,237 | 410,240 | 575,477 | 426,075 | 163,982 | 0,874 | 590,932 |
| 16 | 15,056 | 102,150 | 060,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 083,658 | 096,342 | 0,067 | 057,293 | 0,069 | 127,941 | 296,084 | 424,025 | 300,429 | 126,970 | 0,644 | 428,043 |
| 17 | 15,056 | 102,150 | 075,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 093,104 | 086,896 | 0,039 | 069,089 | 0,045 | 84,509 | 165,012 | 249,522 | 158,445 | 83,868 | 0,379 | 242,692 |
| 18 | 15,056 | 102,150 | 090,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 101,962 | 078,038 | 0,014 | 080,789 | 0,020 | 37,901 | 52,608 | 90,510 | 40,133 | 37,613 | 0,138 | 77,884 |
| 19 | 15,056 | 102,150 | 105,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 111,029 | 068,971 | -0,002 | 092,107 | -0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 15,056 | 102,150 | 120,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 120,981 | 059,019 | -0,008 | 102,721 | -0,028 | 0,000 | 0,529 | 0,000 | 0,730 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 21 | 15,056 | 102,150 | 135,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 132,484 | 047,516 | -0,006 | 112,192 | -0,048 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 22 | 15,056 | 102,150 | 150,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 146,151 | 033,849 | -0,001 | 119,906 | -0,063 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 23 | 15,056 | 102,150 | 165,000 | 5,190 | 18,810 | 13,620 | 162,220 | 017,780 | 0,003 | 125,069 | -0,073 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

YATAY DÜZLEM AYLIK ORTALAMA İŞİNİM (TABLO) (MJ/m².gün olarak)

| | | | |
|------|------|-----|------|
| Q | Qd | Qy | Qo |
| 22,8 | 16,1 | 6,7 | 36,6 |

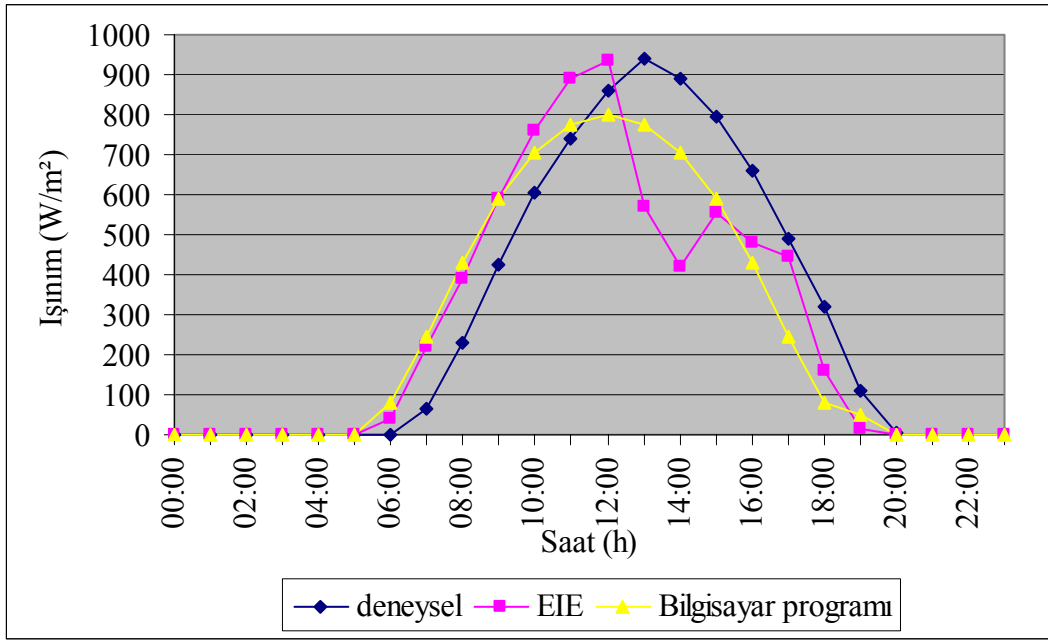
YATAY DÜZLEM AYLIK ORTALAMA İŞİNİM (HESAP) (MJ/m².gün olarak)

| | | | |
|--------|--------|-------|--------|
| Q | Qd | Qy | Qo |
| 22,802 | 14,222 | 8,579 | 37,317 |

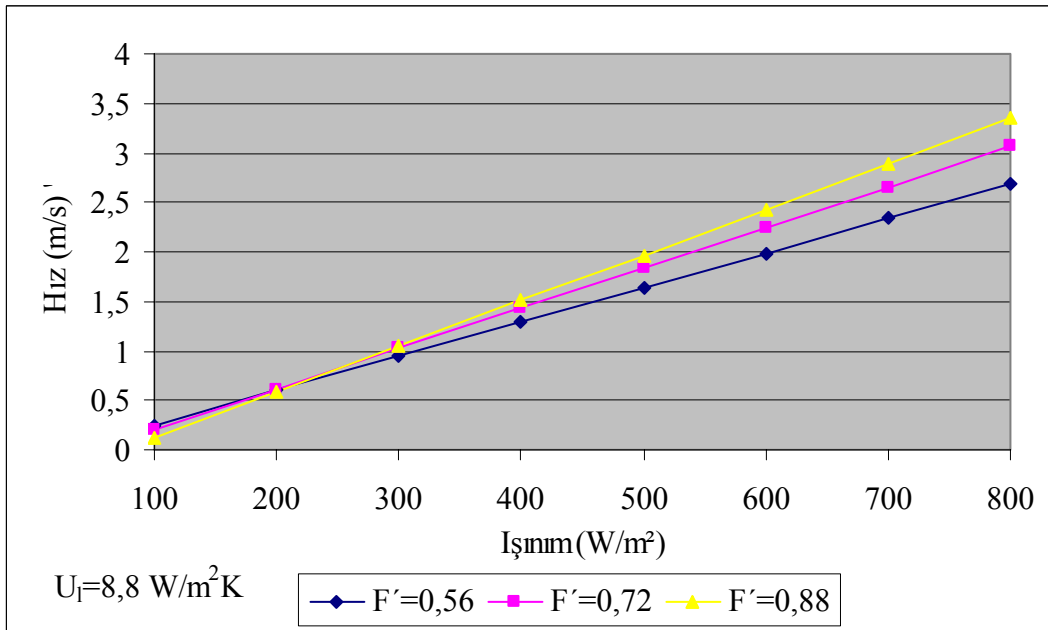
Çizelge 4.7. 11 Ağustos 2004 gününe ait üç kaynaktan alınan ışınlım değerleri

| Saat | deneysel (W/m ²) | EIE (W/m ²) | Bilgisayar programı (W/m ²) |
|-------|---------------------------------|----------------------------|---|
| 00:00 | 0 | 0 | 0 |
| 01:00 | 0 | 0 | 0 |
| 02:00 | 0 | 0 | 0 |
| 03:00 | 0 | 0 | 0 |
| 04:00 | 0 | 0 | 0 |
| 05:00 | 0 | 0 | 0 |
| 06:00 | 3 | 38,2 | 77,88 |
| 07:00 | 66 | 218,2 | 242,69 |
| 08:00 | 231 | 392,3 | 428,04 |
| 09:00 | 425 | 589,1 | 590,93 |
| 10:00 | 603 | 758 | 707,49 |
| 11:00 | 741 | 888 | 774,96 |
| 12:00 | 861 | 937 | 801,53 |
| 13:00 | 938 | 568,5 | 774,96 |
| 14:00 | 889 | 417,7 | 707,49 |
| 15:00 | 796 | 553,8 | 590,93 |
| 16:00 | 662 | 478,4 | 428,04 |
| 17:00 | 488 | 443,7 | 242,69 |
| 18:00 | 322 | 160,8 | 77,88 |
| 19:00 | 112 | 15,3 | 48,51 |
| 20:00 | 3 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 |

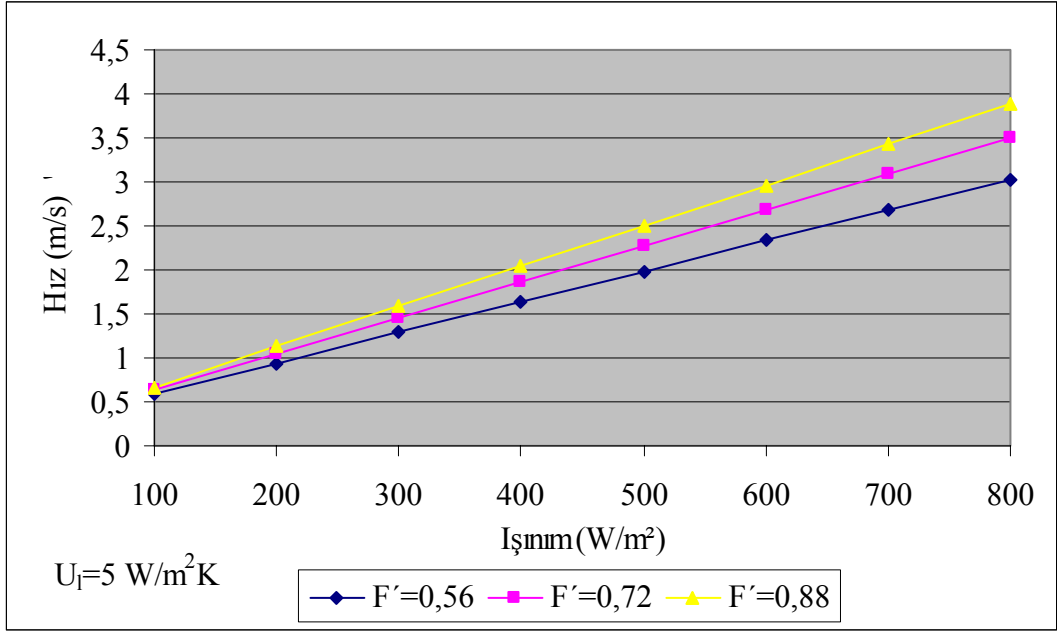
Ayrıca üç yöntemle elde edilen güneş ışıması sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre ışınlım değerleri arasında bazı saatlerdeki değerler birbirine oldukça yakın, bazı saatlerde ise biraz farklı çıkmıştır. Bu farklı sonuçların nedenlerinden bir tanesi Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan değerlerin Isparta ili için genel değerler olması, yani güneş bacasının kurulu olduğu yerden farklı bir bölgede ölçüm yapılmış olmasıdır. Diğer bir nedeni ise, bilgisayar programında kabul edilen bazı kabuller olmaktadır.



Şekil 4.17. Deneysel olarak ölçülen ve bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan güneş ışınımı arasındaki ilişki



Şekil 4.18. Farklı kollektör verim faktörlerinde, ışınım ile hız arasındaki ilişki ($U_1 = 8,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)



Şekil 4.19. Farklı kollektör verim faktörlerinde, ışınım ile hız arasındaki ilişki (U₁=5 W/m²K)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, güneş bacasından elektrik elde etme konusunda Türkiye’de yapılan ilk deneysel çalışma olması nedeniyle önemlidir.

Bu çalışmada yapılan incelemeler esas olarak üç ana grupta gerçekleşmiştir:

1. Deneysel çalışma
2. Matematiksel model ve simülasyon
3. Bilgisayar programı

Deneysel ölçümlerin gerçekleştirildiği ilk bölümde güneş bacasında 9 farklı noktada ölçümler yapılmıştır. Güneş bacası sisteminin fiziksel olarak büyük ebatlarda olması nedeniyle, sistemde dolaşan havanın özelliklerinin noktadan noktaya çok fazla değişim gösterebileceğinden daha fazla noktada ölçüm yapmak, çözümün detayı ve hassasiyeti açısından daha uygun olacaktır.

Ölçüm yapılan gün, kollektör bölgesindeki (kollektöre giriş ve kollektörden çıkış noktaları arasındaki bölge) havanın sıcaklığı yaklaşık 5 °C artmıştır. Keza yine baca bölgesinde (türbin çıkış ve baca çıkış noktaları arası) ise hava sıcaklığı yine yaklaşık 5 °C azalmaktadır.

Matematiksel model ve simülasyon ise FLUENT programında yapılmıştır. Bu programda yapılan sayısal analizde ise türbülans modeli olarak, RNG k-ε modeli, yoğunluk değişimi olarak ise boussinesq yaklaşımı seçilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda ise farklı k- ε modeli ve ideal gaz yada sıkıştırılmaz akış gibi farklı yoğunluk değişim yaklaşımları ile sayısal analiz tekrar edilebilir.

Yazılan bilgisayar programı ile, elde edilen deneysel verilerin ve kurulan matematiksel modelin uygunluğu, ayrıca istenilen herhangi bir gün deki meteorolojik değerler tespit edilmeye çalışılmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre Isparta bölgesi için birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Bu karşılaştırma sonuçları daha önce Bölüm 4.3.’te verilmişti. Elde edilen bu yakın

değerler, bilgisayar programında kullanılan yöntem ve formüllerin iyi seçildiğini göstermektedir.

Kurulan güneş bacası prototipinin ölçüleri bir güneş bacası sistemi için oldukça küçük olduğu için, elde edilen güçte düşük olmuştur. Örneğin 5 MW lık bir güç için kollektör çapının yaklaşık 1250 m ve baca yüksekliğinin ise 550 m olması gerekmektedir. Güneş bacası kurulacak bölgenin hem yüksek güneş ışınımına hem de düz bir araziye sahip olması gerekli olduğu için, yüksek güç kapasiteli güneş bacaları ülkemizin başta Güneydoğu, Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgeleri uygundur.

Güneş bacası sisteminde elde edilen verim esasen oldukça küçük olmaktadır (%1-2). Fakat bu verimin düşük çıkması sistemin kullanılabilirliğinin olmadığı anlamına gelmez. Burada esas önemli etken elde edilen elektrik enerjisinin maliyetidir.

Yapılan çalışmaya, ilave projeler alınarak, yeni teknoloji ürünü, başka enerji üretimi sistemlerinin de geliştirilebileceği görülmüştür. Deney sonuçları yorumlandığında güneş bacası elektrik üretim gücünün direkt olarak bölge güneş verilerine ve baca yüksekliğine bağlı olduğu görülmüştür.

Güneş bacası verimini artırmak dolayısıyla elde edilecek güç miktarını artırmak için bazı iyileştirmeler yapılabilir. Bunlar kısaca şöyle sıralanabilir:

1. Kollektör altındaki havanın dağılması, direkt olarak bacaya yönelmesi için, kollektör altına dikey olarak yerleştirilen akış yönlendirici olarak tabir edebileceğimiz düzenekler ilave etmek.
2. Zemin bölgesine uygun yükseklikte içi su dolu hortumlar döşeyerek kollektör altındaki havanın sıcaklığının düşmesini engellemek ve daha kararlı bir güç çıkışı sağlamak.

6. KAYNAKLAR

- Agar, D., 2004. Almanya Dortmund Üniversitesi, Kimya Bölümü, Enerji Prosesi ve Akışkanlar Mekaniği Ders Notları.
- Altınışik, K., 2003. Uygulamalarla Isı Transferi. Nobel Yayın Dağıtım, 788 s. Ankara.
- Coetzee, H., 2001. Design of a Solar Chimney to Generate Electricity Employing a Convergent Nozzle. Botswana.
- Backström, T.W., Gannon, J., 2000. Compressible flow through solar power plant chimneys. Transaction of the ASME Journal of Solar Energy Engineering, 122, 138-145.
- Backström, T.W., Gannon, J., 2004. Solar chimney turbine characteristics. Solar Energy, 76, 235-241.
- Baehr, H.D., Stephan, K., 1996. Wärme- und Stoffübertragung, Springer-Verlag, Berlin.
- Becker, M.Meinecke, W., 1992. Solarthermische Anlagentechnologien im Vergleich: Turm-, Parabolrinnen- und Aufwindkraftwerke. Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Berlin, Springer Verlag.
- Bejan, A., Kraus, D. A., 2003. Heat Transfer Handbook, , John Wiley & Sons, New Jersey, 1480p.
- Bernardes, M.A., Voss, A., Weinrebe, G., 2003. Thermal and technical analyses of solar chimneys, Solar Energy, 75, 511-524.
- Bernardes, M.A., 2004. Technische, ökonomische und ökologische Analyse von Aufwindkraftwerken, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, 230s. Stuttgart.
- Bernardes, M.A., Valle, R, M., Cortez, M, F., 1999. Numerical analysis of natural laminar convection in a radial solar heater. Int. Journal of Thermal Science, 38, 42-50.
- Beyers, J.H.M., Harms, T.M., Kröger, D,G., 2001. A Finite Volume Analysis Of Turbulent Convective Heat Transfer For Accelerating Radial Flows. Numerical Heat Transfer, Part A, 40,117-138.
- Bilgen, E., Rheault, J., 2005. Solar chimney power plants for high latitudes. Solar Energy, Volume 79, 449-458.
- Breuer, M., 2004. Direkte Numerische Simulation (DNS) & Large-Eddy-Simulation (LES), Universität Erlangen-Nuernberg, Lehrstuhl für Strömungsmechanik.

- Brune, M., Giese, A., Mackenstedt, D., 1996. Optimierung der thermischen von gasbeheizten Schmelzöfen zur Produktion von Sekundäraluminium, GWI-Forschungsbericht, 98s.
- Dai, Y.J., Huang, H.B., Wang, R.Z., 2003. Case study of solar chimney power plants in Northwestern regions of China. *Renewable Energy*, 28, 1295-1304.
- Denantes, F., Bilgen, E., 2006. Counter-rotating turbines for a solar chimney power plants, *Renewable Energy*.
- Duffie, J.A., Beckmann, W.A., 1991. *Solar engineering of thermal processes*. Wiley Interscience, 919 s. New York.
- EIE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2005, Isparta Bölgesi İçin 2004 Yılı Güneş Işınım Verileri, Ankara.
- EUROPA, Das Portal der Europäischen Union, 2006, <http://www.eu.int>
- FHTW, 2006, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin internet sitesi <http://www.fl.fhtw-berlin.de/>
- Florida University, 2005, Solar Energy and Energy Conversion Laboratory, <http://seecl.mae.ufl.edu>
- FLUENT, 2006, <http://www.fluent.de>
- Fluent, 2003. *FLUENT 6.1 User's Guide*, Vol. 1-2-3.
- FVS, 2006, ForschungsVerbund Sonnenenergie, <http://www.fv-sonnenenergie.de>
- Gannon, J., Backström, T.W., 2000. Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance. *Journal of Solar Engineering*, Vol.122,133-137.
- Gannon, J., Backström, T.W., 2000. Compressible flow through solar power plant chimneys. *Transaction of the ASME Journal of Solar Energy Engineering* 122: 138-145.
- Gannon, J., 2002. *Solar Chimney Turbine Performance* PhD thesis. University of Stellenbosch.
- Haaf, W., Mayr, G., Schlaich, J., 1981. *Technologische Forschung und Entwicklung-Nichtnukleare Energietechnik- Atmosphärenthermische Aufwindkraftwerke*, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Stuttgart.

- Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G., Schlaich, J., 1983. Solar chimneys, part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares. *International Journal of Solar Energy* 2, 3–20.
- Haaf, W., 1984. Solar Chimneys Part II: Preliminary Test Results from the Manzanares Pilot Plant, *International Journal of Solar Energy*, Vol. 2, s.141-161.
- Habar, A., 2005. *Numerische Strömungsmechanik*, Hannover Üniversitesi, Ders notları.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., 2003. *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 880 s.
- Jaluria, J., 1980. *Natural Convection Heat and Mass Transfer*, Oxford, Pergamon Press.
- Janicka, J., 2004. Ein Program zur Beschreibung technischer und reaktiver Strömungen, Technische Universität Darmstadt, 25 s.
- Jischa, M., 1982. *Konvektiver Impuls, - Wärme- und Stoffaustausch*. Vieweg Verlag, Wiesbaden.175s.
- Kara, Ö., 2002. Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri İzmir Uygulaması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 58 s. İzmir.
- Kılıç, A., Öztürk, A., 1983. *Güneş Enerjisi*. Kipaş Dağıtımçılık, 331 s. İstanbul.
- Kimya Mühendisi Web sayfası, 2005, <http://www.kimyamuhendisi.com>
- Koçyiğit, N., Ünal, M.F., 2005. Askı ve İleri Uçuştaki Bir Helikopter Gövdesinin Aerodinamik Katsayılarının Fluent Kullanılarak Hesaplanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, 57-64, İstanbul.
- Kreetz, H., 1997. *Theoretische Untersuchungen und Auslegung eines temporären Wasserspeichers für das Diplomarbeit TU Berlin*, Berlin.
- Müller, M., 2002. *Dreidimensionale Simulation der Strömungskontur eines Aufwindkraftwerks*. Studienarbeit. Universität Stuttgart Institut für Strömungsmechanik und hydraulische Strömungsmaschinen.
- Padki, M.M., Sherif, S.A., 1999. On A Simple Analytical Model For Solar Chimneys. *International Journal of Energy Research*, 23, 345-349.
- Pastohr, H., Gürlebeck, K., Kornadt, O., 2003. *Numerische Untersuchungen zum Thermischen Strömungsverhalten im Aufwindkraftwerk*, Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar.

- Pastohr, H., 2003. Numerische und Analytische Berechnungen zur Thermischen Konvektion im Aufwindkraftwerk, Doktorandensymposium der Bauphysik der ETH Zürich, Zürich.
- Pastohr, H., Kornadt, O., Gürlebeck, K., 2004. Numerical and analytical calculations of the temperature and flow field in the upwind power plant. *International Journal of Energy Research*, 28, 495-510.
- Pastohr, H., 2004. Thermodynamische Modellierung eines Aufwindkraftwerkes, der Bauhaus-Universität Weimar, 161s, Weimar.
- Pasumarthi, N., Sherif, S.A., 1998. Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model Part I: Mathematical model development. *International Journal Energy Research*, 22, 277-288.
- Pasumarthi, N., Sherif, S.A., 1998. Experimental And Theoretical Performance Of A Demonstration Solar Chimney Model Part 2: Experimental And Theoretical Results And Economic Analysis. *International Journal Energy Research*, 22, 2443-461.
- Pretorius, J. P., Kröger, D. G., 2006. Critical evaluation of solar chimney power plant performance. *Solar Energy*, 80, 535-544.
- Quaschnig, V., 1999. Regenerative Energiessysteme. 2. Auflage, Hanser Verlag, 270 s. Berlin.
- Rung, T., Xue, L., Yan, Schatz, M., Thiele, F., 2002. Numerische Methoden der Thermo- und Fluidodynamik. TU-Berlin-Hermann Föttinger Institut für Strömungsmechanik, Ders Notları, 161 s. Berlin.
- SBP, Schlaich Bergermann und Partner, 2006, <http://www.sbp.de>
- Schlaich J., 1986. Baureife Planung und Bau einer Demonstrationsanlage eines atmosphärischen Aufwindkraftwerkes. BMFT-FB-T 86-208 Stuttgart.
- Schlaich, J., 1995. The Solar Chimney. Edition Axel Menges, 55 s. Stuttgart.
- Schlaich, J., 1999. Tension structures for solar electricity generation. *Engineering Structures*, 21, 658-668.
- Schlaich, J., Bergermann, R., Schiel, W., Weinrebe, G., 2004. Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems - Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation.
- Schlaich, J., Bergermann, R., Schiel, W., Weinrebe, G., 2004. The Solar Updraft Tower- Aufwindkraftwerke zur Solaren Stromerzeugung, CD-Rom.

Schlaich, J., Weinrebe, G., 2005. Das Aufwindkraftwerk-Strom aus heisser Luft. Physik in unserer Zeit, 5, 212-218.

Shahid Bahonar University of Kerman, 2005, Mechanical Engineering Department, <http://old.uk.ac.ir/~rahnama/research/powerplant.htm>

Stoecker, W.F., 1989. Design of Thermal Systems. McGraw-Hill, 565s. Malaysia.

TÜBİTAK, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2006, <http://www.tubitak.gov.tr>

U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2006, <http://www.eere.energy.gov>

Uyarel, A.Y., Öz, E.S., 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, 240 s, Ankara.

Weinrebe, G., 2004. Das Aufwindkraftwerk-Wasserkraftwerk der Küste. Nova Acta Leopoldina NF 91, Nr.339, 117-141.

Weinrebe, G., 2000. Technische, ökologische und ökonomische Analyse von solarthermischen Turmkraftwerken, Dissertation, Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart, 205 s.

7. EKLER

Ek 1. Geliştirilen bilgisayar programının ışınlım modülüne ait kaynak kodu

```
unit Unit2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Math, StdCtrls, Buttons, ComCtrls, Grids;

type
  TForm_isinin = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    GroupBox1: TGroupBox;
    Edit12: TEdit;
    Edit13: TEdit;
    Edit14: TEdit;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Label3: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    GroupBox3: TGroupBox;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Label7: TLabel;
    Edit7: TEdit;
    Label8: TLabel;
    Edit8: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Edit9: TEdit;
    Edit10: TEdit;
    Label14: TLabel;
    Edit15: TEdit;
    Label15: TLabel;
    Edit16: TEdit;
    Edit17: TEdit;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Edit18: TEdit;
    Label18: TLabel;
    Edit19: TEdit;
    Label21: TLabel;
```

Edit22: TEdit;
Label26: TLabel;
Edit26: TEdit;
Label33: TLabel;
Edit31: TEdit;
BitBtn3: TBitBtn;
Edit32: TEdit;
Label35: TLabel;
DateTimePicker1: TDateTimePicker;
Label36: TLabel;
StringGrid1: TStringGrid;
Edit33: TEdit;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label43: TLabel;
Label44: TLabel;
Label46: TLabel;
Edit36: TEdit;
Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;
Edit39: TEdit;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Edit40: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit21: TEdit;
Label22: TLabel;
Label24: TLabel;
Edit24: TEdit;
Label10: TLabel;
Label25: TLabel;
Edit25: TEdit;
Label20: TLabel;
Label29: TLabel;
Label40: TLabel;
Edit23: TEdit;
Label41: TLabel;
Edit27: TEdit;
Edit28: TEdit;
Edit29: TEdit;
Edit35: TEdit;
Label42: TLabel;
Label45: TLabel;
Label47: TLabel;
Label52: TLabel;
Edit41: TEdit;
Label53: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Edit42: TEdit;
Label30: TLabel;
Edit43: TEdit;
Label31: TLabel;
Edit44: TEdit;
Label48: TLabel;
Label49: TLabel;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;

```

Edit30: TEdit;
Edit34: TEdit;
Label56: TLabel;
RadioButton1: TRadioButton;
RadioButton2: TRadioButton;
Memo1: TMemo;
Label23: TLabel;
Memo2: TMemo;
Edit20: TEdit;
Memo3: TMemo;
Label19: TLabel;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure FormActivate(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure DateTimePicker1Change(Sender: TObject);
procedure Edit12Exit(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
procedure StringGrid1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
private
Row,Col,c,r,na,nb:integer;
q_tablo,
qd_tablo,
qo_tablo,
t1_tablo :double;
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form_isinin: TForm_isinin;

implementation

{$R *.DFM}

procedure TForm_isinin.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var
a, //katsayı (3.23),kılıç
ag1_ust,ag1_alt, // ag1 icimn yardimci
ag1, //azimut acısı (1)
ag2, //azimut acısı (2)
b, //katsayı (3.23),kılıç
c1, //katsayı (2.11)
c2, //katsayı (2.11)
c3, //katsayı (2.11)
cos_g0, //geliş açısı cosinüsü (2.16)
d, //deklinasyon açısı
d1, //katsayı (2.13)
d_ort, //ortalama açısı
e, //enlem
f, // güneş sabiti düzeltme faktörü, kılıç denklem 2.21
fi, //katsayı (3.24)
g, //güneş geliş açısı
h1, //doğus ve batış saat acısı (H)

```

```

h11,
h1p,
h2, //saat açısı (h)
h22,
h2p,
hg,
hg1,
hg2,
i, //Yatay, anlık tüm güneş ışınımı
id, //Yatay, anlık direkt güneş ışınımı
iy, //Yatay, anlık yayılı güneş ışınımı
iey, //Eğik, anlık yayılı güneş ışınımı
ie, //Eğik, anlık tüm güneş ışınımı
ied, //Eğik, anlık direkt güneş ışınımı
iya, //Eğik, anlık yayılı güneş ışınımı
i_top, // yatay düzleme gelen günlük toplam ışınım(i'ların toplamı)=q
i0, //atmosfer dışında yatay düzleme gelen anlık ışınım, kılıç, denklem 2.24
igs, // güneş sabiti, 1353 w/m2
n, //gün sayısı
q_tablo, //Yatay, günlük tüm güneş ışınımı, EK.2'den okunur
qd_tablo, //Yatay, günlük direkt güneş ışınımı,EK.2'den okunur
q_hesap, //Yatay, aylık ortalama tüm güneş ışınımı
qd_hesap, //Yatay düzlem, günlük direkt güneş ışınımı
qy_hesap, //Yatay düzlem, günlük yayılı güneş ışınımı
qy_tablo, //Yatay, günlük toplam yayılı güneş ışınımı
qe, //Eğik, günlük toplam güneş ışınımı
qe_egik, //Eğik, günlük toplam güneş ışınımı (güneye dönük)
q0_hesap, //atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük ışınım, kılıç, denklem 2.27b
r,
ro, //çevre yansıtma oranı;
rt, //katsayı (3.24)
ry, //katsayı (3.28)
rd,
rd1, //katsayı (3.42)
rdg,
s, //kollektör eğimi
tb, //güneşin battığı saat
td, //güneşin doğduğu saat
tg, //gün uzunluğu
x, //derece to radyan donusumu
w, //yogusturulabilir su buharı miktarı
y, //güneş yükseklik açısı
z, //zenit açısı
z1: //rakım
double;
saat:integer;
memo_str,toplam_str:string;
begin
memo1.Visible:=true;
memo1.Clear;
label23.Visible:=true;
label35.Visible:=true;
edit32.Visible:=true;
x:=pi/180; // derece to radyan
n:=strtofloat(edit3.text);
e:=strtofloat(edit1.text);

//tablodan veri okuma

```

```

q_tablo:=strtofloat(edit12.text);
qd_tablo:=strtofloat(edit13.text);
ro:=strtofloat(edit26.text);
z1:=strtofloat(edit39.text);
d_ort:=strtofloat(edit40.text);
w:=strtofloat(edit24.text);
s:=strtofloat(edit23.text);
igs:=1353;
// 1. AÇI HESAPLARI
//günlük deklinasyon açısı hesabı
d:=23.45*sin(x*360/365*(n+284));
h1:=radtodeg(arccos(-tan(x*d)*tan(x*e)));
if RadioButton1.Checked=true then memo_str:='Isparta İçin Güneş Işınım Hesabı'
else memo_str:='İli İçin Güneş Işınım Hesabı Tarih: ';

memo1.Lines.add(memo_str);
memo1.Lines.add(datetostr(datetimepicker1.date)+' Gün Sayısı: '+edit3.text);
memo1.lines.add('-----');

memo1.lines.add('saat'#9'd'#9'H'#9'h'#9'td'#9'tb'#9'tg'#9'ag1'#9'ag2'#9'rt'#9'z'#9'ry'#9'Iy'#9'Id'#9'I'#9'le
d'#9'Iey'#9'Iya'#9'Ie');
i_top:=0;
for saat:=1 to 23 do
begin
edit20.text:=floattostr(saat);
h2:=15*(strtofloat(edit20.text)-12); //kılıç, denklem 2.5.
tg:=2/15*h1;
z:=radtodeg(arccos((cos(x*d)*cos(x*e)*cos(x*h2)+sin(x*d)*sin(x*e))));
y:=radtodeg(arcsin(cos(x*z)));
ag1_ust:=(cos(x*d)*sin(x*e)*cos(x*h2)-sin(x*d)*cos(x*e));
ag1_alt:=cos(x*y);

if copy(floattostr(ag1_ust),0,8)=copy(floattostr(ag1_alt),0,8) then ag1:=0
else ag1:=radtodeg(arccos(ag1_ust/ag1_alt));

sin(x*d)*cos(x*e))/cos(x*y));
ag2:=180-ag1;
td:=(-h1*4+720)/60;
tb:=(h1*4+720)/60;
// 1. Atmosfer dışı
f:=1+0.033*cos(degtorad((360*n/365)));

i0:=igs*f*cos(degtorad(z));
q0_hesap:=3600*power(10,-6)*24/pi*igs*f*sin(degtorad(d))*sin(degtorad(e))*(pi/180*h1-
tan(degtorad(h1)));
// 2.YATAY DÜZLEM İÇİN

// anlık tüm güneş ışınımı (3.24'e göre ,kılıç)
fi:=exp(-4*(sqr(1-abs(h2)/h1)));
rt:=pi/4/tg*(cos(90*h2/h1*x)+2/sqrt(pi)*(1-fi));
i:=rt*q_tablo*power(10,6)/3600;
i_top:=i_top+i;
//günlük tüm ışınım (3.23'e göre ,kılıç)
a:=0.103+0.000017*z1+0.198*cos(x*(e-d));
b:=0.533-0.165*cos(x*(e-d));
0.0037*w+0.197*ln(cos((e-d)*x));
q_hesap:=(a+b*t1_tablo)*qo_tablo;
//aylık ortalama direk güneş ışınımı (3.25'e göre ,kılıç)

```



```

    qd_hesap:=t1_tablo*qo_tablo*(0.6714-0.00423*w+0.223*ln(cos((e-d)*x)));
    qy_hesap:=q_tablo-qd_hesap;
// Anlık direk güneş ışınımı (3.29'e göre ,kılıç)
    ry:=pi/24*(cos(x*h2)-cos(x*h1))/(sin(x*h1)-pi/180*h1*cos(x*h1)); //(3.29,kılıç)
    qy_tablo:=q_tablo-qd_tablo;
    iy:=ry*qy_tablo*power(10,6)/3600;
    id:=i-iy;
// 3.EĞİK DÜZLEM İÇİN
//Eğik, anlık yayılı güneş ışınımı (3.36)
    iey:=iy*(1+cos(s*x))/2;
//Eğik, anlık yansıyan güneş ışınımı (3.37)
    iya:=i*ro*(1-cos(s*x))/2;
//Eğik, anlık direkt güneş ışınımı (3.34)
    rd:=(cos(x*(e-s))*cos(x*d)*cos(x*h2)+sin(x*(e-s))*sin(x*d))/
        (cos(x*e)*cos(x*d)*cos(x*h2)+sin(x*e)*sin(x*d));
    ied:=rd*id;

//Eğik, anlık toplam güneş ışınımı
    ie:=ied+iya+iey;

    c1:=sin(x*ag1)*cos(x*d_ort)*sin(x*s);
    c2:=cos(x*d_ort)*(cos(x*e)*cos(x*s)+cos(x*ag1)*sin(x*e)*sin(x*s));
    c3:=sin(x*d_ort)*(sin(x*e)*cos(x*s)-cos(x*ag1)*cos(x*e)*sin(x*s));
    d1:=sqrt(sqrt(cos(x*d_ort))-sqrt(cos(x*ag1)*cos(x*e)*sin(x*s)-sin(x*e)*cos(x*s)));
    cos_g0:=c2+c3;

    h1p:=2*radtodeg(arctan((c1-d1)/(c2-c3)));
    h2p:=2*radtodeg(arctan((c1+d1)/(c2-c3)));

    h1p:=2*arctan((c1-d1)/(c2-c3))/x;
    h2p:=2*arctan((c1+d1)/(c2-c3))/x;
    if cos_g0>0 then //cos_g0>0
    begin
        h11:=max(h1p,-h1);
        h22:=min(h2p,h1);
    end
    else //cos_g0<0
    begin
        h11:=max(h2p,-h1);
        h22:=min(h1p,h1);
    end;
    qy_hesap:=q_hesap-qd_hesap;
    rd1:=(sin(x*d)*sin(x*e)*cos(x*s)*pi/180*(h22-h11)
        -sin(x*d)*cos(x*e)*sin(x*s)*cos(x*ag1)*pi/180*(h22-h11)
        +cos(x*d)*cos(x*e)*cos(x*s)*(sin(x*h22)-sin(x*h11))
        +cos(x*d)*sin(x*e)*sin(x*s)*cos(x*ag1)*(sin(x*h22)-sin(x*h11))
        -cos(x*d)*sin(x*s)*sin(x*ag1)*(cos(x*h22)-cos(x*h11)))/
        (2*(cos(x*d)*cos(x*e)*sin(x*h1)+pi/180*h1*sin(x*d)*sin(x*e)));
    r:=rd1*qd_hesap/q_hesap+qy_hesap/q_hesap*(1+cos(x*s))/2+ro*(1-cos(x*s))/2;
    qe:=r*q_hesap;

toplam_str:=formatfloat('0,#',saat)+#9+FormatFloat('0.##0',d)+#9+FormatFloat('#.##0',h1)+#9+Form
atFloat('000.##0',h2)+#9+FormatFloat('#.##0',td)+#9+FormatFloat('#.##0',tb)+#9+FormatFloat('#.##0'
,tg)+#9+FormatFloat('0##.##0',ag1)+#9+FormatFloat('0##.##0',ag2)+#9+FormatFloat('0.##0',rt)+
+#9+FormatFloat('0##.##0',z)+#9+FormatFloat('0.##0',ry)+#9+FormatFloat('0.##0',Iy)+#9+FormatFl
oat('0.##0',Id)+#9+FormatFloat('0.##0',I)+#9+FormatFloat('0.##0',ied)+#9+FormatFloat('0.##0',iey)+
+#9+FormatFloat('0.##0',iya)+#9+FormatFloat('0.##0',ie);
    memo1.lines.add(toplam_str);

```

```

end;
hg1:=arccos(-tan(x*d)*tan(x*e))/x;
hg2:=arccos(-tan(x*(e-s))*tan(x*d))/x;
if hg1<hg2 then hg:=hg1
else hg:=hg2;

//güneye dönük eğik düzlem (3.43)
rdg:=(cos(x*(e-s))*cos(x*d)*sin(x*hg)+pi/180*hg*sin(x*(e-s))*sin(x*d))/
(cos(x*e)*cos(x*d)*sin(x*h1)+pi/180*h1*sin(x*e)*sin(x*d));
r:=rdg*qd_hesap/q_hesap+qy_hesap/q_hesap*(1+cos(x*s))/2+ro*(1-cos(x*s))/2;
qe_egik:=r*q_hesap;

// ekrana yazdırma
edit4.text:=floattostr(d);
edit5.text:=floattostr(h1);
edit6.text:=floattostr(td);
edit7.text:=floattostr(tb);
edit8.text:=floattostr(tg);
edit9.text:=floattostr(ag1);
edit10.text:=FloatToStr(ag2);
edit11.Text:=floattostr(qd_hesap);
edit15.text:=FloatToStr(fi);
edit16.text:=FloatToStr(rt);
edit17.text:=FloatToStr(i);
edit18.text:=FloatToStr(ry);
edit19.text:=FloatToStr(iy);
edit21.Text:=floattostr(qy_hesap);
edit22.text:=FloatToStr(id);
edit25.Text:=floattostr(q_hesap);
edit31.text:=FloatToStr(z);
edit37.text:=FloatToStr(qd_tablo);
edit36.text:=FloatToStr(qy_tablo);
edit38.text:=FloatToStr(q_tablo);
edit27.text:=FloatToStr(ied);
edit28.text:=FloatToStr(iey);
edit29.text:=FloatToStr(iya);
edit41.text:=FloatToStr(ie);
edit35.text:=FloatToStr(qe);
edit30.text:=FloatToStr(qe_egik);
edit42.text:=FloatToStr(rd);
edit43.text:=FloatToStr(rdg);
edit44.text:=FloatToStr(rd1);
edit34.text:=FloatToStr(y);
memo1.Lines.add('-----');
memo1.Lines.add('YATAY DÜZLEM AYLIK ORTALAMA İŞİNİM (TABLO)');
memo1.Lines.add('Q'#9'Qd'#9'Qy'#9'Qo');
toplam_str:=formatfloat('#.###',q_tablo)+#9+formatfloat('#.###',qd_tablo)+#9+formatfloat('#.###',qy
_tablo)+#9+formatfloat('#.###',qo_tablo);
memo1.Lines.add(toplam_str);

memo1.Lines.add('YATAY DÜZLEM AYLIK ORTALAMA İŞİNİM (HESAP)');
memo1.Lines.add('Q'#9'Qd'#9'Qy'#9'Qo');
toplam_str:=formatfloat('#.###',q_hesap)+#9+formatfloat('#.###',qd_hesap)+#9+formatfloat('#.###',q
y_hesap)+#9+formatfloat('#.###',q0_hesap);
memo1.Lines.add(toplam_str);
end;

procedure TForm_isinin.BitBtn2Click(Sender: TObject);

```

```

begin
    close;
end;

procedure TForm_isinin.FormActivate(Sender: TObject);
begin
    edit1.text:='38,040';
    edit2.text:='30,320';
    edit3.text:='0';
    edit20.text:='14';
    edit24.text:='45';
    edit26.text:='0,2';
    edit39.text:='1035';
    edit40.text:='15';
    edit23.text:='30';
    DateTimePicker1.date:=now;
    DateTimePicker1.OnChange(self);
    edit32.text:='c:\gunes_bacasi\isinin_hesap.txt';
    RadioButton1.Checked:=true;
    StringGrid1.Visible:=true;
    GroupBox1.Visible:=false;
    memo1.Clear;
    memo1.Visible:=false;
    label23.Visible:=False;
    label35.Visible:=False;
    edit32.Visible:=false;
end;

procedure TForm_isinin.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
    label35.Visible:=true;
    edit32.Visible:=true;
    memo1.lines.savetofile(edit32.text);
    ShowMessage('Sonuçlar '+edit32.text+' dosyasına kaydedilmiştir.');
```

```

end;

procedure TForm_isinin.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    StringGrid1.Cells[0,1]:='Q';
    StringGrid1.Cells[0,2]:='Qd';
    StringGrid1.Cells[0,3]:='Qo';
    StringGrid1.Cells[0,4]:='T/To';

    StringGrid1.Cells[1,0]:='Ocak';
    StringGrid1.Cells[2,0]:='Şubat';
    StringGrid1.Cells[3,0]:='Mart';
    StringGrid1.Cells[4,0]:='Nisan';
    StringGrid1.Cells[5,0]:='Mayıs';
    StringGrid1.Cells[6,0]:='Haziran';
    StringGrid1.Cells[7,0]:='Temmuz';
    StringGrid1.Cells[8,0]:='Ağustos';
    StringGrid1.Cells[9,0]:='Eylül';
    StringGrid1.Cells[10,0]:='Ekim';
    StringGrid1.Cells[11,0]:='Kasım';
    StringGrid1.Cells[12,0]:='Aralık';

    StringGrid1.Cells[1,1]:='6,8';
    StringGrid1.Cells[1,2]:='3,2';

```

```
StringGrid1.Cells[1,3]:='16,6';  
StringGrid1.Cells[1,4]:='0,41';
```

```
StringGrid1.Cells[2,1]:='9,9';  
StringGrid1.Cells[2,2]:='5,1';  
StringGrid1.Cells[2,3]:='21,8';  
StringGrid1.Cells[2,4]:='0,46';
```

```
StringGrid1.Cells[3,1]:='13,9';  
StringGrid1.Cells[3,2]:='7,7';  
StringGrid1.Cells[3,3]:='28,3';  
StringGrid1.Cells[3,4]:='0,50';
```

```
StringGrid1.Cells[4,1]:='17,8';  
StringGrid1.Cells[4,2]:='10,2';  
StringGrid1.Cells[4,3]:='34,9';  
StringGrid1.Cells[4,4]:='0,52';
```

```
StringGrid1.Cells[5,1]:='22,4';  
StringGrid1.Cells[5,2]:='14,4';  
StringGrid1.Cells[5,3]:='39,5';  
StringGrid1.Cells[5,4]:='0,66';
```

```
StringGrid1.Cells[6,1]:='24,7';  
StringGrid1.Cells[6,2]:='16,8';  
StringGrid1.Cells[6,3]:='41,3';  
StringGrid1.Cells[6,4]:='0,75';
```

```
StringGrid1.Cells[7,1]:='25,5';  
StringGrid1.Cells[7,2]:='18,2';  
StringGrid1.Cells[7,3]:='40,3';  
StringGrid1.Cells[7,4]:='0,85';
```

```
StringGrid1.Cells[8,1]:='22,8';  
StringGrid1.Cells[8,2]:='16,1';  
StringGrid1.Cells[8,3]:='36,6';  
StringGrid1.Cells[8,4]:='0,84';
```

```
StringGrid1.Cells[9,1]:='18,8';  
StringGrid1.Cells[9,2]:='13,0';  
StringGrid1.Cells[9,3]:='30,6';  
StringGrid1.Cells[9,4]:='0,82';
```

```
StringGrid1.Cells[10,1]:='12,5';  
StringGrid1.Cells[10,2]:='7,5';  
StringGrid1.Cells[10,3]:='23,6';  
StringGrid1.Cells[10,4]:='0,65';
```

```
StringGrid1.Cells[11,1]:='8,6';  
StringGrid1.Cells[11,2]:='4,7';  
StringGrid1.Cells[11,3]:='17,8';  
StringGrid1.Cells[11,4]:='0,58';
```

```
StringGrid1.Cells[12,1]:='6,3';  
StringGrid1.Cells[12,2]:='3,0';  
StringGrid1.Cells[12,3]:='15,2';  
StringGrid1.Cells[12,4]:='0,44';
```

```

end;

procedure TForm_isinin.DateTimePicker1Change(Sender: TObject);
var
x: TDateTime;
yil, ay, gun, Hour, Min, Sec, MSec: Word;
t:integer;
s:tgridrect;
begin
    x:=datetimepicker1.date;
    DecodeDate(x, yil, ay, gun);
    t:=ay-1;
    case t of
        0: t:=0;
        1: t:=31;
        2: t:=59;
        3: t:=90;
        4: t:=120;//31+28+31+30;
        5: t:=151;//31+28+31+30+31;
        6: t:=181;//31+28+31+30+31+30;
        7: t:=212;//31+28+31+30+31+30+31;
        8: t:=243;//31+28+31+30+31+30+31+31;
        9: t:=273;//31+28+31+30+31+30+31+31+30;
        10: t:=304;//31+28+31+30+31+30+31+31+30+31;
        11: t:=334;//31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30;
        12: t:=365;//31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30+31;
    end;
    t:=t+gun;
    edit3.text:=inttostr(t);
    q_tablo:=strtofloat(stringgrid1.cells[ay,1]);
    qd_tablo:=strtofloat(stringgrid1.cells[ay,2]);
    qo_tablo:=strtofloat(stringgrid1.cells[ay,3]);
    t1_tablo:=strtofloat(stringgrid1.cells[ay,4]);
    edit12.text:=floattostr(q_tablo);
    edit13.text:=floattostr(qd_tablo);
    edit14.text:=floattostr(qo_tablo);
    edit33.text:=floattostr(t1_tablo);
    s.top:=1;
    s.left:=ay;
    s.bottom:=4;
    s.Right:=ay;
    StringGrid1.Selection:=s;
end;

procedure TForm_isinin.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
    GroupBox1.Visible:=true;
    edit12.SetFocus;
    StringGrid1.Visible:=false;
end;

procedure TForm_isinin.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
    StringGrid1.Visible:=true;
    GroupBox1.Visible:=false;
end;

end.

```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Arif Koyun

Doğum Yeri : Isparta

Doğum Yılı : 1967

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1981 - 1984 Isparta Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümü

Lisans : 1984 - 1988 Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Lisans : 1991 - 1995 Berlin Teknik Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 1989 - 1991 Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yabancı Dil : Almanca

İş Deneyimi:

1995 - 1997 GÖLTAŞ Çimento Fabrikası, Bilgi İşlem Merkezi, Isparta

1997 - 1998 Jandarma Genel Komutanlığı, Proje Subayı, Ankara

1998 - 2000 Robert Bosch San.ve Tic. A.Ş., Bursa

2000 - 2002 Serbest Mühendislik Hizmetleri, Isparta

2002 den bu yana SDÜ, Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı'nda okutman olarak görev
yapmaktadır.