

# SABİT VE TAKİP SİSTEMLİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ISIL PERFORMANSLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Selçuk Keçel

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

## ÖZET

Güneş enerjisinin önemli kullanım alanlarından birisi olan güneş kolektörleri, borular içinde hareket eden suyun güneş ışınımı ile ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Kolektörler genellikle sıcak su ihtiyacının karşılandığı binaların çatısına çeşitli konstrüksiyonlar ile sabitlenmektedir. Genellikle sabit sistem ile takip sistemleri arasındaki verim farklılıkları fotovoltaik sistemlerin verimleri üzerinden karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada farklı olarak  $10m^2$ 'lik yüzey alanına sahip biri hareketli diğeri sabit olan iki sistem üzerine kurulacak güneş kolektör sistemlerinin ısı analizi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri (HAD-CFD) ile yapılmıştır. Bu çalışmada,  $930*1930mm$  boyutlarındaki alüminyum boru kullanılan model üzerinde  $2*25mm$  çapında ana boruya bağlı olarak yerleştirilen 8 adet  $12mm$  çaplı boru bulunan kolektörlerin çalışma verimi incelenmiştir. Modellemelerde, güneş kolektörlerindeki debi değeri  $20-60kg/h$ , kolektör içinde dolaşan suyun giriş sıcaklığı  $40 - 50^{\circ}C$ , çıkış sıcaklığı ise  $50 - 70^{\circ}C$  aralıklarında ölçülmüştür. İki aşamalı olarak gerçekleştirilen modelleme sürecinde ilk aşamada Ankara ili için bina çatısına yerleştirilen iki sistemin yüzeyinde oluşan sıcaklık ve ışınım değerleri 21 Haziran tarihinde 08.00-18.00 saatleri arasında belirlenerek güneş haritaları çıkarılmıştır. İkinci aşamada ise  $10m^2$  yüzey alanına sahip sabit ve hareketli sistem üzerinde yer alabilecek toplam sekiz adet kolektörün zamana bağlı ısı analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonunda sabit ve hareketli sistem üzerinde yer alan kolektörlere ait verim, yüzey sıcaklıkları, takip açıları saatlik olarak incelenmiştir. Böylece kurulacak olan sistemler için kullanıcılara maliyet faktörlerini göz önüne alarak gerekli ihtiyacın karşılanmasına yönelik bilgi akışı sağlanmış olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kolektör verimi, Güneş Haritası, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

## COMPARISON OF THERMAL PERFORMANCES OF FIXED AND TRACKING SOLAR COLLECTORS WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

### ABSTRACT

*Solar collectors, one of the important areas of use for solar power, are based on the principle of heating water flowing through piping systems with solar radiation. Collectors are mostly fixed with various constructions on roofs of buildings, which provide hot water. Efficiency differences between fixed systems and tracking systems are generally compared over efficiencies of photovoltaic systems. As a different this study, the thermal analysis of solar collector systems to be installed on two systems, one being fixed and the other tracking system, with a surface area of  $10\text{m}^2$ , was made with Computational Fluid Dynamics Analyses (CFD). This study examines the operating efficiency of collectors equipped with eight 12mm diameter pipes located in connection to the main pipe of  $2*25\text{mm}$  diameter on two models, which embody a  $930*1930\text{mm}$  aluminum pipe. In the models, the flow rate of solar collectors was measured  $20/60\text{kg/h}$ , inlet temperature of the water flowing through collectors was  $40^\circ\text{C}$  and outlet temperature was  $50-70^\circ\text{C}$ . Throughout the modeling process completed in two stages, solar charts were generated by obtaining temperature and radiation values on the surface of two systems located on the building roof for the city of Ankara between 08.00 and 18.00 on June 21 in the first stage. In the second stage, time dependent thermal analyses were made for eight collectors in total, which can be placed on a fixed and mobile system with a surface area of  $10\text{m}^2$ . These analyses allowed for the evaluation of efficiency, surface temperature, and tracking angle values of the collectors on an hourly basis on the fixed and mobile system. Therefore, the information flow will be provided to users to meet the requirements considering cost factors for the systems to be installed.*

**Keywords:** Efficiency of collector, Solar Maps, Computational Fluid Dynamics

## 1. GİRİŞ

Türkiye, 36° ve 42° Kuzey enlemleri arasındaki güneş kuşağında bulunmaktadır. Yıllık ortalama güneş ışınımı 3.6 kWh/m<sup>2</sup>gün ve yıl boyunca ortalama toplam güneşlenme süresi yaklaşık olarak 2640 saattir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeline karşın, düz yüzeyli kolektörler hariç güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmamaktadır. Sıcak su üretiminde kullanılan bu kolektörler genellikle güneşli bölgeler olarak bilinen kıyı ve güneydoğu bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır [1]. Temiz enerji kullanımı bilincinin az olması, sadece ilk yatırım maliyetinin göz önüne alınması, teknik bilgi eksikliği ve bu konudaki bilginin son kullanıcıya ulaştırılmaması, eski sistemlerinin (ki şu anda yaygın olarak kullanılmaktadır) daha düşük verimli olması gibi nedenler güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin önündeki engellerdir[2].

Tagliafico ve ark., zamandan bağımsız olarak uyumlu hale getirilmiş pahalı ve karmaşık deneysel testler ile termal güneş kolektörlerinin davranışları incelendiğini ve geliştirilen nümerik yaklaşımlar ile test edilip geliştirildiğini ifade etmişlerdir. Yine yıllar içinde hesaplama kapasitesinin gelişimi ile birlikte Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin (HAD-CFD) güneş kolektörlerinin geliştirilmesinde güçlü bir araç olduğunu ifade etmiştir[3].

Güneş kolektörlerinin analizleri konusunda yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Fan ve arkadaşları tarafından modellenen kolektörde 2,27 m uzunluğunda, 5,96 m genişliğindeki kolektörün çıkış borusuna 30 cm mesafeye yerleştirilen sıcaklık sensörleri aracılığıyla benzer ölçümler yapılmıştır. Yatay olarak birleştirilmiş 16 tane absorbe edici plakadan oluşan 12,5 m<sup>2</sup>'lik yüzey alanına sahip güneş kolektörde sayısal ve deneysel olarak akış incelemesi ile sıcaklık dağılımları araştırılmıştır [4]. G. Martinopoulos ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada da Polikarbon malzemeden üretilen farklı bir kolektör için yapılan çalışmada akış dağılımları incelenmiş ve siyah akışkan madde kullanılan bu sistemde aracı akışkanın sıcaklık dağılımı verilmiştir[5]. Selmi ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri üzerinde ticari bir HAD programı ACE+ kullanılmışlar ve nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda sıcaklık profilleri arasında iyi bir uyum yakalamışlardır[6]. Turgut ve ark.

tarafından yapılan çalışmada zorlanmış hava akışı ile düz yüzeyli kolektörlerin üzerindeki ısı transfer katsayısının ortalaması belirlenmiştir [7].

Bu çalışmada genellikle güneş takibi yapan fotovoltaik sistemlerde kullanılan takip sistemin güneş kolektörleri üzerinde kullanılması durumunda ortaya çıkacak verim farkının tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilmiştir. Ankara ilinde kurulu olan takip sisteminin yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımının bilinmesinden yola çıkılarak güneş paneli yerine kolektör yerleştirilmesi senaryosu hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile analiz edilmiştir. Bu kapsamda analizi yapılan kolektörün üretilen ve verim değerleri bilinen bir model olmasına dikkat edilmiştir. Böylece sabit açıda yerleştirilen verimi bilinen kolektörün takip sisteminde olması durumu incelenmiştir. Bu açıdan çalışma diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

Akışkan fazın radyasyona veya bir ısı ve radyasyon kaynağına maruz kalmasından dolayı yüzeyinde oluşturulabilecek ısıtma veya soğutma 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 akışı olan durumlarda modellemelerde aşağıdaki eşitlikten yararlanır.

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

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

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a + \sigma_s)I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (2)$$

olup,

$\vec{r}$ = pozisyon vektörü

$\vec{s}$ = yön vektörü

$\vec{s}'$ =saçılım yön vektörü

$s$ =yol uzunluğu

$\alpha$ =absorbsiyon katsayısı

$n$ = kırılma indisi

$\sigma_s$ =saçılım etkinliği

$\sigma$ =Stefan-Boltzman sabiti ( $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$ )

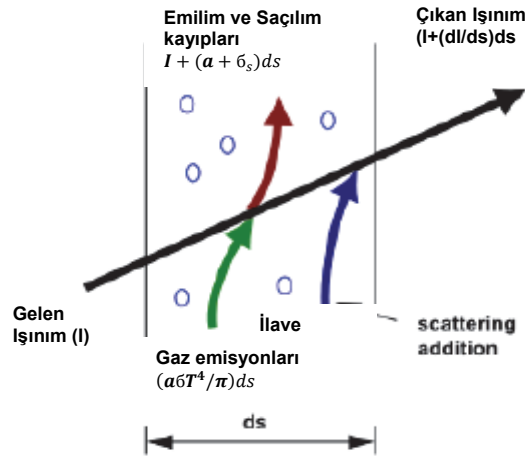
$I$ =ışınım yoğunluğu  $\vec{s}$  yönünde ve  $\vec{r}$  pozisyonunda

$T$ =ortam sıcaklığı

$\Phi$ =faz fonksiyonu

$\Omega'$ =yüzey Açısı

olarak tanımlanmıştır.  $(\alpha + \sigma_s)$  ise optik kalınlık veya ortamın opaklığını göstermektedir. Yarı saydam tabakada gerçekleşen radyasyon çözümlerinde ise  $n$  indisi önem taşımaktadır. Aşağıdaki şekilde ışınlama gerçekleşen ısı transferlerinde gerçekleşen durumu göstermektedir [8].



Şekil 1. Işınlama ile Isı Transferi

Ayrıca güneş haritalarının çıkarımı sırasında çözülen modele ilişkin oluşabilecek türbülanslı akış için k-ε modeli kullanılmıştır. Kararlı ve üç boyutlu bir akış için kütle korunumu denklemi aşağıdaki Eşitlik 3'te ifade edilir.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Kararlı ve üç boyutlu bir akış için türbülanslı akış momentum denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (4)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (5)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (6)$$

Navier-Stokes denklemleri sonlu hacimler yönteminin gelişiminde daha kullanışlı bir biçimde yazılabilir. Akış alanı üzerindeki türbülans etkileri, sıklıkla türbülanslı akış modellemek için kullanılan ve k-ε türbülans modeli tarafından hesaplanan  $S_{mx}$  aracılığıyla Reynolds gerilmelerinin tamamında kullanılır [9,10].

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}u) + S_{Mx} \quad (7)$$

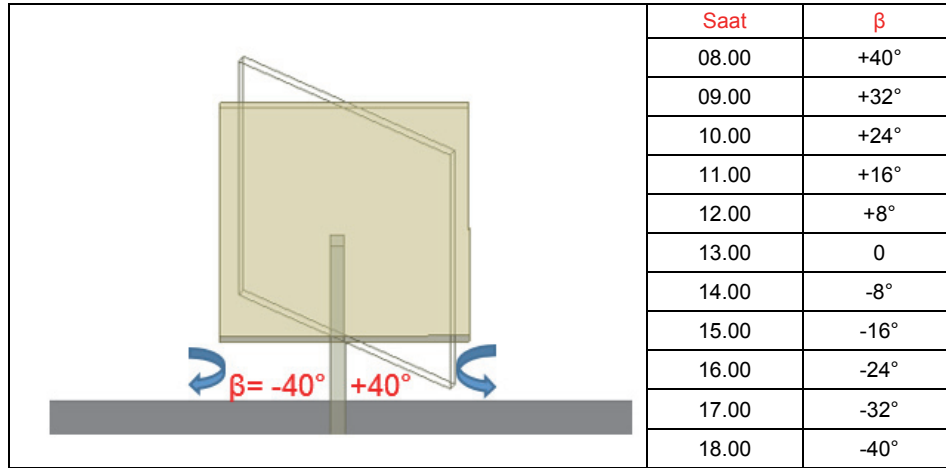
$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad}v) + S_{My} \quad (8)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad}w) + S_{Mz} \quad (9)$$

Etki alanı sınırları haricindeki bölgeler için sonlu hacim yaklaşımı Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemlerini cebirsel denklemlere dönüştürmek için, yapılandırılmamış katsayı kullanarak cebirsel denklemlerin nümerik olarak çözülmesini sağlar[9].

### 3. AKIŞ SİMÜLASYONLARI

Güneş kolektörlerinin yer seçimi ve kurulum öncesi performanslarının belirlenmesine kaynaklık edecek bu çalışma iki aşamalı bir modelleme sürecinden geçirilmiştir. İlk aşamada sabit ve hareketli sistem yüzeylerinde saatlik ışınım ve yüzey sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle sistemsel kıyaslama yapabilmek amacıyla Ankara ilinin coğrafik verilerine göre (enlem ve boylam) güney istikametine bakan bir binanın çatısına 10 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip iki biri hareketli diğeri sabit olan toplam 8 adet 2,35 m<sup>2</sup>'lik kolektör modelinin yerleştirilebileceği bir sistem üzerinde analiz yapılmıştır. Öncelikler "Design Modeler" programında hazırlanan model üzerinde tam güneye bakacak şekilde yerleştirilen iki sistemin, dikey yerleşim açısından sabit (40°) olup, yatay ekseninde biri hareketli diğeri sabit olacak şekilde yerleştirilmiştir. Hareketli olan  $\beta$  yönünde -40° ile +40° aralığında saatlik olarak 8°'lik açı ile hareket edebilecek şekilde konumlandırılmıştır (Şekil-1). Daha sonrasında yatay hareket yönü değiştirilerek hazırlanan toplam 11 ayrı model 21 Haziran tarihi esas alınarak 08.00-18.00 saat aralıklarında saatlik olarak analiz edilmiştir.



Şekil 2. Güneş Takip açısı ve Saatlik açı değişimleri

İkinci aşamada ise sabit ve hareketli sistem için elde edilen ışınım ve sıcaklık değerleri doğrultusunda kolektörlerin performans incelemesi

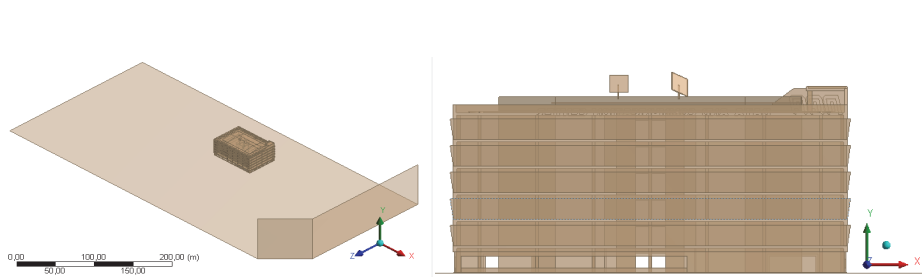
yapılmıştır. Böylece sabit ve hareketli sistem üzerindeki kolektör yüzeylerine gelen ışınım miktarlarına göre kolektörlerin ısı analizi incelenmiştir. Bu çözümlene sürecinde haritalandırmadan elde edilen değerler kolektör modelinde sınır şartları olarak tanımlanmıştır.

### 3.1. Güneş haritalarının Çıkarımı

Ankara İline ait "Longitude 32,8644°"- "Latitude 39,9272°" olarak alınmıştır. Programda Kuzey yönü z ekseninde "-1" değeri ile, Doğu yönü ise x ekseninde "+1" verilerek tanımlanmış olup, 21 Haziran tarihi itibarıyla GMT +3 olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda sabah 08.00 saati itibarıyla ışınım değerleri saatlik olarak program üzerinden hesaplanmıştır. Ayrıca bölgesel rüzgâr hızı da modellemeye alınmış ve güneydoğu yönünde 5 m/s olarak tanımlanmıştır.

#### 3.1.1. Geometrik Model

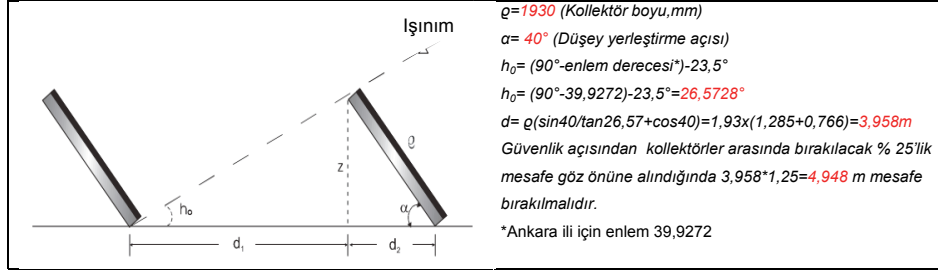
Güneş haritası çıkarırken ilk aşamada, hazırlanmış bina modelinin üst kısmına fotovoltaik takip sisteminde kullanılan Lorentz marka 10 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip "Etatrack 1000" modeli kullanılmıştır. Bina çatısına yer düzlemine göre  $\alpha=40^\circ$ lik bir açı ile yerleştirilmiştir. Hareketli sistemin saatlik dönüş açıları ( $\beta$ ) ise Şekil 2'de verilmiştir. Oluşturulan bina modeli ve hareketli yüzeyin dönüş açısını da gösteren dış akış hacmi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Bina modellemesi ve dış akış hacmi

Yerleştirilen sabit ve hareketli sistemin birbirini hareket esnasında gölgelendirmemesi amacıyla yapılan örnek hesaba ilişkin detay Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre hazırlanan sistemlerin birbirini engellememesi amacıyla aralarında bırakılacak en az mesafenin 4,948 m olması gerekmektedir [11].

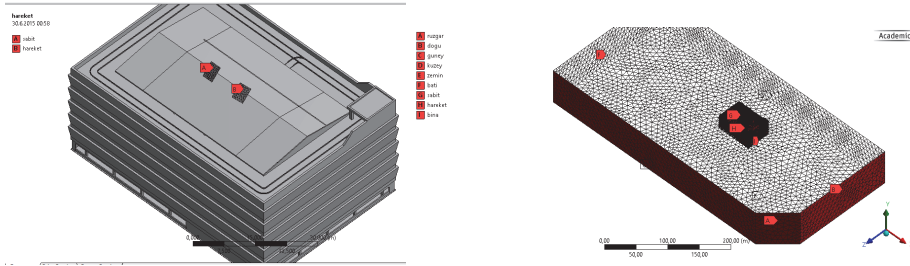




Şekil 4. Gölgenme mesafesi

### 3.1.2. Düğümleme İşlemleri

Kurulan geometrik model üzerinde sayısal çözümlemede en doğru sonuca ulaşmak için önemli olan sayısal ağ modülü üç boyutlu olarak kurulmuştur. 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 [9,10].



Şekil 5. Bina modeli, sınır şartları ve düğümleme

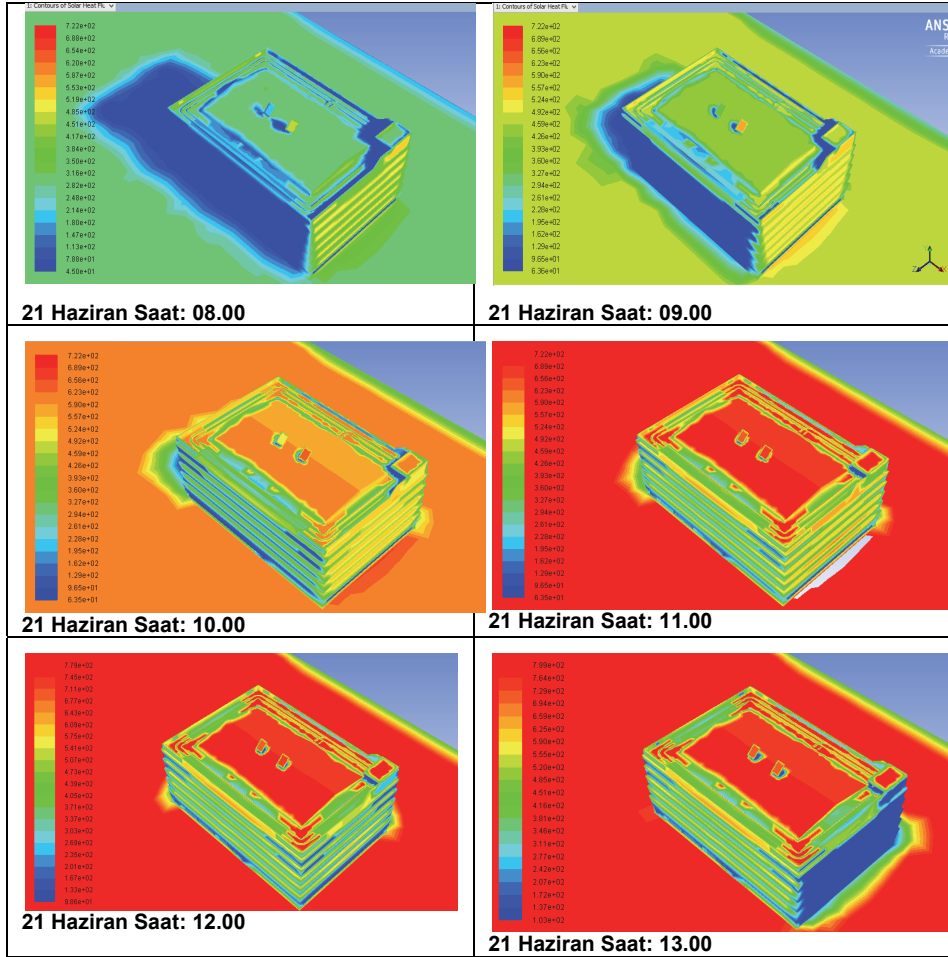
Bu çalışmada model üzerinde kurulan düğümlerin çarpıklık (skewness) değerleri incelendiğinde %90'a yakın bölümün düğüm kalitesi 0.5 değerinin altındadır. Yapılan düğümlemede 95.995 düğüm ve 494.224 nokta bulunmaktadır.

### 3.1.3. Sınır şartları

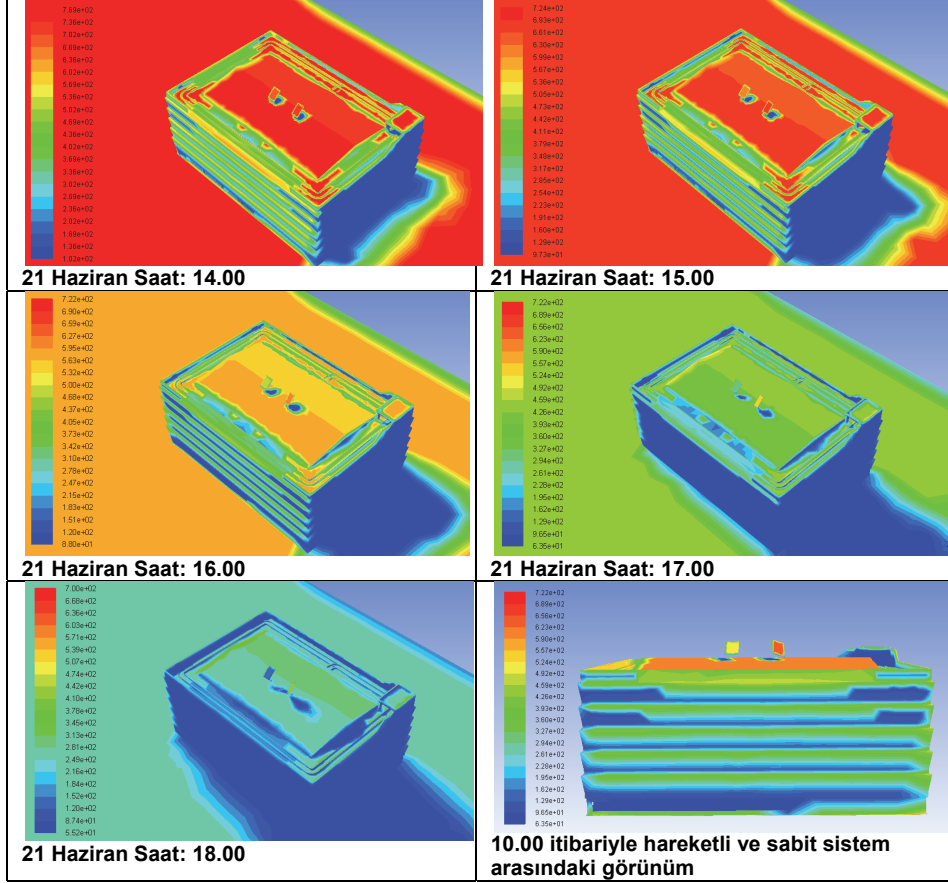
Giriş bölgesi sınır şartlarında iklimsel verilere ait rüzgâr hızı güneydoğu yönünden 5 m/s'lik hızda tanımlanmıştır. Sabit ve hareketli sistemlerin yüzeyinde meydana gelen ışıma ve sıcaklık değerleri program modülünde yer alan radyasyon bölümünde tanımlanmış olup, enlem ve boylam dereceleri esas alınarak modellenmiştir. Ayrıca güneş ışımasını modellemek amacıyla "Solar Load" modülü kullanılmıştır. 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 için belirlenen değerler sisteme tanımlanmış ve hareketli takip sisteminin saatlere göre ayarlanan yatay açısı modellenerek saatlik olarak belirlenmiştir.

### 3.1.4. Haritalandırma ve iklimlendirme verileri

Saatlik olarak hareketli sistemin tanımlandığı 11 farklı modelde yapılan çözüm sonuçlarında yaklaşık 500 iterasyon civarında yakınsama sağlanmıştır. Yerçekimi etkisinin y ekseninde  $-9.81 \text{ m/s}^2$  olarak tanımlandığı Fluent yazılımında, basınç tabanlı çözüm sistemi kullanılmıştır. Yakınsama sonunda elde edilen veriler Şekil 6. ve Şekil 7.'de verilmiştir.



**Şekil 6.** 21 Haziran Saat 08.00-11.00 aralığında bina yüzeyine gelen ışınım şiddetleri ( $W/m^2$ )



Şekil 7. 21 Haziran Saat 12.00-18.00 aralığında bina yüzeyine gelen ışınım şiddetleri ( $W/m^2$ )

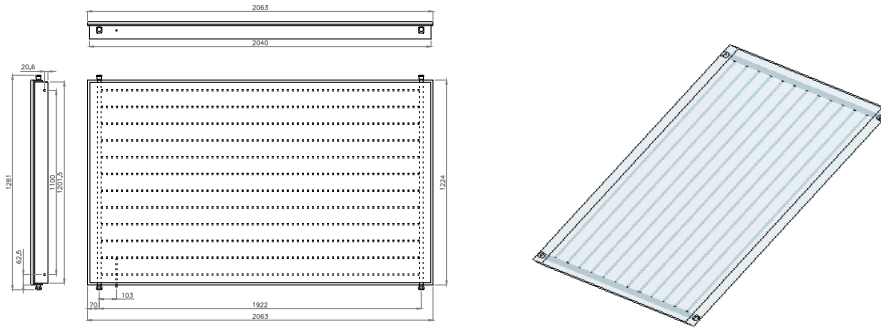
### 3.2. Kollektör Analizleri

Güneşlenme değerleri ve ışınım değerleri belirlendikten sonra kollektörün verim analizlerine geçilmiştir. Bu aşamada elde edilen veriler kollektör analizlerindeki sınır şartlarını oluşturmuştur. Şekil 6-7'de yer zemininde, sabit ve hareketli kollektör yüzeylerinde oluşan ışınım değerleri verilmiştir. Buna göre hareketli kollektör yüzeyinde yatay ekseninde yapılan takip sonunda yüzeyde meydana gelen ışınım şiddetinin, sabit ve yer düzleminde belirlenen değerlere göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Günlük ortalamalara bakıldığında hareketli sistemin yüzeyine  $615,227 W/m^2$ lik ışınım değeri

gelirken, sabit sistemin yüzeyine  $482,9941 \text{ W/m}^2$ 'lik ışıma değeri gelmektedir. Bu veriler doğrultusunda kollektör verim analizleri yapılmıştır.

### 3.2.1. Geometrik Model

Bu aşamada,  $930 \times 1930 \text{ mm}$  boyutlarındaki alüminyum boru kullanılan model üzerinde  $2 \times 25 \text{ mm}$  çapında ana boruya bağlı olarak yerleştirilen 8 adet  $12 \text{ mm}$  çaplı boru bulunan kollektörün modeli kurulmuştur (Şekil 8)[12].



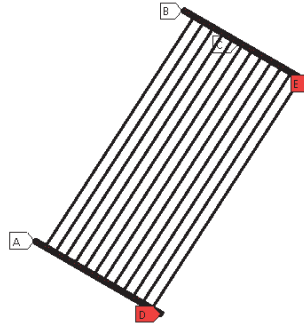
Şekil 8. Model Kollektör'e ait teknik değerler [12]

### 3.2.2. Dügümlenme İşlemleri

İkinci aşamada atılan düğümlerde de önceki bölümde ifade edilen kriterlere göre düğümlenme işlemi yapılmıştır. Bu çalışmada hazırlanan model üzerinde kurulan düğümlerin çarpıklık (skewness) değerleri incelendiğinde %50'e yakın bölümün düğüm kalitesi 0.5 değerinin altındadır. Kollektör modelinde 73.137 düğüm ve 273.752 nokta bulunmaktadır (Şekil 9. )

tapa\_2  
30.6.2015 00:23

- A inlet
- B outlet
- C rolar
- D tapa\_1
- E tapa\_2

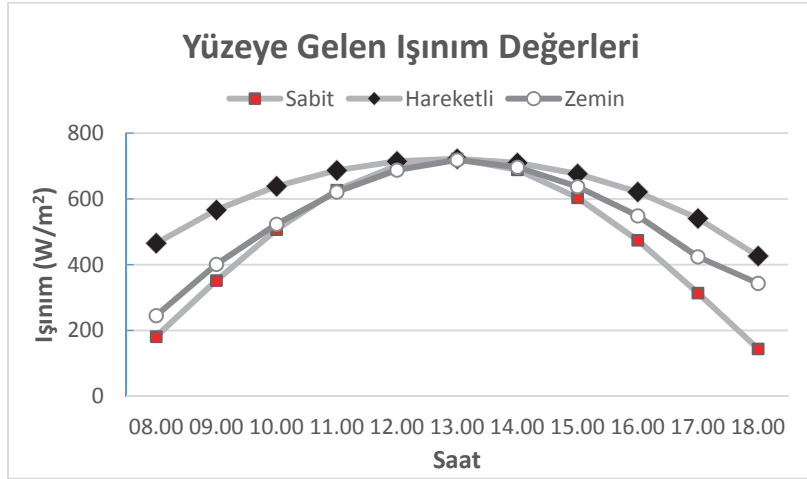


Şekil 9. Kollektör düğüm modeli ve sınır şartları

Düğüm modülünde eğrisel (curvative) metod kullanılmış ve merkez dönüş açısı (Span angle center) ise 12-36° aralığında seçilerek düğüm kalitesi arttırılmıştır.

### 3.3. Sınır şartları

Güneş kolektörüne ait sınır şartları Şekil 9.'da verilmiştir. Bu aşamada "inlet" olarak tanımlanan kolektör girişinde su sıcaklığı 313 K olarak tanımlanmıştır. Kolektör yüzeyine gelen ışıınım değerleri ise zamana bağlı olarak "solar" olarak isimlendirilen sınır üzerinde tanımlanmıştır. Güneş haritasından elde edilen "Solar" sınır şartına ait ışıınım değerleri Şekil 10'da verilmiştir. "Outlet" olarak tanımlanan sınır şartında ise kolektör çıkışını temsil ettiği için "Outflow" sınır şartı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 10. Kolektör yüzeyine gelen ışıınım değerleri (W/m<sup>2</sup>)

Şekil 10'da verilen ışıınım değerleri "solar" sınır şartından verilmiş ve elde edilen sonuçlar bulgular ve yorumlar kısmında verilmiştir.

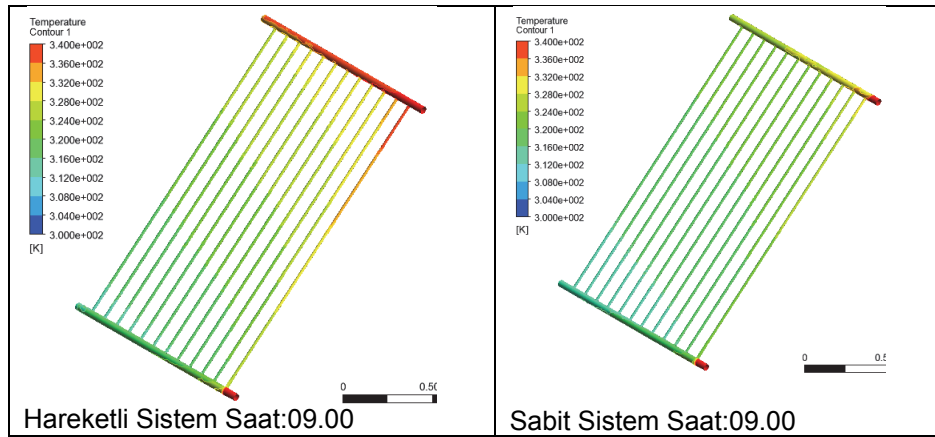
### 4. BULGU VE YORUMLAR

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı aracılığıyla verim değerleri bilinen düz yüzeyli bir güneş kolektörünün yatay ekseninde hareket ettirilmesi

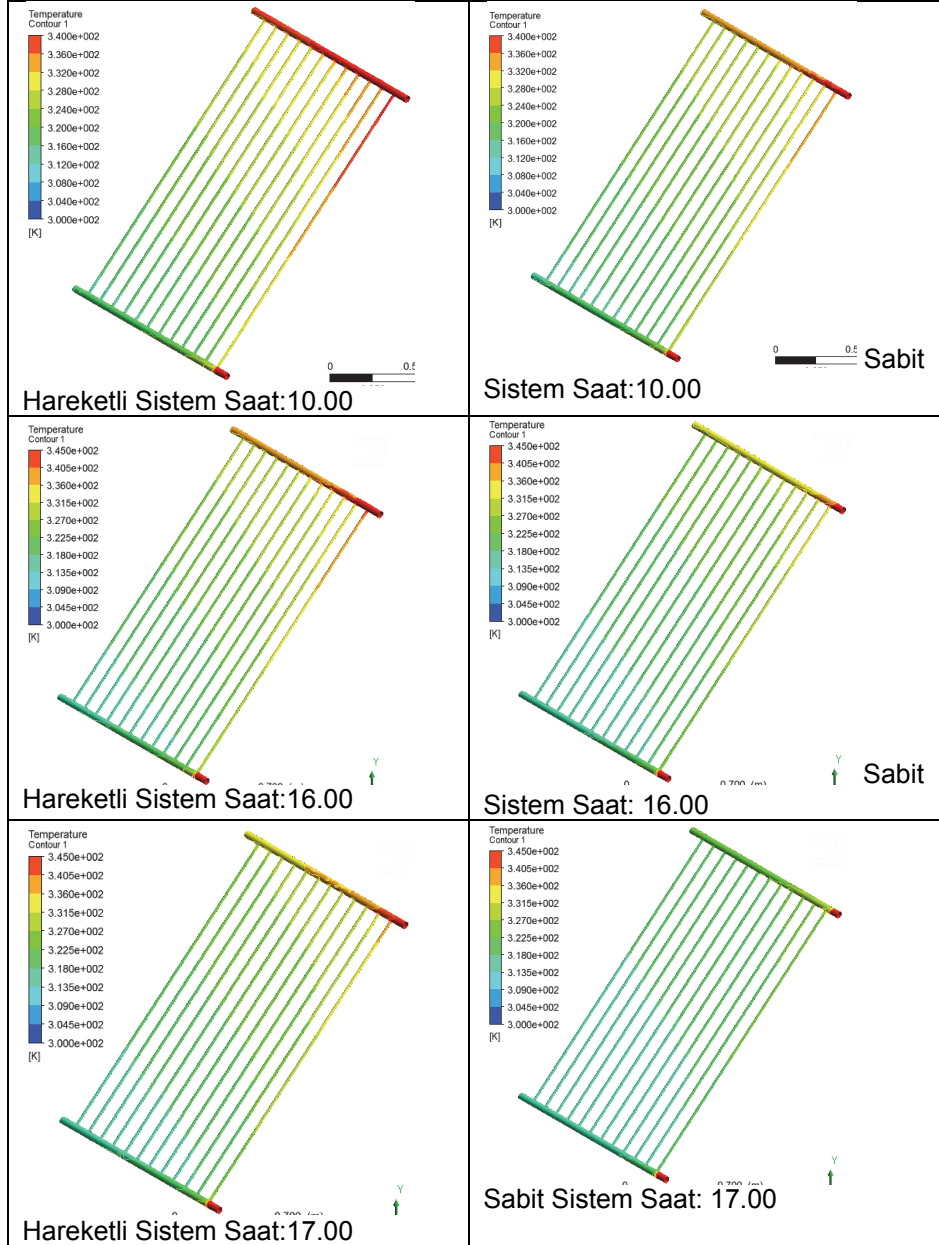
durumunda ortaya çıkabilecek verim ve enerji değerlerinin incelemesi yapılmıştır.

#### 4.1. Sıcaklık değişimleri

Kollektör yüzeylerinde ve çıkış noktasındaki sıcaklık değerlerinin değişimine yönelik yapılan incelemeler sonunda elde edilen veriler Şekil 11’de verilmiştir. Buna göre sabit sistem üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı sadece gün ortasında yatay açıların eşitlenmesi durumunda benzerlik göstermiştir. Bunun dışında özellikle 08.00-11.00 ve 15.00-18.00 aralıklarında takip sistemindeki kollektörün yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımının belirgin bir şekilde arttığı gözlenmiştir.

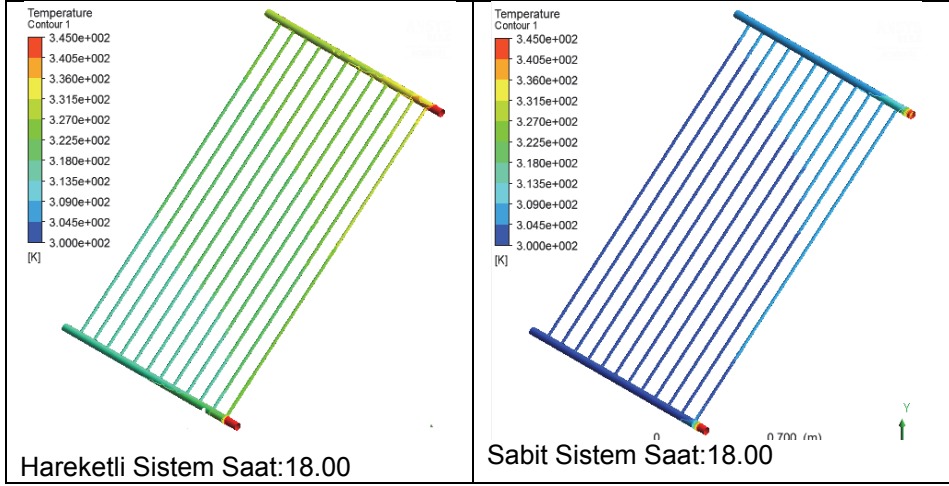


Şekil 11. Hareketli ve Sabit yüzey sıcaklıkları (K)



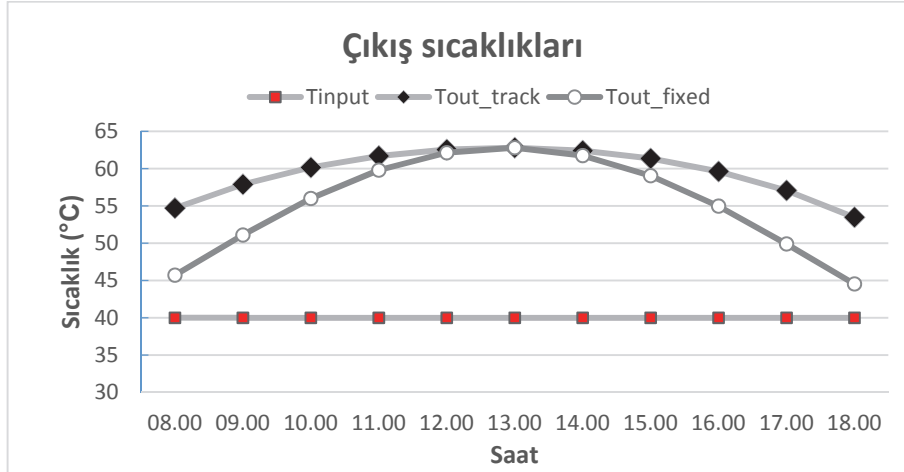
Şekil 11. Hareketli ve Sabit yüzey sıcaklıkları (K) (devamı)





Şekil 11. Hareketli ve Sabit yüzey sıcaklıkları (K) (devamı)

Güneş kolektör sistemlerinde depodan gelen suyun sıcaklığı yaklaşık 40°C civarında olmaktadır. Bu yüzden modellerde suyun giriş sıcaklığı 40°C olarak tanımlanmıştır. Saatlik olarak takip sistemindeki kolektör gün boyunca sabit kolektöre göre daha yüksek çıkış sıcaklığı üretmiştir.



Şekil 12. Kolektör giriş ve çıkış su sıcaklıkları (°C)

#### 4.2. Günlük enerji üretimi

Günlük hareketli sistemin yüzeyine 615,227 W/m<sup>2</sup>'lik ışınım değeri gelirken, sabit sistemin yüzeyine 482,9941 W/m<sup>2</sup>'lik ışınım değeri gelmektedir. Günlük üretilen enerji miktarına bakıldığında ise,

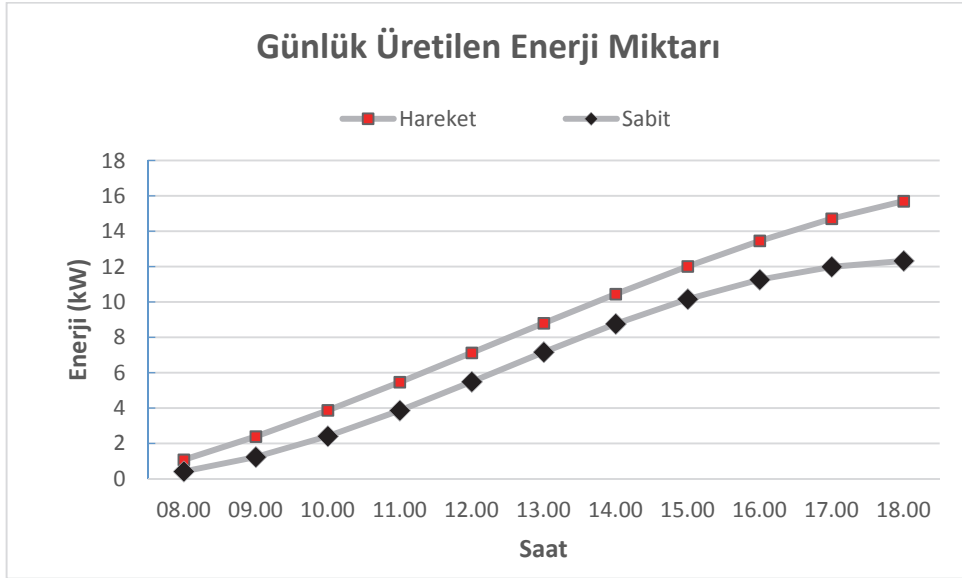
$$E = n_c \times A_c \times I_a$$

$n_c$  = Kollektör sayısı

$A_c$  = yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$I_a$  = yüzeye gelen ışınım (W/m<sup>2</sup>)

eşitliğinden faydalanılmıştır [11].



**Şekil 13.** Sabit ve hareketli sisteme ait enerji değerleri

Günlük üretilen enerji miktarına bakıldığında hareketli sistem ile günlük toplam değerinde yaklaşık % 21,5 değerinde artış yaşanabileceği görülmüştür. Bununla birlikte gerek proje maliyetleri bakımından gerekse yüzey alanı olarak %20 oranında tasarruf yapılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca yıllık baz da yapılacak planlamalar için bu durumun geçerli olabileceği söylenebilir.

### 4.3. Kollektör Verimleri

Üretici firma tarafından yayınlanan ürün kataloğunda yer alan verilere göre verim,

$$\eta = \eta_0 - k_1 \left( \frac{\Delta T}{I} \right) - k_2 \left( \frac{\Delta T^2}{I} \right)$$

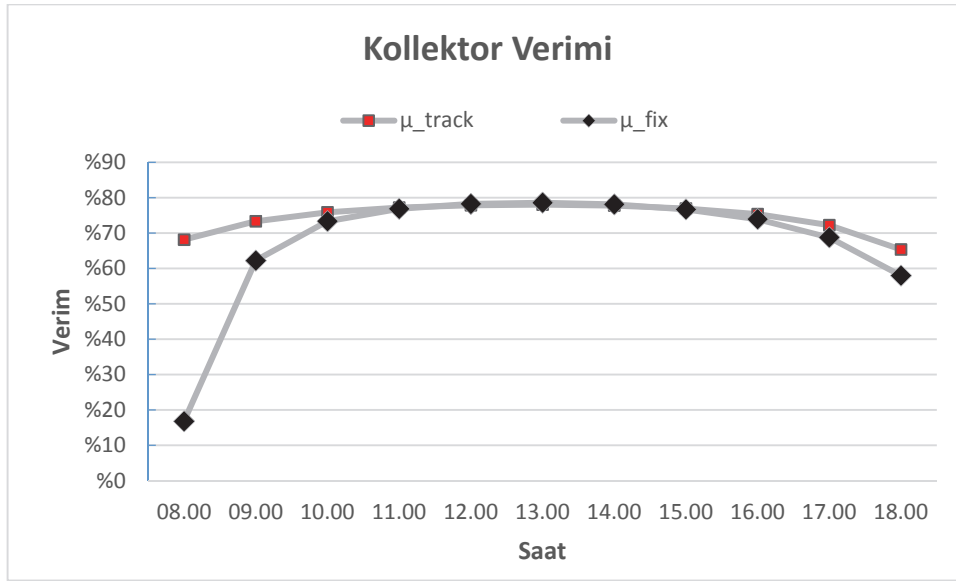
$\eta$ =verim

$\eta_0=0,803$  (Sistem verimi)

$k_1=3,492$  W/m<sup>2</sup>K

$k_2=0,09$  W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>

$I$ =Yüzeğe gelen ışınım (W/m<sup>2</sup>) hesaplanmaktadır [11].



Şekil 14. Hareketli ve sabit sistemlerin verim değerleri (%)

Hesaplanan verim değerlerine bakıldığında özellikle güneş açısının yatay ekseninde kollektör yüzeyine dik gelmediği zaman aralıklarında sabit ve hareketli kollektörün verim değerleri arasındaki fark büyümektedir. Günlük ortalama olarak bakılırsa, sabit sistemin ortalama verimi %67,42 olurken, hareketli sistemin günlük ortalaması %74,38 olmaktadır. Böylece günlük %6,96'lık bir

kollektör verim farkı oluşmaktadır. Kollektör firması tarafından verilen Haziran ayı ortalamasında kollektör verimi sabit yüzeyler için yaklaşık %64'ler düzeyindedir [11,12]. Buradan Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programları ile yapılan analizlerin gerçeğe oldukça yakın değerler gösterdiği söylenebilir.

	8	9	10	11	12	13	14	15
	H	H			n° horas			
	tablas	corregida	k	E	de sol	I	t°a	η (%)
	MJ/m2	MJ/m2		MJ/m2	útiles	W/m2	°C	
<b>ENERO</b>	6,7	6,37	1,39	8,32	8	288,77	8	<b>23,58</b>
<b>FEBRERO</b>	10,6	10,07	1,29	12,21	9	376,88	8	<b>37,93</b>
<b>MARZO</b>	13,8	12,92	1,16	14,09	9	434,82	11	<b>45,78</b>
<b>ABRIL</b>	18,8	17,86	1,04	17,46	9,5	510,53	13	<b>51,79</b>
<b>MAYO</b>	20,8	19,86	0,95	17,73	9,5	518,44	18	<b>56,03</b>
<b>JUNIO</b>	23,8	22,88	0,92	18,87	9,5	567,88	23	<b>61,16</b>
<b>JULIO</b>	26,0	24,70	0,95	22,06	9,5	644,95	28	<b>65,87</b>
<b>AGOSTO</b>	22,1	21,95	1,05	21,66	9,5	622,22	26	<b>64,49</b>
<b>SEPTIEMBRE</b>	16,9	16,06	1,21	18,26	9	563,61	21	<b>59,69</b>
<b>OCTUBRE</b>	11,4	10,83	1,39	14,15	9	436,75	15	<b>49,64</b>
<b>NOVIEMBRE</b>	7,5	7,13	1,5	10,05	8	348,83	11	<b>38,46</b>
<b>DICIEMBRE</b>	5,9	5,61	1,48	7,80	7,5	288,81	7	<b>25,04</b>

Şekil 15. Kollektöre ait üretici firma katalog değeri

## 5. SONUÇ

Güneş panellerinde kullanılan takip sistemlerinin kollektörler için geliştirilmesi durumunda ortaya çıkabilecek verim değerleri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sabit ve hareketli sistemlerin sadece yatay eksende hareket ettirilmesiyle, aynı kollektör sisteminin %7'ye yakın daha verimli çalışabileceği görülmektedir. Hareket sistemlerinde döndürme amaçlı kullanılacak sistemin yükü göz önüne alınırsa yaklaşık olarak günlük 50-60W arasında olduğu bilinmektedir. Günlük enerji kazancı bakımından hareketli kollektör sisteminin enerji kazancına bakıldığında yaklaşık 4 kW olduğu görülmektedir. Bu açıdan sadece kurulum maliyetlerinin göz önüne alınması gerektiği düşünülmektedir. Sabit kollektör sistemleri ile birlikte takip sistemli kollektörlerin kullanılması teşvik edilmeli ve düşünülmalıdır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programları kullanışlılık yönünden birçok farklı problem durumunun çözümünde kullanılabilir. Bu açıdan bakıldığında güneşten gelen ışınımın kollektörlerde meydana getirdiği etkileri incelemede de oldukça yararlı olduğu görülmüştür. Güneş kollektör sistemlerinin kurulumundan önce benzeri HAD analizlerinin yapılması hem sistem veriminin

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.

Bu çalışma, literatürde yer alan *“deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında sonuç olarak kolektör verimliliği hakkında iyi bilgi edinilmiş aynı zamanda yapılan gözlemlerde yoğunlukla aynı akış çizgileri ve sıcaklık dağılımlarının çıktığı sonucuna varılmıştır. Bu yüzden sayısal model hem daha kaliteli hem de daha gerçekçi sonuçlar ortaya koymaktadır”* konusuna destek verebilecek bir çalışma olmuştur.

## KAYNAKÇA

1. Kaygusuz, K., Sari, A., Renewable Energy Potential And Utilization In Turkey., Energy Conversion And Management, 44: 459–478, 2003.
2. Hepbaslı, A., Utlü, Z., 2004. Evaluating The Energy Utilization Efficiency Of Turkey's Renewable Energy Sources During, Renewable And Sustainable Energy Reviews, 8:237–255, 2001.
3. Luca A.Tagliafico, Federico Scarpa, Mattia De Rosa, Dynamic thermal models and CFD analysis for flat-plate thermal solar collectors – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 30,526–537,2014
4. Fan, J., Shah L., Furbo S., Flow distribution in a solar collector panel with horizontally inclined absorber strips, Solar Energy, 81,1501–1511, 2007.
5. Martinopoulos G., Missirlis D., Tsilingiridis G., Yakinthos K., Kyriakis N., CFD modeling of a polymer solar collector, Renewable Energy, 35,1499–1508, 2010.
6. Selmi M., Al-Khawaja M.J., Marafia A.,Validation of CFD simulation for flat plate solar energy collector, Renewable Energy, 33, 383–387,2008.
7. TurgutO, Onur N. “Three dimensional numerical and experimental study of forced convection heat transfer ons olar collector surface “.Int Commun Heat Mass Trans., 2009;36:274–9.
8. ANSYS, Inc. Fluent Theory Guide, Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg,USA November 2011.
9. Sözen A., Keçel, S., Yavuzcan, G Francis Türbinlerinde Yönlendirme Kanat Açısının Çark Mukavemetine ve Türbin Verimine Etkisi. Journal of Gazi University Engineering and Architecture Faculty, 29(2):243-252 (2014)
10. Versteeg H.K.,-Malalasekera W., An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method, Pearson Prentice Hall Second edition,2007:16
11. Energía Solar Y Eólica, “Disol ANEXO B Dimensionado de una instalación de Energía Solar Térmica”, 2011
12. Disol, “Catalogo General De Productos Disol”, 2010