

SANAYİ TİPİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLİ FOTOVOLTAİK PANEL SİSTEM PERFORMANSININ SAYISAL OLARAK İNCELEMESİ VE GÜNEŞLENME FAKTÖR HESABI

Selçuk KEÇEL

Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü 06570,
Maltepe Ankara - kecel@gazi.edu.tr

Murat ÖNDER

Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü 06570,
Maltepe Ankara - muratonder@gazi.edu.tr

H. Güçlü YAVUZCAN

Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü 06570,
Maltepe Ankara - gyavuzcan@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada 5 kWh'lik kurulu PV güneş enerjisi sisteminin Ankara ilinin iklimsel koşullardaki incelemeleri hem Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı yardımıyla, hem de kurulu sistemden elde edilen ölçüm verileriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen karşılaştırma verilerine göre HAD programının panel yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak ortaya çıkardığı performans değerleri incelenmiştir. HAD programından elde edilen şubat ayına göre sıcaklık, ışınım değerleri ile iklimsel değerler karşılaştırılarak sınır şartları olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan sınır şartlarına göre aylık ortalama ışınım değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler doğrultusunda elde edilecek sistemin fotovoltaik panel verimi incelenmiştir. 39°46'53.9"N 32°48'43.2"E koordinatlarında yer alan 2x10m² yüzey alanına sahip toplam 32 adet 170W panele sahip sistem üzerinde inceleme yapılmıştır. Şubat ayı iklim verileri ortalamalarına göre yapılan analiz sonuçlarında panel yüzey sıcaklık değerleri ve panel yüzeylerine gelen ışınım şiddetleri Fluent programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile uygulama sonuçları uyumluluk göstermiş olup güneşlenme faktörünün 0.8 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Panel Sistemi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Endüstriyel Sistem Tasarımı

NUMERICAL ANALYSIS OF THE INDUSTRIAL TYPE PHOTOVOLTAIC PANEL SYSTEM PERFORMANCE WITH SOLAR TRACKING AND CALCULATING OF SUNSHINE FACTOR

ABSTRACT

In this study, investigations of 5 kWh of solar PV systems which are installed in the climatic conditions of Ankara are made both the help of Computational Fluid Dynamics (CFD) program and the measurement data obtained from the installation system by comparison. According to the comparison data, depending on the performance figures revealed by the panel surface temperature is examined by the CFD program. Temperature by February, radiation values and climatic values which are obtained from the CFD program is defined as the comparison of the boundary conditions. The average monthly radiation values were determined according to the defined boundary conditions. Photovoltaic panel efficiency of the system is examined according to obtained these values. Total 32 pieces 170 W panels with a surface area 2x10m² which are located on 39°46'53.9"N 32°48'43.2"E are performed. Results of the analysis according to average February climate data, panel surface temperatures and radiation from the surface of the panel intensity is calculated by Fluent program. According to the obtained results, computational fluid dynamics and result of applications are showed compliance and sunshine factor is found to be 0.8

Keywords: *Photovoltaic Panel System, Computational Fluid Dynamics, Industrial System Design*

1. GİRİŞ

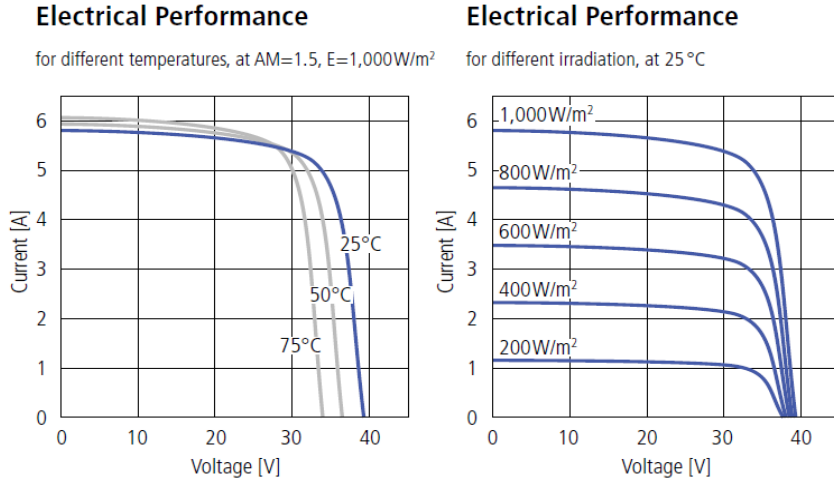
Günümüzde enerji ihtiyacı nüfus artışı, hızlı teknolojik gelişmeler, ekonomik büyüme ve küreselleşme gibi etmenlere bağlı olarak artmaktadır. Nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte küreselleşme sonucunda ticaret ve üretim miktarlarına bağlı olarak, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek amacıyla insanoğlu mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır[1,2].

Güneş enerjisi, enerji tüketimine cevap verebilmek amacıyla kullanılan alternatif enerji kaynaklarından birisidir. Güneş enerjisi güvenilir bir kaynak olup yaygın kullanımı ile karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Güneş enerjisi donanımlarının imalatı ve enerji üretim aşamalarında önemli bir çevre kirliliği de yaratmamaktadır. Elektrik üretimi için kullanılan teknolojilerin başında gelen güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Güneş Pillerine dayalı fotovoltaik (PV) güç sistemleri, akım ve voltaj gereksinimlerine bağlı olarak düzenlenmiş PV modüller, sistemde depolamaya gereksinim varsa aküler ve kontrol alt sistemi ile DC/AC dönüşümünü sağlayan çeviricilerden oluşmaktadır[3].

Fotovoltaik panellere ilişkin çalışmalar yüksek sıcaklıklarda elektriksel verimin maksimuma ulaşması yönünde daha fazla malzeme özelliklerine üzerinde yoğunlaşmasına rağmen, daha az dikkat edilen fotovoltaiklerin sıcaklık ve çıkış verimleri üzerinde modül geometrileri üzerine çalışmalarda artış yaşanmaktadır [4,5].

Fotovoltaik panellerin maksimum güç çıkışı ve elektriksel verim sağlayabilmesi tamamen panel üzerindeki silikon modüllerin sıcaklığına bağlıdır [4,6]. Maksimum güç ile hücre sıcaklığı arasındaki ilişki lineerdir. Mattei ve diğerleri kristal silikon modüllerin her 1°C'lik sıcaklık artışı için veriminin yaklaşık %0,5 oranında düştüğünü göstermişlerdir [7]. Bu oran küçük gibi görünse de ticari modüllerin verim oranlarının %12-18 aralığında olduğu ve çalışma süresince modüllerin 42°C kadar yükselbildiği görülmektedir [4,8]. Modüller standart test koşulları altında 25°C'de test edilirler ve PV panel elektriksel verimleri belirlenir. Bu

çalışma kapsamında kullanılan Loretnz marka panellere ait elektriksel verimler Şekil 1'de gösterilmektedir [9].



Şekil 1. Loretnz 170W Güneş Paneline ait elektriksel performans değerleri [9.]

Şebekeye bağlı PV santrallerinin güçleri 100 kW ile onlarca MW arasında değişmektedir. Yine şebekeye bağlı ancak dağıtılmış durumda olan bina çatı ve yüzeylerine yerleştirilen sistemler ise 1kW ile 50kW arasında değişmektedir [10]. Bu çalışmada Ankara-Gölbaşı ilçesinde kurulu olan 380V çıkış gerilimine sahip panel sisteminin performansı, HAD programı ile analiz edilerek elde edilen sonuçların panel sisteminden alınan verilerle karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışma HAD programlarının genellikle diğer akış problemlerinde kullanılmasına ilave olarak, PV panellerin kurulumu öncesinde seçilecek yerler için ön çalışma yapılmasına imkân verebilecek örnek bir çalışma olmasıyla önemli olduğu görülmektedir. Özellikle binalardan kaynaklı gölgelenmelerin önüne geçilmesi, yıllık performans analizlerinin kurulum öncesinde hesaplanmasına, iklimsel verileri ve coğrafi özellikleri bilinen her türlü yerleşim yerine uygulanabilmesi gibi özellikleriyle de ayrıca önemlidir.

2. MATEMATİKSEL MODEL

Akışkan fazın radyasyona veya bir ısı ve radyasyon kaynağına maruz kalmasından dolayı yüzeyinde oluşturulabilecek ısıtma veya soğutma

Gazi Journal of Engineering Sciences

işlemlerinde sonlu hacimler yönteminde geliştirilen metotlar kullanılmaktadır. Bu kaynaklara ek olarak yapılacak olan simülasyonlarda Güneş ışınımını etkisini ortaya koymak amacıyla geliştirilmiş "Solar Load" modülü de kullanılabilir. Isı akısı olan durumlarda modellemelerde aşağıdaki eşitlikten yararlanır.

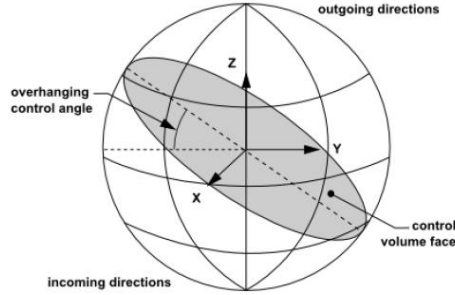
$$Q_{rad} = \epsilon [T_{max}^4 - T_{min}^4] \quad (1)$$

\vec{s} yönünde ve \vec{r} pozisyonunda emilim, yayılım ve saçılım için geliştirilmiş ışınım transfer denklemi;

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (\alpha + \epsilon_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = \alpha n^2 \frac{\epsilon T^4}{\pi} + \frac{\epsilon_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (2)$$

olarak tanımlanmıştır. $(\alpha + \epsilon_s)$ ise optik kalınlık veya ortamın opaklığını göstermektedir. Yarı saydam tabakada gerçekleşen radyasyon çözümlerinde ise n indisi önem taşımaktadır[11,12].

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programlarından "Fluent", hesaplama bölgesine giren güneş ışınımından gelen radyasyon etkisinin değerlerini tespit emektedir. Solar yük modeli için kullanılacak *Güneş Işınımı İzleme ve Ordinat Ayırıklaştırma Işıması* olmak üzere iki ayrı algortima bulunmaktadır. Işınım izleme modeli (algoritması) enerji eşitliklerinde ısı kaynağı olarak güneş yükü uygulaması anlamında pratik ve yüksek verimde kullanılabilir. Ordinat ayırıklaştırma modelinin (algoritması) kullanılacağı çalışmalarda çözüm bölgesi içindeki radyasyon etkisi hesaplanabilmektedir. Solar yük modeli, saatlik, günlük ve verilen pozisyon için güneşin gökyüzünde konumuna göre hesaplama yapabilmektedir. Solar yük modeli 3 boyutlu çözümlerde hem zamana bağlı hem de zamandan bağımsız olarak kullanılabilir[11].



Şekil 2. Yüzey ile kontrol açısı arasındaki ilişki

Güneş ışını izleme algoritması, güneşten doğrudan gelen radyasyon sonucunda enerji kaynağının yaydığı değerlerin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu modelde, güneş pozisyon vektörü ve aydınlanma parametreleri kullanılarak parlama sağlanmaktadır. Böylece güneş pozisyon vektörü ile yayılan radyasyon sonucunda sınır yüzeyleri üzerinde oluşan ısı akısının hesaplanması ve iç duvarlar ile tüm sınır yüzeylerde oluşan gölgelenmenin en iyi şekilde belirlenmesi için yüzeyden-yüzeğe analiz performansları sağlanır (Şekil 2.)[11].

3. AKIŞ SİMÜLASYONLARI VE GÜNEŞ HARİTALARININ ÇIKARIMI

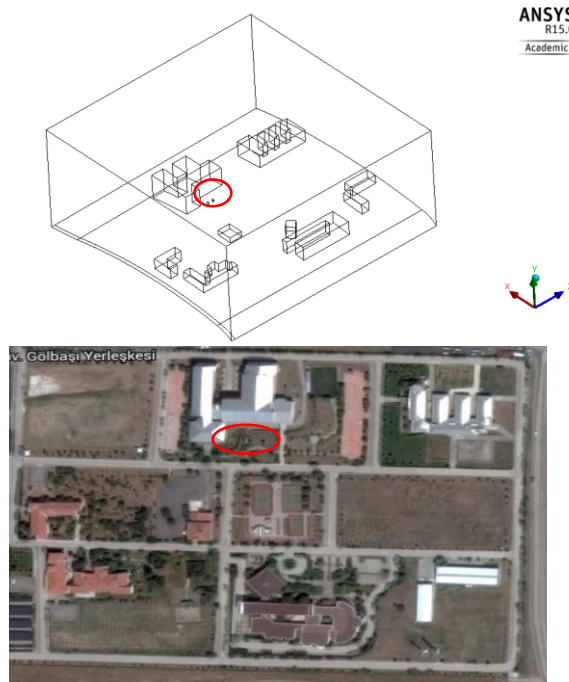
Ankara Gölbaşı ilçesinde $39^{\circ}46'53.9''N-32^{\circ}48'43.2''E$ koordinatlarında yer alan yer alan 5kWp'lik iki takip sistemi coğrafi özellikler ve zemin düzlem eğimleri göz önüne alınarak modellenmiştir. Programda Kuzey yönü z ekseninde "-1" değeri ile, Doğu yönü ise x ekseninde "+1" verilerek tanımlanmış olup, 21 Şubat tarihi itibarıyla GMT +2 olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda sabah 08.00 saati itibarıyla ışınım değerleri saatlik olarak program üzerinden hesaplanmıştır. Ayrıca ölçülen bölgesel rüzgâr hızı da modellemeye alınmış ve güneydoğu yönünde 4,3 m/s olarak tanımlanmıştır.

Kurulan model iki aşamalı analiz sürecinden geçirilmiştir. İlk olarak bilgisayar ortamında hazırlanan model enlem ve boylam dereceleri üzerinden bilgisayar programına tanıtılmıştır. Böylece çizilen geometrinin dünya üzerinde yer aldığı nokta gerçek modele uyarlanmıştır. Daha sonra aylara göre yapılan hesaplama sonucu takip sistemleri üzerinde yer alan panellerin yüzeyine gelen

Işınım ve Sıcaklık değerleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise belirli aralıklarda panel yüzeylerinde oluşan sıcaklık dağılımları termal kamera aracılığıyla ölçülmüştür. Ayrıca panel üreticisi firma tarafından tanımlanan sıcaklık ve ışınım eğrileri de göz önüne alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

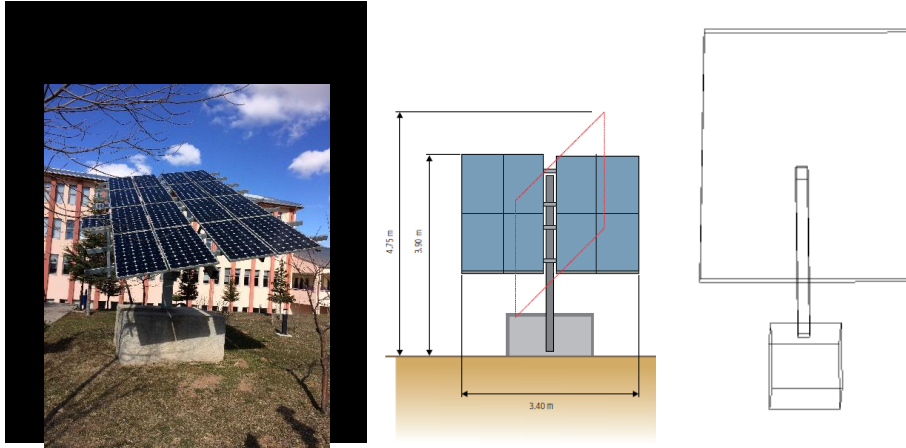
3.1. GEOMETRİK MODEL

Güneş haritası çıkarırken ilk aşamada, hazırlanmış bina modelinin üst kısmına fotovoltaik takip sisteminde kullanılan Lorentz marka 10 m² yüzey alanına sahip "Etatrack 1000" modeli kullanılmıştır. Takip sistemleri Gazi Üniversitesi Gölbaşı yerleşkesinde yer düzlemine göre 40°'lik bir açı ile yerleştirilmiş olup bilgisayar modelinde de aynı değer kullanılmıştır. Oluşturulan akış hacmi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Bina modellemesi ve dış akış hacmi

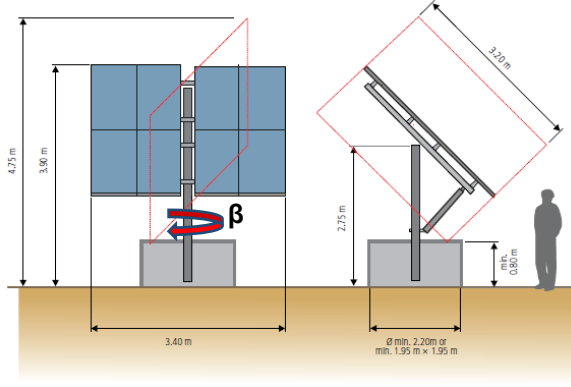
Bununla birlikte panel ve takip sistemine ait oluşturulan geometrik model Şekil 3'te verilmiştir. İki ayrı grup halinde modellenen takip sistemleri 32 (16+16) adet 170W'lık panelin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Takip sisteminin mevcut hali ile şematik ve modellenmiş görünümü Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Takip sistemine ait görünüm ve teknik değerler

Güneş takip sistemlerinin, saatlik takip açıları farklı geometrilere hazırlanmıştır. Takip sistemlerinin teknik ölçüleri ile saatlik dönüş açılarını gösteren veriler Şekil 3'te gösterilmiştir. Design Modeler programında hazırlanan model üzerinde tam güneşe bakacak şekilde yerleştirilen iki sistemin, dikey yerleşim açısından sabit (40°) olup, yatay ekseninde hareketli olacak şekilde yerleştirilmiştir. Hareketli olan β açısında 0° ile 80° aralığında saatlik olarak 8° 'lik açı ile hareket edebilecek şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 5).

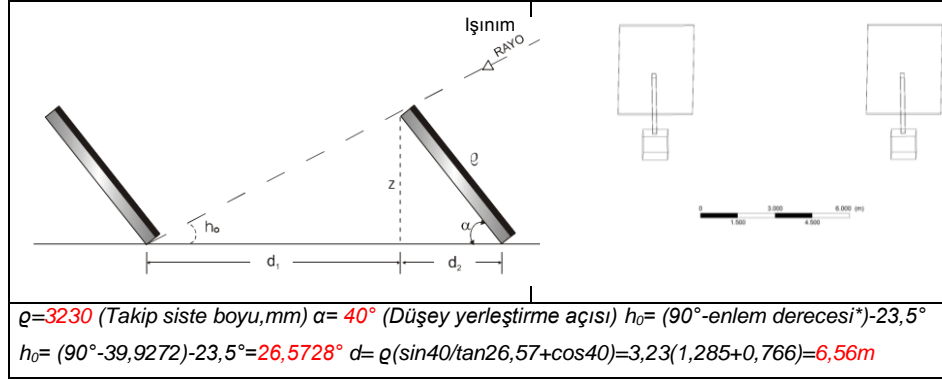
Yatay hareket yönü değiştirilerek hazırlanan toplam 10 ayrı model 21 Şubat tarihi esas alınarak 08.00-18.00 saat aralıklarında saatlik olarak analiz edilmiştir. Hareketli sistemin saatlik dönüş açıları (β) Şekil 5'te verilmiştir.



Saat	β
08.00	0°
09.00	8°
10.00	16°
11.00	24°
12.00	32°
13.00	40°
14.00	48°
15.00	56°
16.00	64°
17.00	72°
18.00	80°

Şekil 5. Güneş Takip açısı ve Saatlik açı değişimleri

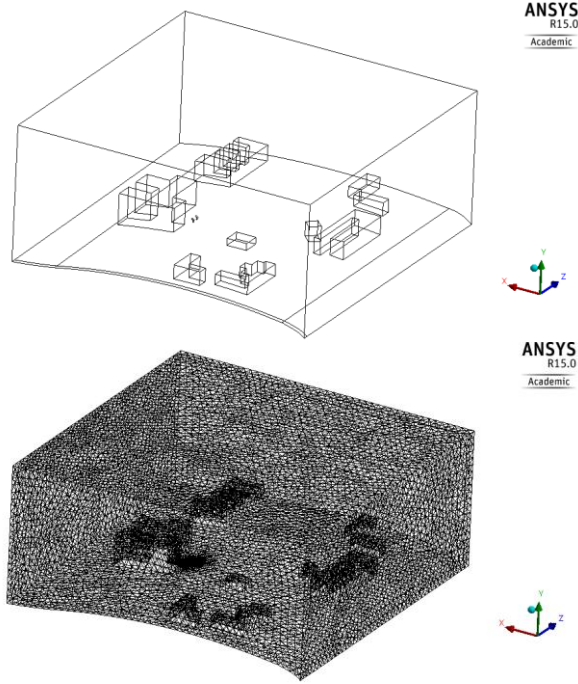
Yerleştirilen sabit ve hareketli sistemin birbirini hareket esnasında gölgelendirmemesi amacıyla yapılan örnek hesaba ilişkin detay Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre hazırlanan sistemlerin birbirini engellememesi amacıyla aralarında bırakılacak en az mesafenin 6,56 m olması gerekmektedir [11].



Şekil 6 Gölgeleme mesafesi

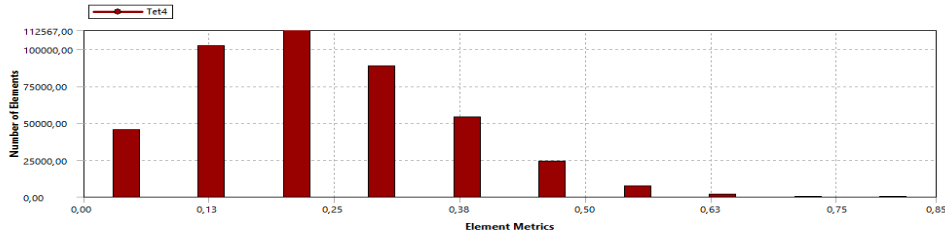
3.2. DÜĞÜMLEME İŞLEMLERİ

Kurulan geometrik model üzerinde sayısal çözümlemeye en doğru sonuca ulaşmak için önemli olan sayısal ağ modülü üç boyutlu olarak kurulmuştur.



Şekil 7. Bina modeli, sınır şartları ve düğümleme

Düğümleme modülünde Tetragonal şeklindeki düğüm yapıları kullanılmıştır. Sayısal çözümde yakınsama açısından önemli olan düğümlerin kalitesine bakıldığında Skewness değerinin 0'a yaklaştıkça kalitesinin yükseldiği 1'e yaklaştıkça kötüleştiği bilinmektedir[11]. Bu çalışmada model üzerinde kurulan düğümlerin çarpıklık (skewness) değerleri incelendiğinde %90'a yakın bölümün düğüm kalitesi 0.5 değerinin altındadır.



Şekil 8. Düğüm kalitesi

Yapılan düğümlemede 80.046 düğüm ve 434.435 nokta bulunmaktadır (Şekil 6).

3.3. SINIR ŞARTLARI

Giriş bölgesi sınır şartlarında Şubat ayı ortalama sıcaklık değeri 10°C olup, rüzgâr hızı güneydoğu yönünden 4,3 m/s'lik hızda tanımlanmıştır. Güneş ışınımını modellemek amacıyla "Solar Load" modülü kullanılmıştır. Yerçekimi etkisi y ekseninde "-9,81m/s²" olarak tanımlanmıştır. Bu tip analizlerde en önemli noktalardan biri çizilmiş olan geometrinin dünya yüzeyinde yer aldığı coğrafi konumun tam olarak programa tanımlanabilmesidir. Bu aşamada enlem ve boylam değerleri ile Uluslararası saat diliminde tanımlanması önemli bir basamaktır. Ankara ili Gölbaşı ilçesi için belirlenen değerler sisteme tanımlanmış ve hareketli takip sisteminin saatlere göre ayarlanan yatay açısı modellenerek saatlik olarak belirlenmiştir.

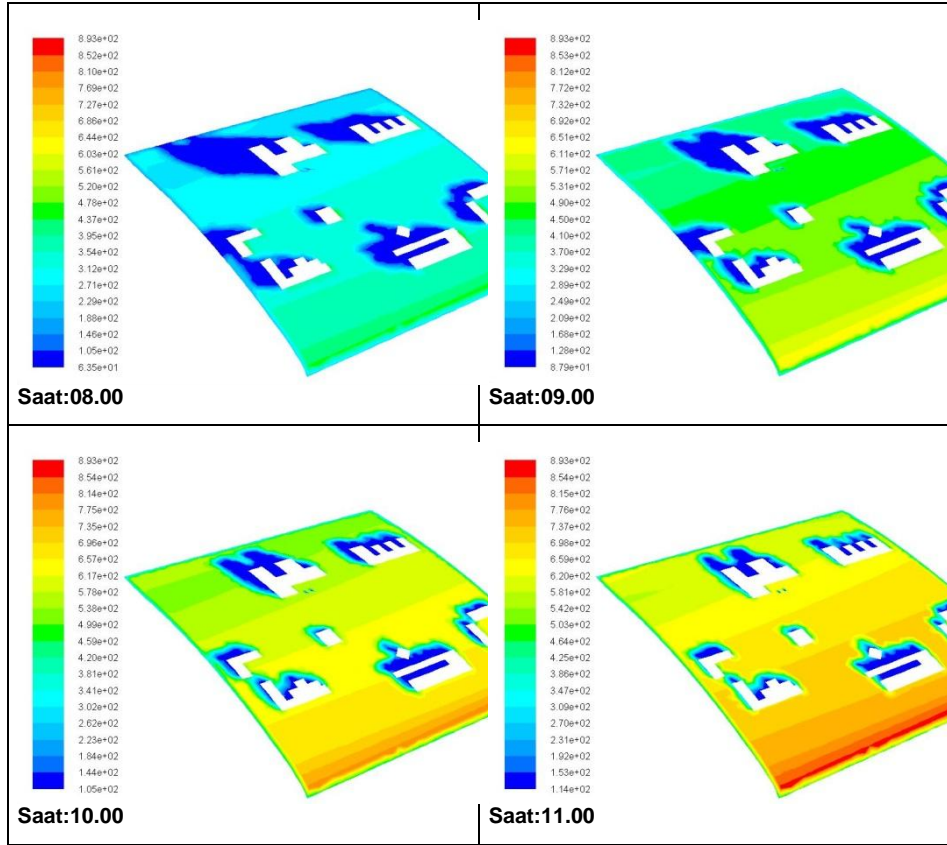
4. BULGU VE YORUMLAR

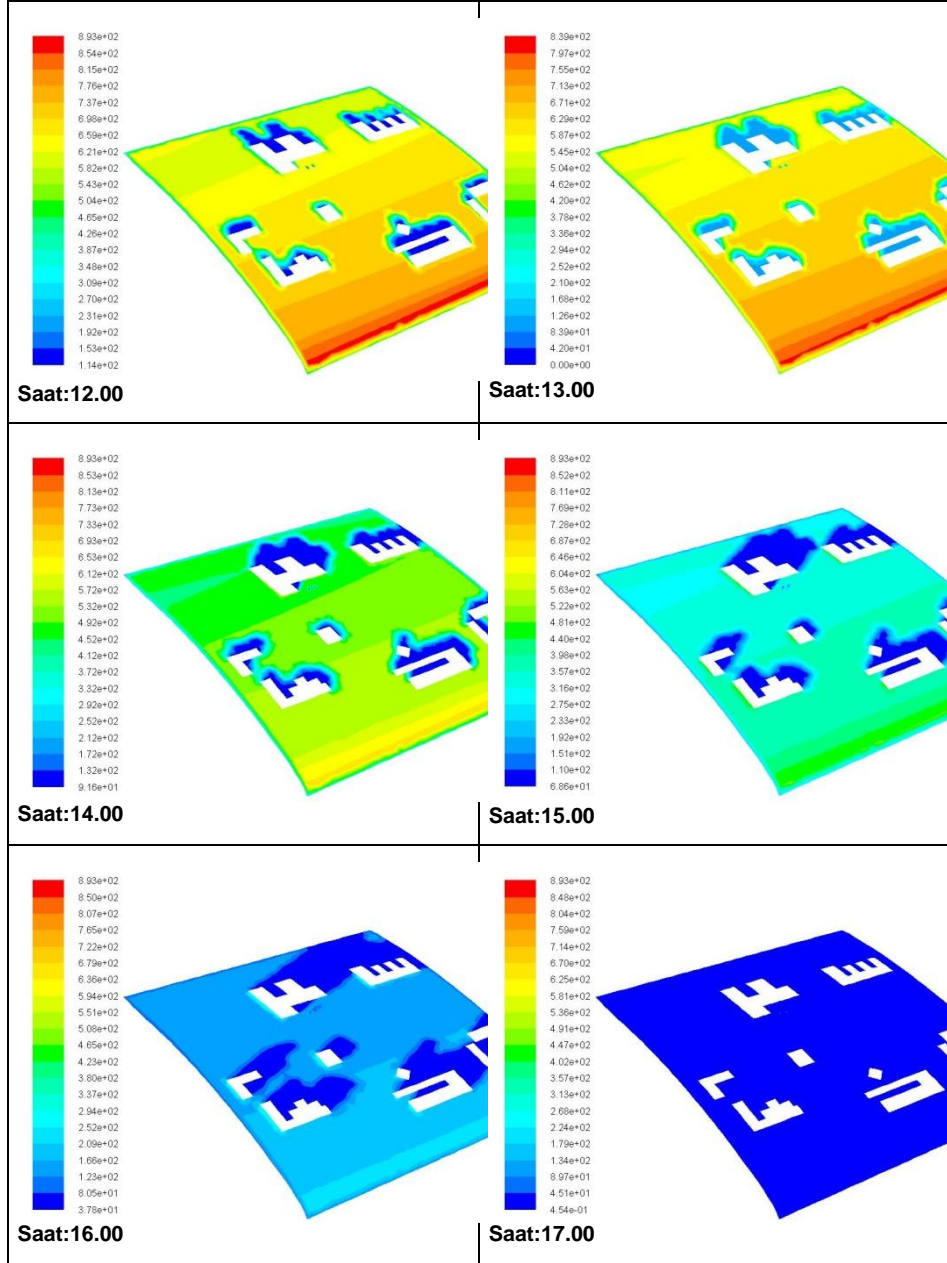
Hazırlanan 10 farklı modele ilişkin senaryo saatlik olarak uygulanmış olup, zamandan bağımsız olarak çözümlenen modeller Basınç tabanlı çözücü kullanılmıştır. Türbülans modeli k-ε, olarak belirlenmiş ve çözümler yaklaşık 500

iterasyon sonunda yakınsama göstermiştir. Elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmeler ışınım, sıcaklık ve verim parametreleri ile değerlendirilmiştir. Bu bölümde takip sistemli güneş panellerinin yatay ekseninde hareket ettirilmesi durumunda hem HAD programı hem de kurulu sistem üzerindeki değerlerin termal kamera aracılığıyla karşılaştırılarak incelenmiştir.

4.1. GÜNEŞ IŞINIMI VE HARİTALANDIRMA

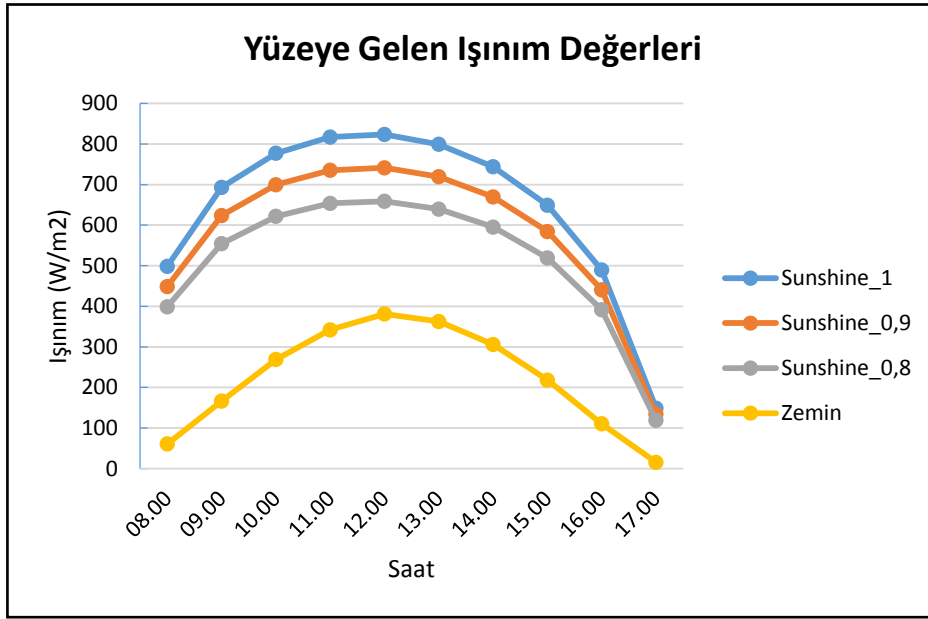
Güneşlenme faktörünün 1 olarak düşünüldüğü durumlarda oluşan ışınım miktarları Şekil 9'da verilmiştir.





Şekil 9. 21 Şubat Saat 08.00-17.00 aralığında yüzeye gelen ışınlm şiddetleri (W/m^2)

Ölçüm yapılan Şubat ayına ilişkin havanın bulutlu olması güneşlenme faktörleri değerinin de hesaplanmasını gerektirmektedir. Bu durumda HAD programında yapılan hesaplamalarla panel yüzeylerinde oluşan sıcaklık etkilerinin sonuçları karşılaştırılarak gölgelenme faktör hesabı yapılmıştır.



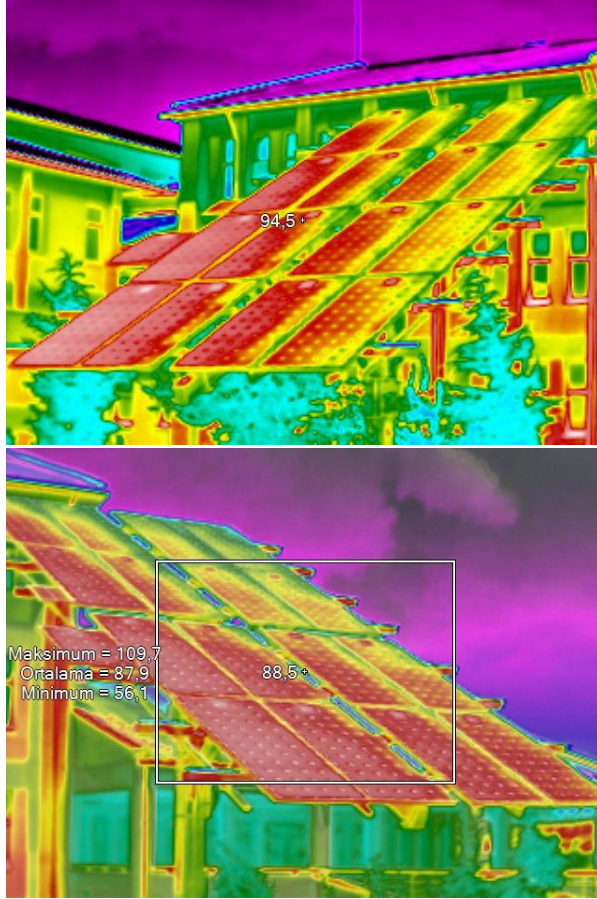
Şekil 10. PV takip sistem yüzeyine ve yer düzlemine gelen ışınım değerleri (W/m^2) ve güneşlenme faktörleri

Modeli kurulan hesaplama alanında güneş ışınım değerlerine bakıldığı zaman güneş geliş açısının kış döneminde daha eğimli olduğu düşünülürse, hesaplama hacminde zemine gelen ışınım miktarları oldukça düşmektedir. Takip sistemlerinin yer düzlemine göre sabit yıllık 40 derece açıda yerleştirilmesi sonunda panel yüzeylerine gelen ışınım artmış ve panellerin çalışma verimleri yükselmiştir.

4.2. SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

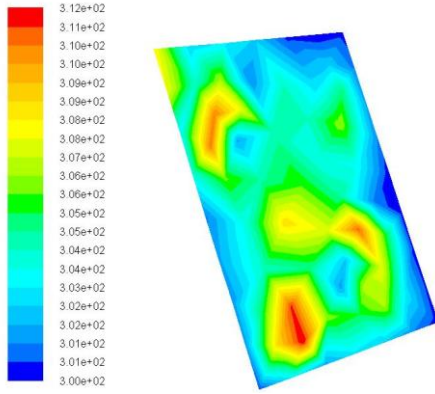
Panel yüzeylerinde ve çıkış noktasındaki sıcaklık değerlerinin değişimine yönelik yapılan incelemeler sonunda elde edilen veriler Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre saat 13.00 civarında termal kamera aracılığıyla yapılan ölçüm

sonunda elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 11'de görülmektedir. HAD programından aynı sınır değerleri için önceden yapılmış analiz sonuçları da Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 11. Takip sistemi yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerleri (°F)

Güneş takip sistemleri üzerinde panel yüzeylerinde oluşan sıcaklık dağılımına ilişkin görünüm Şekil 11'de verilmiştir. Yaklaşık sıcaklık değişiminin 10°C civarında oluşu görülmektedir. Ayrıca takip sistem yüzey ortalamasının 30°C ((88-32)/1,8) olduğu termal kamera kayıtlarından görülmektedir. Buna göre 21 Şubat tarihi saat 13.00 civarı için yapılan HAD analizine ilişkin sonuçlar da Şekil 12'de verilmektedir.



Şekil 12. HAD programı PV takip sistemi yüzey sıcaklıkları (°C)

Buna göre güneşlenme faktörünün 1 olarak seçildiği görünümde ortalama sistem sıcaklıkları **41,035°C** olurken, güneşlenme faktörünün 0.9 olduğu durumda sıcaklık ortalamaları **39,667°C** olmuş, güneşlenme faktörünün 0.8 olduğu durumda sıcaklık ortalamaları **35,677** olmuştur. Bu durumda 21 Şubat gününe ilişkin yapılan değerlendirmelerde HAD programında yapılan analiz ve termal kamera görüntülerinin karşılaştırılmasıyla güneşlenme faktörünün 0.8 olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programları birçok alanda çözümlenme ve akış görselleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik panelli takip sisteminin coğrafi ve iklimsel koşullarda meydana getirdiği performansın incelenmesinde kullanılmıştır. Mevsim verilerine göre hazırlanan kurulum öncesi raporlara göre teorik olarak belirlenen değerlerin bazı durumlarda değiştiği bilinmektedir. Bu amaçla güneşlenme faktörünün hesaplanmasına yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada elde olan teknik ölçüm verileri ile HAD programının hesapladığı değerler karşılaştırılarak, belirlenmesi oldukça zor olan verim kayıplarından güneşlenme faktörünün değeri bulunmuştur. Ayrıca güneşten gelen ışınımın Panel yüzeylerinde oluşturduğu sıcaklık etkilerinin incelenmesinde de programın faydalı olduğu söylenebilir.

Güneş panel sistemlerinin kurulumundan önce benzeri HAD analizlerinin yapılması hem sistem verimin önceden belirlenmesine hem de kullanıcılardan gelecek sistem taleplerine ne oranda cevap verebileceğine ilişkin veri üretmede başarılı olacaktır. Ayrıca HAD analizleri ile sistem kurulumundan önce meydana gelebilecek riskleri değerlendirme fırsatı vermesinden dolayı maliyet ve zaman kazancı sağlayabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynakları, Güneş Enerjisi, *Alt grup raporu, Çevre Bakanlığı*, Ankara, 27 (2004).
2. Keçel S. "Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi" Y. Lisans Tezi Gazi Üniversitesi, 2007. Ankara
3. Quaschnig, V., "Understanding Renewable Energy Systems", Toronto, **ON**, Canada, 117 (2005).
4. Michael J. Wilson, Manosh C. Paul., 2011. "Effect of mounting geometry on convection occurring under a photovoltaic panel and the corresponding efficiency using CFD", *Solar Energy* 85, 2540–2550.
5. Skoplaki, E., Boudouvis, A.G., Palyvos, J.A., 2008. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 92, 1393–1402.
6. Nordmann, T., Clavadetscher, L., 2005. Understanding temperature effects on photovoltaic system performance, <http://www.ieapvps.org/products/download/pap2_033.pdf> (accessed 23.02.10.)
7. Mattei, M., Notton, G., Cristofari, C., Muselli, M., Poggi, P., 2005. Calculation of the polycrystalline PV Module temperature using a simple method of energy balance. *Renewable Energy* 31, 553–567.
8. Radziemska, E., Klugmann, E., 2006. Photovoltaic maximum power point with illumination and temperature. *Journal of Solar Energy Engineering*, 128, 34–39.
9. Lorentz LA170-24S Product Catalog, 2010. BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG, www.lorentz.de.
10. Hamzaçebi, C., "Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases", Elsevier Science Direct, *Energy Policy*, 35:2009–2011 (2007).
11. ANSYS, Inc. Fluent Theory Guide, Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, USA November 2011.

12. Versteeg H.K.,-Malalasekera W., An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method, Pearson Prentice Hall Second edition, 2007:16