



**GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA
SİSTEMİNİN TEORİK İNCELENMESİ**

Fatma DENİZ ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Bilim Dalı

Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

2017

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN TEORİK
İNCELENMESİ**

Fatma DENİZ ÇELİK

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN TEORİK İNCELENMESİ

Prof. Dr. Kadir BAKIRCI danışmanlığında, Fatma DENİZ ÇELİK tarafından hazırlanan bu çalışma, 16/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı - Enerji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Prof. Dr. Kenan YAKUT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 02.../03.../2017 tarih ve 9.../.../78 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN TEORİK İNCELENMESİ

Fatma DENİZ ÇELİK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

Günümüzde kullanılan enerji kaynakları hızlı bir şekilde tükenmektedir. Dolayısıyla artan enerji maliyetleri ülke ekonomilerini ciddi oranda etkilemektedir. Dünyada kullanılan fosil kökenli enerji kaynaklarının küresel ısınmaya sebep olması, enerji ihtiyacını karşılamada ülkeleri temiz ve yenilenebilir enerji teknolojilerini kullanmaya sevk etmiştir. Güneş enerjisi, en temel yenilenebilir kaynaklarından ve güneş kuşağında yer alan ülkemiz için bu enerji kaynağı değerlendirilmelidir. Bu enerji kaynağını cazip hale getirilip gerekli teşvikler sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, Erzurum ili için bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin teorik incelenmesi yapılmış ve yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Teorik analizde anlık güneş ışıyım hesapları üç farklı yöntem ile yapılmıştır. Çalışmada, anlık güneş ışıyım değerleri, kolektörlere suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları, kolektör verimi ve gün boyunca depolama tankındaki su sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda, bölgenin güneş ışıyım değerleri açısından oldukça zengin olduğu görülmüş olup, ortalama olarak kolektör verimlerinin %60 dolaylarında, kolektör su çıkış sıcaklıklarının 60°C, enerji depolama tankı su sıcaklıklarının 45°C civarında oldukları hesaplanmıştır. Bu değerler, bölgede güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin kullanılabileceğini, bu sayede yenilenebilir enerji ve özellikle güneş enerjisi uygulamalarının küresel ısınmaya olumlu katkılar sağlanabileceğini göstermiştir.

2017, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, enerji depolama, modelleme, Erzurum

ABSTRACT

Master Thesis

THEORETICAL ANALYSIS OF A WATER HEATING SYSTEM ASSISTED SOLAR ENERGY

Fatma DENİZ ÇELİK

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Department of Energy

Supervisor: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

The energy sources used today are rapidly consumed. Therefore, increased energy costs are seriously affecting the country's economy. The fact that fossil-based energy sources used in the world cause global warming has disparted countries to use clean and renewable energy technologies to meet their energy needs. Solar energy is the most basic renewable resource, and this energy source should be evaluated for our country where is located on the sunbelt. This energy source should be made attractive and incentives should be provided.

In this study, a theoretical analysis of a water heating system assisted solar energy for Erzurum is made and compared with the experimental studies. In the theoretical analysis, instantaneous solar radiation calculations are done by three different methods. In the study, the instantaneous solar radiation values, inlet and outlet temperatures of the water to the collectors, the collector output and the water temperature values in the storage tank during the day are calculated.

As a result of the study, it is found that the region is very rich in terms of solar radiation values and it is estimated that the collector output is about 60%, the collector outlet temperature is 60°C and the energy storage tank water temperature is about 45°C. These values show that solar assisted water heating systems can be used in the region and that renewable energy and especially solar energy applications can provide positive contributions to global warming.

2017, 77 pages

Keywords: Solar energy, energy storage, modelling, Erzurum

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesinde tecrübelerini ve bilgilerini esirgemeyen, bana her aşamasında yardımcı olan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kadir BAKIRCI'ya teşekkür ediyorum.

Hayatımın her anında desteklerini esirgemeyen, her zaman bana destek olan değerli annem Meryem DENİZ'e, babam Kadir Cemil DENİZ'e ve çalışmam esnasında bana yardımcı olup birlikte geçireceğimiz zamanlardan feragat eden kıymetli eşim Ferhat ÇELİK'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmam boyunca bana her türlü konuda yardımcı olan arkadaşım Ferda DAL'a teşekkür ediyorum.

Fatma DENİZ ÇELİK

Şubat, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji Kaynakları	1
1.1.1. Yenilenemeyen enerji kaynakları.....	2
1.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	2
1.2. Güneş Enerjisi	3
1.2.1. Güneş enerjisinin avantajları ve dezavantajları.....	4
1.3. Güneş Enerjisinden Yararlanılan Sistemler	5
1.3.1. Fotovoltaik sistemler	5
1.3.2. Isıl uygulamalar	6
1.4. Literatür Taraması	8
2. KURAMSAL TEMELLER.....	14
2.1. Güneş.....	15
2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Süreleri	17
2.3. Güneş Açıları.....	19
2.3.1. Esas güneş açıları	20
2.3.2. Türetilen güneş açıları	23
2.3.3. Eğik yüzeyin açıları.....	24
2.4. Güneş Sabiti	25
2.5. Güneş Zamanı.....	25
2.6. Atmosfer Dışındaki Düzlemlere Gelen Güneş Işınları.....	26
2.7. Eğimli Yüzeylere Gelen Güneş Işınımı.....	27
2.8. Güneş Toplayıcıları	28
2.8.1. Düzlemsel güneş kolektörleri.....	28

2.8.2. Güneş kolektörlerinin ısı analizi	30
2.8.2.a. Kolektörün toplam ısı kayıp katsayısı (U_k)	31
2.8.2.b. Kolektör ısı kazanç faktörü (F_R).....	32
2.8.2.c. Kolektörün anlık verimi.....	32
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
3.1. Işınım Hesapları	37
3.1.1. ASHRAE ışınlm hesapları.....	37
3.1.2. Howell ışınlm hesapları.....	38
3.1.3. Hottel ışınlm hesapları.....	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	45
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_k	Kolektör alanı (m^2)
B_s	Standart boylam ($^{\circ}$)
B_y	Yerel boylam ($^{\circ}$)
c	Kolektör çevresi (m)
c_{ps}	Isı taşıyıcı akışkanın özgül ısısı (kJ/kgK)
d	Deklinasyon açısı ($^{\circ}$)
e	Enlem açısı ($^{\circ}$)
F'	Kolektör verim faktörü
F_R	Kolektör ısı kazanç faktörü
g_n	Ayın gün sayısı
GS	Güneş saati
h	Saat açısı ($^{\circ}$)
H	Güneşin doğuş ve batış saat açısı ($^{\circ}$)
I	Yatay yüzeye gelen anlık toplam ışıınım (W/m^2)
I_d	Yatay yüzeye gelen anlık direkt ışıınım (W/m^2)
I_e	Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışıınımı (W/m^2)
I_{ed}	Eğik yüzeye gelen direkt güneş ışıınımı (W/m^2)
I_{ey}	Eğik yüzeye gelen yayılı güneş ışıınımı (W/m^2)
I_{gs}	Güneş sabiti (W/m^2)
I_y	Yatay yüzeye gelen anlık yayılı ışıınım (W/m^2)
I_{ya}	Eğik yüzeye yansiyarak gelen güneş ışıınımı (W/m^2)
I_o	Amosfer dışında yatay birim düzleme anlık gelen ışıınım (W/m^2)
k	Kolektörde kullanılan yalıtım malzemesi iletim katsayısı (m)
k_t	Anlık berraklık indeksi
L_b	Yalıtım malzemesi kalınlığı (m)
L_e	Yan yalıtım kalınlığı (m)
L_y	Kolektör yan kenar yüksekliği (m)

MS	Yerel saat
m_k	Isı taşıyıcı akışkan debisi (kg/s)
n	Bir Ocaktan itibaren gün sayısı
Q_0	Yatay düzleme gelen günlük ortalama ışıınım
s	Kolektörün eğim açısı (°)
T_a	Çevre sıcaklığı (°C)
T_d	Enerji depolama tankı sıcaklığı (°C)
t_g	Gün uzunluğu (saat)
T_{pm}	Yutucu yüzey sıcaklığı (K)
TS	Türkiye saati
T_1	Isı taşıyıcı akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (°C)
T_2	Isı taşıyıcı akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (°C)
U_a	Alt ısı kayıp katsayısı
U_k	Kolektör ısı kayıp katsayısı
U_u	Üst ısı kayıp katsayısı
U_y	Yan ısı kayıp katsayısı
z	Zenit açısı (°)
ZD	Zaman düzeltme faktörü
ρ	Çevrenin yansıtma katsayısı
$\tau\alpha$	Yutma geçirme çarpanı
σ	Stefan Boltzmann sabiti
η_k	Anlık kolektör verimi

Kısaltmalar

EİE	Elektrik işleri idaresi genel müdürlüğü
DMİ	Devlet meteoroloji işleri
TET	Ton eşdeğer taşkömür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Güneş ışınlarının yeryüzüne dağılımı.....	4
Şekil 1.2. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri.....	7
Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş haritası	18
Şekil 2.2. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat)	18
Şekil 2.3. Gök küre üzerinde önemli görüş açıları.....	20
Şekil 2.4. Deklinasyon açısının denklem (2.2)'ye göre yıl boyunca değişimi	22
Şekil 2.5. Yatay koordinat sisteminde türetilen güneş açıları.....	23
Şekil 2.6. Eğik yüzey açıları	25
Şekil 3.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemi şematik resmi.....	34
Şekil 3.2. MATLAB programı akış şeması	36
Şekil 4.1. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (10 Ağustos)	45
Şekil 4.2. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (10 Ağustos)	46
Şekil 4.3. Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (10 Ağustos)	47
Şekil 4.4. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (10 Ağustos).....	48
Şekil 4.5. Enerji depolama tankı sıcaklığı (10 Ağustos).....	49
Şekil 4.6. Kolektör verimi (10 Ağustos).....	49
Şekil 4.7. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (1 Eylül).....	51
Şekil 4.8. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (1 Eylül)	52
Şekil 4.9. Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (1 Eylül).....	53
Şekil 4.10. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (1 Eylül)	54
Şekil 4.11. Enerji depolama tankı sıcaklığı (1 Eylül)	55
Şekil 4.12. Kolektör verimi (1 Eylül)	56
Şekil 4.13. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (15 Ocak)	57
Şekil 4.14. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (15 Şubat)	57
Şekil 4.15. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (21 Mayıs).....	58
Şekil 4.16. Ocak ayı teorik sonuçları	59
Şekil 4.17. Şubat ayı teorik sonuçları	60
Şekil 4.18. Mart ayı teorik sonuçları.....	61
Şekil 4.19. Nisan ayı teorik sonuçları	62

Şekil 4.20. Mayıs ayı teorik sonuçları	63
Şekil 4.21. Haziran ayı teorik sonuçları.....	64
Şekil 4.22. Temmuz ayı teorik sonuçları	65
Şekil 4.23. Ağustos ayı teorik sonuçları	66
Şekil 4.24. Eylül ayı teorik sonuçları.....	67
Şekil 4.25. Ekim ayı teorik sonuçları.....	68
Şekil 4.26. Kasım ayı teorik sonuçları	69
Şekil 4.27. Aralık ayı teorik sonuçları	70
Şekil 4.28. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığının A_k 'ya bağlı değişimi.....	71
Şekil 4.29. Enerji depolama tankı sıcaklığının A_k 'ya bağlı değişimi	71
Şekil 4.30. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığının M_d 'ye bağlı değişimi.....	72
Şekil 4.31. Enerji depolama tankı sıcaklığının M_d 'ye bağlı değişimi.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	19
Çizelge 2.2. Aylık ortalama deklinasyon açısını veren günler	22
Çizelge 3.1. 10 Ağustos deneysel sonuçlar ve hesaplanan değerler	35
Çizelge 3.2. 1 Eylül deneysel sonuçlar ve hesaplanan değerler	35
Çizelge 3.3. Aylık ortalama ASHRAE sabitleri	38

1. GİRİŞ

İnsanlık varoluş tarihinden itibaren hayatını devam ettirebilmek için enerjiye ihtiyaç duymuştur. Enerji kullanımı ile ilgili süreç ise en basit haliyle ateşin bulunmasıyla başlamış bugün atomun parçalanarak nükleer enerjiye dönüşmesine kadar ilerlemiştir. 2010'lu yıllarda dünya nüfusu 7 milyar dolaylarında olup her geçen gün hızla artmaktadır. Artan nüfusla birlikte sanayileşme ve kentleşme de ilerlemektedir. Dolayısıyla enerjiye olan ihtiyaçta artış göstermektedir. Dünya milletleri ise artan enerji talebini karşılamak için sınırlı rezervlere sahip olmasına rağmen yeryüzünün odun, kömür, linyit, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarını hunharca kullanmışlardır. Özellikle de sanayi devrimiyle artan ihtiyaç bu kullanımı daha da hızlandırmıştır. Fosil enerji kaynaklarının kendilerini yenilemeleri çok uzun yıllar aldığından yenilenemez enerji kaynakları olarak bilinirler. Fosil enerji kaynaklarının bu yoğunlukta kullanılmaya devam edilmesi durumunda hem yakın gelecekte tükeneceği hem de aşırı karbon salınımının sebep olacağı atmosfer olayları, küresel ısınma, çevre kirliliği gibi nedenler yeryüzünü yaşanamaz bir yer haline getirecektir. Bu nedenle dünya milletlerinin ortak kanısı temiz enerji üretimi ve kullanımını artırmaktır. Devletler siyasi politikalarını temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaya yönelik değiştirmişlerdir. Başta Avrupa Ülkeleri olmak üzere birçok ülke gerekli ekonomik ve teknolojik donanım yatırımlarına başlamışlardır. Ülkemizin ise rezervleri yok denecek kadar azdır yani enerjide yaklaşık %70-80 oranında dışa bağımlıdır. Ülkemiz son yıllarda enerji politikasında değişikliğe giderek dışa bağımlılıkla beraber karbon salınımını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Güneş kuşağında yer alan ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bütün bu gelişmeler yeryüzünü daha yaşanabilir kılmakla beraber enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır.

1.1. Enerji Kaynakları

Yirminci yüzyılın özellikle ikinci yarısından sonra artan dünya nüfusu ve hızla ilerleyen teknolojik gelişmelere bağlı olarak insan ihtiyaçları konforlu bir şekilde

artmıştır. Bu artış beraberinde daha fazla enerji ihtiyacını doğurmuştur. Şimdiye kadar çoğunlukla kullanılan yenilenemez enerji kaynaklarının sebep olduğu sonuçlar ve yakın gelecekte tükenme durumu insanlığı yeni enerji arayışlarına itmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları bol, temiz ve sürdürülebilirliği ile oldukça cazip alternatifler oluşturmaktadır. Bu enerji kaynaklarını; güneş, rüzgâr, hidrolik, dalga, gelgit, jeotermal, biyoenerji diye örneklendirebiliriz.

Enerji üretimi ve tüketimi, günümüzde ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösterir. Ekonomik düzeyi iyi olan ülkelerin enerji üretim ve tüketimi de o oranda iyidir.

Türkiye enerjide dışa bağımlı bir ülkedir. Gelişen teknoloji ile enerji kullanımı da her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla enerji açığı da artış göstermektedir. 1970'lerden sonra yenilenebilir yerli enerji kaynaklarını araştırmaya yönelme başlamıştır. Henüz yeterli düzeyde olmasa da yenilenebilir kaynaklarının kullanımı yavaş yavaş artmaktadır. Güneş enerjisi uygulamaları da teknolojik açıdan ilerleme kaydederek maliyet olarak düşmektedir.

1.1.1. Yenilenemeyen enerji kaynakları

Doğada aslında yenilenemeyen enerji kaynağı yoktur. Fakat oluşum süreleri itibariyle tekrar meydana gelmeleri çok uzun zaman almaktadır. Bu nedenle yenilenemez denmektedir. Günümüzde kullanılan enerjinin yaklaşık %90'ı gibi ciddi bir oranını doğalgaz, kömür, petrol gibi yenilenemeyen kaynaklar oluşturmaktadır. Artan enerji tüketimleri, petrol fiyatları ülkeler arası ekonomik krizler gibi sebepler özellikle enerjide Türkiye gibi dışa bağımlı ülkelere yakın gelecekte tükenecek bu kaynaklar yerine yenilenebilir kaynakları araştırmaya itmiştir.

1.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerjiyi doğadan elde edilip ve tekrarı doğa tarafından sağlanan enerji olarak tanımlayabiliriz. Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği tarih boyunca en önemli

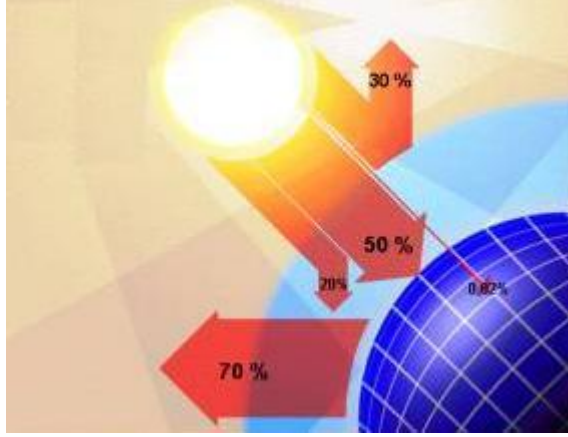
problemlerden biri olmuştur. Doğa bu sürdürülebilirliği kendisi sağladığı için yenilenebilir enerji kaynakları tükenmezler.

Bütün yenilenebilir enerji kaynakları doğrudan veya dolaylı olarak güneşe bağlıdır. Güneş, fotosentezin gerçekleşmesi için gerekli temel unsurdur. Fotosentez de yeryüzündeki çevresel dengeyi sağlar.

1.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, kendi çekirdeğinde meydana gelen füzyon olayı ile ortaya çıkan enerjidir. Füzyon; hidrojen atomlarının helyum gazına dönüşmesidir. Doğal bir süreçte gerçekleşen füzyon olayı esnasında 4 hidrojen 1 helyuma dönüşür. Bu dönüşüm esnasında atomların birim kütlelerini incelediğimizde 0,029 birim kütle kadar bir kayıp söz konusudur. Bu arada ki kayıp Einstein'ın $E=mc^2$ bağıntısına göre enerjiye dönüşür. Bu rakamlara göre Güneş'ten saniyede kaybolan 4 milyon ton kadar kütle $3,86 \times 10^{26}$ J kadar enerjiye dönüşerek ışıınım şeklinde uzaya bırakılmaktadır. Güneşin toplam enerjisinin $1,785 \times 10^{47}$ J civarında olduğunu düşünürsek çok uzun yıllarca bu ışıma devam edecektir. Yani neredeyse Güneş sonsuz bir enerji kaynağıdır.

Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne kadar ulaşabilen kısmı atmosferin katmanlarından dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasındadır. Güneşten Dünya'ya gelen enerjinin çok az bir bölümü bile şuan insanoğlunun tükettiği enerjiden çok çok fazladır. Sayısal verilere dönecek olursak neredeyse 20 bin katı kadardır.



Şekil 1.1. Güneş ışınlarının yeryüzüne dağılımı (EİE 2017)

Şekil 1.1 incelendiğinde güneş ışıınının tamamının yer yüzeyine ulaşamadığı görülmektedir. Güneş ışıınının %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır ve %20'si atmosfer ile bulutlarda tutulur. Geriye kalan %50'lik kısmı da atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne gelen bu ışıının ile dünya sıcaklığı yükselir ve böylece dünya da yaşam mümkün hale gelir. Rüzgârın oluşması, okyanus gelgitleri gibi birçok doğa olayına da yeryüzündeki bu sıcaklık artışı neden olur. Yeryüzüne gelen güneş ışıınının %1'den daha azı fotosentezin gerçekleşmesi için gereklidir. Bitkiler, fotosentez yaparken güneş ışığında karbondioksit ve su buharı kullanarak oksijen ve glikoz üretirler. Bu da yeryüzündeki bitkisel yaşam kaynağıdır. Bu nedenle güneş nükleer enerji dışında bütün enerji kaynaklarının bir şekilde kaynağıdır.

1.2.1. Güneş enerjisinin avantajları ve dezavantajları

Güneş enerjisinin diğer birçok enerji kaynaklarına göre çok sayıda avantajları vardır.

- Bol, temiz ve neredeyse sınırsız enerji kaynağıdır.
- Karmaşık teknolojilere ihtiyaç duymadan basit teknolojiler ile yerel uygulamalar için oldukça elverişlidir.
- Karbon salınımı, radyasyon atıkları gibi çevreyi kirletici etkileri yoktur.

- Dışa bağımlılığı söz konusu olmadığından dünyadaki ekonomik bunalımlardan etkilenmez.
- İşletme maliyetleri azdır.

Güneş enerjisinin birçok avantajına rağmen dezavantajlarından dolayı bugün hala uygulamaları yeterli düzeyde değildir.

- Çok büyük yüzeyler gereklidir çünkü birim yüzeye gelen ışıınım değeri azdır.
- Güneş enerjisinden faydalanan uygulamanın süreklilik arz etmesi için etrafının açık olması gerekmektedir.
- Özellikle enerji ihtiyacının daha da fazla olduğu kış aylarında güneş ışıınımı yeterli olmayabilir hatta geceleri hiç yoktur.
- Güneş ışıınımı kesintili olduğu için depolama gerekmektedir.

Güneş enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetleri oldukça fazladır bu nedenle de çok tercih edilmemektedir.

1.3. Güneş Enerjisinden Yararlanılan Sistemler

Güneş enerjisi teknolojileri kullanılan malzeme, uygulanan teknolojik yöntem gibi birçok bakımından çeşitlilik göstermesine rağmen genel olarak iki gruba ayrılır.

1.3.1. Fotovoltaik sistemler

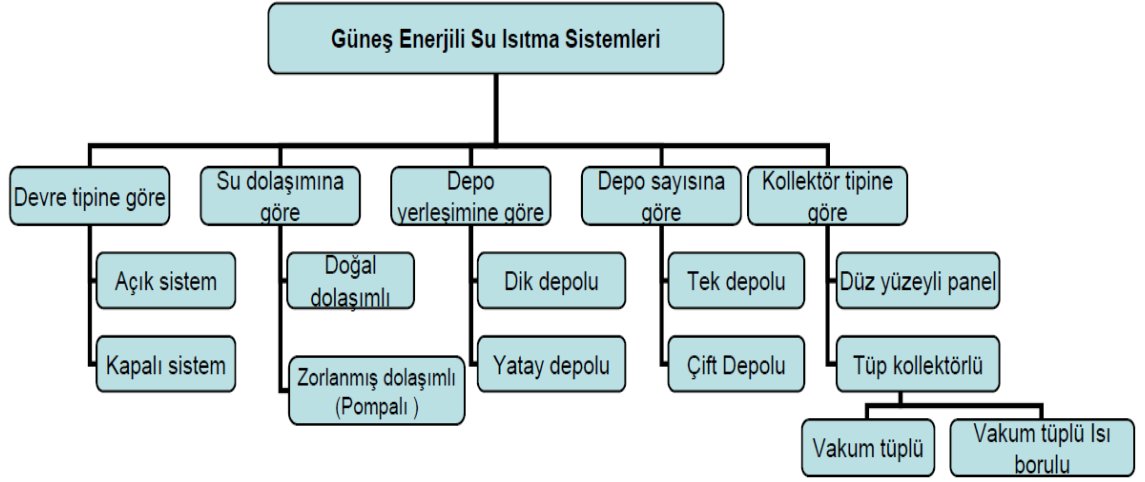
Yarı iletken hücreler olan güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler) güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Çeşitli geometrik şekillerde olan bu hücreler fotovoltaik prensibe göre çalışırlar. Yani yüzeylerine gelen ışıınım uçlarda elektrik gerilimine dönüşür.

1.3.2. Isıl uygulamalar

Bu uygulama yöntemlerinde güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisi doğrudan kullanılabilirdiği gibi elektrik enerjisine çevrilerek de kullanılabilir. Isıl uygulamalar; düşük sıcaklık (20°C-100°C), orta sıcaklık (100°C-300°C), ve yüksek sıcaklık (300°C ve üzeri) uygulamaları olarak gruplandırılır. Uygulamaları örneklendirecek olursak;

- Binalarda sıcak su ihtiyacının karşılanması
- Binaların ısıtması ve soğutması
- Yüzme havuzu ısıtması
- Seraların ısıtması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Güneş ocakları ve güneş fırınları
- Arı su elde edilmesi (güneş imbikleri)
- Tuz üretimi
- Güneş pompaları.

Düşük sıcaklık uygulamalarında genellikle düz toplayıcılar kullanılır. Yukarıda da sıralanan uygulamalarda güneş enerjisi genellikle düzlemsel güneş kolektörü ile ısıya çevrilerek bir akışkana aktarılır. Sıcaklığı artan bu akışkan ihtiyaca göre farklı şekillerde kullanılır. Sıcak su ihtiyacının karşılanması, binaların ve seraların ısıtması diğer düşük sıcaklık uygulamalarına göre daha ekonomik ve kullanımı daha yaygındır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri olarak bilinen bu uygulamaların birkaç farklı çeşidi mevcuttur. Şekil 1.2’de bu uygulamalar detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1.2. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri

Orta sıcaklık uygulamalarında, odaklı toplayıcılar kullanılmaktadır. Çünkü güneş ışınımının kırılarak veya yansıtılarak bir eksene veya noktaya yoğunlaştırılması gerekmektedir. Bu uygulamalar için genellikle güneşi takip eden mekanizmalar kullanılır. Odaklı toplayıcıların uygulama alanlarına da özellikle sanayi de ihtiyaç duyulan sıcak su veya kızgın buharın temini, büyük ısıtma ve soğutma sistemlerini örnek verebiliriz.

Güneş ışınımını kullanarak çok yüksek sıcaklık elde edilen uygulamalarda “heliostat” adı verilen sistemlerden yararlanılır. Bu sistemler çok büyük bir alanda güneşi takip ederek güneş ışınımını bir noktaya toplarlar. Güneş fırınları ve güneş güç sistemlerinde yansıtıcı olarak aynalar kullanılarak sıcaklık değerleri 3500°C’ye kadar çıkabilmektedir. Yüksek sıcaklıklar elde edilerek buhar üretilir. Böylece türbinler aracılığıyla elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu prensiple çalışan yüksek güneş güç sistemleri mevcut olup daha da geliştirilmek üzere çalışmalar yapılmaktadır. Fransa, Amerika Birleşik Devletleri gibi farklı birçok batı ülkelerinde bulunan güneş fırınları metallerin eritilmesi, kesilmesi ve kalıplanması gibi işlemlerle sanayide aktif olarak kullanılmaktadır.

1.4. Literatür Taraması

Ekmekçi vd (2001) tarafından yapılan “Kocaeli ili için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi ve boyutlandırılması” isimli çalışmada, yutucu yüzeyi seçici bir malzemeye sahip olan düzlemsel güneş kolektörünün deneysel olarak verimi belirtilmiştir. Kocaeli ili için güneş enerjili sıcak su ısıtma sisteminin tasarımı ve boyutlandırması kolektör-verim grafiğine bağlı olarak f-chart yöntemiyle yapılmıştır. Yapılan çalışmada yılın dört ayı boyunca sıcak su ihtiyacının tamamının kolektörlerce karşılanabileceği görülmüştür. Fakat yılın kalan sekiz ayında ise güneş ışınlamına bağlı olarak karşılama oranının belirli yüzdelerde değişeceği görülmüştür. Güneş enerjisinin ekonomik bir yatırım olması için hiç bir zaman sıcak su ihtiyacının %100’ünü karşılamak için tasarım yapılmaması gerektiği belirtilmiştir.

Doğan (2006) tarafından yapılan “Güneş enerjisi yardımıyla gerçekleştirilen ısıtma sistemlerinin Kocaeli bölgesi için uygulanabilirliğinin araştırılması” isimli çalışmada düzlemsel kolektörlerdeki verimi arttıran parametreleri incelemiştir. Düzlemsel güneş kolektörlerinin veriminin artmasındaki en önemli değişkenin kolektördeki yutucu yüzey kaplaması olduğu sonucuna varmıştır. İzmit ve çevresi için yapılan güneş enerjili su ısıtma sisteminin yılın dört ayı boyunca enerji ihtiyacının neredeyse tamamının bu sistem ile karşılandığı görülmüştür. Yılın diğer aylarında ise güneş ışınlamına bağlı olarak farklı miktarlarda enerji ihtiyacının karşılanabileceğini yapılan hesaplamalarla belirlenmiştir.

Bakırcı ve Yüksel (2006) tarafından yapılan “Güneş enerjili su ısıtma sisteminin deneysel incelenmesi” çalışmasında yüksek oranlarda güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Erzurum ilinde güneş enerjili bir su ısıtma sistemi kurulmuş, böylece deneysel olarak sistemin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan sistem yatay ile 29° eğimli güneş enerjisinin toplandığı kolektör devresi ve güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülerek depolandığı enerji depolama tankı olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Ağustos ayında yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda Erzurum ilinde güneş enerjili su ısıtma sisteminin, uygulanan diğer su ısıtma yöntemlerine iyi bir

alternatif olduğu deneysel olarak görölmüştür. Bu çalışmada kolektör veriminin en fazla öğle saatlerinde 0,61 değerine, enerji depolama tankındaki su sıcaklığının da gün sonunda 40°C civarına ulaşmıştır. Bu sonuçlara göre Erzurum ilinde güneş enerjili su ısıtma sisteminin kullanılması diğer enerji kaynaklarına iyi bir alternatif olacaktır.

Yıldırım (2007) tarafından hazırlanan ‘Güneş enerjisi ile ısıtma’ adlı yüksek lisans tez çalışmasında güneş enerjisi ile ısıtmanın konut konforunda yararlanılması ele alınmış ve özellikle aktif ısıtma ile düz kolektörlerin kullanımı incelenmiştir. Konut ısıtmasında sadece güneş enerjisi kullanımı yerine; kullanılan kazandan elde edilen ısı verimi arttırmada ek bir sistem olarak düşünülmüştür. Hesaplamalar, saat 07.00-18.00 aralığında yapılmıştır. Enerjinin gerekli olduğu kış aylarında maksimum enerji alan düzlem eğimindeki enerjilerin diğer eğimdeki güneş ışıınımı değerlerinden fazla farklı olmadığı görölmüştür. Isı iletimi yüksek olan yutucu yüzey malzemesi ısıyı akışkana daha iyi iletmenin yanında yutucu yüzey sıcaklığını da düşük seviyelerde tutarak dışarıya olan ısı kayıplarını azaltmaktadır. Önce yutucu yüzeyin ısı iletim direncini artırması ve artan yüzey sıcaklığı ile birlikte çevreye olan ısı kayıplarının artması sonucu; akışkana aktarılan ısı enerjisi miktarında azalma meydana gelmiştir. Kalın yutucu plaka akışkana ısı aktarımı açısından daha uygun sonuç vermektedir. Toplayıcıda elde edilen faydalı ısı enerjisinin kullanılabilirliğini belirleyen, pratik çalışma şartlarında ulaşılacak maksimum akışkan sıcaklığı, güneş ışıınım şiddetine bağlı olarak elde edilmiştir. Güneşten yutucu yüzeye gelen ışıınım miktarı arttıkça sıcaklık değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Abdulkarem’in (2008) yapmış olduğu “Ankara şartlarında güneş enerjisi ile bir ortamın döşemeden ısıtılması ve sistemin ısı performansının belirlenmesi” isimli çalışmada, güneş enerjisi düzlemsel güneş kolektörü kullanarak sıcak su depolanmıştır. Çalışmada fanger metodu kullanılarak sistemin ısı konfor şartları deneysel olarak incelenmiştir.

Ceylan (2010) tarafından yüksek lisans tezi olarak yapılan çalışmada iki katlı bir binanın güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası ile döşemeden ısıtılmasının analizi yapılmıştır. Binanın ısı kayıplarının düşürülebilmesi için binanın dış

duvarlarında gaz beton duvar malzemesi ve ısı yalıtımı kullanılmıştır. Bina ısıtması hava kaynaklı ısı pompası tarafından yapılmaktadır. Kullanım sıcak su ihtiyacı ise öncelikli olarak güneş enerjisi tarafından hazırlanmış, ısı pompası tarafından desteklenmiştir. Dolayısıyla binanın ısı ihtiyacı için herhangi fosil yakıtlı enerji kaynağı kullanılmamıştır. Isı pompası binanın ısı ihtiyacını karşılamış, bunun yanında özellikle geçiş mevsimlerinde (Kış-ilkbahar ve sonbahar-kış mevsim geçişleri) güneş enerjisi panelleri tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmada Ankara gibi kış mevsimi sert geçen bir bölgede kullanılacak olan hava kaynaklı ısı pompasının ve güneş enerjisi sisteminin performansı gösterilmeye çalışılmıştır.

Uzun (2010) tarafından yapılan “Güneş enerjisi depolama olanakları ve bir yöntemin değerlendirilmesi” adlı çalışmada ısı enerjisinin depolaması noktasında; enerji depolama yöntemleri, depolama esnasında oluşabilecek ısı kayıpları, depolamanın toprak altında olmasının toprak üstünde olmasına göre avantajları, enerjinin depolanmasında yalıtımın önemi gibi önemli bazı parametreler incelenmiştir. Kış aylarında özellikle toprak sıcaklığı yeryüzünün sıcaklığından daha fazladır. Bu nedenle toprak bir yalıtım malzemesi gibi davranır. Depoya uygun yalıtım yapılması durumunda yer altında ısı enerjisi depolamanın, enerji kayıplarına rağmen önemli kısmının kullanılabilir durumda depolanabileceği görülmüştür. Yaz aylarında oldukça fazla olan güneş ışıınımı ile elde edilen enerjinin kayıpların en aza indirilip depolanarak güneş ışıınımının yetersiz kaldığı kış aylarında kullanılabilirliğini mümkün kılan bu sistemler daha uygulanabilirlerdir.

Öztürk (2011) tarafından yapılan “Pasif güneş enerji sistemi ile bina ısıtmasının sayısal ve ekonomik analizi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında güneş enerjisinin bina ısıtmasında kullanılması için bir yöntem olan pasif güneş enerji sistemleri incelenmiştir. Bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin bina ısıtmasında kullanma potansiyeli ve yöntemleri ele alınarak konunun önemine dikkat çekilmiştir. Bina ısıtmasında pasif güneş enerji sistemlerinden yararlanma teknikleri ve bu tekniklerin pasif bina dizaynına uygulanmasındaki parametreler araştırılmıştır. Pasif güneş enerjisi sistemlerinin performansının değerlendirilmesi için öncelikle camdan bina içine gelen güneş ışıınımı ve bu ışıınımın bina duvarları tarafından absorbe etme hesabı metodolojisi

geliştirilmiştir. Daha sonra direkt ve trombe duvar sisteminin verimliliğinin göstergesi olan güneş enerjisinden yararlanma oranının bulunması araştırılmıştır. Direkt ve trombe duvar sisteminin teorik analizi yapıldıktan sonra her iki sistem ve pasif sistem performansının karşılaştırılmasında kullanılacak konvansiyonel sistemin mimarisi tasarlanarak binanın güneş enerjisinden yararlanma oranı ve yıllık yardımcı enerji ihtiyacı bulunmuştur. Bu sonuç üzerinden yola çıkarak pasif performansını etkileyen parametreler üzerinde analiz yapılmıştır. Sayısal analizden sonra pasif sistemin ekonomikliği üzerinde durulmuştur. İstanbul ilindeki örnek binaya uygulanan trombe duvarı ve direkt kazanç sistemi ile elde edilen yıllık ısıtma ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanma oranı sırasıyla %63,2 ve %55,48 sistem performansı için referans alınması gereken konvansiyonel yani güneş enerjisinden yararlanmanın göz ardı edilerek tasarlanan binada ise %40,4 olarak bulunmuştur.

Kuo *et al.* (2013) çalışmasında dört korelasyon modelinde sırasıyla iki farklı yıllık veri kullanılarak bir yatay yüzeydeki saatlik dağılım fraksiyonunun Tayvan bölgesi k_t indeksi ile ilişkilendirilmesini incelemiştir. BRL matematiksel format takip edilerek 6 ve 7 modelleri k_t değer aralığı için tek sonuç kullanılmıştır. Önerilen modeller sırası ile yaygın olarak kullanılan istatistiksel göstergesi kullanarak literatürde bulunan 14 modelle karşılaştırılmıştır. Analizlerden önerilen parçalı doğrusal modellerin Tanian, Tayvan'daki dağılık fraksiyon tahminlerinde iyi performans gösterdiği görülmüştür. Önerilen lojistik modeller daha fazla durum incelemesi gösteren performans sergilemişlerdir. Diğerleri arasında daha iyi performans sergileyen modeller çalışma kapsamında tablo halinde verilmiştir. Sırasıyla Erbs *et al.* ve aynı zamanda Chanrasekaran and Kumar tarafından geliştirilen iki parçalı yüksek dereceli polinom modelleri ve Tayvan bölgesinde dağılık fraksiyon uygulandığında Boland *et al.* tarafından geliştirilen zamandan bağımsız bir modeli içermektedir.

Demircan ve Gültekin (2015) yaptıkları çalışma ile ihtiyacımız olan enerjinin büyük bir kısmının tüketildiği binalarda etkin enerji kullanımına dikkat çekmişlerdir. İnşaat sektöründe bina tasarımı yapılırken pasif ve aktif sistemler aracılığıyla enerji etkin olarak tasarlanması mümkündür. Temiz, bol ve yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş

enerjisi ile bina ısıtma, soğutma, havalandırma gibi konforu için gerekli olan enerji ihtiyacı karşılanabilir. Fakat ilk yatırım maliyetleri ve insanların yeterli bilgiye sahip olmaması nedeni ile bu alana yönelim henüz yeterli düzeyde değildir. Bunun için devlet politikası ile teşvik ve bilgilendirme için eğitimler yapılmalıdır.

Kılıçkap vd (2015) tarafından yapılan araştırmada Elazığ ilinde bir deney düzeneği kurularak sıcak sulu güneş kolektörüne ilişkin verim araştırması incelenmiştir. Temmuz–Kasım ayları arasında zaman zaman yapılan ölçümlerde depodaki su sıcaklığının maksimum 87°C civarında ve kolektör veriminin de %56 civarında olduğu görülmüştür. Verim ve depodaki su sıcaklık değerlerinin çevre sıcaklığı gibi mevsimsel etkiler, kolektör malzemesi, kolektör eğimi gibi birçok değişkene bağlı olduğu görülmüştür.

Özdemir ve Yatarkalkmaz (2015) tarafından yapılan çalışmalarda sıcak su uygulamaları için vakum tüp güneş kolektörlerinin kullanıldığı sistemlerin düzlemsel güneş kolektörlerinin kullanıldığı sistemlere göre daha uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ortalama güneş ışıınım şiddetleri altında güneş takip sisteminin olduğu bir düzenekte verim mukayesesi yapılmıştır.

Arslanoğlu (2016) tarafından yapılan çalışmada literatürdeki 30 regrasyon modelinden 5 model üzerinde çalışma yapılarak Kocaeli için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda Kocaeli için en iyi modelin Lewis modeli olduğu ayrıca Jin ve arkadaşları ve Bahel ve arkadaşları tarafından geliştirilen modellerin de diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat en iyi sonuçlar veren modellerin bile güneş ışıınının çok iyi olduğu yaz aylarında dahi büyük sapmalar gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle bölge için yeni regrasyonların geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar, güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir. Güneş enerjili bir sistemin kurulumu ile güneş

enerjisi; ısı enerjisine, elektrik enerjisine gibi değişik formlara çevrilerek kullanılabilir.

Bu çalışmada, Erzurum ili için bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin teorik analizi yapılmış ve yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Teorik analizde anlık güneş ışıınım hesapları üç farklı yöntem ile yapılmıştır. Çalışmada, anlık güneş ışıınım değeri, kolektörlere suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları, kolektör verimi ve gün boyunca depolama tankındaki su sıcaklığı değeri hesaplanmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

Enerji termodinamik için bir etki oluşturabilme yeteneğidir. Enerji maddesel bir özellik olup her maddenin bir enerjisi vardır. Genellikle enerji denince akla ilk gelen enerjinin iş ve ısı formu olmaktadır. İnsanoğlu ilk olarak enerjiye ısınmak için ihtiyaç duymuştur. Teknoloji ilerleyip hayat şartları değiştikçe bu ihtiyacın formu da değişerek artmıştır ve atmaya da devam etmektedir.

Gelişmişliğin ve kalkınmanın bir göstergesidir enerji. Yenilenemeyen enerji kaynaklarımız her geçen gün hızla tüketilerek tabiata da ciddi zararlar verilmektedir. Ülkemiz, hem kaynaklarımızın kısıtlılığı hem de doğaya verilen zararlar sonucunda yeni enerji kaynakları arayışına girmiştir. Güneş enerjisinin de içinde bulunduğu yenilenebilir enerji kaynakları bu arayışlara cevap verir niteliktedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve kullanım kolaylığı gibi nedenlerle diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha caziptir. Fakat Türkiye hala yeterli düzeyde güneş enerjisini kullanamamaktadır.

Günümüzde yeterli düzeyde ve çevresel anlamda tehdit unsuru oluşturmayan enerji üretimi yapabilmek toplumların en önemli sorunlarından biridir. Sorumsuzca tüketilen enerji tabiatta insanda dâhil olmak üzere birçok canlının yaşamını tehlikeye sokmaktadır. Çünkü tüketilen her fosil kökenli enerji çevresel problemlere neden olmaktadır. Enerji kaynakları çok çeşitli olmakla beraber iki ana başlık altında toplanabilir; fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları.

Öztürk (2011) tarafından bildirildiğine göre; sınırlı rezervlere sahip fosil kaynakların atmosfere yaydığı sera gazlarının artışına bağlı olarak 2030 yılında atmosfer sıcaklığının tahminen 1,5-4,5°C artacağını Treberspurg (1994) ileri sürmüştür. Artan bu sıcaklıklarla birlikte her geçen gün çevre dengesi bozulmaktadır. Tüm bu sebepler bizi yenilenebilir enerji kaynaklarını daha fazla kullanmaya itmektedir.

Güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde diğer enerji kaynaklarına göre birçok avantajı vardır. Hemen hemen her yerde varlığını gösteren güneş bol, temiz, ucuz ve yerel uygulamalar için oldukça uygundur. Her yerde olduğundan dolayı da herhangi bir ülkeler arası ekonomik krizden de etkilenmez. Bu özelliğiyle de oldukça cazip olan güneş enerjisi kullanımı her geçen gün artmaktadır.

2.1. Güneş

Dünyada ve ülkemizde fosil kaynaklı enerji kaynakları bilindiği üzere gün geçtikçe azalmaktadır. Nüfusların artışıyla enerji tüketimi artmaktadır. Bu yüzden insanlar yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya yönelmiştir. Bunlardan en çok ilgiyi çeken güneş enerjisidir. En yaygın kullanımı ise güneşten sıcak su elde amaçlı kullanılacak sistemlerin kurulmasıdır. Ülkemiz konum itibarıyla güneş enerjisinden oldukça yararlanabilecek bir durumdadır.

Güneş bünyesindeki atomlar birbirlerini çekerek hızla birbirlerine yaklaşırlar. Bu esnada atomların artan hızlarından dolayı kütle çekim enerjisi kinetik enerjiye dönüşerek güneşin sıcaklığını 15-16 milyon °C kadar artmasına neden olurlar. Bu kadar yüksek sıcaklıkta meydana gelen çekirdeksel dönüşüm tepkimelerinde açığa çıkan basınç güneşin yoğunlaşarak çökmesini engeller. Bu durum sayesinde güneş bugünkü boyutlarını almıştır.

Güneş, $1,39 \times 10^9$ m çapında, dünyadan ortalama $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta olup yoğun ve yüksek sıcaklıkta ki gazlardan oluşan bir küredir. Güneş kendi eksenini etrafında dönmeyi bir ayda tamamlar. Fakat bu dönüş normal bir katı cisim gibi her yerinde aynı anda gerçekleşmez; ekvatorda aşağı yukarı 27 gün kadar sürerken kutuplarda ise 30 gün civarındadır.

Güneşin yüzey sıcaklığı 5777 K'dir. Bu sıcaklık değeri güneşin merkezine doğru gidildikçe artmaktadır. İç kesimlerde sıcaklığın 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasında olduğu tahmin edilir. Güneşin yoğunluğunun ise tahminen suyun yoğunluğundan yaklaşık

olarak 100 kat fazladır. Güneşteki ısıtım enerjisi çeşitli füzyon reaksiyonlarıyla oluşmaktadır. Güneşin sıcaklığının yüksek olması nedeniyle elektronlar atom çekirdeklerine ayrılır. Bu nedenle, güneşte serbest elektron ve atom çekirdekleri bulunur. Güneşte her an gerçekleşen füzyon reaksiyonu ile hidrojen atomları helyuma dönüşür. Bu dönüşüm esnasında harcanan hidrojen miktarı kütsel olarak meydana gelen helyum miktarından fazladır. Aradaki bu fark güneş ısıtımını ile oluşan enerjiyi verir. Güneş ısıtım enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ısıtılar şeklinde yeryüzüne gelir. Bu ısıtılar 32°'lik bir açı ile yeryüzüne ulaşırlar.

Güneşin kütselinin yaklaşık %40'ı 0 ile 0,23 R bölgesindedir (burada R güneşin yarıçapıdır) ve burada üretilen enerji toplam enerjinin %90'ı kadar olduğu tahmin edilmektedir. Merkezden uzaklaştıkça güneşin sıcaklığı da yoğunluğu da azalmaktadır. Burada konveksiyon süreç önemlidir ve 0,7 ile 1,0 R bölgesi arası konvektif bölge olarak adlandırılır. Bu bölgede güneşin sıcaklığı 5000 K'e yoğunluğu ise 10^{-5} kg/m^3 'e kadar düşer.

Güneşin yüzeyinde 3000 ile 1000 km boyutları arasında granüller (düzensiz konveksiyon hücreleri) oluşur gibi görünür. Güneş yüzeyinde konvektif hücrelerle aynı büyüklükte olan, gözenek olarak adlandırılan küçük karanlık alanlar ve boyutları değişebilen, güneş lekeleri olarak bilinen büyük koyu renkli alanlar mevcuttur. Konvektif bölgenin dış katmanına fotosfer denir. Fotosferin kenar yoğunluğu düşük değerlere sahip olsa bile kesin bir şekilde tanımlanır. O aslında kuvvetle iyonize olan, absorblayabilen ve sürekli radyasyon yayan gazlar gibi saydam değildir (Duffie and Beckman 2006).

2.1.1. Güneş ısıtım şiddeti

Yeryüzündeki yatay bir yüzeye gelen toplam güneş ısıtımını iki, eğimli bir yüzeye gelen toplam güneş ısıtımını üç bileşene ayırarak inceleriz. Bu bileşenler direkt, difüz ve yansıyan ısıtımlardır. Güneş ısıtımını yeryüzüne ulaşırken, atmosferde bulunan bir takım parçacıklar tarafından (foton, molekül, toz, ...vb.) bir kısmı yutulur ve bir kısmı

da saçılır. Bu nedenle atmosfer dışından azalarak gelen ışıının yeryüzüne ancak 0,1 ile 0,8 arasında bir oranı ulaşır. Doğrudan dünyaya ulaşan güneş ışıınınına direkt güneş ışıını, yeryüzüne direkt gelemeyip saçılan ışıınıların yeryüzüne gelen kısmına ise yayılı (diffuse) güneş ışıını adı verilir. Direkt ve yayılı ışıınının toplamı global güneş ışıını olarak bilinir. Direkt ve yayılı güneş ışıını 0,3-3 μ m dalga boyu aralığında olduğundan bu ışıınılara kısa dalga boylu ışıını da denir. (Kılıç ve Öztürk 1983).

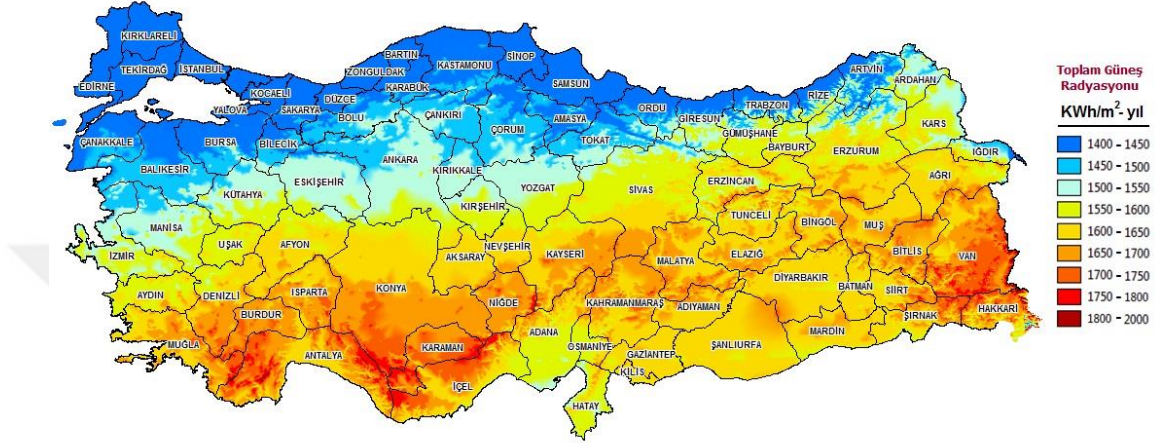
Ekvatorun 30° Kuzey ve 30° Güney enlemleri arasında kalan bölgeye “güneş kemeri” adı verilir. Türkiye coğrafi konumu ile (36°-42° Kuzey enlemleri arasında) bu kemere çok yakın olduğundan, güneş enerjisi alma yönünden şanslı bir ülkedir.

Güneş enerji sistemlerinin tasarımı ve sonrasında sistemin performans değerlendirmesinde en önemli etken güneş ışıını şiddeti verileridir. Sistem tasarımı yapılırken enerji ihtiyacına göre bina dizaynı yapılarak sistemden yüksek verimler elde edilmesi hedeflenir. Güneş ışıını şiddetinin ölçülerek güneş enerjisi uygulamalarının potansiyeli belirlenir. Toplam güneş ışıını şiddeti, üç alet ile ölçülebilmektedir. Bunlar piranometre, solarimetre, aktinograflardır. Güneş ışıını şiddeti ölçümlerini ülkemizde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) yapmaktadır. Ayrıca bazı üniversitelerde sadece yatay düzlem için güneş ışıını ölçümleri yapılmaktadır.

2.2. Türkiye’nin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Süreleri

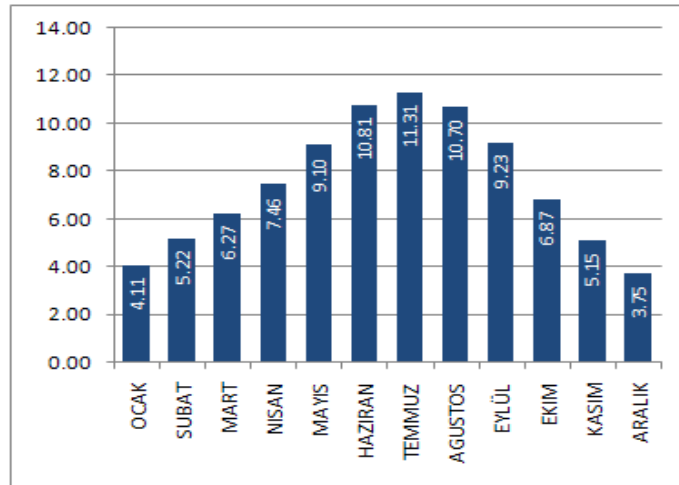
Ülkemiz Dünya’daki konumu itibariyle güneş kuşağında yer aldığından güneşten faydalanma potansiyeli oldukça yüksektir. Türkiye’nin yıllık enerji üretimi yaklaşık olarak 100 milyon MW kadardır. Dünya’ya güneşten gelen enerji ise saniyede aşağı yukarı 170 milyon MW civarındadır. Bu değerlere bakacak olursak güneşten dünyaya saniyede gelen enerji ülkemizin yıllık üretiminin 1,7 katı kadardır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) 1966-1982 yılları arasında yapılmış olan ölçümleri kullanarak EİE’nin yaptığı hesaplamalara göre ülkemizin yıllık güneşlenme süresi 2640 saattir. Buda günde toplam 7,2 saate tekabül eder. Ortalama toplam ışıını şiddeti değeri

1311 kWh/m²-yıl'dır. Bütün bu veriler ülkemizin potansiyelinin ne kadar yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Yeterince bilinçlenme sağlanıp gerekli yatırımlar yapılırsa ciddi oranda enerji üretimi söz konusu olabilir.



Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş haritası (EİE 2017)

Coğrafi konum itibariyle ülkemiz 36°-42° kuzey enlemleri arasında yer alır. Şekil 2.1'de güneş haritası verilen ülkemiz güneş potansiyeli oldukça fazla olan güneş kuşağı içerisinde yer almaktadır. Ancak, güneş kuşağının bu bölgede güneşlenme oranı iyi olmasına rağmen mevsim değişiklikleri bölgenin alt taraflarında az etkili olurken üst taraflarında çok etkilidir.



Şekil 2.2. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat) (EİE 2017)

Şekil 2.2’de ülkemizin güneşlenme süreleri verilirken Çizelge 2.1’de Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı bölgelere göre yapılmıştır.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Varınca ve Gönüllü 2006).

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi (kWh/m ² -yıl)	En çok güneş enerjisi (kWh/m ²)	En az güneş enerjisi (kWh/m ²)	Ortalama güneşlenme süresi (saat/yıl)	En çok güneşlenme süresi (saat)	En az güneşlenme süresi (saat)
Güneydoğu Anadolu	1460	1980	729	2993	407	126
Akdeniz	1390	1869	476	2956	360	101
Doğu Anadolu	1365	1863	431	2664	371	96
İç Anadolu	1314	1855	412	2628	381	98
Ege	1304	1723	420	2738	373	165
Marmara	1168	1529	345	2409	351	87
Karadeniz	1120	1315	409	1971	273	82

2.3. Güneş Açıları

Güneş enerjisi uygulamalarından verimli bir şekilde faydalanmak için güneş ışınım değerlerinin tayini önem arz etmektedir. Sabit bir noktayı baz alırsak bu noktaya göre güneşin konumu gün içerisinde de yıl içerisinde de değişir. Dünya merkezini merkez kabul ederek gök küre ekvator sistemi yardımıyla sabit kabul edilen noktaya göre güneşin bulunduğu yeri ve o noktaya göre hareketini güneş açıları dediğimiz birtakım açıları yardımı ile belirlenmektedir.

$$h=15(12-GS) \quad (2.1)$$

GS güneş saati olup ilerleyen bağıntılarda verilecektir.

Deklinasyon Açısı (d , δ): Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Sekil 2.3’de GMG’ açısıdır. Deklinasyon açısının oluşum nedeni dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı $23^\circ 27''$ lık açıdır. Ekinoks tarihleri olan 21 Mart ve 22 Eylül’de deklinasyon açısı mutlak minimum değerini alarak sıfır olur. 21 Haziran yaz gündönümü tarihinde ve 21 Aralık kış gündönümü tarihinde deklinasyon açısı sırasıyla $23,45^\circ$ ve $-23,45^\circ$ olmak üzere mutlak maksimum değerlerini alır.

$$d = 23,45^\circ \sin\left(360 \frac{n+284}{365}\right) \quad (2.2)$$

$$d = 23,45^\circ \sin\left(360 \frac{n-80}{370}\right) \quad (2.3)$$

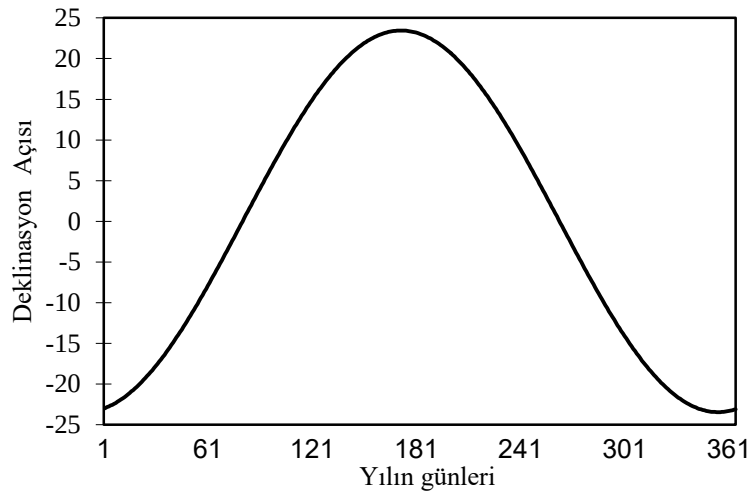
Denklemler de n 1 Ocaktan itibaren gün sayısıdır. Farklı deklinasyon açısı hesaplama ampirik denklemleri de mevcuttur fakat en yaygın kullanılan bağıntılar bunlardır.

Güneş ışınlam hesapları yapılırken genellikle aylık ortalama bir gün için deklinasyon açısı hesaplanır. Bu nedenle aylık ortalama gün değerlerine ve bu günlere denk gelen deklinasyon açısına ihtiyaç duyulur. Yukarıdaki her iki denklem için aylık ortalama günler ve bu günlerde ki deklinasyon açısı değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Aylık ortalama deklinasyon açısını veren günler

	Denklem 2.2 İçin			Denklem 2.3 İçin		
AYLAR	GÜN	n	d	GÜN	n	d
Ocak	17	17	-20,917	17	17	-20,568
Şubat	16	47	-12,955	15	46	-12,799
Mart	16	75	-2,418	17	76	-1,592
Nisan	15	105	9,415	15	105	9,659
Mayıs	15	135	18,791	15	135	18,854
Haziran	11	162	23,086	11	162	23,078
Temmuz	17	198	21,184	18	199	21,115
Ağustos	16	228	13,455	17	229	13,459
Eylül	15	258	2,217	15	258	2,781
Ekim	15	288	-9,599	15	288	-8,928
Kasım	14	318	-18,912	14	318	-18,369
Aralık	10	344	-23,049	12	346	-23,004

Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi Denklem 2.2'den hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 2.4'de verilmiştir.

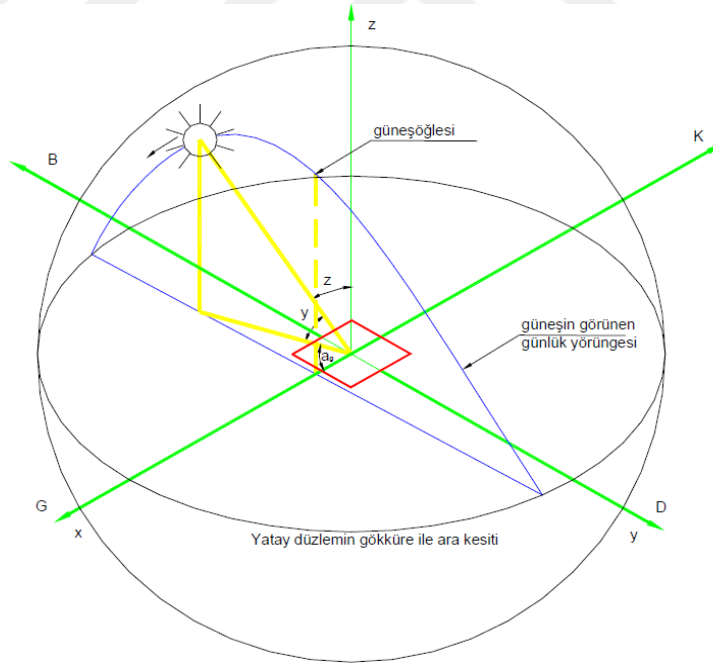
**Şekil 2.4.** Deklinasyon açısının denklem (2.2)'ye göre yıl boyunca değişimi

2.3.2. Türetilen güneş açıları

Zenit açısı (z), güneş yükseklik açısı (y), güneş azimut açısı (a_g) gibi açılara türetilen güneş açıları denir. Bu açılar yardımıyla yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınlam hesaplamaları yapılmaktadır. Şekil 2.5’de yatay koordinat sisteminde türetilen güneş açıları verilmiştir.

Zenit açısı (z): Güneş ışınlarının yatay yüzeyin normali ile yaptığı açıdır. Daha basit bir söylemle güneş ışınlarının yatay yüzeye geliş açısıdır. Yatay yüzeye güneş ışınları dik geldiği zaman $z=0^\circ$ güneşin doğduğu anda ve battığı anda $z=90^\circ$ değerini alır.

$$\cos(z) = \cos(d) \cos(e) \cos(h) + \sin(d) \sin(e) \quad (2.4)$$



Şekil 2.5. Yatay koordinat sisteminde türetilen güneş açıları (Kılıç ve Öztürk 1983)

Güneşin doğduğu ve battığı anlarda ışınlar yatay yüzeye paralel gelir $z=90^\circ \cos(90^\circ)=0$ olduğunda güneş doğuş (-) ve batış (+) saat açısı H ;

$$H = \arccos[-\tan(d)\tan(e)] \quad (2.5)$$

denkleminde hesaplanır. Kuzey kutup dairesinde deklinasyon açısı negatif olup $-\tan(d)\tan(e) \geq 1$ olduğu zamanlarda güneş doğmaz ve deklinasyon açısı pozitif olup $-\tan(d)\tan(e) \leq -1$ olduğu zamanlarda ise güneş batmaz.

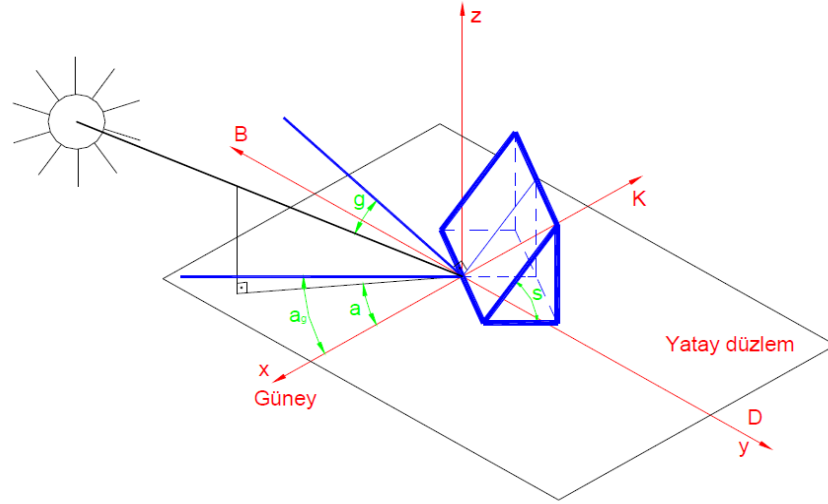
Gün uzunluğu $|\cos(H)| \leq 1$ olduğundan

$$t_g \text{ (saat)} = \frac{2}{15} H = \frac{2}{15} \arccos[-\tan(d)\tan(e)] \quad (2.6)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Ekvatorda gün uzunluğu, $e=0^\circ$ olduğu için sürekli 12 saattir. $d=0^\circ$ olduğunda ise her yerde 12 saat olur. Kuzey yarım küre için deklinasyon açısının negatif olduğu değerlerinde kuzeye doğru gidildikçe gün uzunluğu azalırken deklinasyon açısının pozitif olduğu değerlerinde gün uzunluğu artar.

2.3.3. Eğik yüzeyin açıları

Eğik bir yüzeyin konumu; yatay yüzeyle yaptığı eğim açısı (s) ve yüzeyin normalinin yatay yüzeydeki izdüşümünün güneyden batıya doğru (+) olarak ölçüldüğü yüzey azimut açısı (a) ile belirlemek mümkündür. Şekil 2.6'da eğik yüzey açıları verilmiştir.



Şekil 2.6. Eğik yüzey açıları (Kılıç ve Öztürk 1983)

2.4. Güneş Sabiti

Güneş sabitinin belirlenmesindeki ilk çalışmalar 1880’li yıllarda başlamıştır. Güneş sabiti farklı araştırmacılar tarafından farklı şekillerde hesaplanmıştır. İlk olarak güneş sabiti 1353 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Daha sonraları farklı araştırmalara göre 1350 ile 1370 W/m^2 arasında kabul edilerek alınmıştır. Güneş sabitinden yararlanılarak atmosfer dışında herhangi bir günde güneş ışınım değerini hesaplamak mümkündür.

2.5. Güneş Zamanı

Güneş ışınlamı hesapları yapılırken genellikle güneş zamanı kullanılır. Güneş saati güneşin her günlük hareketine bağlı olarak değişir. Güneş öğlesinde güneş saati $12.00'$ dir. 1 saat 15° ’lik açıya tekabül eder. Yani 1° ’lik meridyen farkı 4 dakikadır.

$$GS = MS \pm 4(B_s - B_y) + ZD \quad (2.7)$$

Burada MS; yerel saat, B_s ; standart boylam B_y ; yerel boylam ZD; zaman düzeltme faktörüdür. Eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terimin işareti batı boylamlar için + doğu

boylamlar için – işaretleri kullanılır. Türkiye doğu boylamlarındadır. Türkiye saati için standart boylam 45° doğu boylamıdır. Türkiye saati için;

$$GS = TS - \frac{4}{60} (45 - B_y) + \frac{ZD}{60} \quad (2.8)$$

Zaman düzeltme faktörü de;

$$ZD = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (2.9)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Buradaki B ise aşağıdaki gibidir.

$$B = \frac{360(n-1)}{365} \quad (2.10)$$

2.6. Atmosfer Dışındaki Düzlemlere Gelen Güneş Işınları

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesaplanmasında genellikle atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışınımı hesabından faydalanılır. Atmosfer dışında yatay birim yüzeye anlık gelen ışınım değeri;

$$I_o = f I_{gs} \cos(z) \quad (2.11)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

$$f = 1 + 0,033 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \quad (2.12)$$

bağıntısıyla hesaplanıp $I_{gs} = 1367 \text{ W/m}^2$, n 1 Ocaktan itibaren gün sayısıdır. Yatay düzleme gelen günlük ortalama ışınımında;

$$Q_o = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \sin(d) \sin(e) \left[\frac{\pi}{180} H - \tan(H) \right] \quad (2.13)$$

denklemleri ile hesaplanabilmektedir.

2.7. Eğimli Yüzeyle Gelen Güneş Işınımı

Uygulamalarda daha çok eğik yüzeylere gelen güneş ışınımının hesaplanması önemlidir. Eğik yüzeye gelen güneş ışınımı miktarı ise, birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bunlar; düzlemin eğimi, çevrenin yansıtma katsayısı azimut açısı ve yatay yüzeye gelen toplam ışınımın direkt ve yayılı bileşenlerinin miktarları olarak sıralanabilir. Eğik yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı I_e ;

$$I_e = I_{ed} + I_{ey} + I_{ya} \quad (2.14)$$

denklemleri ile hesaplanır. Eğik yüzey üzerine gelen anlık toplam ışınım, direkt (I_{ed}), yayılı (I_{ey}) ve yansıyarak (I_{ya}) gelen güneş ışınımının toplamıdır. Bunlar ise, kolektörün yatay düzlemle yaptığı açı s , çevrenin yansıtma katsayısı ρ olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_{ed} = R_d I_d \quad (2.15)$$

$$I_{ey} = I_y \frac{[1 + \cos(s)]}{2} \quad (2.16)$$

$$I_{ya} = \rho I \frac{[1 - \cos(s)]}{2} \quad (2.17)$$

Bu denklemler, (2.14) denkleminde yerine yazılırsa;

$$I_e = R_d I_d + I_y \frac{[1 + \cos(s)]}{2} + \rho I \frac{[1 - \cos(s)]}{2} \quad (2.18)$$

denklemini elde edilir. Burada yatay yüzeye gelen anlık direkt ışınım I_d , yatay yüzeye gelen anlık yayılı güneş ışınımı I_y ve yatay yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı I olarak tanımlanır. Çevrenin yansıtma oranı; ρ yaklaşık olarak 0,2 civarında olup değeri ise kar durumuna, bitki örtüsüne ve topografik yapıya gibi etkenlere bağlı olarak değişir. Anlık direkt veya yayılı güneş ışınımının hesaplanabileceği, anlık toplam güneş ışınımının fonksiyonu olan birçok bağıntı vardır.

Eğik yüzeye gelen anlık direkt güneş ışınımının yatay yüzeye gelen anlık direkt güneş ışınımına oranı R_d güneşe dönük yüzeyler için;

$$R_d = \frac{\cos(e-s) \cos(d) \cos(h) + \sin(e-s) \sin(d)}{\cos(e) \cos(d) \cos(h) + \sin(e) \sin(d)} \quad (2.19)$$

şeklinde hesaplanır.

2.8. Güneş Toplayıcıları

Elektromanyetik radyasyon yoluyla dünyaya ulaşan güneş ışınlarının ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılabilmesi için ışınım enerjisinin ısıya dönüştürülmesi gerekir. Güneş enerjisi uygulamalarında ise en önemli eleman güneş radyasyonunu kullanılabilir faydalı enerjiye dönüştüren güneş kolektörleridir. Kolektörler güneş ışınımını bir akışkana aktaran araçlardır. Güneş enerjisi uygulamalarında en çok tercih edilen toplayıcılar düzlemsel güneş kolektörleridir.

2.8.1. Düzlemsel güneş kolektörleri

Güneş enerjisini düzlemsel bir yüzeyle toplayıp bu enerjiyi bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli araçlardır. Bu kolektörler vasıtasıyla konutlar, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için sıcak su üretimi sağlanır. Basit kolektör sistemlerde sıcaklık maksimum 120°C'ye kadar ulaşılabilir.

Düzlemsel güneş kolektörleri genellikle 5 ana kısımdan meydana gelir; bunlar güneş ışınlamını geçiren ve üstten ısı kaybına engel olan bir veya daha çok saydam örtü, enerji toplayan emici plaka, ısı taşıyıcı akışkanın dolaştığı borular, ısı yalıtım malzemesi ve bu kısımları bir arada tutan kasadır. Yutucu plakanın yüzeyi genellikle koyu renklidir. Bu durum güneş ışınlarının emilimini artırmak içindir. Hatta bazen daha iyi bir emilim sağlamak için yutucu yüzey farklı bir madde ile de kaplanabilir. Kolektörler kullanıldığı alanda güneş ışınlarını en fazla alacak şekilde sabit bir açıyla yerleştirilirler. Bu da bulundukları bölgenin enlemine göre değişkenlik gösterir. Güneş kolektörleri güneş ışınlamını emici plaka ile yutarlar. Güneş ışınlamının etkisiyle emici plakanın sıcaklığı yükselir ve bu ısı, sıvı ya da gaz akışkanlar ile ısıtının kullanılacağı depolama tankına iletilir. Yutucu yüzey yüksek sıcaklıkta olduğu için kolektörlerden çevreye ısı kaybı olur buda kolektörün verimini düşürür.

Güneş kolektörlerini düz yüzeyli ve yoğunlaştırmalı olmak üzere iki grupta sınıflandırabiliriz. Düz yüzeyli kolektörler direkt, yayılı ve yansıyan ışınlamaların her üçünden de yararlanabilirler. Yoğunlaştırmalı kolektörlerin çalışma prensibi ise belirli bir yüzeye düşen direkt güneş ışınlamını daha küçük bir alanına odaklayarak sisteme vermektir. Yani yoğunlaştırmalı kolektörler sadece direkt ışınlamı kullanabildikleri için bu kolektörlerin güneşi sürekli takip etmeleri gerekmektedir.

Kolektörler, ısı taşıyıcı akışkanın yapısına göre de sıvılı ve gazlı kolektörler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sıvılı kolektörlerde daha çok su, gazlı kolektörlerde de hava dolaşmaktadır. Sıvılı kolektörlerin verimi havalı kolektörlere göre daha yüksek, yapımı daha kolay ve maliyeti düşüktür. Toplanan enerjinin depolanması için de daha küçük hacimli depo yeterli olur.

Güneş kolektörlerinin veriminin artırılması için; kolektörden çevreye olan ısı kayıplarının en aza indirgenmesi, yutucu plaka yutuculuğunun artırılması, plakadan akışkana olan ısı kayıplarının azaltılması gerekir. Bu nedenle yüzeye saydam bir örtü konulur. Bu örtü güneş ışınlamını geçirirken taşınım ile oluşabilecek ısı kayıpları da en aza indirir. Işınlamadan faydalanamayan alt ve yan yüzeyler ise ısı kayıplara karşı

yalıtılır. Düz toplayıcılarda, saydam örtü olarak genellikle camlar tercih edilir. Camlar ise dalga boyu 0,3 μm ile 3 μm arasında olan güneş ışınımının büyük kısmını geçirecek şekilde seçilir. Fakat emici plaka tarafından yansıtılan uzun dalga boylu ışınımı geçirmezler. Camların toplam geçirme oranı bileşimindeki demir-oksit miktarı arttıkça azaldığından demir-oksit miktarı %0,05 den düşük olan camlar kullanılır.

Emici plakanın, güneş ışınımı yutma oranı yüksek ve uzun dalga boylu ışıını düşük oranda yansıtmalıdır. Işınımı yutarak ısınan emici plaka bu ısıyı temas halinde olduğu boruların içerisindeki akışkana iyi bir şekilde iletilebilmesi için ısı iletim katsayısının yüksek ve ısı geçişinin hızlı olabilmesi için de plakanın ince olması gerekir. Emici plaka malzemesi olarak bakır, alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik gibi materyaller tercih edilir. Kolektörlerin güneş görmeyen alt ve yan yüzeylerinden olan ısı kaybının azaltılması için de poliüretan köpük veya cam yünü gibi yalıtım malzemeleri kullanılır.

2.8.2. Güneş kolektörlerinin ısı analiz

Kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı olduğu gibi akışkana aktarılamaz. Işınımın bir bölümü kolektörün saydam yüzeyinden yansır ve bir bölümü yutulurken enerjinin kalan kısmı taşıyıcı akışkana geçer. Bu geçiş esnasında da enerjinin yine bir kısmı yüzeyde depolanır ve bir kısmı da çevreye geri verilir. Kolektörlerde ki bu kayıpların birçok nedeni vardır. Bunlardan en çok bilinenleri sıralayacak olursak;

- Güneş ışınım şiddeti
- Rüzgâr hızı
- Çevre sıcaklığı
- Toplayıcıların yapısı
- Saydam yüzeyin özellikleri
- Yutucu yüzeyin ışınımı tutma ve yayma değerleri
- Yalıtım malzemesinin özellikleri
- Kalınlık
- Isı iletim katsayısı

gibi değişkenler olarak tanımlanabilir. Bu değişkenler ele alınarak toplayıcıların ısı analizi yapılmaktadır.

2.8.2.a. Kolektörün toplam ısı kayıp katsayısı (U_k)

Toplayıcıdan çevreye doğru gerçekleşen ısı kaybı toplayıcının üst, yan ve alt yüzeylerinden meydana gelir. Dolayısıyla toplam ısı kaybı buradaki kayıpların toplamına eşittir.

$$U_k = U_u + U_a + U_y \quad (2.20)$$

U_u : kolektörün üst ısı kayıp katsayısı

U_y : kolektörün yan ısı kayıp katsayısı

U_a : kolektörün alt ısı kayıp katsayısı

$$U_u = \left[\frac{N}{\frac{c}{T_{pm}} \left(\frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right)^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} \frac{\sigma (T_{pm} + T_a) (T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591 N h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0,133 \epsilon_p}{\epsilon_g} - N} \quad (2.21)$$

$$f = (1 + 0,089 h_w - 0,166 h_w \epsilon_p) (1 + 0,07866 N)$$

$$c = 520 (1 - 0,00051 s^2), 0^\circ < s < 70^\circ, \text{ Eğer } 70^\circ < s < 90^\circ \text{ s} = 70^\circ$$

$$e = 0,43 (1 - 100 / T_{pm})$$

N : Cam örtü sayısı

ϵ_g : camın yayma katsayısı (0,88)

ϵ_p : plakanın yayma katsayısı

h_w : rüzgar ısı transfer katsayısı ($Wm^{-2} ^\circ C^{-1}$); $h_w = 5,7 + 3,8 V_r$

T_a : çevre sıcaklığı ($^\circ C$)

T_{pm} : yutucu plaka sıcaklığı (K)

V_r : rüzgar hızı (m/s)

$$U_a = \frac{k}{L_b} \quad (2.22)$$

k : kolektörde kullanılan yalıtım malzemesi iletim katsayısı

L_b : yalıtım malzemesi kalınlığı (m)

$$U_y = \frac{k c L_y}{L_e} \frac{1}{A_k} \quad (2.23)$$

c : kolektörün çevre uzunluğu (m)

L_y : kolektör yan kenar yüksekliği (m)

L_e : yan yalıtım kalınlığı (m)

A_k : kolektör yüzey alanı (m²)

2.8.2.b. Kolektör ısı kazanç faktörü (F_R)

Kolektör tarafından toplanan faydalı enerjinin yutucu yüzeyinin tamamının akışkan giriş sıcaklığına eşit olması durumundaki toplayacağı enerjiye oranı olarak tanımlanır.

$$F_R = \frac{m_k c_{ps}}{A_k U_k} \left(1 - \exp \left(- \frac{A_k U_k F'}{m_k c_{ps}} \right) \right) \quad (2.24)$$

Burada m_k akışkanın debisi, c_{ps} akışkanın özgül ısı ve F' kolektör verim faktörü olup 0,9 olarak alınmıştır.

2.8.2.c. Kolektörün anlık verimi

Kolektörün verimini tüm gün boyunca toplanan güneş ışıınının kolektör yüzeyine gelen günlük ışıınına oranı olarak tanımlayabiliriz. Formüle dökcek olursak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\eta_{günlük} = \frac{\int_{w_1}^{w_2} Q_u}{\int_{w_1}^{w_2} A_k I_e} \quad (2.25)$$

Burada w_1 ve w_2 değerleri “güneşin doğduğu ve battığı saat” veya “güneşin doğuş ve batış saati” olarak alınır.

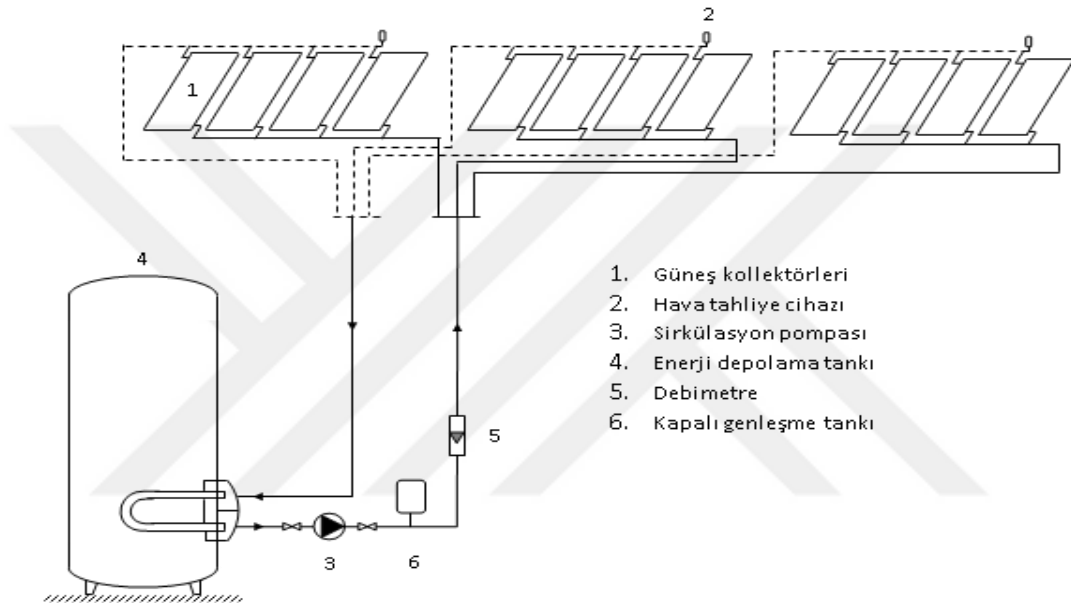
Kolektörün anlık verimi ise aşığıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_{anlık} = \frac{Q_{faydalı}}{Q_{gelen}} \quad (2.26)$$

Donma riskinin olduğu bölgelerde güneş enerjili sistemlerde genellikle ısı taşıyıcı akışkan su yerine antifiriz su karışımı kullanılır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Güneş ışınlamını hesaplamak için birçok farklı deneysel bağıntılar mevcuttur. Bu çalışmada da bunlardan bazıları kullanılarak Erzurum ili için hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken bazı veriler daha önce yapılmış ölçümlerden alınmıştır.



Şekil 3.1. Güneş enerjili su ısıtma sistemi şematik resmi (Bakırcı 2006)

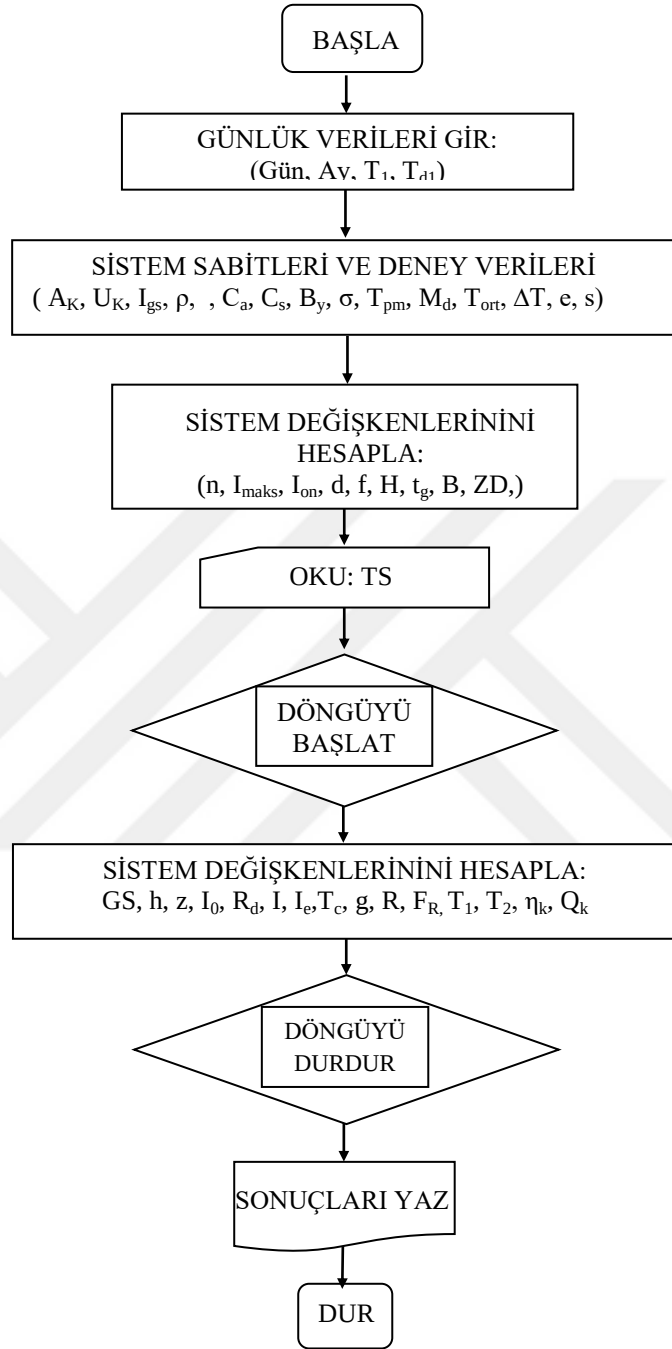
Hesaplamaların mukayesesi ve kullanılacak veriler için daha önce Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarı'nda kurulmuş deney düzeneğine ait bilgiler kullanılmıştır (Şekil 3.1). Daha önce yapılmış olan çalışmalardan 10 Ağustos 2006 tarihinde 29° eğimli 8 adet tek camlı düz güneş kolektörü, 2000 litre hacmi olan depo kullanılırken 1 Eylül 2006 tarihindeki ölçümlerde 29° eğimli 12 adet tek camlı düz güneş kolektörü, 2000 litre hacmi olan depo kullanılmıştır. Hesaplamalar yapılırken bu veriler dikkate alınmıştır. Aynı verilerle aynı günler için ışınlam hesapları yapılarak sonuçlar mukayese edilmiştir. Çizelge 3.1'de 10 Ağustos 2006 deneysel verileri, Çizelge 3.2'de 1 Eylül 2006 deneysel verileri verilmiştir.

Çizelge 3.1. 10 Ağustos deneysel sonuçlar ve hesaplanan değerler

Saat	T _{kg} (°C)	T _{kç} (°C)	T _{da} (°C)	T _{du} (°C)	I W/m ²	I _e W/m ²	η _k
08.00	22,139	25,486	14,396	16,640	461	435	0,386
09.00	26,393	31,240	15,428	18,911	626	636	0,412
10.00	30,671	38,135	15,917	21,246	753	794	0,527
11.00	34,790	43,862	16,214	25,061	843	907	0,573
12.00	37,804	47,287	16,771	30,209	872	945	0,579
13.00	40,561	49,798	17,328	32,040	844	913	0,582
14.00	42,835	50,621	17,784	34,503	756	808	0,548
15.00	43,834	49,951	18,383	36,704	640	668	0,509
16.00	43,460	47,252	19,283	38,727	485	483	0,416
17.00	41,749	43,113	20,216	39,706	299	272	0,243
18.00	38,597	38,252	21,048	39,464	122	93	0,152

Çizelge 3.2. 1 Eylül deneysel sonuçlar ve hesaplanan değerler

Saat	T _{kg} (°C)	T _{kç} (°C)	T _{da} (°C)	T _{du} (°C)	I W/m ²	I _e W/m ²	η _k
08.00	22,459	26,834	14,725	15,953	437	465	0,383
09.00	26,465	34,101	14,983	18,413	606	672	0,482
10.00	30,649	41,042	15,196	21,714	730	825	0,544
11.00	35,977	48,484	15,685	26,001	844	963	0,567
12.00	40,220	53,056	16,243	30,531	865	990	0,567
13.00	43,765	56,179	17,113	35,284	861	985	0,551
14.00	46,246	55,754	18,271	38,876	770	875	0,472
15.00	47,000	53,511	19,392	42,000	632	702	0,394
16.00	47,218	50,347	20,561	43,551	457	488	0,262
17.00	44,874	44,771	21,937	44,118	271	271	0,000



Şekil 3.2. MATLAB programı akış şeması

Hesaplamalar için kullanılacak olan bağıntılar ve veriler MATLAB (2014) programında yazılmıştır. Yazılan bu programda Erzurum ili için isteğe bağlı olarak yılın herhangi bir

gününe ait ışınlım hesaplamaları yapılabilmektedir. Şekil 3.2’de MATLAB programı akış şeması verilmiştir.

3.1. Işınlım Hesapları

Işınlım hesapları yapılırken ilk olarak sırası ile ve birbirine bağlı olarak

- f , Denklem (2.12)’den
- B , Denklem (2.10)’dan
- deklinasyon açısı (d), denklem (2.2)’den
- güneş doğuş ve batış saat açısı (H), Denklem (2.5)’den
- gün uzunluğu (tg), Denklem (2.6)’dan
- güneş saati (GS), Denklem (2.8)’den
- zaman düzeltme faktörü (ZD), Denklem (2.9)’dan
- saat açısı (h), Denklem (2.1)’den
- zenit açısı (z), Denklem (2.4)’den

hesaplanır. Hesaplamalar sabah 7’den akşam 7’ye kadar her 15 dakikada bir olmak üzere saatte dört kez yapılır.

3.1.1. ASHRAE ışınlım hesapları

ASHRAE (1985) tarafından önerilen ışınlım hesapları; I anlık global ışınlım, I_y anlık difüz (yayılı) ışınlım olmak üzere;

$$I = I_{bn} \cos(z) + I_y \quad (3.1)$$

$$I_y = C I_{bn} \quad (3.2)$$

$$I_{bn} = A \exp(-B/\cos(z)) \quad (3.3)$$

denklem sistemi ile yapılır. Buradaki A, B, C ASHRAE denklem sabitleri olup her ay için ortalama değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Programa bu veriler girilirken A ve C sabitleri için enterpolasyonla her güne ait bir bağıntı yazılmıştır. Fakat B değerlerinin değişimi çok küçük olduğundan tablodaki gibi her ay için ortalama bir değer alınmıştır.

ASHRAE bağıntılarına göre global ışıınım hesaplandıktan sonra eğik yüzeye gelen güneş ışıınımı Denklem (2.14)’e göre hesaplanır (I_e).

Çizelge 3.3. Aylık ortalama ASHRAE sabitleri (ASHRAE 1985)

AYLAR	A Wm^{-2}	B (boyutsuz)	C (boyutsuz)
Ocak 17	1 229,882	0,142	0,058
Şubat 16	1 216,255	0,144	0,060
Mart 16	1 190,407	0,153	0,068
Nisan 15	1 144,663	0,175	0,092
Mayıs 15	1 109,680	0,192	0,116
Haziran 11	1 092,697	0,202	0,130
Temmuz 17	1 084,880	0,207	0,136
Ağustos 16	1 102,968	0,202	0,124
Eylül 15	1 142,120	0,182	0,098
Ekim 15	1 183,449	0,164	0,077
Kasım 14	1 213,611	0,151	0,065
Aralık 10	1 228,004	0,145	0,059

3.1.2. Howell ışıınım hesapları

Howell *et al.* (1982) tarafından günün saatlerine göre yatay yüzeye gelen anlık toplam güneş ışıınımı;

$$I = I_{mak} \sin\left[\frac{\pi(GS-(12-t_g/2))}{t_g}\right] \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır. Buradaki GS ve t_g sırasıyla Denklem (2.8) ve Denklem (2.6) ile hesaplanmıştır. Yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınlımı I_{mak} değeri Bakırcı (2009) tarafından açık günler için aşağıda verilen bağıntılardan hesaplanmıştır.

$$I_{mak-Ocak} = 451,67 + 1,4415(gn) + 0,0517(gn)^2 \quad (3.5)$$

$$I_{mak-Şubat} = 545,13 + 4,7264(gn) + 0,0186(gn)^2 \quad (3.6)$$

$$I_{mak-Mart} = 690,97 + 5,8053(gn) - 0,0197(gn)^2 \quad (3.7)$$

$$I_{mak-Nisan} = 851,55 + 4,4475(gn) - 0,0364(gn)^2 \quad (3.8)$$

$$I_{mak-Mayıs} = 952,53 + 2,1754(gn) - 0,0269(gn)^2 \quad (3.9)$$

$$I_{mak-Haziran} = 994,43 + 0,5535(gn) - 0,0155(gn)^2 \quad (3.10)$$

$$I_{mak-Temmuz} = 996,93 - 0,2881(gn) - 0,0203(gn)^2 \quad (3.11)$$

$$I_{mak-Ağustos} = 968,12 - 1,55771(gn) - 0,033(gn)^2 \quad (3.12)$$

$$I_{mak-Eylül} = 883,38 - 3,7375(gn) - 0,0276(gn)^2 \quad (3.13)$$

$$I_{mak-Ekim} = 752,5 - 5,535(gn) + 0,0051(gn)^2 \quad (3.14)$$

$$I_{mak-Kasım} = 586,96 - 5,1924(gn) + 0,0433(gn)^2 \quad (3.15)$$

$$I_{mak-Aralık} = 470,63 - 2,4968(gn) + 0,0612(gn)^2 \quad (3.16)$$

Burada gn , ayın gün sayısıdır. İstenilen gün için I_{mak} belirlendikten sonra Denklem (3.4)'den yatay yüzeye gelen ışınlam hesaplanır.

Eğik yüzeye gelen güneş ışınlamı için; yatay düzleme gelen anlık toplam ışınlamın bir anda atmosfer dışında gelen ışınlama oranı olarak tanımlanan anlık berraklık indeksine ($k_t=I/I_0$) ihtiyaç vardır. Bu çalışmada yatay yüzeye gelen anlık direk güneş ışınlam miktarı, Orgill and Hollands (1977) tarafından verilen;

$$I_d = \begin{cases} I * (1.0 - 0.249k_t) & k_t < 0.35 \\ I * (1.557 - 1.84k_t) & 0.35 \leq k_t \leq 0.75 \\ I * (0.177) & k_t > 0.75 \end{cases} \quad (3.17)$$

bağıntılarına göre hesaplamıştır.

Buna bağlı olarak da eğik yüzey için güneş ışınlamı Denklem (2.14)'e göre yapılmıştır.

3.1.3. Hottel ışınlam hesapları

Hottel (1976) tarafından gökyüzü açık olan günler için geliştirilen ışınlam hesapları son yöntem olarak ele alındı. Hottel (1976) tarafından geliştirilen ampirik bağıntılar adım adım aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\tau_d = a_0 + a_1 \exp(-k/\cos(z)) \quad (3.18)$$

$$\tau_y = 0,2710 - 0,2939\tau_d \quad (3.19)$$

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821(6 - Z)^2 \quad (3.20)$$

$$a_1^* = 0,5055 + 0,00595(6,5 - Z)^2 \quad (3.21)$$

$$k^* = 0,2711 + 0,01885(2,5 - Z)^2 \quad (3.22)$$

$$a_0 = r_0 a_0^* \quad (3.23)$$

$$a_1 = r_1 a_1^* \quad (3.24)$$

$$k = r_k k^* \quad (3.25)$$

Bu denklemlerde verilen Z bulunan yerin deniz seviyesine km olarak uzaklığıdır. Bu bağıntılarda ki a_0^* , a_1^* , ve k^* 'in çarpıldığı r_0 , r_1 , r_k katsayıları iklime bağlı olarak yılın farklı aylarında farklı değerler alır. Bu değerler şu şekildedir; ocak, şubat, mart, nisan, ekim, kasım, aralık için $r_0 = 1,03$ $r_1 = 1,01$ $r_k = 1,00$ mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül için ise $r_0 = 0,97$ $r_1 = 0,99$ $r_k = 1,02$ dir.

Açık gökyüzü için yatay düzlem ışıınımı anlık direkt ışıınım (I_d) ve anlık difüz ışıınım (I_y) toplamına eşittir.

$$I_d = \tau_d I_0 \quad (3.26)$$

$$I_y = \tau_y I_0 \quad (3.27)$$

$$I = I_d + I_y \quad (3.28)$$

Yatay düzlem ışıınımı hesaplandıktan sonra eğik yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı Denklem (2.14)'e göre hesaplanmıştır

Bu üç farklı yöntem için ayrı ayrı ışıınım hesapları yapıldıktan sonra sıcaklık hesaplarına geçilir. Çevre sıcaklığının gün içerisindeki değişimini hesaplamak için;

$$T_a = T_{ort} \frac{\Delta T}{2} \cos\left[\frac{180}{t_g}(GS - 14)\right] \quad (3.29)$$

bağıntısı kullanılır. Burada ki T_{ort} ve ΔT değerleri meteoroloji verilerinden alınmıştır.

Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı;

$$T_1 = T_2 - \frac{M_d}{m_k \Delta t} (T_{di} - T_{d(i-1)}) \quad (3.30)$$

Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı; Güneş ışıınımını alarak akışkana ısı olarak ileten kolektör verim oranına, çevre sıcaklığına, akışkanın giriş sıcaklığına gibi değişkenlere bağlıdır. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$T_2 = T_1 + \left[\frac{A_k F_R}{m_k c_{ps}} \right] [(I_e \tau_\alpha) - U_k (T_1 - T_a)] \quad (3.31)$$

m_k : kolektördeki akışkan debisi, 0,18 kg/s

M_d : depodaki su miktarı, 2000 L

c_{ps} : ısı taşıyıcı akışkanın özgül ısısı, 4180 kJ/kgK

Δt : zaman aralığı, 15 dakika

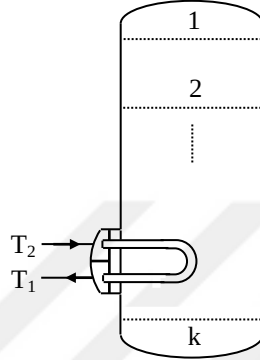
U_k kolektör ısı kayıp katsayısıdır ve Denklem (2.20) ile hesaplanmıştır. Hesaplanma sonucunda yaklaşık 7 civarında olduğundan 7 alınmıştır. τ_α da farklı bir bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\tau_\alpha = \tau_{\alpha_0} - b \left[1 - \left(\frac{I_a R_d}{I_R} \right) \left(2 - \left(\frac{1}{\cos \theta} \right) \right) \right] \quad (3.32)$$

b sabit 0,08 değeridir. $R = \frac{I_e}{I}$ olup eğik düzleme gelen ışıının global ışıına oranıdır.

3.1.4. Enerji depolama tankı

Karıştırılmamış depolarda, enerji depolama tankındaki su sıcaklığı da aşağıdaki gibi hesaplanır (Kılıç ve Öztürk 1983).



Şekil 3.3. Enerji depolama tankının bölümlere ayrılmış şekli (Bakırcı 2004)

Depolama tankını Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, yukardan aşağıya doğru bölmelere ayrılırsa, bir n anındaki bölmelerin sıcaklıkları (T_2 , ısı taşıyıcı akışkanın kolektörlerden çıkış sıcaklığı olmak üzere),

$$T_{d,1,n} = \left(\frac{1}{W_{d,1}}\right)(W_{d,1} T_{d,1,(n-1)} + T_2) \quad (3.33)$$

$$T_{d,2,n} = \left(\frac{1}{W_{d,2}}\right)(W_{d,2} T_{d,2,(n-1)} + T_{d,1,n}) \quad (3.33.a)$$

·
·
·

$$T_{d,k,n} = \left(\frac{1}{W_{d,k}}\right)(W_{d,k} T_{d,k,(n-1)} + T_{d,k-1,n}) \quad (3.33.b)$$

Buradaki W_d :

$$W_d = \frac{M_d}{m_k \varepsilon_d \Delta t} \quad (3.34)$$

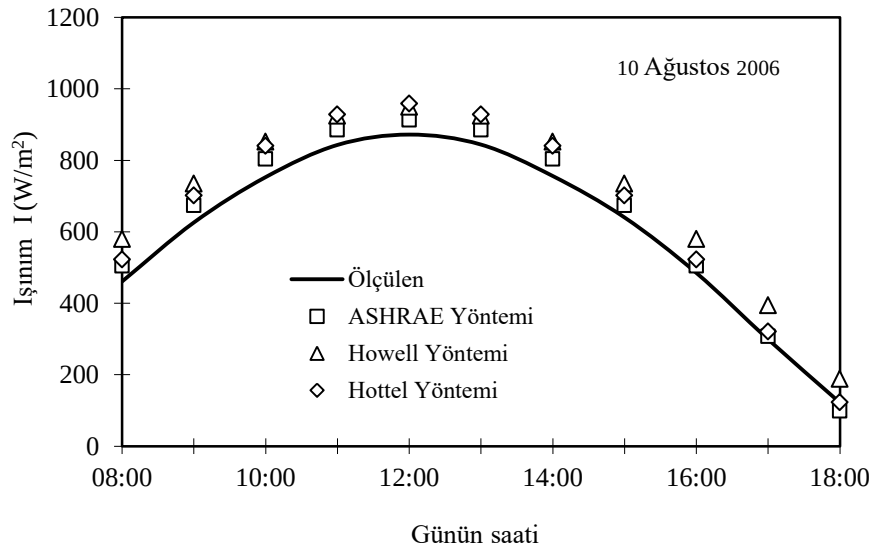
ε_d : deponun etkinliđi, 0,601

Tüm bu hesaplamalardan sonra kolektörün anlık verimi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır

$$\eta_k = \frac{m_k c_{ps} (T_2 - T_1)}{A_k I_e} \quad (3.35)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

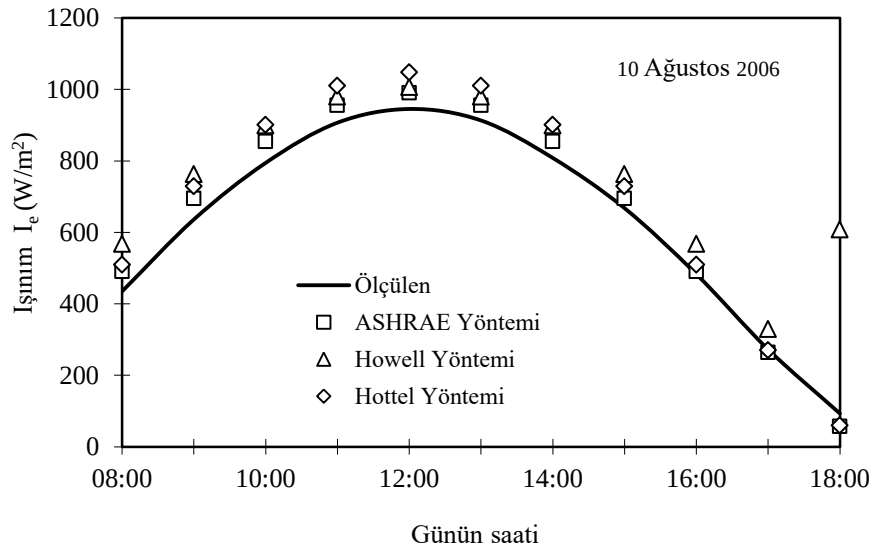
Işınım hesapları Matlab’da yazılan üç farklı denklem sistemiyle yapılarak daha önce ölçülmüş olan değerlerle mukayese edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda kullanılan bağıntılardan ASHRAE (1985) denklem sistemine ASHRAE Yöntemi, Howell *et al.* (1982) denklem sistemine Howell Yöntemi ve Hottel (1976) denklem sistemine de Hottel Yöntemi diyelim. Hesaplamalar 10 Ağustos ve 1 Eylül için ayrı ayrı yapıp mukayese edilmiştir. İlk olarak 10 Ağustos sonuçlarını incelersek grafikler aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışınlamı (10 Ağustos)

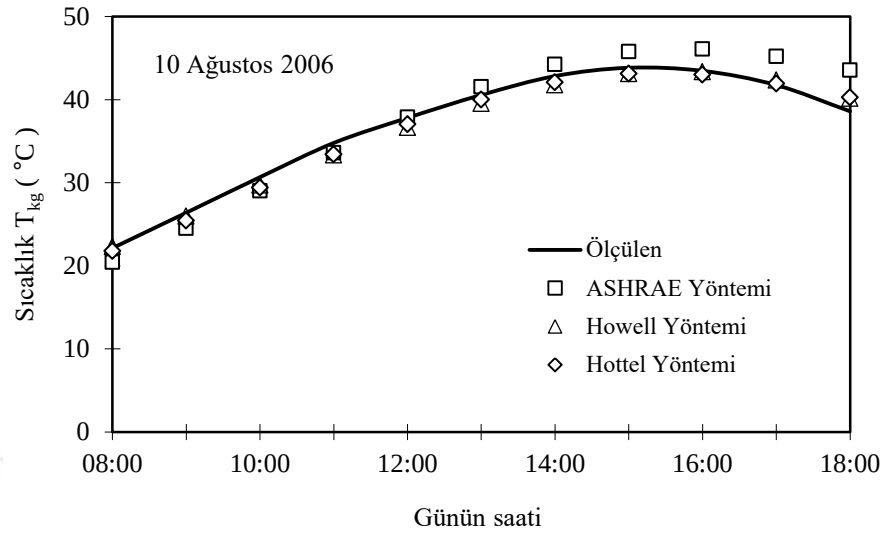
Şekil 4.1 incelendiğinde ASHRAE Yöntemi için yatay yüzeye gelen toplam global ışınlamı I sabah saatlerinde 504 W/m^2 olup öğlen saatlerinde maksimum değerine ulaşp 912 W/m^2 dolaylarındadır. Maksimum değerine ulaştıktan sonra azalarak gün sonunda 98 W/m^2 'ye kadar düşmektedir. Howel Yöntemi'nde yatay yüzeye gelen güneş ışınlamı I güne 579 W/m^2 ile başlayıp öğlen saatlerinde 949 W/m^2 değerini alarak maksimuma ulaşmaktadır. Daha sonrada azalarak gün sonunda 188 W/m^2 'ye kadar düşmektedir. Hottel Yöntemi günün ilk saatlerinde yaklaşık 522 W/m^2 değerindeyken maksimum öğlen saatlerinde 958 W/m^2 'ye ulaşarak daha sonra azalmaya başlar. Ölçüm değerleri

sabah saatlerinde 461 W/m^2 ile başlayıp gün ortalarında 872 W/m^2 'ye ulaşarak maksimum değerini almaktadır. Gün sonunda ise 122 W/m^2 'ye kadar düşmektedir. Genel olarak yöntemlerin hepsi birbirleriyle ve ölçüm değerleriyle benzer sonuçlar vermişlerdir. ASHRAE Yöntemi ortalama %6,98 oranında bir değişim göstererek ölçüm değerlerine en çok yaklaşan yöntem olmuştur. Onu ortalama %8,52'lik değişim oranı ile Hottel Yöntemi takip etmiştir. Howell Yöntemi ise ortalama %15,67 değişim göstermiştir.



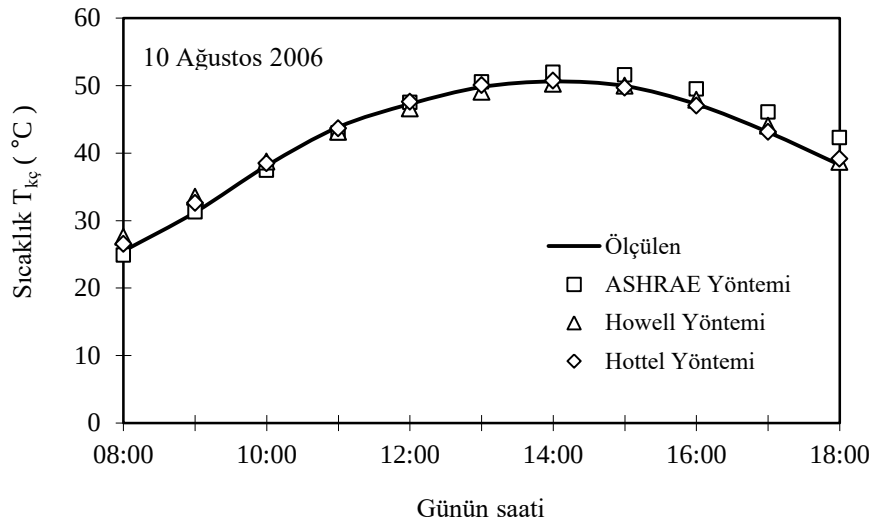
Şekil 4.2. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışınlamı (10 Ağustos)

Şekil 4.2'de verilen eğimli yüzeye toplam gelen güneş ışınlamı için ASHRAE Yöntemi sabah saatlerinde 491 W/m^2 civarında olup öğlen saatlerinde 990 W/m^2 'ye kadar ulaştıktan sonra azalmaktadır. Howell Yöntemi'nde eğimli yüzeye gelen güneş ışınlamı sabah saatlerinde 568 W/m^2 olup artarak öğlen saatlerinde maksimum 1006 W/m^2 değerini alır ve azalmaya başlar. Hottel Yöntemi günün ilk saatlerinde 510 W/m^2 öğlen saatlerinde diğer iki yönteme göre daha yüksek sonuçlar vererek en fazla 1048 W/m^2 civarına gelmiştir. Ölçüm değerlerine baktığımızda günün ilk saatlerinde 435 W/m^2 civarında iken maksimum 945 W/m^2 değerini alır. ASHRAE Yöntemi eğimli yüzeye gelen güneş ışınlamı için %10,62 Howell Yöntemi %19,25 Hottel Yöntemi %13,52 oranında ortalama bir değişim göstermiştir.



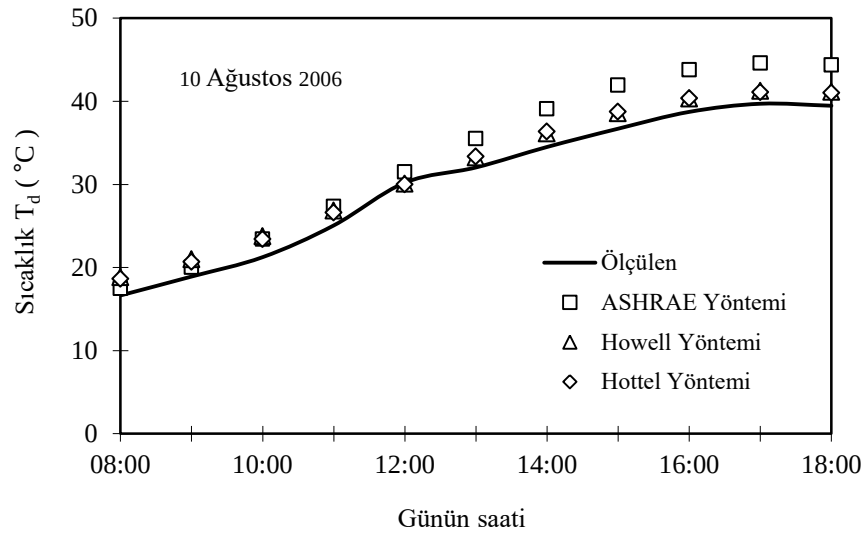
Şekil 4.3. Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (10 Ağustos)

Şekil 4.3’de verilen ısı taşıyıcı akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı incelendiğinde ASHRAE Yöntemi’nde günün ilk saatlerinde 20°C civarında olup saat 15.00 gibi maksimum 45,78°C’ye kadar çıkmaktadır. Howell Yöntemi’nde de 22,31°C ile başlayıp maksimum 43,35°C’ye kadar çıkmaktadır. Hottel Yöntemi’ne baktığımızda ise sabah saatlerinde yaklaşık 22°C civarında iken günün ilerleyen saatlerinde maksimum 43,11°C değerine ulaşmıştır. Ölçüm değerleri de 22,14°C ile başlayıp maksimum 43,9°C değerini almıştır. Sonuçları birlikte ele aldığımızda günün ilk saatlerin her üç yöntemde neredeyse aynı sonuçları vererek deneysel sonuçlara da oldukça yaklaşımlardır. Genel olarak ASHRAE Yöntemi %5,44 Howell Yöntemi %2,3 Hottel Yöntemi ise %2,33 oranında ortalama bir değişim göstermişlerdir



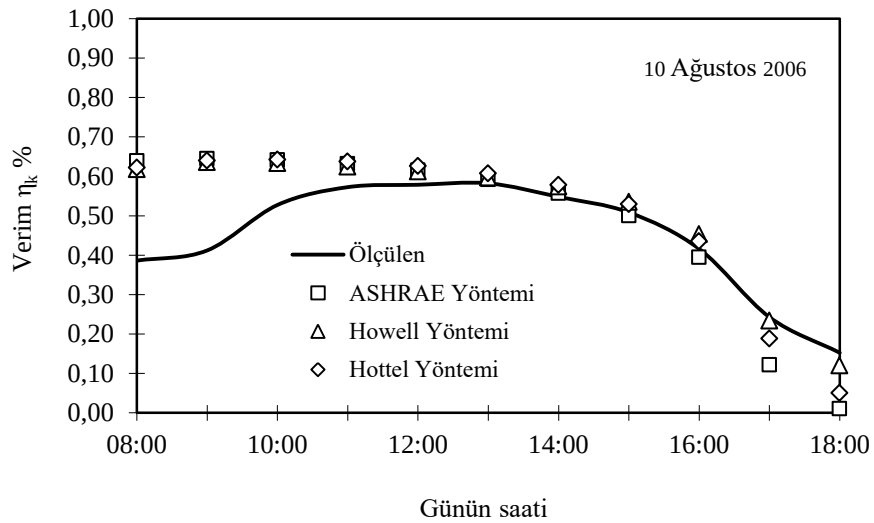
Şekil 4.4. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (10 Ağustos)

Isı taşıyıcı akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı için yapılan hesaplamaların sonuçları Şekil 4.4'de görülmektedir. Buna göre ASHRAE Yöntemi sabah saatlerinde 25°C civarında olup öğlen 13.45-14.00 arasında maksimum değeri olan 51,96°C'yi alarak azalmaya başlar ve gün sonunda 42°C'ye kadar düşmektedir. Howell Yöntemi'nde ise akışkanın kolektörden çıkış değeri sabah 27,6°C, öğlen saat 14.00 civarında maksimum olup 50,29°C ve akşam da 38°C civarında olmaktadır. Hottel Yöntemi'nde de diğer yöntemlerle benzer sonuçlar elde edilmiştir. Öğlen 13.00-14.00 arasında maksimuma ulaşarak 50,76°C gibi bir değer almaktadır. Ölçüm değerleri de güne 25,5°C ile başlayıp öğlen saatlerinde maksimum 50,6°C değerine ulaşmıştır. ASHRAE Yöntemi %3,15 Howell Yöntemi %2,36 Hottel Yöntemi %1,31 oranında ortalama değişim göstermişlerdir.



Şekil 4.5. Enerji depolama tankı sıcaklığı (10 Ağustos)

Enerji depolama tankı sıcaklığı Şekil 4.5’de verilmiştir. Sıcaklık değerleri gün sonunda ASHRAE Yöntemi’nde 44,6°C’ye kadar ulaşmaktadır. Howell Yöntemi’nde 42°C civarındadır. Hottel Yöntemi’nde ise maksimum depo sıcaklığı 41,1°C’ye ulaşmıştır. Ölçüm değerleri her üç değere de benzerdir fakat ortalama değişim oranları ASHRAE Yöntemi’nde %9,08 Howell Yöntemi’nde %5,79 ve Hottel Yöntemi’nde ise %5,48 şeklindedir.

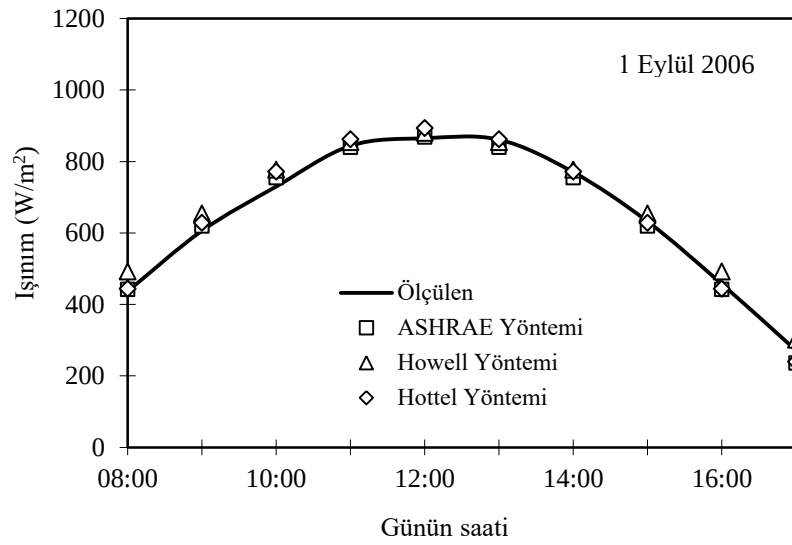


Şekil 4.6. Kolektör verimi (10 Ağustos)

Şekil 4.6’da kolektörün anlık verimi verilmiştir. ASHRAE Yöntemi kolektör verimi saat 9.00-11.00 arasında maksimuma ulaşarak %64 dolaylarında değer almaktadır. Howell Yöntemi’nde bu değer sabah saatlerin de maksimum olup %63 civarındadır. Hottel Yöntemi’nde de kolektör verimi en yüksek sonucu olan %64 değerini sabah 9.00-11.00 saatleri arasında vermiştir. Ölçüm değerleri ise öğlen 13.00-14.00 arasında maksimuma ulaşarak %58 gibi bir değer almaktadır.

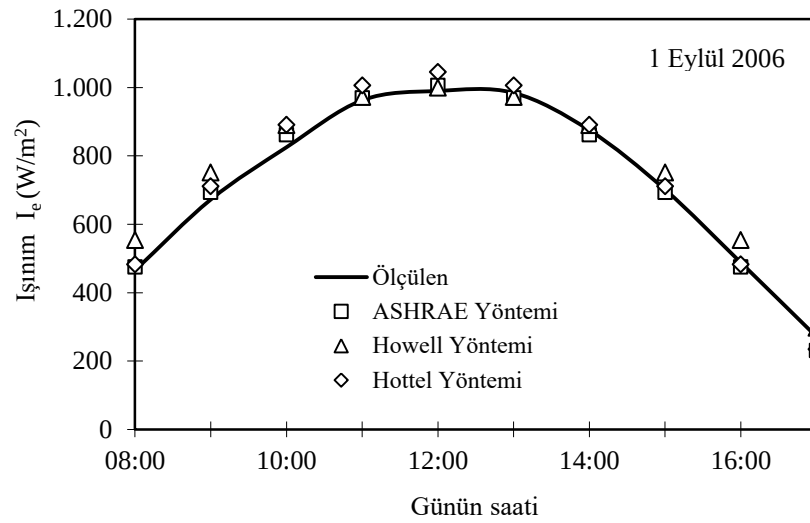
Deneysel sonuçların veriminin sabah saatlerinde teorik sonuçlara göre düşük olması, ilgili saatlerdeki anlık güneş ışıının şiddeti (enerjisi) etkisinin, ısı taşıyıcı akışkana hemen değil de belirli bir zaman (yaklaşık bir saat) sonra geçişinden kaynaklanmaktadır. Yani sabah erken saatlerde ve akşam gün batımına yakın saatlerde gelen güneş ışıının şiddetine göre sistemin kararlı hale geçişi için belirli bir sürece ihtiyaç duyulmaktadır.

Yaptığımız bu çalışmada kullandığımız hesaplama metotlarının uygunluğunu araştırmak için bir de karşılaştırma 1 Eylül de yapılan ölçümler için yapıldı. Deneysel ölçümler 12 adet düzlemsel güneş kolektörlü deney düzeneğinde yapıldığı için hesaplamalar 1 Eylül için yapılırken programda da bu veriler değiştirilmiştir. Bu nedenle ölçüm değerleri de hesaplama sonuçları da 10 Ağustos tarihindeki sonuçlara göre daha yüksek değerler almıştır. Bu karşılaştırmaların grafikleri ise aşağıdaki gibidir.



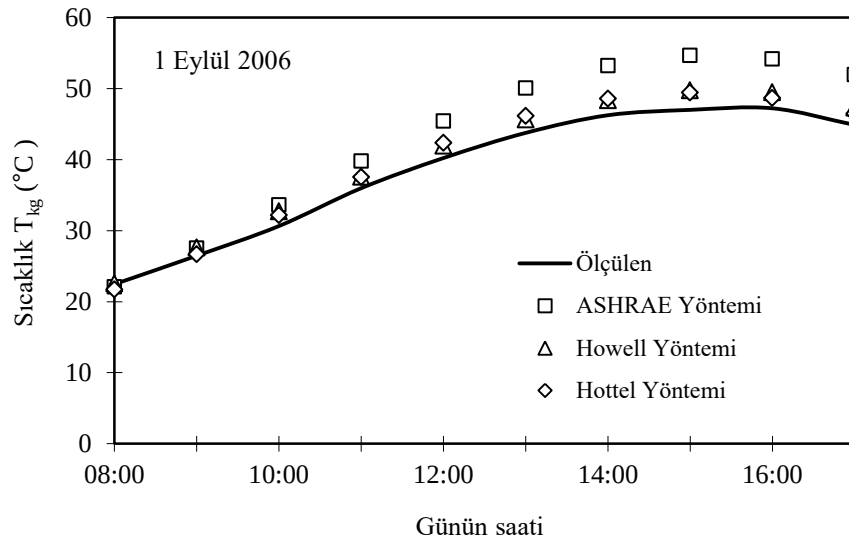
Şekil 4.7. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıını (1 Eylül)

Şekil 4.7’de verilen yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıını eylül ayı için ASHRAE Yöntemi hesaplarında 441 W/m^2 ile başlayıp öğlen saatlerinde maksimum 868 W/m^2 civarında olup daha sonraki saatlerde azalmaktadır. Howell Yöntemi’nde ise benzer değerleri alarak 491 W/m^2 ile başlayıp 879 W/m^2 ile maksimuma ulaştıktan sonra azalmaktadır. Hottel Yöntemi hesaplarında sonuçlar sabah saatlerinde 443 W/m^2 ile başlayıp artarak maksimum 893 W/m^2 civarına ulaşır. Daha sonra da azalarak gün sonunda 100 W/m^2 ‘nin altına kadar düşmektedir. Deneysel sonuçlarla karşılaştırdığımızda her üç yöntemde güzel sonuçlar vererek ASHARE Yöntemi %3,26 Howell Yöntemi %4,93 Hottel Yöntemi %3,29 ortalama değişim göstermişlerdir.



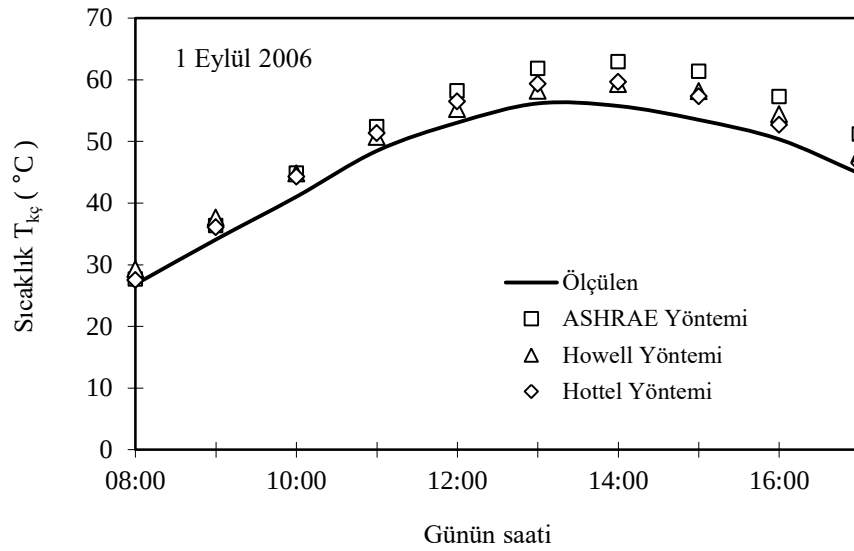
Şekil 4.8. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (1 Eylül)

Şekil 4.8’de eğimli yüzey için toplam güneş ışıınımı verilmiştir. Ölçüm değerleri günün ilk saatlerinde 465 W/m^2 civarında iken öğlen saatlerinde en yüksek değerini alarak 990 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. ASHRAE Yöntemi hesaplarında sabah saatlerinde 474 W/m^2 iken öğlen saatlerinde maksimum değerini alarak 1005 W/m^2 olur. Howell Yöntemi hesaplarında sabah saatlerinde 553 W/m^2 civarında olup öğlen saatlerinde maksimum 999 W/m^2 değerini alır. Hottel Yöntemi hesapları ise günün ilk saatlerinde 482 W/m^2 değerini alırken maksimum değeri 1045 W/m^2 olup teorik sonuçlarında en yüksek değeridir. Yöntemlerin sırasıyla ortalama değişim değerleri ise %3,63 %6,57 %4,79 şeklindedir.



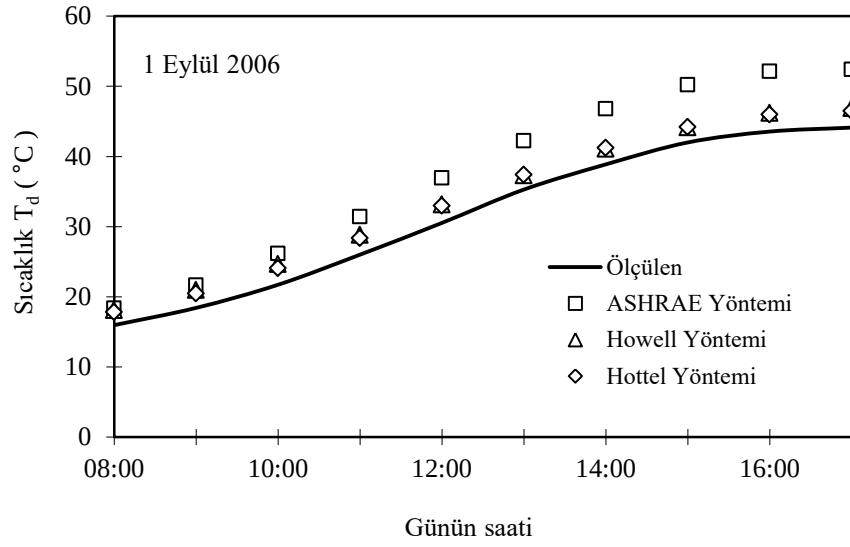
Şekil 4.9. Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı (1 Eylül)

Isı taşıyıcı akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı Şekil 4.9 incelendiğinde ASHRAE Yöntemi'nde sabah saatlerinde 22°C civarında iken maksimum 54,65°C'ye kadar ulaşmaktadır. Howell Yöntemi'nde günün ilk saatlerinde 22,5°C iken ilerleyen saatlerde 49,74°C'ye ulaşmaktadır. Hottel Yöntemi ise maksimum 49,4°C'ye ulaşmaktadır. Ortalama değişim değerleri ise sırasıyla %10,17 %4,31 %3,95 şeklindedir. Yani deneysel sonuçlara en yakın değerleri Hottel Yöntemi vermiştir.



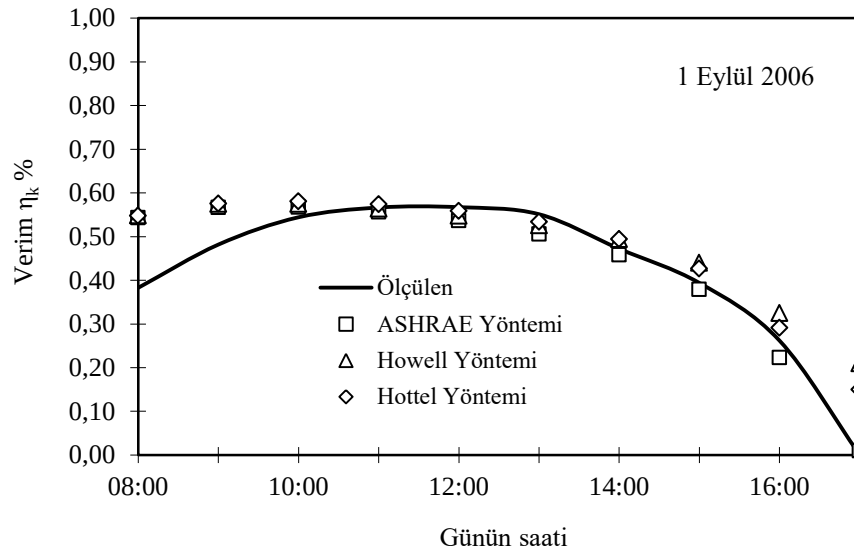
Şekil 4.10. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (1 Eylül)

Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı Şekil 4.10'a göre ASHRAE Yöntemi'nde sabah saatlerinde 28°C civarında iken ilerleyen saatlerde artarak maksimum 62,93°C değerini alır. Howell Yöntemi sonuçları sabah saatlerinde 29,27°C iken maksimum 60°C civarındadır. Hottel Yöntemi değerleride güne 27,5°C le başlarken maksimum 59,65°C değerini alır ve ortalama %5,36'lık bir değişim göstererek deneysel sonuçlara en yakın değerleri alan yöntem olmuştur. Onu Howell Yöntemi ortalama %6,6 değişim oranıyla takip ederken ASHRAE Yöntemi %9,19'luk ortalama değişim oranıyla deneysel sonuçlara en uzak kalan yöntem olmuştur.



Şekil 4.11. Enerji depolama tankı sıcaklığı (1 Eylül)

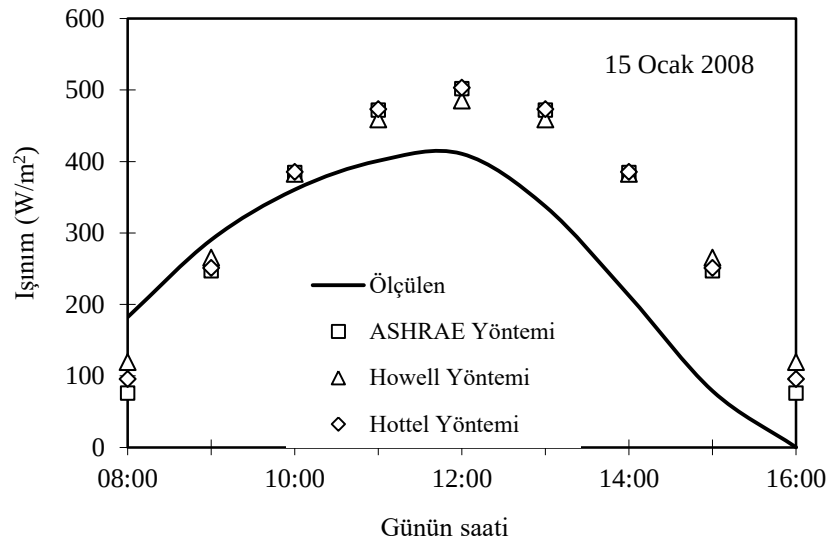
Depoda ki suyun sıcaklığı Şekil 4.11 incelendiğinde her üç yöntemde de öğlen saatlerine kadar benzer sonuçlar verirken ilerleyen saatlerde ASHRAE Yöntemi'nin teorik olarak daha yüksek sonuçlar vererek maksimum 52,43°C değerini aldığı görülmüştür. Howell Yöntemi maksimum 50°C civarında iken Hottel Yöntemi maksimum 46,5°C değerini almıştır. Hottel Yöntemi %7,28'lik ortalama değişim göstererek deneysel sonuçlara en yakın değerleri veren yöntemdir. ASHRAE Yöntemi ise %16,18 oranında ortalama değişim göstererek deneysel sonuçlara en uzak kalan yöntem olmuştur.



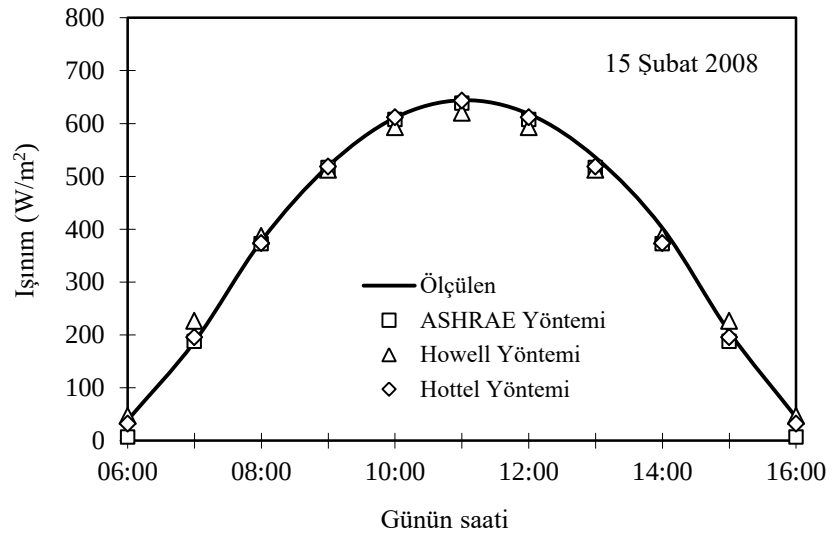
Şekil 4.12. Kolektör verimi (1 Eylül)

Anlık kolektör verimi Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 10 Ağustos sonuçlarında görülen durum burada da sözkonusudur. Sabah saatlerinde ve günbatımına yakın akşam saatlerinde teorik verimler daha yüksektir çünkü sistem kararlı hale gelinceye kadar belirli bir süre geçmiştir. ASHRAE Yöntemi maksimum %56 verime ulaşmıştır. Howell Yöntemi maksimum %57 verime ulaşmıştır. Hottel Yöntemi ise maksimum %58 verime ulaşmıştır.

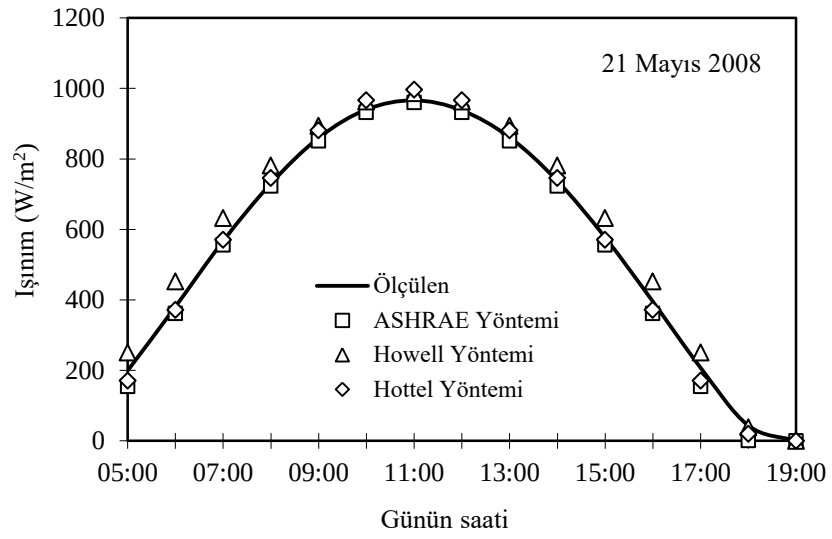
Daha önce yılın farklı aylarında yapılmış olan yatay yüzey ısıtım değerleri için elde edilen teorik sonuçlar aşağıda verilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde ölçüm değerleri sabah saatlerinde teorik sonuçlara göre iyi olmasına rağmen ilerleyen saatlerde düşüş göstermiştir. Bu durum o günkü atmosferik şartlardan (toz, bağıl nem vb.) kaynaklanmaktadır. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 grafiklerini incelediğimizde teorik sonuçların ölçüm değerleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (15 Ocak)



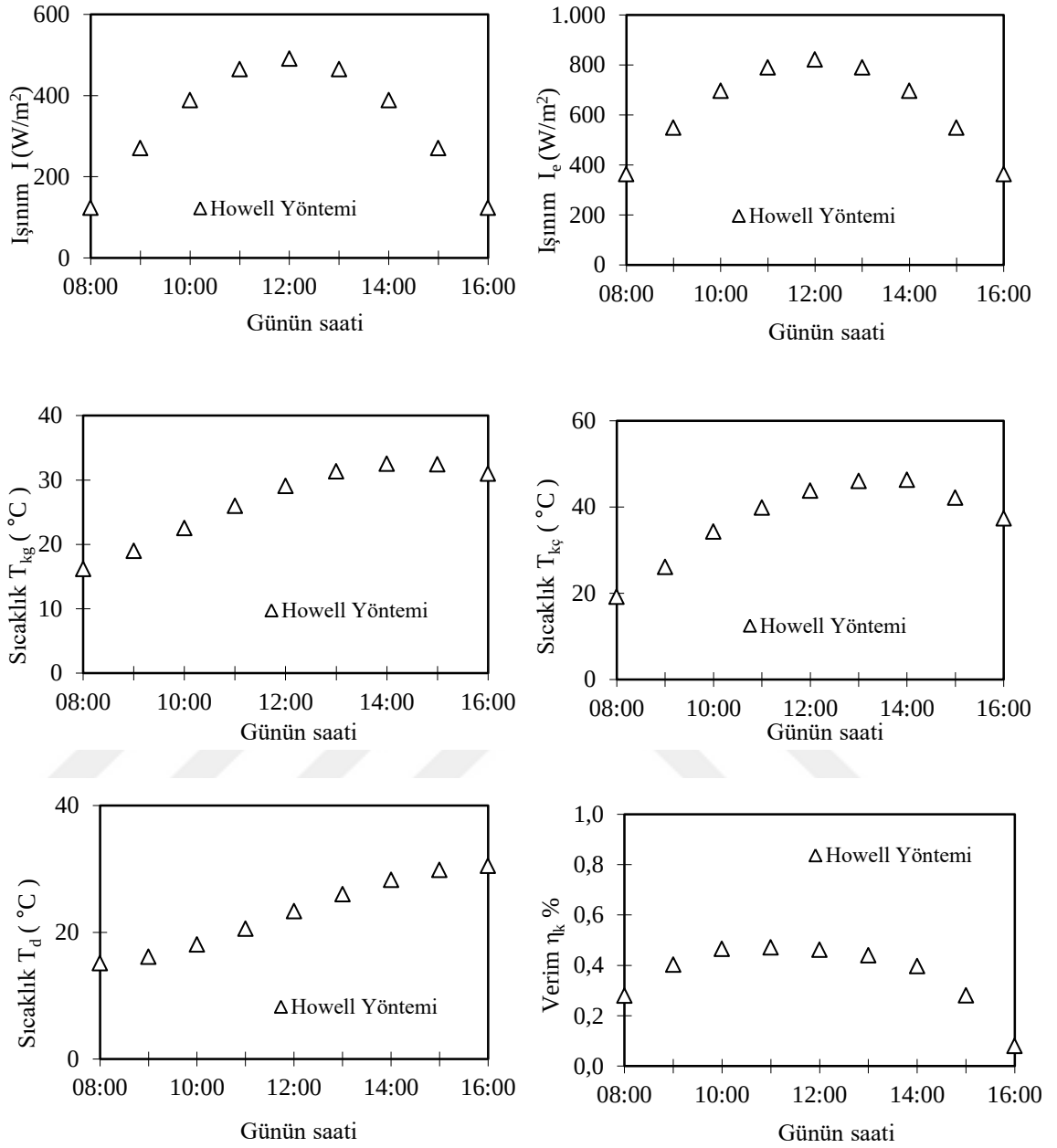
Şekil 4.14. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (15 Şubat)



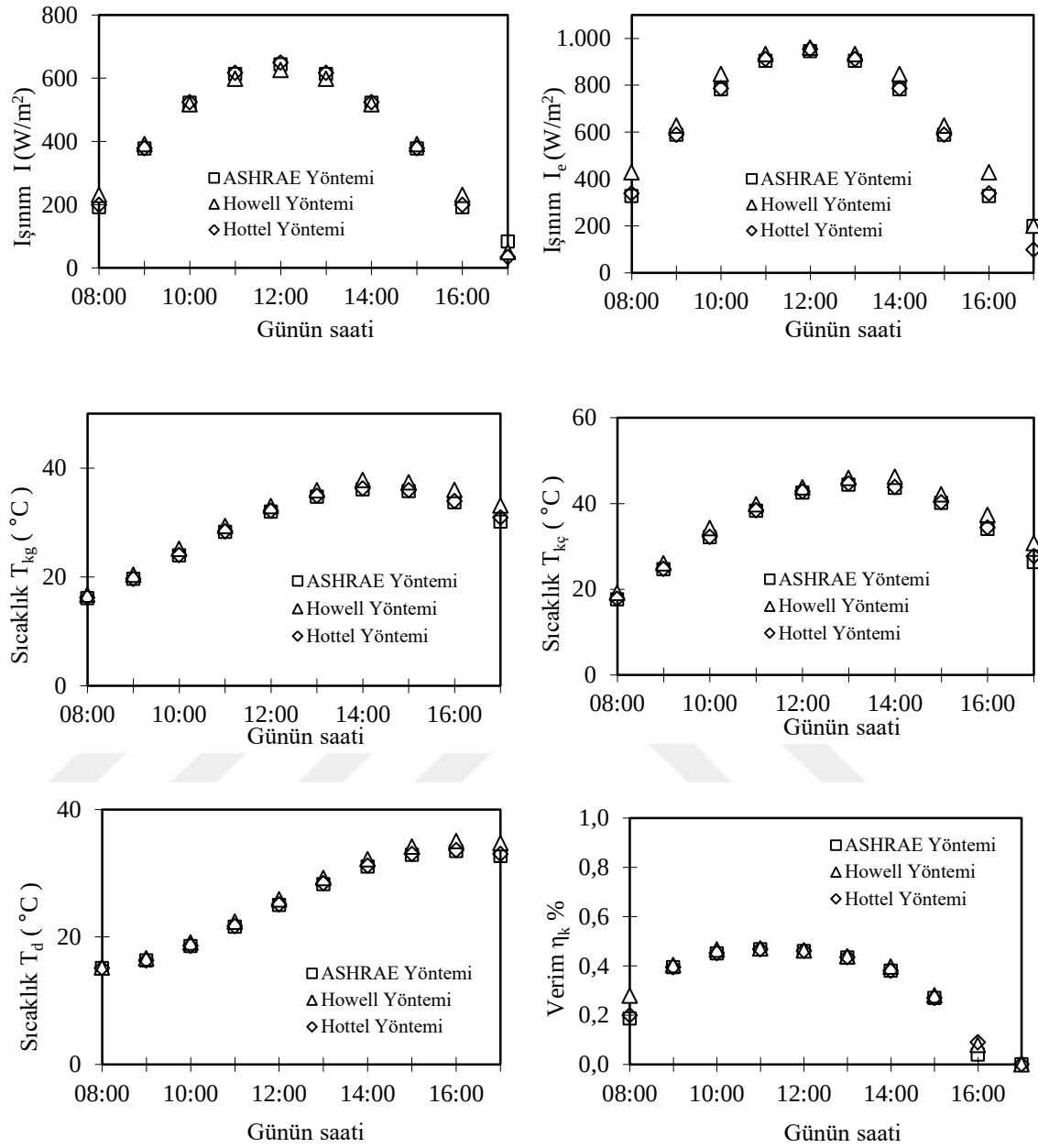
Şekil 4.15. Yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı (21 Mayıs)

4.1. Teorik Sonuçlar

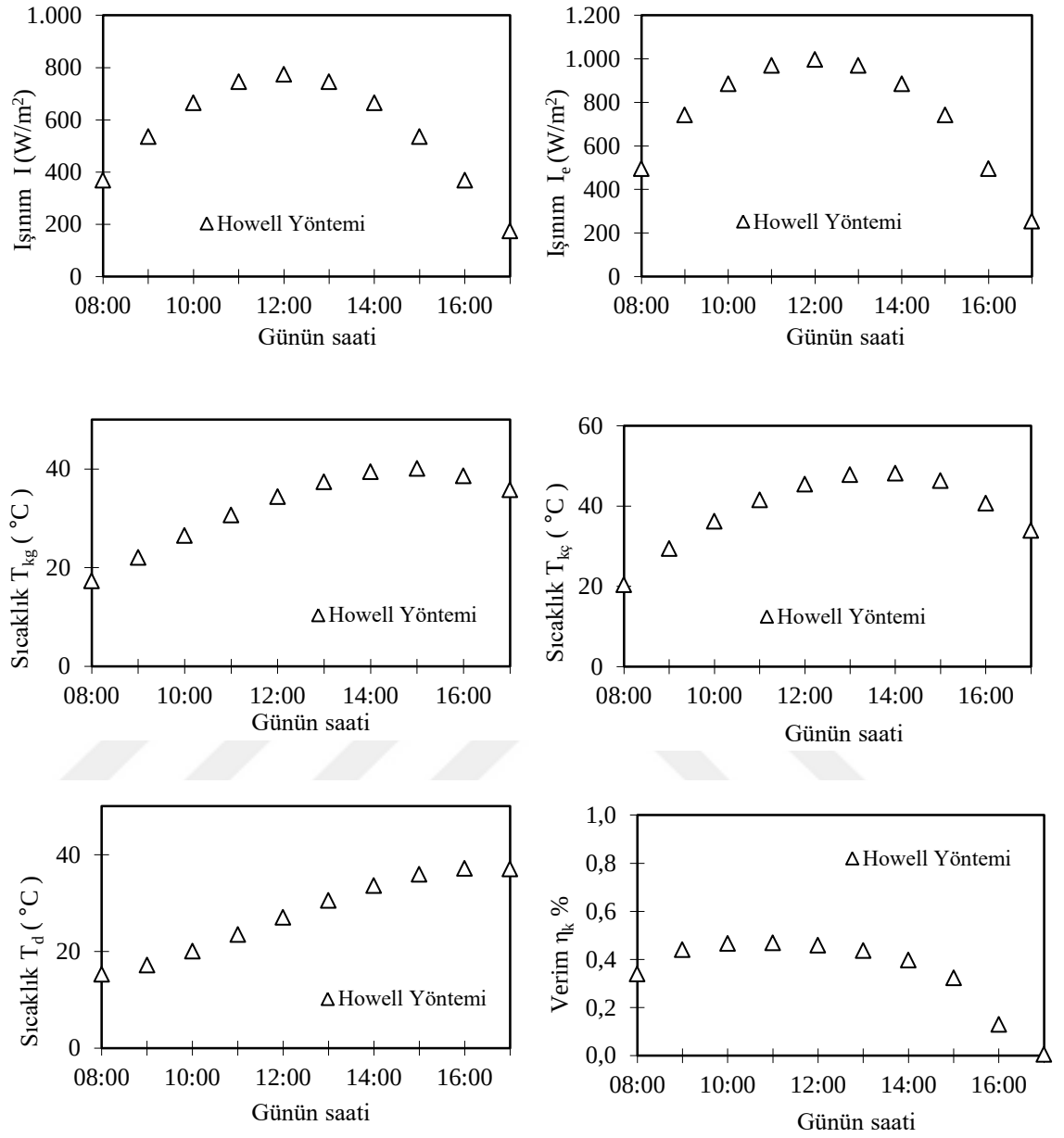
Şekil 4.16-27’de ayların ortalamasını veren günler (17 Ocak, 16 Şubat, 16 Mart, 15 Nisan, 11 Haziran, 17 Temmuz, 16 Ağustos, 15 Eylül, 15 Ekim, 14 Kasım, 10 Aralık) için teorik hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar Howell Yöntemi ile 12 adet kolektörlü ve 2000 L hacimli enerji depolama tankı olan sistem üzerinden yapılmıştır.



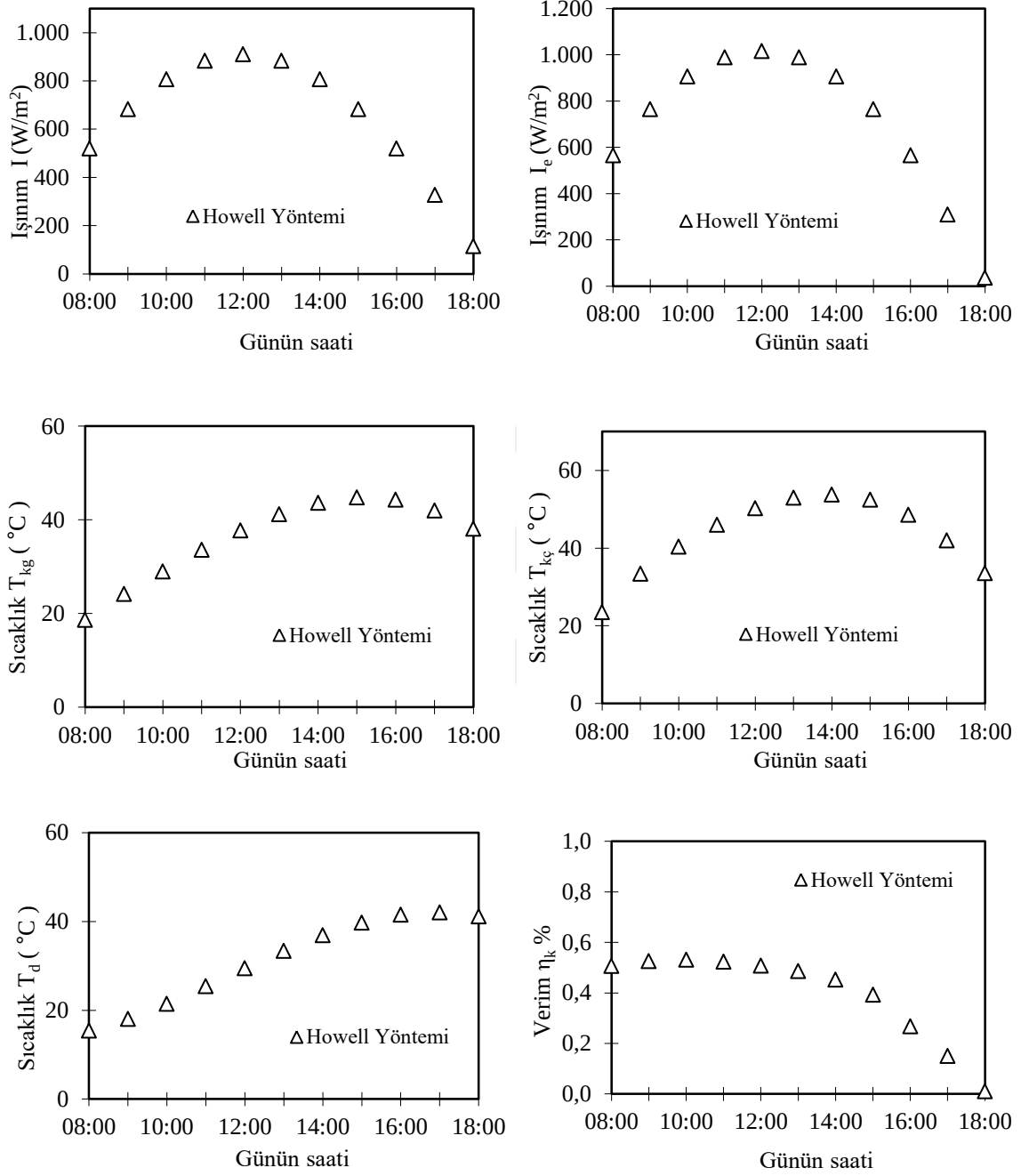
Şekil 4.16. Ocak ayı teorik sonuçları



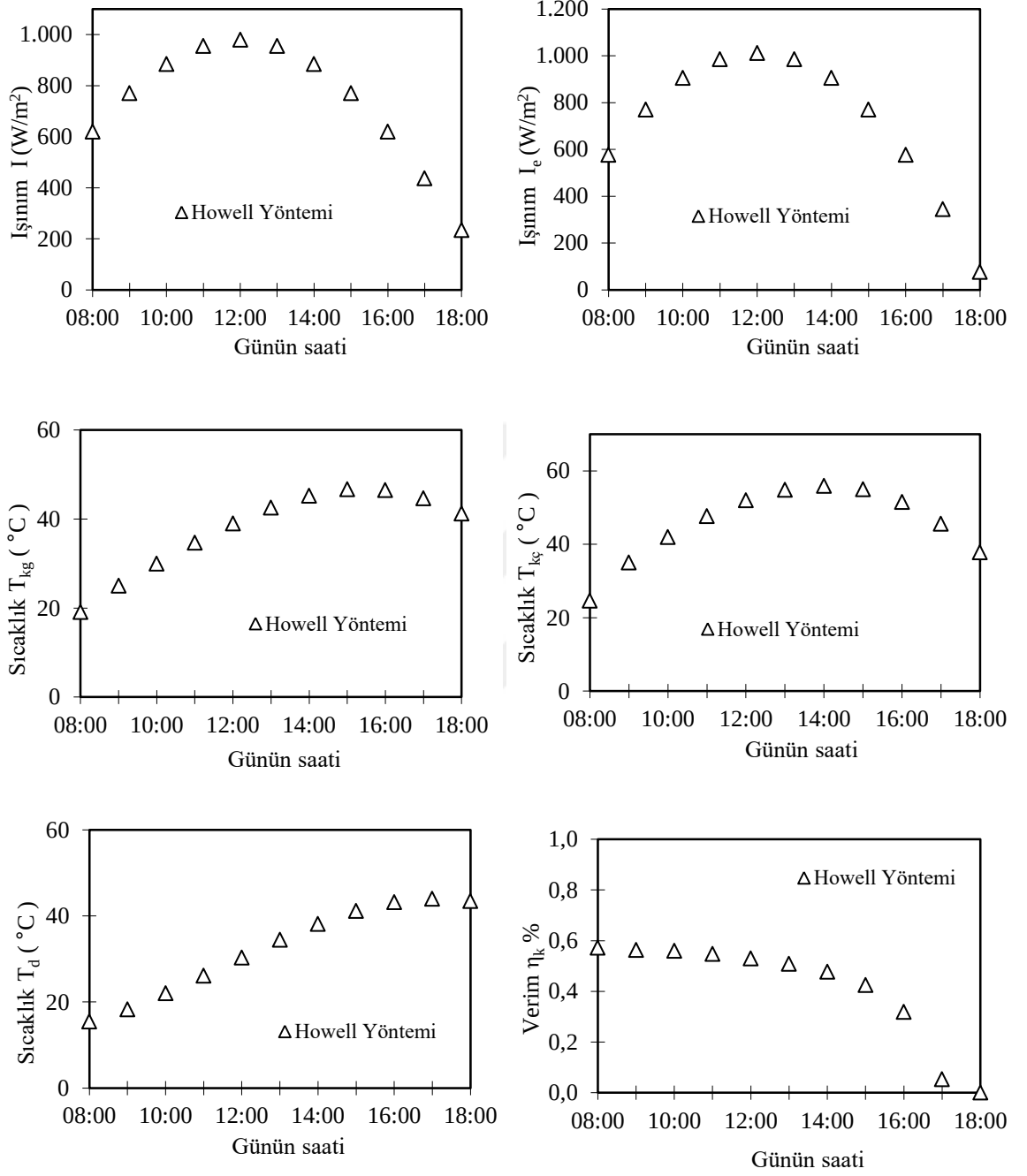
Şekil 4.17. Şubat ayı teorik sonuçları



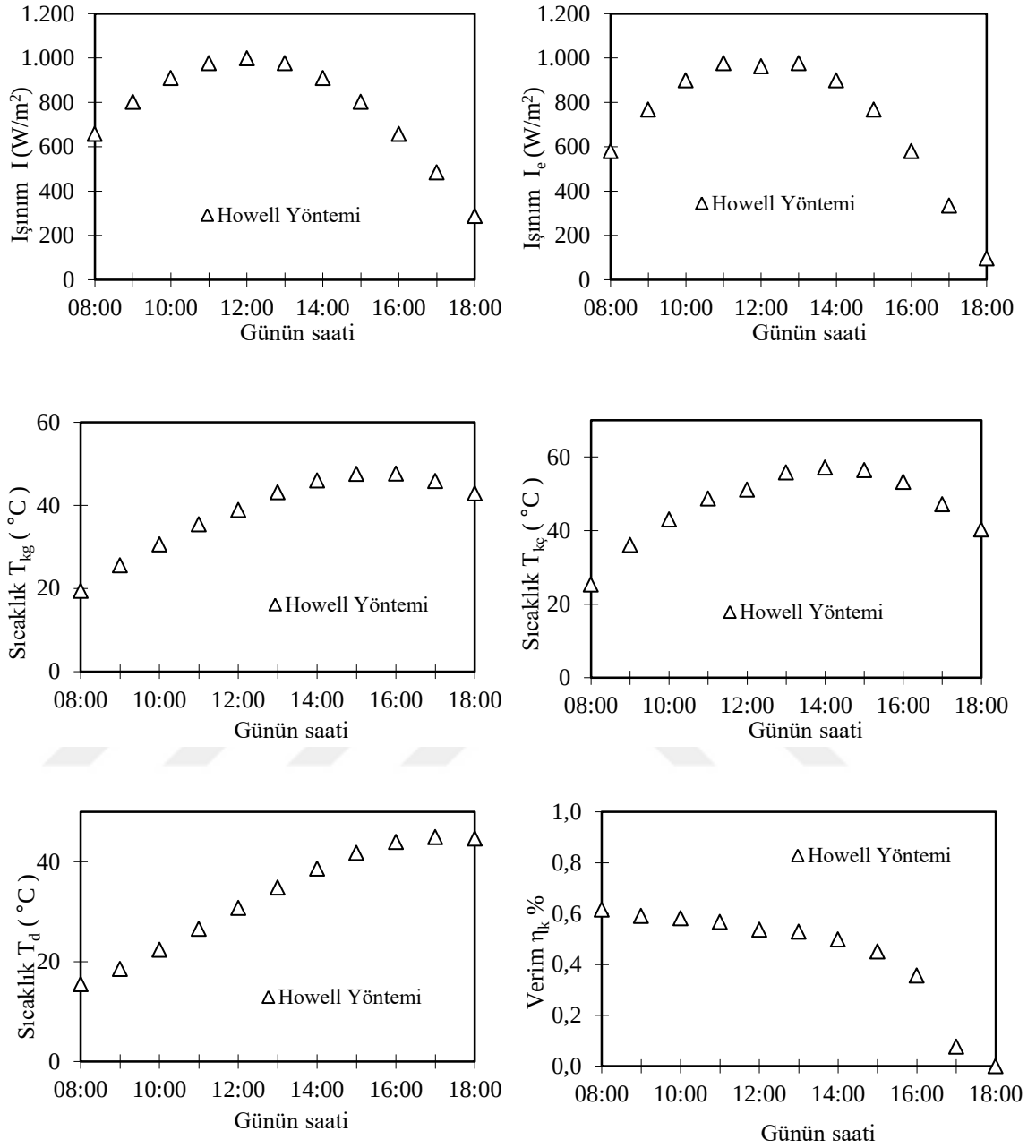
Şekil 4.18. Mart ayı teorik sonuçları



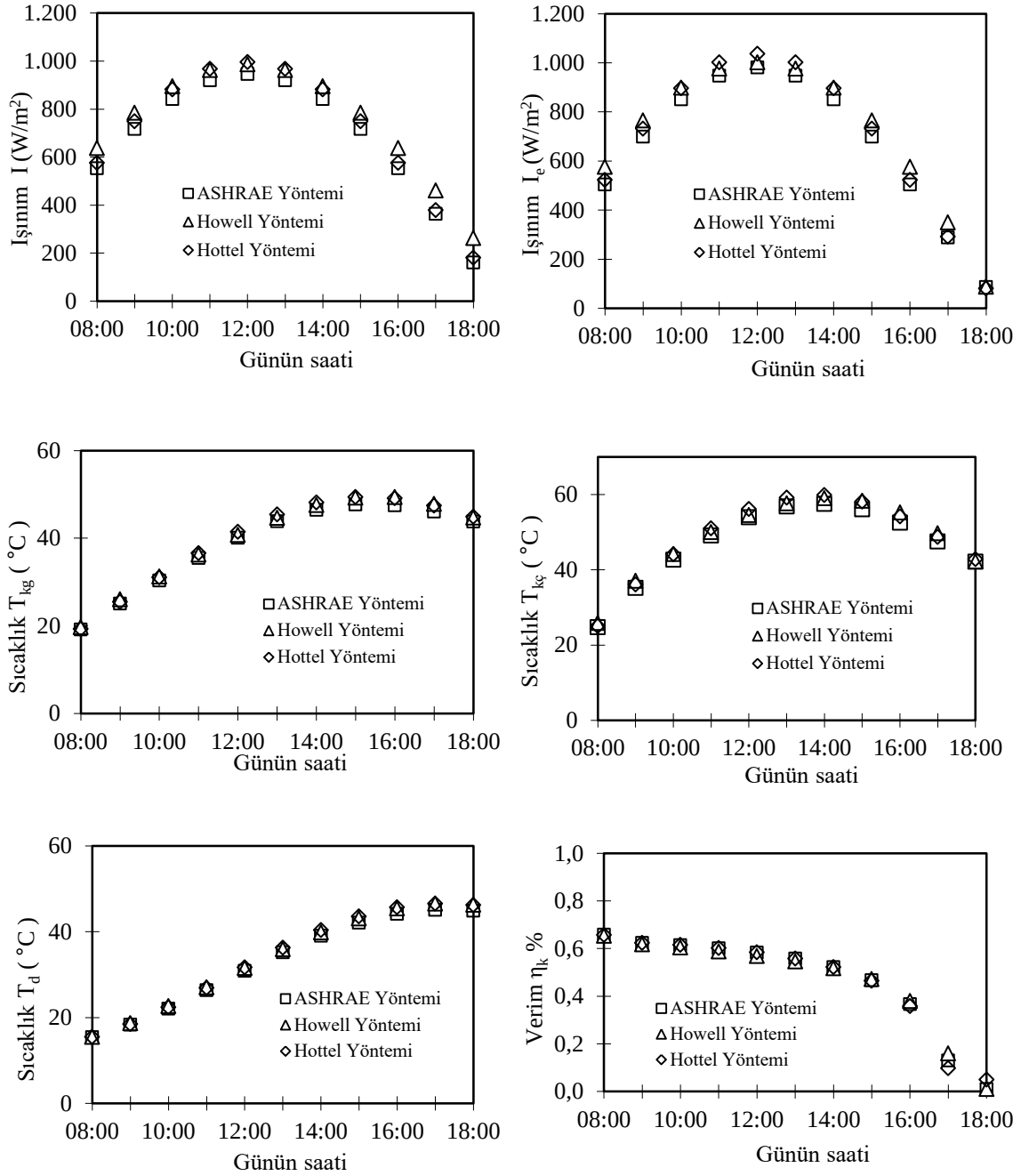
Şekil 4.19. Nisan ayı teorik sonuçları



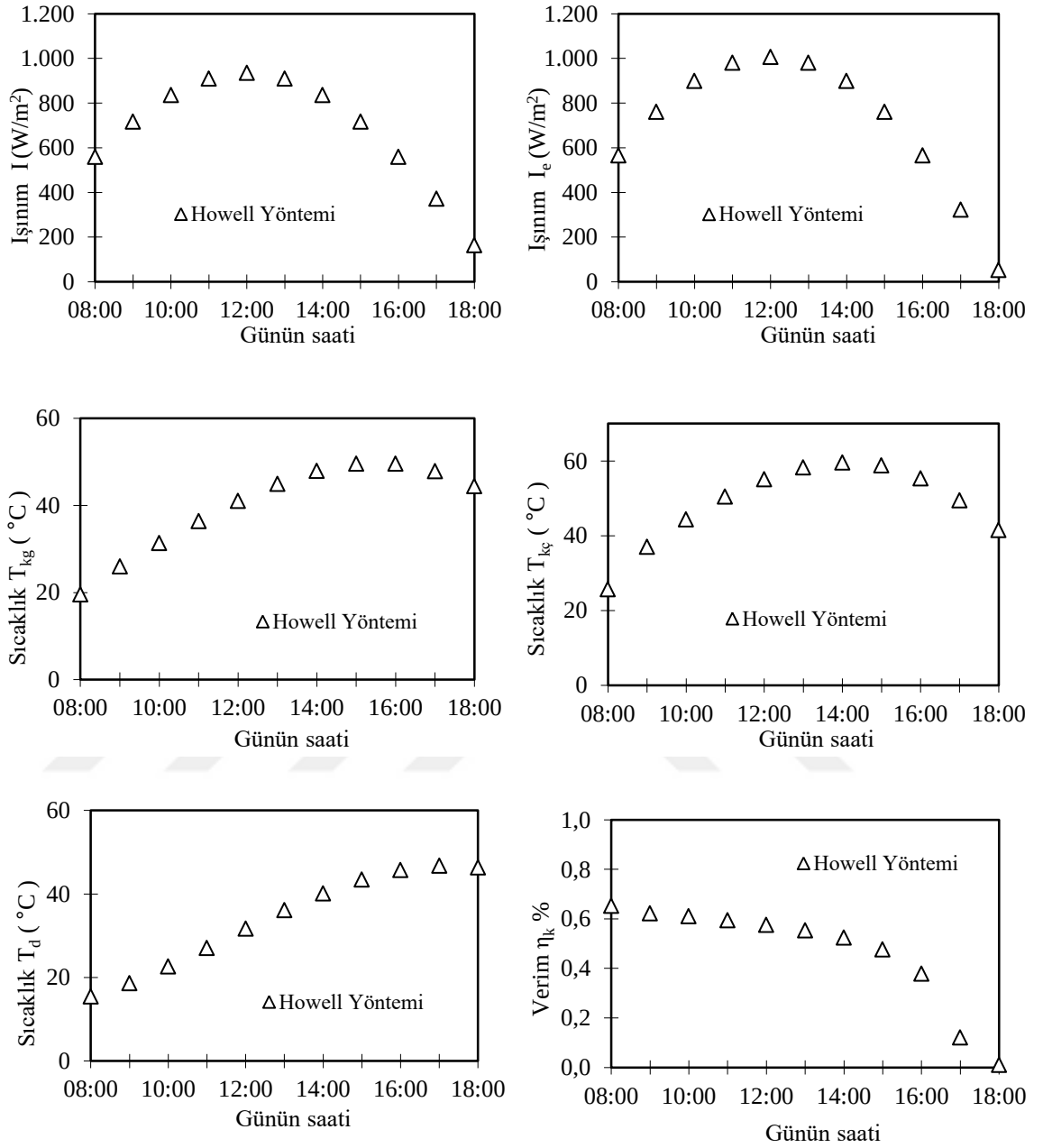
Şekil 4.20. Mayıs ayı teorik sonuçları



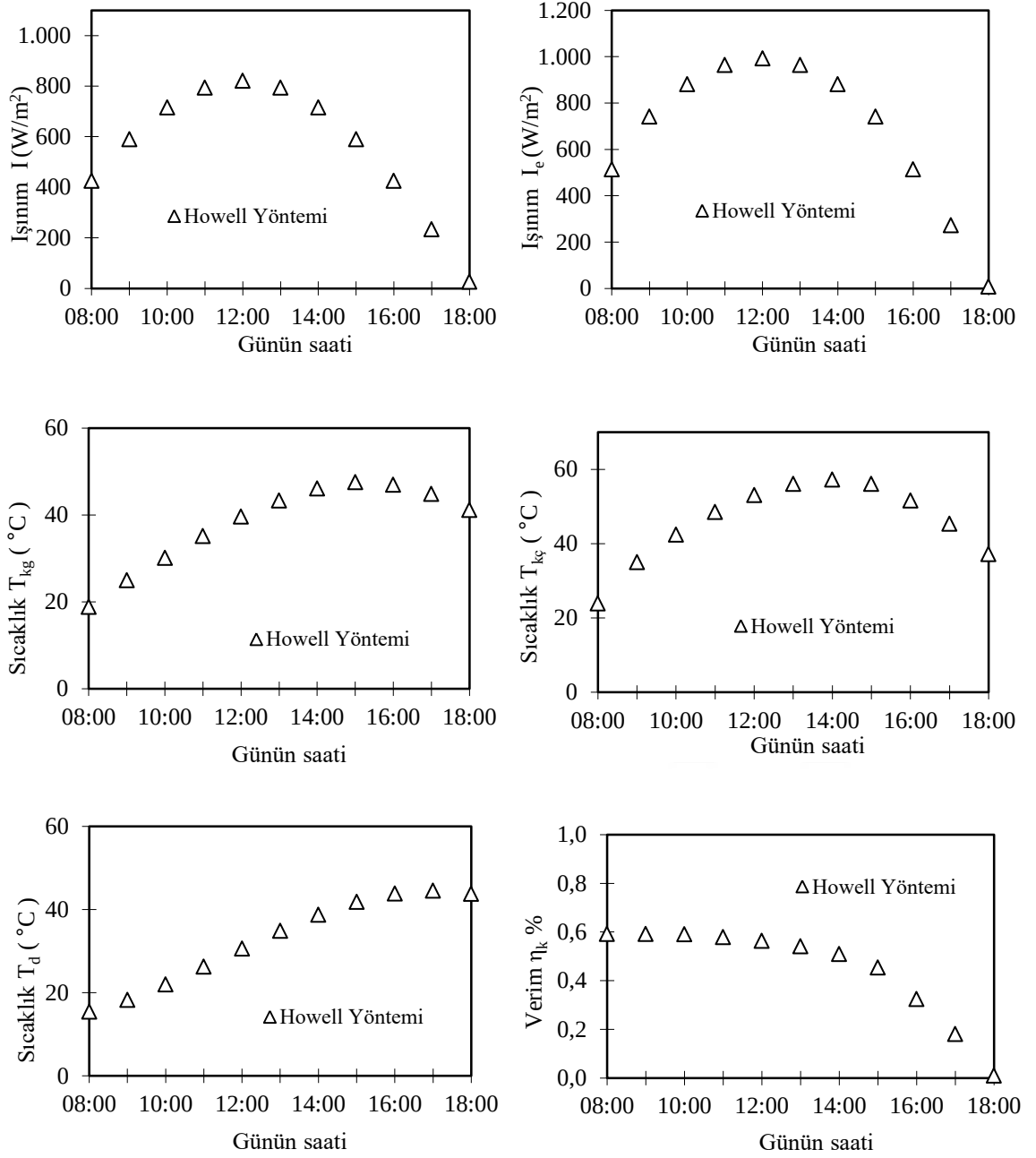
Şekil 4.21. Haziran ayı teorik sonuçları



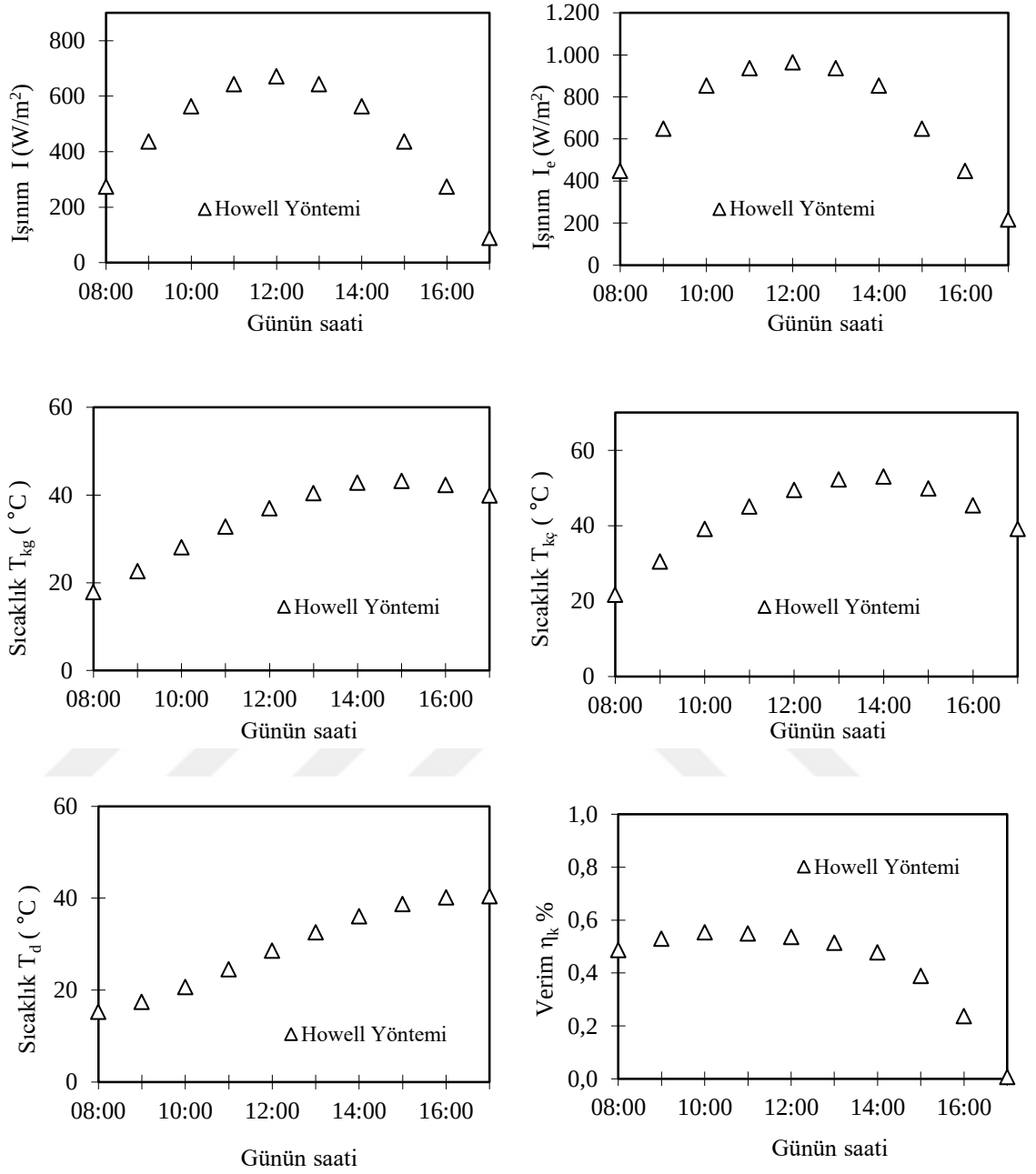
Şekil 4.22. Temmuz ayı teorik sonuçları



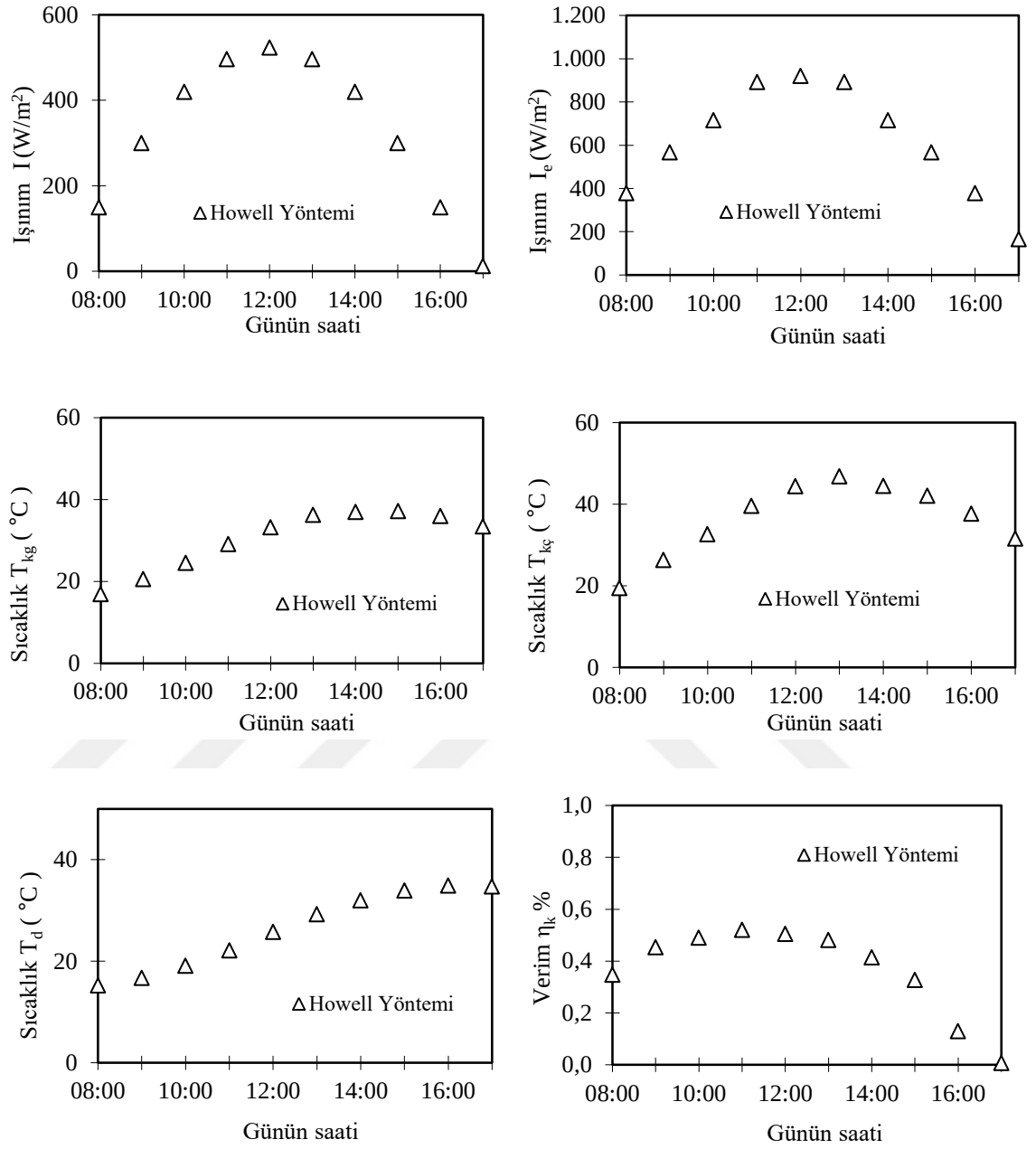
Şekil 4.23. Ağustos ayı teorik sonuçları



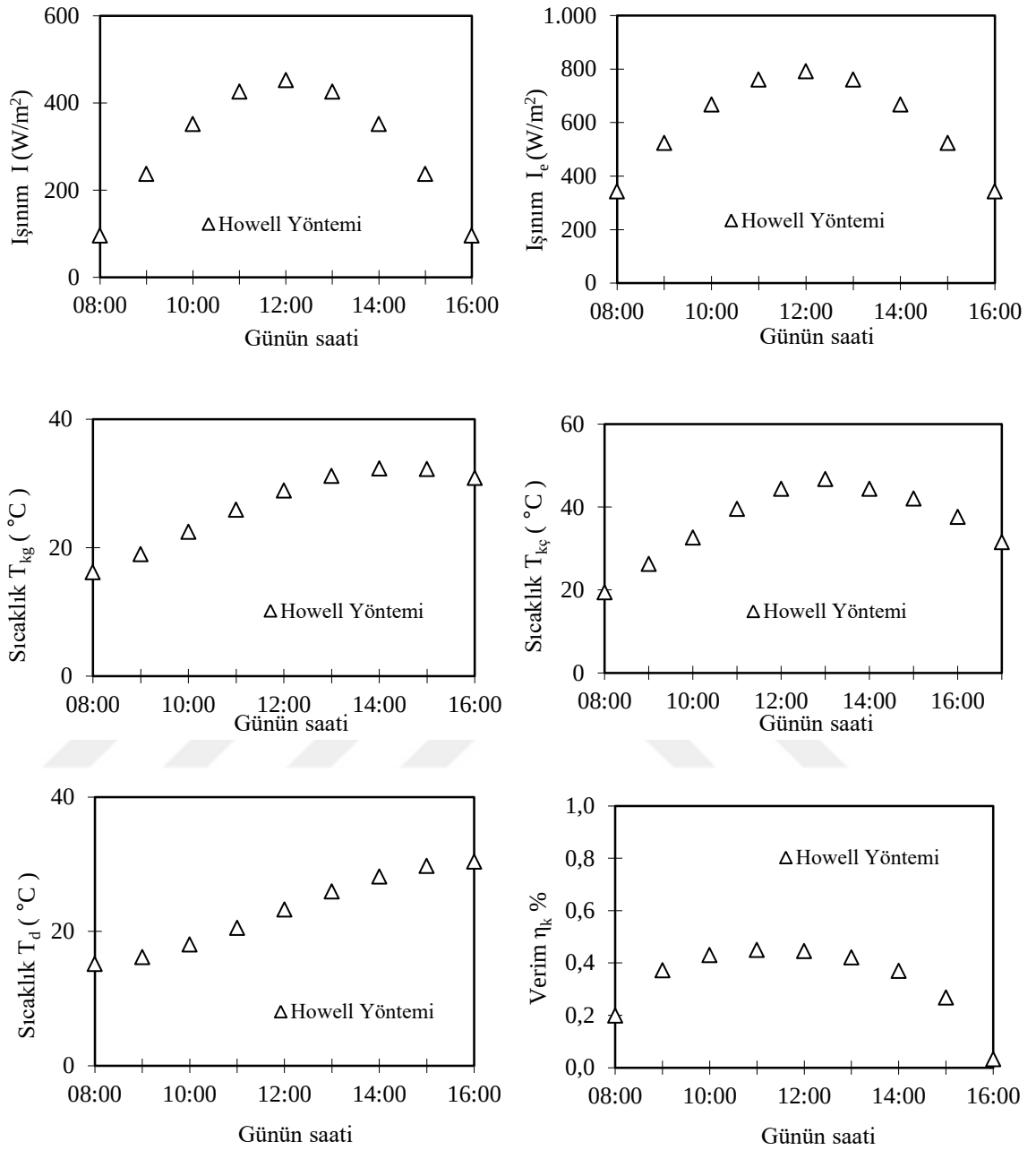
Şekil 4.24. Eylül ayı teorik sonuçları



Şekil 4.25. Ekim ayı teorik sonuçları

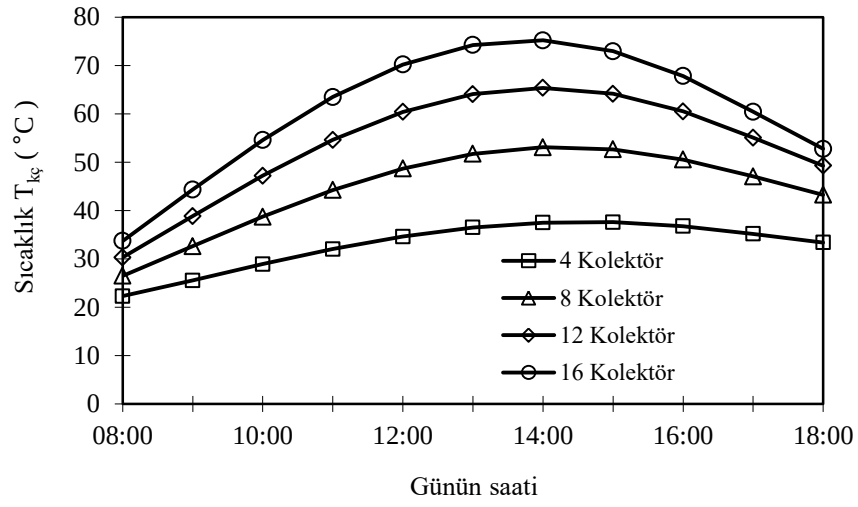


Şekil 4.26. Kasım ayı teorik sonuçları



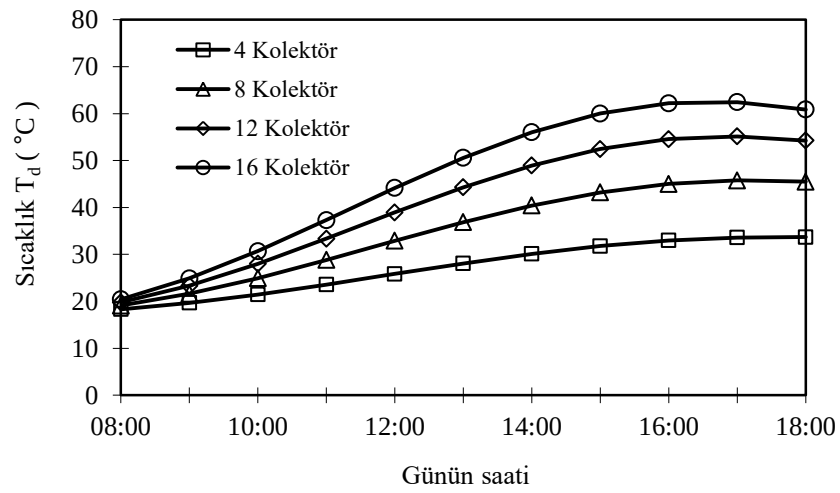
Şekil 4.27. Aralık ayı teorik sonuçları

Ayrıca, bu çalışma ısı taşıyıcı akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (T_2) ve enerji depolama tankı sıcaklığı (T_d) değişimi kolektör yüzey alanına (A_k) ve depodaki su miktarına (M_d) bağlı olarak incelenmiştir. Hesaplamalar 10 Ağustos için ve ASHRAE Yöntemi'ne göre yapılmış olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.28. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığının A_k 'ya bağlı değişimi

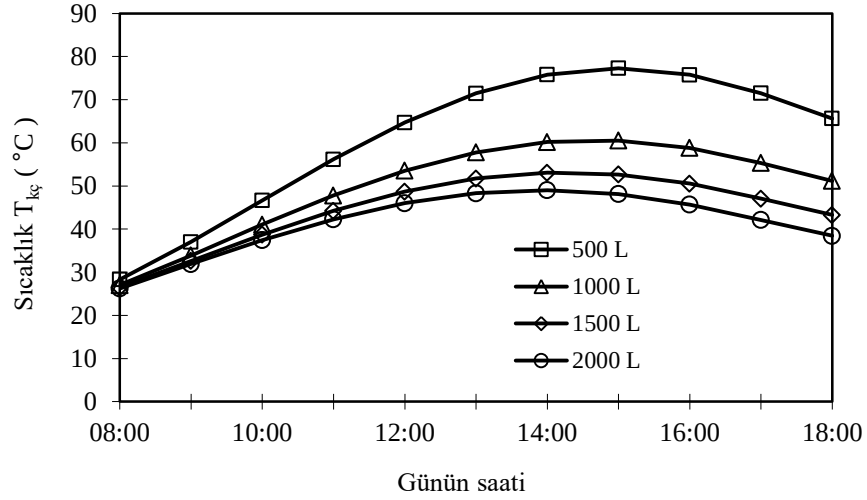
Şekil 4.28 incelendiğinde ısı taşıyıcı akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı A_k arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.29. Enerji depolama tankı sıcaklığının A_k 'ya bağlı değişimi

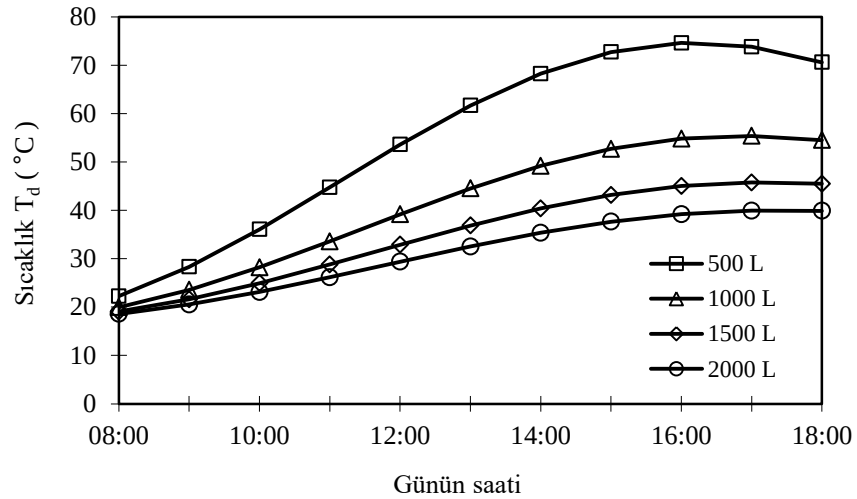
Şekil 4.29 incelendiğinde, enerji depolama tankı sıcaklığı A_k arttıkça artış göstermektedir.

Depodaki su miktarına bağılı değişim incelenirken sistem 8 adet kolektörlü kabul edilip ASHRAE Yöntemi'ne göre hesaplama yapılmıştır.



Şekil 4.30. Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığının M_d 'ye bağılı değişimi

Isı taşıyıcı akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı enerji depolama tankındaki su miktarı arttıkça azalmıştır. Bu değişim Şekil 4.30'da detaylı olarak görölmektedir.



Şekil 4.31. Enerji depolama tankı sıcaklığının M_d 'ye bağılı değişimi

Şekil 4.31 incelendiğinde enerji depolama tankı sıcaklığı depoda ki su miktarı arttıkça azalmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Güneş enerjili su ısıtma isteminin teorik incelemesinin yapıldığı bu çalışmada, deneysel veriler ile teorik sonuçların karşılaştırılması, Erzurum ilinde yapılan deneysel çalışmadan alınmış olan veriler kullanılarak yapılmıştır. Sistemin teorik incelenmesi de üç farklı yöntemle MATLAB programında yapılmıştır. Model çalışması, Ağustos ve Eylül aylarında yapılan deneysel ölçümler ile test edilmiştir. Hesaplama yapılan yöntemler literatürde ASHRAE, Howell ve Hottel metodu olarak bilinmektedir.

Ağustos ayı için yapılan ışıınım hesaplamalarında yatay yüzeye gelen ışıınım, eğimli yüzeye gelen ışıınım, akışkanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları, enerji depolama tankı sıcaklığı ve anlık kolektör verimi ayrı ayrı incelenerek ölçüm değerlerine göre mukayese edilmiştir. Her bir değer için hangi yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Ağustos ayında; yatay yüzeye gelen toplam maksimum güneş ışıınımı (I) değerleri sırasıyla ASHRAE (912 W/m^2), Howell (949 W/m^2) ve Hottel (958 W/m^2) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %6,98 değişim ile ASHRAE Yöntemi olduğu görülmüştür.

Ağustos ayında; eğimli yüzeye gelen toplam maksimum güneş ışıınımı (I_e) değerleri sırasıyla ASHRAE (990 W/m^2), Howell (1006 W/m^2), Hottel (1048 W/m^2) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %10,62 değişim ile ASHRAE Yöntemi olduğu görülmüştür.

Ağustos ayında; ısı taşıyıcı akışkanın kolektöre maksimum giriş sıcaklığı (T_1) değerleri ASHRAE ($45,78^\circ\text{C}$), Howell ($43,35^\circ\text{C}$), Hottel ($43,11^\circ\text{C}$) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %2,30 değişim ile Howell Yöntemi olduğu görülmüştür.

Ağustos ayında; ısı taşıyıcı akışkanın kolektörden maksimum çıkış sıcaklığı (T_2) değerleri ASHRAE (51,96°C), HOWELL (50,29°C), HOTTEL (50,76°C) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %1,31 değişim ile HOTTEL Yöntemi olduğu görülmüştür.

Ağustos ayında; enerji depolama tankı maksimum sıcaklığı (T_d) değerleri gün sonunda ASHRAE (44,60°C), Howell (41,23°C), Hottel (41,10°C) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %5,48 değişim ile Hottel Yöntemi olduğu görülmüştür.

Ağustos ayında; kolektörün anlık verimi (η_k) hesaplarında ise teorik sonuçlar ölçüm değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Deneysel sonuçlar da verim maksimum %58 değerini alırken ASHRAE Yöntemi maksimum verim %64, Howell Yöntemi için maksimum verim %63 ve Hottel Yöntemi de maksimum %64 verime ulaşmıştır.

Eylül ayında; yatay yüzeye gelen toplam maksimum güneş ışıınımı (I) değerleri ASHRAE (868 W/m²), Howell (879 W/m²), Hottel (1045 W/m²) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %3,26 değişim ile ASHRAE Yöntemi olduğu görülmüştür.

Eylül ayında; eğimli yüzeye gelen toplam maksimum güneş ışıınımı (I_e) değerleri ASHRAE (1005 W/m²), Howell (999 W/m²), Hottel (1045 W/m²) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %3,63 değişim ile ASHRAE Yöntemi olduğu görülmüştür.

Eylül ayında; ısı taşıyıcı akışkanın kolektöre maksimum giriş sıcaklığı (T_1) değerleri ASHRAE (54,65°C), Howell (49,74°C), Hottel (49,4°C) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %3,95 değişim ile Hottel Yöntemi olduğu görülmüştür.

Eylül ayında; ısı taşıyıcı akışkanın kolektörden maksimum çıkış sıcaklığı (T_2) değerleri ASHRAE (62,93°C), Howell (59,28°C), Hottel (59,65°C) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %5,36 değişim ile Hottel Yöntemi olduğu görülmüştür.

Eylül ayında enerji depolama tankı maksimum sıcaklığı (T_d) değerleri gün sonunda ASHRAE (52,43°C), Howell (49,90°C), Hottel (46,50°C) yöntemleriyle elde edilmiş olup, deneysel veriler ile en iyi uyum sağlayan yöntem ortalama %7,28 değişim ile Hottel Yöntemi olduğu görülmüştür.

Eylül ayında kolektörün anlık verimi (η_k) hesaplarında ise teorik sonuçlar ölçüm değerlerine benzer sonuçları vermişlerdir. Deneysel sonuçlar da verim maksimum %57 değerini alırken ASHRAE Yöntemi maksimum verim %56, Howell Yöntemi için maksimum verim %57 ve Hottel Yöntemi de maksimum %58 verime ulaşmıştır.

Akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı (T_2) ve enerji depolama tankı sıcaklığı (T_d) değişimi kolektör yüzey alanına (A_k) ve enerji depolama tankındaki su miktarına bağlı olarak incelendiğinde, T_2 sıcaklığının ve T_d sıcaklığının A_k arttıkça arttığı, M_d arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

Erzurum ili coğrafi konum itibarı ile kış aylarında dahi oldukça iyi güneş almaktadır. Işınım değerleri için yapılan teorik hesaplamalar daha önce yapılmış olan deneysel ölçüm değerleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu durumdan anlaşılabileceği üzere bölgede kurulacak olan güneş enerjili su ısıtma sistemleri, kullanılmakta olan fosil kökenli enerji kaynaklarına iyi bir alternatif olacaktır. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi ile daha yüksek sistem verimlerine çıkılabilecek ve insanlara bu sistemlerin avantajları anlatılarak oluşturulacak farkındalık ile de tercih edilmeleri sağlanabilecektir. Bu şekilde küresel ısınmaya karşı önemli katkılar verilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Abdulkarem, A. H., 2008. Ankara Şartlarında Güneş Enerjisi ile Bir Ortamın Döşemeden Isıtılması ve Sistemin Isıl Performansının Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altıntaş, B., 2012. Güneş Enerjisi Destekli Isı Depolama Sisteminin Termodinamik Modeli ve Endüstriyel Uygulamaları. Y. Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Arık, A., 2016. Yenilenebilir Enerji Politikalarının Sürdürülebilirliği: AB Ülkeleri ve Türkiye Açısından Bir Değerlendirme. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Arslandoğlu, M., 2016. Kocaeli için mevcut global güneş ışıınımı tahmin modellerinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21 (1), 217-225.
- ASHRAE, 1985. Handbook of Fundamentals. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers.
- Atmaca, H. M., 2000. Panel Isıtma ve soğutma Sistemlerinin Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası ile Birlikte Kullanımı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bakırcı, K., 2004. Erzurum ilinde güneş destekli ve enerji depolu ısı pompası sisteminin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bakırcı, K., Yüksel, B., 2009. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin deneysel incelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 110, 26-30.
- Bakırcı, K., 2009. Yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışıının tahmini için basit Bir hesaplama metodu. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29 (2), 53-58.
- Bakırcı, K., 2009. Estimation of solar radiation by using ASHRAE clear-sky model in Erzurum-Turkey. Energy Sources, 31, 208-216.
- Ceylan, T., 2010. İki Katlı Bir Binanın, Güneş Enerjisi Destekli Hava Kaynaklı Isı Pompasıyla Isıtılması ve Sıcak Su Eldesinin Analizi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çanka Kılıç, F., 2011. Türkiye'deki yenilenebilir enerjilerde mevcut durum ve teşviklerdeki son gelişmeler. Mühendis ve Makine Dergisi, 52 (614), 103-115.
- Doğan, M. C., 2006. Güneş Enerjisi Yardımıyla Gerçekleştirilen Isıtma Sistemlerinin Kocaeli Bölgesi için Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes. New Jersey, 910, Canada.
- Ekmekçi, İ., Dizdar, H., Özçelebi, S., 2001. Kocaeli ili için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi ve boyutlandırılması. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri.
- Howell, J. R., Bannerot, R. B., Vliet G. C., 1982. SolarThermal Energy Systems Analysis and Design, New York.
- Hottel, H. C., 1976. A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmosphere. Solar Energy, 18, 129-134.
- Kılıç, A., Öztürk, A., 1983. Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtım, 331, İstanbul.

- Kılıç Demircan, R., Gültekin, A. B., 2015. Binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelenmesi. 2nd Internaional Sustainable Buildings Symposium, Ankara.
- Kılıçkap, S., Yıldız, C., Çakmak, G., 2015. Elazığ iklim koşullarında sıcak sulu güneş kolektörlerine ilişkin verimlerin araştırılması. Mühendislik Dergisi, 6 (2), 103-110.
- Koçer, A., Şevik, S., Güngör, A., 2016. Ankara ve ilçeleri için güneş kolektörü optimum eğim açısının belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21 (1), 63-77.
- Kuo, C. W., Chang, W.C., Chang, K.C., 2013. Modeling the hourly solar diffuse fraction in Taiwan. Renewable Energy, 66, 56-61.
- MATLAB reference guide, 2014. The Math Works Inc., Natick.
- Özdemir, M. B., Yataarkalkmaz, M. M., 2015. Farklı tipteki güneş kolektörlerinin enerji, ekserji ve ekonomik analizi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (2), 235-252.
- Öztürk, F., 2011. Pasif Güneş Enerjisi Sistemi ile Bina Isıtmasının Sayısal ve Ekonomik Analizi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pastakkaya, B., 2012. Bir Konutun Isıtılması ve Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Arbsorbsiyonlu Sistemlerin Kullanılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Siyahhan, Z., 2009. Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası Destekli Isıtma Sistemlerinin Termodinamik ve Termoekonomik Analizi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Müdürlüğü resmi web sitesi, <http://www.eie.gov.tr/> , Ocak 2017.
- Uzun, M. H., 2010. Güneş Enerjisi Depolama Olanakları ve Bir Yöntemin Değerlendirilmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Varınca, K. B., Gönüllü, M. T., 2006. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir.
- Yıldırım, A., 2007. Güneş Enerjisi ile Isıtma. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Yörükoğulları, E., Aras, H., Parlaktuna, M., Koçkar, M., Karakoç, H., Durmaz, Ş., Erbay, B., Altan, M., Tanışlı, M., 2013. Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ertuğrul Yörükoğulları. Anadolu Üniversitesi Web-Ofset, Eskişehir, 2-25.

ÖZGEÇMİŞ

Fatma DENİZ ÇELİK 1989 yılında Erzurum Narman ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Narman’da tamamladı. 2007-2012 yıllarında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü okudu ve 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans yapmaya başladı.

