

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

FOTOVOLTAİK DESTEKLİ

YER HAVA ISI DEĞİŞTİRGEÇİ TASARIMI

Ahmet YILDIZ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Önder ÖZGENER

Tez 2. Danışmanı: Doç. Dr. Leyla ÖZGENER

GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜ

Bilim Dalı Kodu: 625.05.01.

Sunuş Tarihi: 28.07.2011

Bornova-İZMİR

2011

Ahmet Yıldız tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Fotovoltaik Destekli Yer Hava Isı Değiştirgeci Tasarımı” başlıklı bu alışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 28.07.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	:	
Raportör Üye	:	
Üye	:	

ÖZET**FOTOVOLTAİK DESTEKLİ YER HAVA
ISI DEĞİŞTİRGEÇİ TASARIMI**

YILDIZ, Ahmet

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Enstitüsü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Önder ÖZGENER

Tez 2. Danışmanı: Doç. Dr. Leyla ÖZGENER

Temmuz 2011, 66 sayfa

Bu tezde iklimlendirme amacıyla kullanılan fotovoltaik destekli yer hava ısı değiştirgecinin tasarımı ve etkin bir biçimde çalıştırılması incelenmiştir. Kullanılan veriler 10GEE007 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında 2010 yılı Ağustos ayında yapılan soğutma deneyinde kaydedilmiştir. Deneysel sonuçlar İzmir'in meteorolojik şartlarında (38° 24' N, 27° 50' E) kaydedilmiştir.

Yer hava ısı değiştirgeçlerinin (YHID) şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerle birlikte kullanımı incelenmiş, fotovoltaik panel verimlilikleri saptanmış, çevre koşullarının performans (COP) olan etkileri gözlenmiş, enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar bu karma kurulumun Ege bölgesinde sera soğutma amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Yapılan çalışma ile jeotermal ve güneş kaynakların verimli bir şekilde kullanımının yaygınlaştırılmasına ve konvansiyonel kaynakların kullanımının azaltılmasına katkıda bulunabilecek alternatif yöntemlerin bulunması amaçlanmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Enerji, ekserji, güneş, jeotermal, yenilenebilir enerji.

ABSTRACT**DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC COUPLED
EARTH-TO-AIR HEAT EXCHANGER**

YILDIZ, Ahmet

MSC in Solar Energy Institute

Supervisor: Assoc. Prof. Onder OZGENER

2nd Supervisor: Assoc. Prof. Leyla OZGENER

July 2011, 66 pages

In this thesis, design and effective usage of a photovoltaic coupled earth-to-air heat exchanger was investigated. Current data was obtained from the cooling experiment within Scientific Research Project coded 10GEE007 on August, 2010. Experimental measurements were taken at Izmir's climatic conditions (38° 24' N, 27° 50').

Performing the earth-to-air heat exchangers with on grid photovoltaic systems were investigated, photovoltaic efficiency were established, effects of the environmental conditions to performance (COP) were observed, energetic and exergetic analysis were realized. According to experimental results this hybrid configuration can be used for greenhouse cooling in Aegean Region.

It is aimed to contribute for finding new methods for using the geothermal and solar resources effectively and decreasing the usage of conventional resources.

Keywords: Energy, exergy, solar, geothermal, renewable energy.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince desteğini esirgemeyen danışman hocalarım Doç. Dr. Önder Özgener ve Doç. Dr. Leyla Özgener'e, Güneş Enerjisi Enstitüsü Müdürlüğü'ne sağladığı olanaklar sebebiyle ve Ege Üniversitesi Araştırma Fonuna 10 GEE 007 nolu projeye sağladıkları maddi katkılardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1 Deneysel İklimlendirme Çalışmaları	3
2.2 Teorik Enerji ve Ekserji Analizleri	9
2.3 Teorik Tahmin ve Simülasyon Çalışmaları	13
2.4 Diğer Çalışmalar	21
3.DENEYSEL ÇALIŞMA	24
3.1 Deneysel Kurulum	25
3.2 Deneysel verilerin Ölçülmesi	28
3.3 Yapılan Kabuller	29
3.4 Belirsizlik Analizi	29
4. ANALİZ	31
4.1 Enerji Analizi	31

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2 Ekserji Analizi	33
5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA	38
5.1. Ölçüm Sonuçları	38
5.2. Enerji Sonuçları ve Tartışma	43
5.3 Ekserji Sonuçları ve Tartışma	50
6. ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
TEZDEN ÇIKAN YAYINLAR	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Fotovoltaik destekli YHID'ne ait basitleştirilmiş şema	27
3.2 Sistemin genel görünümü	27
3.3 Deneyde kullanılan ölçüm düzeneği	28
5.1 19.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi	43
5.2 25.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi	44
5.3 26.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi	44
5.4 19.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış bağıl nemi ve COP ilişkisi	45
5.5 25.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış bağıl nemi ve COP ilişkisi	46
5.6 26.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış bağıl nemi ve COP ilişkisi	46
5.7 19.08.2010 tarihli güneş radyasyonu ve fotovoltaik katkı ilişkisi	47
5.8 25.08.2010 tarihli güneş radyasyonu ve fotovoltaik katkı ilişkisi	48
5.9 26.08.2010 tarihli güneş radyasyonu ve fotovoltaik katkı ilişkisi	48
5.10 19.08.2010 tarihli fotovoltaik panel verimliliği	50
5.11 25.08.2010 tarihli fotovoltaik panel verimliliği	51
5.12 26.08.2010 tarihli fotovoltaik panel verimliliği	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Sistemin temel özellikleri (Ozgener O. and Ozgener L. 2010a-d)	24
3.2 Sistem elemanlarının ve ölçüm cihazlarının teknik özellikleri	26
3.3 Ölçülen değerlere ait belirsizlikler	30
5.1 19.08.2010 tarihinde yapılan deneysel ölçümler	40
5.2 25.08.2010 tarihinde yapılan deneysel ölçümler	41
5.3 26.08.2010 tarihinde yapılan deneysel ölçümler	42
5.4 19.08.2010 tarihli deneye ait enerji analizi sonuçları	49
5.5 25.08.2010 tarihli deneye ait enerji analizi sonuçları	49
5.6 26.08.2010 tarihli deneye ait enerji analizi sonuçları	49
5.7 19.08.2010 tarihli deneye ait ekserji analizi sonuçları	52
5.8 25.08.2010 tarihli deneye ait ekserji analizi sonuçları	52
5.9 26.08.2010 tarihli deneye ait ekserji analizi sonuçları	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Sera yüzey alanı (m ²)
C	Özgül ısı (kJ/kgK)
COP	Soğutma tesir katsayısı (-)
cosφ	Güç faktörü (-)
$\dot{E}_x$	Ekserji akımı (kW)
h	Özgül entalpi (kJ/kg)
I	Anlık toplam ışıınım (W/m ²) , Elektrik akımı (Amper)
$\dot{I}$	Tersinmezlik akımı (kW)
$\dot{m}$	Kütleli debi (kg/s)
P	Basınç (kPa) , Elektriksel güç (kW)
$\dot{Q}_r$	Isı akımı (kW)
RH	Bağıl nem (%)
S	Entropi oranı ()
S _T	Fotovoltaik yüzey alanı (m ²)
s	Özgül entropi (kJ/kgK)
T	Sıcaklık (°C,K)
V	Potansiyel fark (Volt)
$\dot{W}_b$	Fan gücü (kW)
<u>Yunan Harfleri</u>	
ε	Ekserji verimi (-)
η	Enerji verimi (-)
ψ	Özgül ekserji (kJ/kg)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ω	Özgül nem değeri (kg/kg)
<u>Alt İndisler</u>	
0	Referans çevre
a	Hava
b	Fan
kay	Kayıp
elk	Elektriksel
urt	Üretim
şeb	Lokal elektrik şebekesi
i	YHID girişi
m	Ölçülen çalışma değeri
mek	Mekanik
o	YHID çıkışı
oc	Açık devre değeri
PV	Fotovoltaik
r	Toprak
sc	Kısa devre değeri
gun	Güneş ışınlamına bağlı olan
v	Buhar
<u>Kısaltmalar</u>	
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
YHID	Yer hava ısı değiştirgeci

1. GİRİŞ

Yer hava ısı değiştirgeçleri (YHID), düşük entalpili jeotermal kaynakları değerlendirerek pasif ısıtma ve soğutma sağlayan yapılardır.

YHID kullanılarak düşük sıcaklıktaki jeotermal rezervler değerlendirebilir ve aynı sistem ek bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan ısıtmada veya soğutmada kullanılabilir. Bununla birlikte diğer iklimlendirme sistemlerine kıyasla önemli bir işletme maliyet avantajı da vardır.

İklimlendirmeye ihtiyaç duyulan yapılarda YHID veya bununla birleştirilmiş sistemlerin kullanımının artırılması ile konvansiyonel kaynak kullanımının azaltılabileceği, dolaylı olarak çevresel tahribatın ve karbon salınımının düşürölmesinde katkıda bulunulabileceği öngörölmektedir.

YHID iki temel bileşene ayrıştıırılabilir. Bu parçalar yer altı hava tüneli (i) ve akışkan çevrimini sağlayan fandır (ii). Sistemin iki ayrı yapı olarak ele alınması sistemin analizinde ve tanımlanmasında kolaylık sağlar.

Yer altı hava tüneli toprağın altında belli bir derinlikte gömölü olan çelik veya PVC boru sisteminden oluşmaktadır. Yer altı hava tünelinin tasarımında sistemin soğutma veya ısıtma yükü, toprağın termal direnci, ihtiyaç duyulan mekanik mukavemet göz önünde bulundurularak tasarlanan YHID'ın uygulama şekline, malzemesine, YHID'ın dikey veya yatay oluşuna, uzunluğuna, çapına ve YHID'ın gömölüleceği toprağın derinlik mesafesine karar verilir.

Akışkan olarak kullanılan havanın dolaşımını sağlayan fan, sabit veya değişken hızlı olabilir. Kullanılan fanın gücü akışkanın hacimsel debisine, basınç farkına ve fanın mekanik verimliliğine bağlıdır.

Fanın ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi genellikle elektrik şebekesi gibi konvansiyonel kaynaklardan sağlanmaktadır. İhtiyaç duyulan elektrik enerjisinin

tamamı veya bir kısmı güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarından sağlanarak jeotermal enerjinin diğer alternatif enerji kaynakları ile birlikte kullanımı sağlanabilir.

Bu çalışmada ele alınan yapıda çelik malzemeden üretilmiş, U şeklinde, kapalı çevrimli, yatay YHID ile polikristal silikon malzemeden üretilmiş fotovoltaik paneller birlikte kullanılarak karma bir kurulum gerçekleştirilmiştir.

İlgili kurulum Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Fonu 09GEE003 ve 10GEE007 kodlu proje kapsamında gerçekleştirilerek Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Yerleşkesi içinde bulunan güneş serası ve yer altı hava tüneli ile bütünleştirilmiştir. Ağustos 2010 döneminde yapılan iklimlendirme deneyinde güneş serasının içinde soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar İzmir'in meteorolojik şartlarında ($38^{\circ} 24'$ N, $27^{\circ} 50'$ E) kaydedilmiştir.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak, YHID ve şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin birlikte kullanımı incelenmiş, fotovoltaik verimlilik değerleri bulunmuş, çevresel faktörlerin soğutma tesir katsayısına COP'ye olan etkileri gözlenmiş, enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir.

Açık literatüre bakıldığında ülkemizde gerçekleştirilmiş olan herhangi bir fotovoltaik destekli YHID çalışmasına rastlanılmamıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Açık literatürde YHID ile ilgili yapılmış olan deneysel ve teorik çalışmalara, nümerik ve analitik modellemelere, tahmin ve simülasyon yazılımlarına, enerji ve ekserji analizlerine rastlanılmaktadır. Bununla birlikte sayıca az olmakla birlikte farklı ülkelerde ve farklı iklim koşullarında yapılmış olan fotovoltaiik destekli YHID çalışmalarına da rastlanılmaktadır.

Bu çalışmalardan deneysel verilere sahip olanları incelendiğinde birbirinden farklı tasarımların, farklı ülkelerde, farklı iklim ve işletme koşullarında incelendiği görülmüştür.

Yapılan çalışmaları (i) deneysel iklimlendirme çalışmaları;(ii) teorik enerji ve ekserji analizleri, (iii) teorik tahmin ve simülasyon çalışmaları, (iv) diğer çalışmalar (yoğuşan suyun değerlendirilmesi, toprak sıcaklığının derinlik ve zamana bağlı olarak tahminlenmesi gibi) şeklinde sınıflandırabiliriz.

2.1. Deneysel İklimlendirme Çalışmaları

Bansal ve ark. (2009–2010) yaptıkları çalışmada YHID kullanılarak gerçekleştirilen, kış aylarında binaların ısıtma yükünü azaltmayı amaçlayan bir model üzerinde durmuşlardır. Fluent simülasyon programı ile gerçekleştirilen, YHID termal performansını ve ısıtma kapasitesini sunan program Batı Hindistan, Ajmer'deki deneysel sonuçlar ile uyum sağlamaktadır. Çalışmada boru malzemesi, akış hızı gibi uygulama parametrelerinin YHID termal performansına etkisine değinilmiştir. PVC ve çelik malzemeli 23,42 m uzunluğundaki YHID ile 4,1–4,8 °C ve 2–5 m/s aralıklarında çalışılmıştır (Bansal et. al., 2009). Araştırmacılar YHID çalışmalarına devam ederek Fluent simülasyon programı ile

hazırlanan termal performans ve soğutma kapasitesi tahmin yazılımı verilerini deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Deneysel verileri Batı Hindistan, Ajmer'deki soğutma deneyinde elde ederek PVC ve çelik malzemeli 23,42 m uzunluğundaki YHID ile 8,0–12,7 °C ve 2–5 m/s aralıklarında çalışmışlardır. Yapılan çalışmalarda sistem performansının gömülü boru malzemesinden çok akış hızına bağlı olduğuna dikkat çekmişlerdir (Bansal et. al. 2010).

Chel ve Tiwari (2009–2011) Hindistan, Yeni Delhi'de yaptıkları deneysel çalışmalarda kemer tip çatıya sahip yapıya adapte edilen YHID üzerinde ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Tuğla ve ahşap malzeme ile yapılmış olan birbirine bağlı altı yapının ele alındığı çalışmada enerji denge eşitlikleri nümerik programlar vasıtasıyla bulunmuştur. Yapılan çalışma ile yıllık enerji tasarrufu, enerji verimlilik oranı, enerji tasarruf potansiyeli, azaltılan CO₂ salınımı ve geri ödeme süresi belirlenmiştir (Chel and Tiwari, 2009). Araştırmacılar YHID çalışmalarını devam ettirerek 2,32 kW gücündeki şebekeden bağımsız fotovoltaik paneller ile çalıştırılan YHID'nin performansını yıl boyunca gözlemlemişlerdir. Elde edilen deneysel veriler ile YHID tasarımına katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma ile enerji korunumu, azaltılan CO₂ salınımı, enerji geri ödeme süresi, birim enerjinin maliyeti şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı YHID uygulamaları için verilmiştir (Chel and Tiwari, 2010). Araştırmacılar fotovoltaik destekli YHID çalışmalarına devam ederek 2,32 kW gücünde şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem ile desteklenen YHID ile tüm yıl boyunca farklı hava koşullarında performans değerlendirmeleri gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen verileri yaz, kış ve yağmurlu günler için saatlik olarak sunmuşlardır, ölçülen deneysel veriler ile tüm işletme periyotuna indirgenmiş maliyet, elektrik enerjisi birim fiyatı ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır (Chel and Tiwari, 2011).

Eicker ve ark. Almanya, Stuttgart'da yayınladıkları deneysel çalışmada pasif enerji standartlarında yapılmış ofis tipi yapının yaz dönemi boyunca davranışı incelenmiştir. Cebri hava tahliyesi ve çevriminin kullanıldığı yapıda yaz dönemi boyunca fanların hangi periyotta çalıştırılacağı üzerinde durulmuştur. Üç yıllık ölçümler ve gerçekleştirilen YHID simülasyonu ile soğutma yükünün % 18'lik bir kısmının karşılanmasına karşın COP değerleri 35–50 aralığında hesaplanmıştır (Eicker et. al., 2006). Eicker ve Vorschulze (2009) YHID üzerine yaptıkları çalışmalarında dikey ve yatay YHID ile desteklenmiş iki ayrı ofis tipi yapıyı ele almışlardır. Yapılan soğutma deneyi sonucunda COP değerleri 13–20 gibi yüksek aralıklarda elde edilmiş ve bu sonuçlar nümerik simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Soğutma birim enerji maliyetinin de belirlendiği çalışmada YHID ile desteklenen ofis tipi yapılar için optimum plan ve yerleşim şartları önerilmesi amaçlanmıştır (Eicker and Vorschulze, 2009).

Ghosal ve ark. (2004–2005) Hindistan, Yeni Delhi'de kapalı çevrimli YHID ile desteklenmiş seranın yıllık verimliliğini değerlendirmek için analitik bir model geliştirmişlerdir. Tipik 2002 kış ve yaz dönemi için değerlerin hesaplandığı çalışmada COP verilerine dikkat çekilmiştir. YHID kullanıldığı durumda, kullanılmadığı duruma göre kış döneminde sera içi sıcaklık 6–7 °C yüksek ve yaz döneminde 3–4 °C düşük bulunmuştur. Yapılan mukayesede tahmin edilen ve ölçülen değerlerin uyum içinde olduğu görülmüştür (Ghosal et. al., 2004). Araştırmacılar YHID çalışmalarına devam ederek, YHID ile desteklenen tarımsal yapılarda, depolanan termal enerjinin kullanım potansiyelini belirlemek için geliştirdikleri nümerik model ile uygun ısıtma metodunun seçimi konusunda çalışmışlardır. Yapılan çalışmada nümerik model kullanılarak tahmin edilen değerler ile 2002–2003 ısıtma deneyinde elde edilen deneysel veriler mukayese

edilmiştir. YHID kullanıldığı durumda sera içi sıcaklığın 2–3 °C yüksek olduğu ve ısı dalgalanmalarının azaldığı gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar ve tahmin edilen değerlerin uyum içinde olduğu gözlenmiştir (Ghosal et. al., 2005).

Ghosal ve Tiwari (2006) Hindistan, Yeni Delhi’de sera ısıtılması ve soğutulması amacıyla depolanan termal enerjinin YHID ile kullanımını araştırmak için yeni bir termal model geliştirmişlerdir. 2003 yazında yapılan soğutma deneyine ait deneysel verilerin kullanıldığı çalışmada YHID tasarım parametrelerinin ve toprağın tipinin sera sıcaklığına etkisi araştırılmıştır. YHID derinliğinin 4 metreye çıkarılması ile sıcaklık değerlerinde iyileşmenin gözlemlendiği çalışmada sera içi sıcaklık ısıtma deneyinde 7–8 °C yüksek ve soğutma deneyinde 5–6 °C düşük olmuştur. Tahmin edilen ve ölçülen değerlerin uyum içinde olduğu görülmüştür (Ghosal and Tiwari, 2006).

Li ve ark. (2006) Çin, Tianjin’de yaptıkları deneysel çalışmada farklı tiplerde dikey U şeklindeki YHID uygulamalarını farklı dolgu maddeleri ile birlikte kullanmışlardır. Yapılan deneysel mukayeselerde sıcaklık ve akış hızı gibi farklı işletme koşulları da dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen teorik analizde iç ısı kaynağı kabulü yapılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları da sunulmuştur (Li et. al., 2006a). Araştırmacılar yaptıkları teorik ve deneysel çalışmaları devam ettirerek dikey U şeklindeki YHID performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada toprak sıcaklığının değişimi ve sistemin ısı dengesi farklı işletme koşullarında yapılan nümerik simülasyonlar ile gösterilmiştir. Isı pompaları ile birlikte gerçekleştirilen deneylerin de sunulduğu çalışmada toprağın ısı kaynağı olduğu kabulü yapılmıştır (Li et. al., 2006b).

Nayak ve Tiwari (2009–2010) Hindistan, Yeni Delhi’de sera iklimlendirmesinde kullanılan fotovoltaik destekli YHID çalışmalarını

gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen basitleştirilmiş matematiksel model ile yıllık verimliliğin incelendiği çalışmada Yeni Delhi şehrinde farklı iklim özelliklerine sahip dört ayrı bölge için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik destekli YHID kullanılan ve kullanılmayan duruma göre mukayesenin yapıldığı çalışmada fotovoltaik destekli YHID kullanıldığında kış döneminde sıcaklığın 7–8 °C artırılabilceği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada günlük ve yıllık termal enerji ve elektrik enerjisi değerleri enerjetik ve ekserjetik metot kullanılarak incelenmiştir (Nayak and Tiwari, 2009). Araştırmacılar sera iklimlendirmesinde kullanılan fotovoltaik destekli YHID'nin termal ve ekserjetik performansını inceledikleri araştırmalarını Hindistan'daki beş farklı şehre ait iklimsel verileri değerlendirerek devam ettirmişlerdir. Enerji geri ödeme süresi, elektrik üretim faktörü ve tüm işletme periyoduna indirgenmiş verimlilik gibi önemli enerji parametreleri beş farklı bölge için incelenmiştir. Yapılan çalışmada belirtilen beş ayrı bölge, yıllık termal enerji, elektrik enerjisi ve ekserji yönünden karşılaştırılarak en uygun kurulum noktaları belirtilmiştir (Nayak and Tiwari, 2010).

Özgener Ö. ve Özgener L. (2010–2011) yayınladıkları teorik ve deneysel çalışmalarında İzmir'de sera iklimlendirilmesinde kullanılan YHID yapısını açıklamışlardır. Yapılan ısıtma ve soğutma deneylerinde elde edilen deneysel veriler enerjetik, ekserjetik ve eksergo-ekonomik metotlar kullanılarak incelenmiş ve hesaplanan COP sonuçları sunulmuştur. Isıtma deneyinde maksimum COP 6,18 ve ortalama COP 4,74 olarak hesaplanırken, soğutma deneyinde maksimum COP 15,80 ve ortalama COP 10,09 bulunmuştur. Birim uzunluk başına ısıtma ve soğutma kapasitelerinin sunulduğu çalışmalarda YHID giriş ve çıkışı arasındaki bağıl nem değişiminin hesaplamalara etkisine dikkat çekilmiştir. Sistemin termal direncinin, ekserji verimliliğinin ve sistemin her bir bileşeninin ekserjetik

kayıplarının sunulduğu çalışmalarda YHID'ne ait termodinamik ve ekonomik ilişkilerinin açıklanması ve tasarımcılara yardımcı olunması amaçlanmıştır (Ozgener O. and Ozgener L. 2010a-d, 2011; Ozgener et. al., 2011).

Pahud ve Matthey (2001) İsviçre, Canobbio'da yayınladığı deneysel çalışmada farklı tasarımlardaki U şeklindeki YHID ve farklı dolgu malzemesi çeşitlerini karşılaştırmışlardır. Termal direncin ölçüldüğü çalışmada tasarımcılara yardımcı olması beklenen öneriler sunulmuştur (Pahud ve Matthey, 2001).

Thanu ve ark. Hindistan Gurgaon'da yaptığı deneysel çalışmalarında YHID termal performansını gözlemlemiştir. Yapılan çalışmada öncelikli olarak çiftlik gibi tarımsal yapılar ve konut tipi yapıların iklimlendirmesinde kullanılan YHID'ye ait sıcaklık ve bağıl nem değerleri mevsimsel olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen verilere dayanarak YHID kullanılarak bina içerisinde termal konfor şartlarının sağlanabileceği belirtilmiştir (Thanu et. al., 2001).

Tiwari ve ark. Hindistan, Yeni Delhi'de gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada YHID ile desteklenen sera üzerinde yıllık termal performans ölçümleri kaydetmişlerdir. Yapılan mukayesede sıcaklık ve performans değerlerinde deneysel ve teorik tahminler arasında paralellik gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada yıllık ve günlük periyotlarda maksimum ısıtma ve maksimum soğutma potansiyelleri elde edilmiştir (Tiwari et. al., 2006).

Wu ve ark. Çin, Hong Kong'da gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada binaların soğutma yükünün azaltılması amacıyla YHID kullanımını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada süperpozisyon yöntemi kullanılarak toprak sıcaklığı ve boru içi akış incelenmiştir. Güney Çin bölgesinde yapılan deney sonuçlarının teorik simülasyon sonuçları ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Yapılan deneyde YHID yapısı ve işletme koşullarının termal performansa ve

soğutma kapasitesine etkileri incelenerek günlük soğutma yükü 74,6 kWh olarak ölçülmüştür (Wu et. al., 2007).

2.2. Teorik Enerji ve Ekserji Analizleri

Ascione ve ark. İtalya'daki farklı iklim koşulları için YHID davranışı ve teorik modelleri üzerinde çalışmışlardır. Elde ettikleri bulgular ile yaz ve kış aylarında YHID yüksek verimliliklerinin nemli ve soğuk iklimlerde görüldüğünü açıklamışlardır. Bununla birlikte geri ödeme süresini 5–9 yıl olarak öngörmüşlerdir. YHID uzunluğunun 10–50 m ve derinliğinin 3 m olmasını öneren araştırmacılar metal malzemenin kullanımını önermemişler. Çalışmada YHID'nin uzun periyotta kullanımının daha verimli olacağını belirtmişlerdir (Ascione et. al., 2011).

Badescu (2007) Romanya'da pasif binanın ısıtılması için bir YHID modeli geliştirmiştir. Yapılan teorik analizde farklı derinlikler için nümerik iki boyutlu yaklaşım kullanılmıştır. Gerçek iklim koşullarındaki ısıtma ve soğutma potansiyelleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada YHID ısıtma ve soğutma yükünün boru derinliği, çapı ve malzemesi gibi tasarım parametrelerine bağlı olduğu belirtilmiştir (Badescu, 2007).

Beier ve ark. (2011) ABD'de ısı pompaları ve dikey YHID üzerine sürdürdükleri teorik araştırmalarında termal performans tahmini ve termal yanıt testinin önemini vurgulamışlardır. Yapılan analizde referans bilgileri tanımlanarak elde edilen veriler laboratuvar ortamında yapılan testler ile desteklenmiştir. Yapılan çalışma ile bazı modeller birbiri ile mukayese edilmiştir (Beier et. al., 2011).

Bojic ve ark. (1997–1999) yaptıkları teorik çalışmada YHID teknik ve ekonomik performansını değerlendirmişlerdir. Toprağı birim hacimlere bölerek yaptıkları çalışmada hesaplama metotlarında kararlı durumun ele alınmasına karşın ortaya çıkan problemin kararsız durum kabulüne uygun olduğu görülmüştür. Araştırmacılar YHID ile ısıtma ve soğutma yükünün bir kısmının sağlanabileceğinin altını çizerek, yaz aylarındaki enerji maliyetinin kış aylarındakine göre daha az olacağını belirtmişlerdir (Bojic et. al., 1997). Araştırmacılar çalışmalarını devam ettirerek yaz ve kış aylarında kullanılan, PVC ve çelik borulardan yapılmış YHID uygulamaları üzerinde durmuşlardır. Yapılan çalışmada matematiksel ifadeleri elde etmek için toprak ve boruları belli hacimlere bölerek kararlı durumdaki enerji eşitliklerini elde etmişlerdir. Yapılan teorik analizde mevsimin, toprağın termal geçirgenliğinin ve boru yüzeyinin ısı transferi ile ilişkisi üzerinde durulmuştur (Bojic et. al., 1999).

Bojic (2000) Yugoslavya, Kragujevac’da yayınladığı teorik analizde farklı alternatif enerji metotları kullanılarak yapılan enerji tasarruflarını açıklamıştır. Isı pompaları, ısı depolanması gibi metotlardan bahsedilen çalışmada YHID kullanımı, hesaplama metotları ve simülasyonu konularına dikkat çekilmiştir. Çalışmada bilgisayar destekli tasarımların ve bilgisayardan bağımsız tasarımların arasında hangisinin tercih edilebileceği probleminin üzerinde durulmuştur (Bojic, 2000).

Cornellisen ve Hirs (1997) Hollanda’da yaptıkları teorik çalışmada enerji sisteminin optimum tasarımının gerçekleştirilebilmesi için ekserji analizi ile işletme periyoduna indirgenmiş analizin birlikte yapılmasının önemine dikkat çekmişlerdir. Genellikle ayrı ayrı yapılan bu analizlerin birlikte yapılabilmesi için bazı yollar önerilmiş ve örnek olarak ele alınan su akışkanını kullanan şehir

ısıtmasında kullanılan bir YHID ele alınmıştır. Bu örnek üzerinde birleştirilen bu iki analiz uygulanarak işletme periyodu boyunca en düşük tersinmezliklere sahip tasarıma ait koşullar elde edilmiştir (Cornellisen and Hirs, 1997).

Costa (2006) Portekiz, Aveiro’da yayınladığı çalışmada toprağın ısı veya soğutma deposu olarak kullanılabileceğini belirterek işletme ve tasarım parametrelerini termodinamik analiz ile incelemiştir. Yapılan teorik çalışmada entropi üretiminin azaltılmasının termodinamik performansa etkisine dikkat çekilmiştir (Costa, 2006).

Cucumo ve ark. (2008) İtalya’da yayınladıkları teorik analiz ile ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılan farklı derinliklerde kurulu YHID performansını değerlendirmişlerdir. YHID ve toprağın dikkate alındığı analizde gömülü boru hattı boyunca akışkanın ve dikey doğrultuda toprağın sıcaklığı ve boru hattındaki yoğuşma incelenmiştir. Elde edilen bulguların deneysel veriler ile uyum içinde olduğu görülmüştür (Cucumo et. al. 2008).

Florides ve Kalogirou (2007) yayınladıkları teorik analizde YHID uygulamaları, çeşitleri ve kurulumu üzerinde durmuşlardır. Geometrik ve termal karakteristiklerin öneminin vurgulandığı çalışmada literatürde rastlanan bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu analizlere yer verilmiştir (Florides and Kalogirou, 2007).

Kyriakis ve ark. (2006) Yunanistan, Selanik’te yaptıkları çalışmada ısı pompaları ile birlikte kullanılan dikey U şeklindeki YHID yapısını ele almışlardır. Tasarım ve boyutlandırmanın maliyet ve performansa etkilerine değinilen çalışmada gömülü hattın birim uzunluğu boyunca sağlayabileceği termal yükün tasarım açısından önemi vurgulanmıştır. Yapılan çalışma ile maksimum termal

yükü tanımlayan yeni bir hesaplama algoritması sunulmuştur (Kyriakis et. al., 2006).

Li ve ark. (2005) Çin, Tianjin’de gerçekleştirdikleri teorik çalışmada topraktaki ısı ve kütle transferini baz alan YHID iç ısı kaynağı modelini sunmuşlardır. Ele alınan modelde topraktaki nemin hareketi, toprağın tipi ve özellikleri de dikkate alınarak YHID yapısı iç ısı kaynağı kabulü ile basitleştirilmiştir. Çalışmada farklı toprak özellikleri, farklı işletme koşulları ve farklı sıcaklıklardaki dikey U şeklindeki YHID analizleri gerçekleştirilmiştir (Li et. al., 2005).

Liu ve ark. (2006) Çin, Pekin’de yayınladıkları teorik analizde YHID modellerini yeni bir gizli ısı depolama sistemi olarak ele almışlar ve bu analizde ısı şarjı ve deşarjı kabulünü yapmışlardır. YHID temel yapısı, çalışma prensipleri ve tasarımına değinilen çalışmada giriş sıcaklığı ve akış hızının etkileri deneysel sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Çalışmada YHID kullanımının termal enerjinin depolanması ve kullanımı üzerindeki olumlu etkilerine değinilmiştir (Liu et. al., 2006).

Pfafferot (2003) Almanya, Freiburg’da yayınladığı teorik analizde YHID yapısı ve analiz yöntemleri üzerinde durmuştur. Orta Avrupa’daki örnek YHID yapılarının ele alındığı çalışmada YHID sıcaklık davranışı, enerji kazancı ve genel verimlilik incelenmiştir. Yapılan çalışmada termal verimlilik sıcaklık davranışı ve enerji performansı ile ilişkilendirilmiştir (Pfafferot, 2003).

Stevens (2004) ABD, Colorado’da yaptığı teorik çalışmada optimum derinliği inceleyerek YHID, kablolar ve toprak kaynaklı ısı pompalarına etkilerini açıklamıştır. Elde edilen gücün sıcaklık farkının karesiyle orantılı olduğunun belirtildiği çalışmada sıcaklık farkındaki iyileşmenin optimum derinlikte en

yüksek değerde olacağı belirtilmiştir. Yapılan analizde daha derin veya daha sık kurulumlarda bu iyileşmenin daha düşük düzeyde olacağı açıklanmıştır (Stevens, 2004).

Xu ve ark. (2010) Çin, Hong Kong'da gerçekleştirdikleri teorik çalışmada konvansiyonel kaynak kullanımının ve sera gazı salınımının azaltılmasına katkıda bulunulması amacıyla YHID, jeotermal enerji ve endüstriyel atık ısı gibi kaynakların kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada YHID tasarımı, ısı transfer hesap modelleri ve gerçek yapılardaki pratik uygulamaları sunulmuştur. Makalede düşük enerjili kaynakları YHID kullanılarak değerlendirilebileceği, basit ve doğru modellerle performans tahmini gerçekleştirilebileceği ve yapılara kolaylıkla adapte edilebileceği belirtilmiştir (Xu et. al., 2010).

2.3. Teorik Tahmin ve Simülasyon Çalışmaları

Al-Ajmi ve ark. (2006) Kuveyt'te sıcak ve kuru iklimlerdeki YHID çıkış sıcaklığını ve soğutma yükünü tahmin eden teorik bir model geliştirmişlerdir. Bu model yayınlanmış diğer çalışmalardaki modellerle kıyaslanmış ve modelin diğer örneklerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Kuveyt'e ait yıllık meteorolojik veriler kullanılarak tipik bir konuta ait YHID kullanılan ve kullanılmayan durumdaki soğutma yükü tahmini gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, YHID kullanıldığında soğutma yükünün 1700 W, konut içindeki sıcaklığın 2,8 °C ve soğutma için gerekli olan enerji talebinin % 30 azaldığını göstermiştir (Al-Ajmi et. al., 2006).

Badescu ve Isvoranu (2011) pnömatik ve termal parametrelerin dikkate alındığı analitik bir YHID tasarım modeli önermişlerdir. Bu teorik model Bükreş'teki bir pasif ev için denenmiştir. Bu simülasyon deneysel sonuçlar ile de

karşılaştırılmış ve ısı transferinin YHID geometrik yapısına bağlı olduğu vurgulanmıştır. Bilgisayar destekli analiz ve analitik model sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüştür (Badescu and Isvoranu, 2011).

Bandyopadhyay ve ark. (2008) ABD’de U şeklindeki YHID üzerinde yaptıkları teorik araştırmalarında homojen olmayan durumlardaki hesaplama metotları üzerinde yoğunlaşmışlardır. Yapılan çalışmada Laplace denklemleri ve Gaver-Stehfast nümerik algoritmaları da kullanılmış ve belli elementler üzerinde analiz sonuçları elde edilmiştir. Termal yanıt testleri ile saptanan termal geçirgenlik kullanılarak sınır sıcaklık değerlerinin bulunulabileceği gösterilmiştir. Bu yaklaşım ile yer altı katmanındaki termal yanıtın anlaşılabilceği gibi bu çözümün bina enerji simülasyon programlarına da uygulanabileceği belirtilmiştir (Bandyopadhyay et. al., 2008).

Bi ve ark. (2002) Çin, Pekin’de gerçekleştirdikleri dikey YHID ve ısı pompaları çalışmalarında hacim-kontrol metodu ile deneysel bir yapının analizini gerçekleştirmişlerdir. Yer altı ısı transferi ve ısı dağılımı nümerik olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar ölçülerek teorik veriler ile mukayese edilmiştir (Bi et. al., 2002).

Breesch ve ark. (2005) Belçika, Ghent’de yayınladıkları teorik analizde, pasif soğutma teknikleri ile birleştirilmiş azaltılmış soğutma yükü olan binaların yaz döneminde termal konfor ve soğutma için harcanan enerjide tasarruf sağlayacağına işaret etmişlerdir. YHID ile desteklenen düşük enerjili ofis tipi yapıların örnek olarak ele alındığı çalışmada 2002 yaz dönemi verileri ve simülasyon teknikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile farklı teknikler birbiri ile mukayese edilmiştir (Breesch et. al., 2005).

Delgin ve ark. (1999) tarımsal yapıların ve hayvan çiftliklerinin iklimlendirilmesi amacıyla kullanılan YHID uygulamaları üzerine teorik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizde toprak ile hava arasındaki ısı transferini açıklamak için üç boyutlu kararlı olmayan durumdaki ısı akış modeli geliştirilmiştir. Teorik ve deneysel verilerin mukayesesi ile toprağın tipi, havanın akış hızı, boruların karakteristikleri gibi önemli faktörlerin YHID verimliliğine etkisi üzerinde çalışılmıştır (Deglin et. al., 1999).

De Paepe ve Jansens (2003) yayınladıkları teorik analizde YHID termo-hidrolik performansını açıklamak için basitleştirilmiş bir tek boyutlu analitik model üzerinde durmuşlardır. Yapılan çalışmada YHID içindeki yoğuşma ve termal verimlilik ilişkisine dikkat çekilirken, optimum termal verimlilik ve yoğuşma ilişkisi açıklanmıştır. Böylece YHID karakteristik özelliklerinin seçimi toprak ve iklim koşullarından bağımsız olabilmıştır. Yapılan analiz ile tasarımcılara en iyi performansa sahip YHID seçimi konusunda yardımcı olunması amaçlanmıştır (De Paepe and Jansens, 2003).

Gao ve ark (2008) Çin, Shanghai’da yaptıkları teorik çalışmada ısı pompaları ile birleştirilmiş, ısıtma ve soğutmada kullanılan YHID uygulaması üzerinde durarak dikey YHID tiplerini karşılaştırarak en verimli olanına karar vermişlerdir. Performans testleri ve deneysel sonuçların sunulduğu çalışmada toprak ile borular arasındaki ısı geçişi nümerik metod kullanılarak elde edilmiştir. Jeotermal enerji potansiyelinin de açıklandığı çalışma ile geniş ölçekli YHID tasarımına katkıda bulunulması amaçlanmıştır (Gao et. al., 2008).

Gauthier ve ark. (1997) Kanada, Quebec’de gerçekleştirdikleri teorik çalışma ile YHID uygulamalarında kullanılabilecek bir nümerik simülasyon modeli sunmuşlardır. Üç boyutlu ısı transferi modelinin kullanıldığı çalışmada

tipik bir seraya bağlanan YHID deneysel sonuçları kullanılmıştır. Tasarım ve işletme parametrelerinin performansa olan etkilerinin belirlendiği çalışmada toprak derinliğinin depolanan ısı ile ilişkisi üzerinde durulmuştur (Gauthier et. al., 1997).

Lee ve Strand (2008) ABD, Illinois’de gerçekleştirdikleri teorik çalışmada YHID simülasyonu için yeni bir model önermişlerdir. Teorik ve deneysel verilere uyum sağlayan yeni model ile boru çapı, boru uzunluğu, akış hızı ve derinlik gibi parametrelerin soğutma performansına etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular ile boru çapı ve akış hızının performans üzerindeki etkisinin boru uzunluğu ve derinliğine göre daha fazla olduğu belirtilmiştir. Çalışmada dört ayrı bölgedeki YHID soğutma ve ısıtma potansiyelleri incelenmiştir (Lee and Strand, 2008).

Hollmuller ve Lachal (2001) İsviçre, Geneve’de yaptığı çalışmada YHID ön ısıtma ve soğutma performansları konusunda deneysel izleme ve teorik simülasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Ekonomik ve enerjetik noktalara değinilen çalışmada faz değişimini de içeren geniş kapsamlı enerji denklemlerinin göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır (Hollmuller and Lachal, 2001).

Hollmuller (2003) çalışmalarını sürdürerek birçok YHID modeline ve işletme şartlarına uygulanabilecek bir analitik çözüm önermiştir. Çalışmada silindirik yapıda, adiyabatik ya da izotermal sınır koşullarında, sabit ve harmonikli giriş sıcaklık sinyali olan YHID modeli ele alınmıştır. Çalışmada analitik sonuçlar ile nümerik simülasyon sonuçları arasında sınırlı ölçüde fark olduğu belirtilmiştir (Hollmuller, 2003).

Jaafarian ve ark. (2010) İran, Şiraz’da yaptıkları teorik analizde Bam şehrinde kurulu olan özel bir YHID tipinin çalışmasını incelemişlerdir. Soğutma

amacıyla kullanılan bu yapılara ait analiz simülasyon metoduyla yapılarak deneysel bir örnek kurulum gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model sonuçları kullanılarak YHID yapılarının Bam şehrinde sıcak ve kuru aylardaki soğutma kapasiteleri değerlendirilmiştir (Jaafarian et. al. 2010).

Kabashnikov ve ark. (2002) Beyaz Rusya, Minsk’de yayınladıkları teorik çalışmada toprak ve YHID içindeki akışkan sıcaklığını hesaplayan bir model geliştirmişlerdir. Sıcaklık değişkeninin Fourier entegral formunda gösterildiği modelde bir gün gibi düşük periyoda sahip değişken karakteristikler için analitik çözümler ve bir yıl gibi yüksek periyoda sahip değişken karakteristikler için doğrusal ısı kaynağı simülasyonu kullanılmıştır. Sistemin termal gücünün YHID uzunluğu, çapı, derinliği ve akış hızına bağlılığı incelenmiştir. Yapılan çalışma ile basitleştirilmiş hesaplamalara sahip tasarım ve işletme önerileri sunulmuştur (Kabashnikov et. al., 2002).

Kumar ve ark. (2003–2008) Hindistan, Yeni Delhi’de geliştirdikleri teorik model ile YHID enerji çevrim potansiyeli ve pasif termal performansının nümerik yol kullanılarak tahminini gerçekleştirmişlerdir. Isı ve kütle alışverişi yaklaşımı ile yapılan hesaplamada farklı tasarım ve işletme koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen teorik veriler Hindistan, Mathura’da kaydedilen deneysel veriler ile mukayese edilmiş ve sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür (Kumar et. al., 2003). Araştırmacılar çalışmalarını sürdürerek YHID davranışı ve modellenmesi konusunda tasarımcılara yardımcı olmak amacıyla yapay sinir ağları temelli yeni modeller önermişlerdir. Binaların pasif ısıtılması ve soğutulması konularına değinilen çalışmada, “deterministic” ve “intelligent” olarak adlandırılan iki model üzerinde durulmuştur. Zeki model ile $\pm$ % 2,6 doğrulukla YHID çıkış sıcaklığı tahmini yapılırken, deterministik model

kullanıldığında $\pm$ % 5,3 doğruluk elde edilmektedir (Kumar et. al., 2006). Araştırmacılar yayınladıkları başka bir çalışmada genetik algoritmanın YHID tasarımında kullanılmasının önemini vurgulayarak, genetik algoritmayı YHID tasarımında ve analizinde yeni bir optimizasyon yaklaşımı olarak kullanmışlardır. Çalışmada elde edilen veriler ve simülasyon sonuçları ile YHID tasarımlarına katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Kullanılacak YHID büyüklüğünün seçimine değinilen çalışmada sunulan yöntemin seralara, güneş evlerine ve yapılara uygulanabileceği belirtilmiştir (Kumar et. al., 2008).

Mihalakakou ve ark. (1997) yayınladıkları teorik analizde toprak sıcaklığının günlük ve yıllık tahmin eden bir model üzerinde durmuşlardır. Anlatılan model enerji denge eşitlikleri sınır koşullarını kullanan ısı iletim denklemlerine dayanmaktadır. Toprak ile hava arasındaki ısı transferi ve toprak tarafından absorbe edilen güneş radyasyonunun dikkate alındığı çalışmada Atina ve Dublin şehirlerine ait iklim verileri kullanılmıştır. Çalışmada binaların termal performansının belirlenmesi için sistem analizinin de YHID enerji verimliliğinin tahmini kadar önemli olduğu vurgulanmıştır (Mihalakakou et. al., 1997).

Mihalakakou (2002–2003) Yunanistan, Atina’da gerçekleştirdiği teorik çalışmada toprak sıcaklığının günlük ve yıllık tahminini ve modellemesini açıklayan iki ayrı model üzerinde durmuştur. Toprak sıcaklığının YHID performansının tahmin edilmesinde önemli bir faktör olduğunun vurgulandığı çalışmada deterministik ve yapay sinir ağı temelli iki ayrı yaklaşım açıklanmıştır. Atina ve Dublin şehirlerinde yapılan deneysel test sonuçları göz önünde bulundurularak önerilen zeki tekniklerin toprak sıcaklığı tahmininde kullanılabileceği belirtilmiştir (Mihalakakou, 2002). Araştırmacı çalışmasını sürdürerek YHID ısıtma potansiyelini gerçek iklim verileri kullanarak

incelemiştir. Yapılan çalışmada ısıtma potansiyeli kesin model, dinamik model ve nümerik model olarak adlandırılan farklı yaklaşımlarla incelenmiştir. Atina şehrindeki ısıtma amaçlı YHID termal performansını tahmin için yapay sinir ağlarının kullanıldığı çalışmada iklim parametreleri, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı ve bağıl nem gibi veriler bu ağlar için giriş verisi olarak kullanılmıştır (Mihalakakou, 2003).

Sharqawy ve ark. (2009) ABD Cambridge’de yaptıkları teorik analizde dikey YHID ve toprak arasındaki termal direnci nümerik metot kullanarak incelemiştir. Yapılan analizde termal direnci etkileyen çapa bağlı olmayan geometrik parametreler dikkate alınmıştır. YHID ile toprak arasındaki ısı transferi nümerik metot ile incelenmiş ve analitik çözümler ile karşılaştırılmıştır. En uygun termal direncin sunulduğu çalışmada literatürdeki diğer modellerle kıyaslamalar yapılmış incelenen modellerdeki termal direncin tam olarak istenilen düzeyde olmadığı belirtilmiştir (Sharqawy et. al., 2009).

Shukla ve ark. (2006) Hindistan, Yeni Delhi’de termal perde, jeotermal ısıtma ve YHID gibi farklı uygulamaları kullanarak seranın ısıtılmasını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan teorik analizde üç bölümlü bir sera ve Arjantin’e ait iklim verileri kullanılmıştır. Termal perde ve YHID ile desteklenen sera, termal perde ve jeotermal enerji ile desteklenen sera ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada YHID uygulamalarının jeotermal enerjinin olmadığı bölgelerde makul bir alternatif olduğu vurgulanmıştır (Shukla et. al., 2006).

Thiers ve Peuportier (2008) Fransa, Cedex’de gerçekleştirdiği teorik çalışmada pasif ev standardındaki yapıları ve YHID yapılarını incelemiştir. Yapılan çalışmada ısı depolama ünitesi ve YHID’ye sahip iklimlendirme sistemlerine ait simülasyon ve bilgisayar destekli analiz sonuçları sunulmuştur.

Ele alınan yöntemler açıklanarak ısıtma kapasiteleri ve termal konfor yönünden karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma ile pasif evlerin ve diğer yöntemlerin, yapıların çevresel performansları açısından kayda değer çözümler olduğu vurgulanmıştır (Thiers and Peuportier, 2008).

Tittlein ve ark. (2009) Fransa, Cedex’de gerçekleştirdiği teorik çalışmada YHID analizinde kullanılabilecek yeni bir nümerik model önermişlerdir. Yapılan analizde sistem birim hacimlere ayrılarak incelenmiş ve iki boyutlu termal yanıt yaklaşımı uygulanmıştır. Boru içi ısı akışının ve toprak katmanlarının sıcaklığının fonksiyonel bağlantılarla açıklandığı çalışmada açıklanan model analitik modellerle ve üç boyutlu modellerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada YHID ile desteklenen düşük tüketimli bir yapı örnek olarak gösterilmiştir (Tittlein et. al., 2009).

Trazaski ve Zawada (2011) Polonya, Varşova’da gerçekleştirdikleri teorik çalışmada konvansiyonel olmayan çözümlerin enerji verimliliği açısından önemine dikkat çekmişlerdir. Yapılan çalışmada geliştirilen YHID modeli açıklanarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ve üç boyutlu analiz sonuçları sunulmuştur. Geometrik yapı, işletme şartları ve çevresel koşullar gibi parametrelerin YHID performansı üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada maksimum ısıtma ve maksimum soğutma verimlilikleri sunulmuştur (Trazaski and Zawada, 2011).

Yang ve ark. (2009) Çin, Yangzhou’da gerçekleştirdikleri teorik analizde ısı pompası ile birlikte kullanılan dikey YHID çevresindeki ısı transferi simülasyonu üzerinde durmuşlardır. Yapılan çalışmada geliştirilen analitik simülasyon modeli açıklanarak ısı transferi, boru yüzeyini sınır kabul eden iki farklı bölge kabulüyle ele alınmıştır. Yapılan analizde boru içinde ve boru dışında

kararlı durum ve geçiş durumu ısı transfer metotları kullanılmıştır. Teorik sonuçlar 30 m dikey uzunlukta ve 1¼ inç nominal çapta HDPE borular ile yapılan güneş ve jeotermal multifonksiyonel ısı pompası deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve bağıl hatanın % 6'dan az olduğu gözlemlenmiştir (Yang et. al., 2009).

Zhang ve Haghighat (2009–2010) Kanada, Montreal'de gerçekleştirdikleri teorik çalışmada YHID yapısını açıklayarak yatay borular içindeki akışı ve termal davranışı bilgisayar destekli programlar ile incelemişlerdir. Ele alınan analiz metodunun sonuçları literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada deneysel veriler ve yapay zeka modelleri kullanılarak tasarım değişkenleri ve Nusselt katsayıları arasındaki matematiksel ilişki incelenerek geliştirilen yapay zeka modelinin deneysel veriler ile karşılaştırıldığında doğru tahminler sağladığı gözlemlenmiştir (Zhang and Haghighat, 2009). Araştırmacılar çalışmalarını sürdürerek boru yüzeyi boyunca Nusselt katsayılarını tahmin eden yapay zeka temelli ısı iletim algoritmalarını sunmuşlardır. Bu algoritmanın belli elementlerle yapılan üç boyutlu ısı transfer modelleri ile birlikte kullanılması ile birlikte YHID'ler için yeni bir termal model üretilmiştir. Yapılan çalışmada bu yeni modelin çalışma prensipleri verilmiş ve bu modelin YHID'nin çevresiyle etkileşimini iyi bir şekilde sunabileceği belirtilmiştir (Zhang and Haghighat, 2010).

2.4. Diğer Çalışmalar

Derbel ve Kanoun (2010) Tunus, Sfax'de yıl boyunca farklı derinliklerdeki toprak sıcaklığını deneysel olarak elde etmişlerdir. Yapılan deneysel ölçümler ile

hesaplanan teorik toprak sıcaklığı değerlerinin uyum içinde olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada farklı toprak termal geçirgenliklerinin toprak özellikleri ve yer sıcaklığına etkisini belirlemek için testler yapılmış ve basitleştirilmiş bir YHID modeli açıklanmıştır. Soğutma ve ısıtma kapasitelerinin değerlendirildiği çalışmanın yayınlanan diğer modellerle uyum içinde olduğu görülmüştür (Derbel and Kanoun, 2010).

Lindblom ve Nordel (2006) İsveç, Lulen'de yaptığı çalışmada YHID içinde oluşan yoğuşmadan yararlanılarak içme ve sulama suyu teminini üzerinde durmuşlardır. YHID içinde yoğuşan suyun drenaj boruları ile toplanabileceğinin belirtildiği çalışmada Tunus'daki ve Libya'daki pilot kurulumlar açıklanmıştır. Yapılan çalışmada toprak ile YHID arasındaki ısı ve kütle transferi modellenerek böyle bir sistemin teorik potansiyeli açıklanmıştır. Yapılan çalışmada YHID içinde bir metre uzunluk için günlük 1,8 kg/m içme suyunun temininin mümkün olduğu açıklanmıştır (Lindblom and Nordell, 2006).

Maerefat ve Haghighi (2010) İran Tahran'da yayınladıkları teorik çalışmada soğutma amacıyla kullanılan ve güneş bacası ile desteklenen YHID yapısını açıklamışlardır. Yapılan çalışmada güneş bacası ile birlikte kullanılan YHID yapısının elektrik enerjisine ihtiyaç duymadığı ve soğutma amacıyla kullanılabileceği vurgulanmıştır. İhtiyaç duyulan güneş bacası ve YHID boyutlarının da sunulduğu çalışmada ele alınan yapının uygun iklimlerde münferit uygulamalarda kullanılabileceği belirtilmiştir (Maerefat and Haghighi, 2010).

Sethi ve Sharma (2008) Hindistan Punjab'da gerçekleştirdiği teorik çalışmada sera iklimlendirmesinde kullanılan ve konvansiyonel olmayan yöntemleri incelemiştir. Açıklanan yöntemler güneş kolektörleri, toprak kaynaklı ısı pompaları, sıg güneş havuzları, kaya yatakları, faz değiştiren malzemeler ve

YHID gibi çeşitlilik gösteren iklimlendirme sistemleridir. Tasarımcılara yardımcı olması yönünden önemli verileri içeren çalışmada ele alınan sistemlere ait ısıtma potansiyeli ve farklı dolgu malzemeleri kullanıldığında oluşan avantajlar ve açıklanan sistemlerin uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur (Sethi and Sharma, 2008).

3.DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan soğutma deneyinde, fan tarafından cebri olarak seradan alınan havanın yer altı hava tüneli boyunca sirkülasyonu sağlanır. Yerin 3 metre altındaki toprak sıcaklığının kanal içinde dolaştırılan havanın nispeten sıcaklık farkından dolayı YHID'dan toprağa doğru ısı transferi gerçekleşir. Bu sebeple kanal içersinde dolaştırılan havanın sıcaklığı düşer. Havanın seraya tekrar geri verilmesi ile seranın ön soğutma işleminin gerçekleştirilmesi istenmektedir. Bu işlem boyunca ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin bir kısmının fotovoltaik panellerden sağlanması ve geri kalan kısmının da elektrik şebekesinden alınması ile karma bir yapının çalıştırılması istenmektedir.

Temel Yapı	Eleman	Teknik Özellikler
Yer bağlantı kısmı	Yer hava ısı değiştirgeci (Yeraltı hava tüneli)	Çelik, yatay U tipinde kapalı çevrimli gömülü boru sistemi, çap 0,56 m, uzunluk 47 m, sera bağlantısı dikey boru sistemi, çap 0,8 m, uzunluk 15 m
Sirkülasyon kısmı	Fan	Hacimsel debisi 5300 m ³ /h, basınç farkı 200 kPa efektif güç 0,74 kW.
	Sera	Cam takviyeli polyester yüzey 48,5 m ²

Çizelge 3.1 Sistemin temel özellikleri (Ozgener O. and Ozgener L. 2010a-d,)

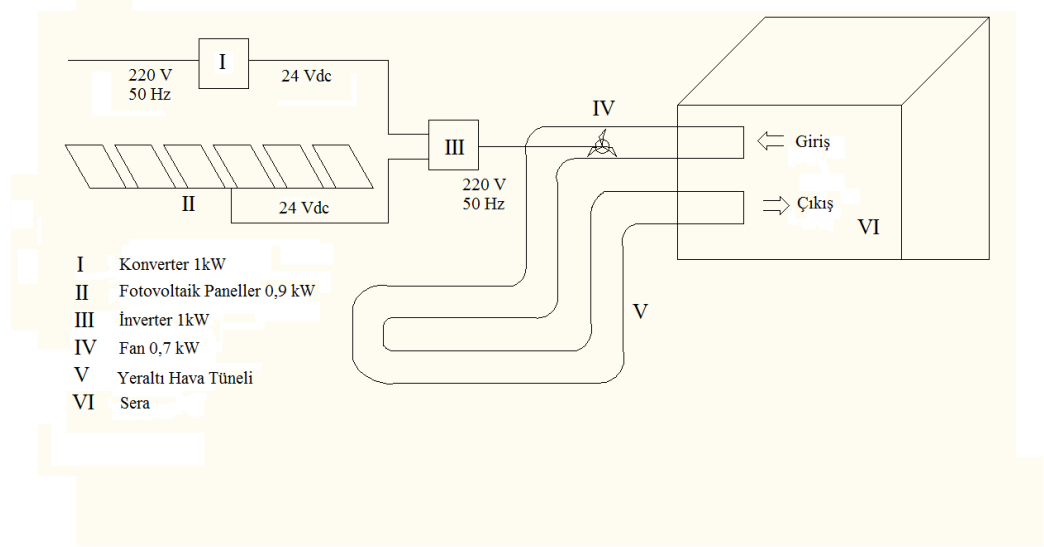
3.1.Deneysel Kurulum

Sisteme ait basitleştirilmiş şema Şekil 3.1’de ve sistemin genel görünümü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Şekil 3.1 üzerinde I ile gösterilen 1 kW gücünde konverter ile sistemi çalıştırmak için birincil enerji kaynağı olarak kullanılan elektrik şebekesi gerilimini ($220V_{ac}$ 50 Hz) doğrultulmakta ve inverter girişine ($24 V_{dc}$) iletilmektedir. II ile gösterilen 0,9 kW gücündeki fotovolatik paneller sistemin çalıştırılması için ikincil enerji kaynağıdır ve panel çıkışları inverter girişine bağlıdır. III ile gösterilen 1 kW gücündeki inverter ile farklı iki enerji kaynağını toplanarak fana iletilir. IV ile gösterilen 0,7 kW gücünde ve $5300 m^3/h$ hacimsel debide fan ile akışkan olarak kullanılan havanın sirkülasyonu sağlanmaktadır. V ile gösterilen yer altı hava tüneli galvaniz malzeme ile üretilmiş olan, 0,56 metre çapında 47 metre uzunluğunda 3 metre derinlikte gömülü olan yatay U şeklindeki borular ve bunları seraya bağlayan 0,8 metre çapında 15 metre uzunluğunda dikey borulardan oluşmaktadır. VI ile gösterilen güneş serası $48,51 m^2$ cam takviyeli polyester yüzeye sahiptir ve kuzey-güney eksenı boyunca yerleştirilmiştir.

Teknik özellikleri Çizelge 3.1–3.2’de gösterilen deney düzeneği ($38^{\circ} 24' N$ ve $27^{\circ} 50' E$ koordinatlarında) Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü yerleşkesinde 2010 yaz döneminde çalıştırılarak sistem üzerindeki deneysel ölçümler kaydedilmiştir.

Fotovoltaik Paneller	Adet	6	
	Boyutlar	1344*789*72	mm
	P_m	150	Watt
	V_m	30,6	Volt
	I_m	4,87	Amper
	V_{oc}	36,9	Volt
	I_{sc}	5,47	Amper
	Polikristal	IEC 61215	IP 65
	Tedarikçi	Axitec	
İnverter	DC to AC Power inverter 1000W		
	24 V _{dc} to 230 V _{ac} 50 Hz		
	Tedarikçi	Koselli (Akowa)	
Konverter	AC to DC (PSP 1000)		
	Giriş	220-240 V _{ac}	7A
	Çıkış	24 V _{dc}	37A
	Tedarikçi	Meanwell	
Fan	Voltaaj	220	Volt
	Cos ϕ	1	-
	Power	736	Watt
Güç Analizörü	V_{in}	10-500 V	46-65 Hz
	I_{in}	0,05-5,5 A	
	Sınıf	1%	±1 digit
	Tedarikçi	Entes	MPR53
Pironometre	Hassasiyet	4,5 10 ⁻⁶	V/Wm ⁻²
	Model	CM11	
	Tedarikçi	Kipp&Zonen	
Anemometre	Aralık 0,5–40 m/s	Çözünürlük 0.01 m/s	Doğruluk ±2%
	Çalışma şartları	0 °C to 50 °C	80 % Bağıl Nem
	Tedarikçi	Lutron	AM-4206M
PT 100 Rezistif Termometre	Direnç	100 Ω at 0 °C	
	Sınıf	1,5 %	
	Tedarikçi	Elimko	
Sıcaklık ve Bağıl Nem Sensörü	Sıcaklık aralığı	-20 to +70 °C	±0,5 °C
	Bağıl nem aralığı	0 % to 100 %	±2,5 %
	Hassasiyet	0,1 °C	0,1 %
	Voltaaj	24 V _{dc}	IP 65
	Tedarikçi	Testo	6621-A02
Veri Kaydedici	Sınıf	0,5	9 digit
	Analog – Dijital çevrim		16 bit
	Dijital – Analog çevrim		12 bit
	Çalışma şartları	-5 to 55 °C	85 to 265 V _{ac}
	Tedarikçi	Elimko 680	

Çizelge 3.2 Sistem elemanlarının ve ölçüm cihazlarının teknik özellikleri



Şekil 3.1 Fotovoltaik destekli YHID’ne ait basitleştirilmiş şema

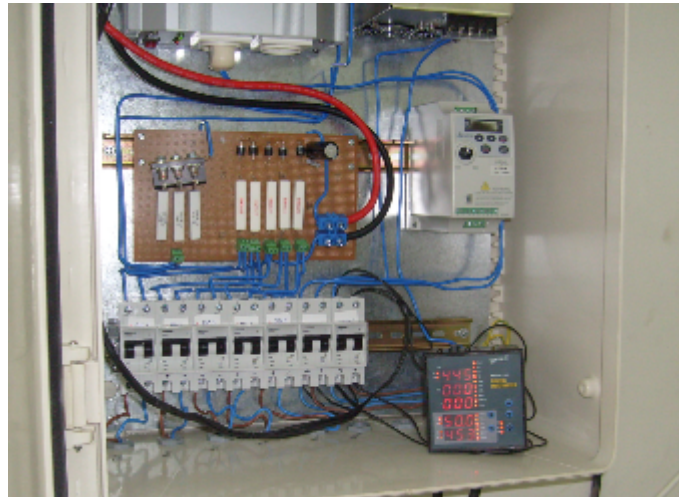


Şekil 3.2 Sistemin genel görünümü

3.2. Deneysel Verilerin Ölçülmesi

Elektriksel voltaj, akım, güç tüketimi ve güç faktörü değerleri MPR-53 güç analizör cihazı ile ölçülmüştür. Yer hava ısı değiştirgecinin giriş ve çıkışındaki havanın, YHID galvaniz yüzeyinin, kanal boyunca kanal içindeki havanın sıcaklıkları ve farklı kısımlardaki toprağın sıcaklıkları PT-100 termometreler ile ölçülmüştür. Yer hava ısı değiştirgecinde kapalı çevrim halinde olan havanın hacimsel akışı Lutron AM-4206M anemometre ile ölçülmüştür. Giriş ve çıkışa ait bağıl nem değerleri, sıcaklık değerleri ile birlikte Testo 6621-A02 termo-hidrometre ile ölçülmüştür. Solar radyasyon değerleri Eppley CM11 siyah-beyaz pironometre ile ölçülmüştür.

Yapılan ölçümlerin görüntülenmesi ve kaydedilmesi Elimko-680 sayısal veri kaydedici ile gerçekleştirilerek yerel bir bilgisayar ile yapılan deneyler süresince izlenmiştir. Şekil 3.3’de deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan ölçüm düzeneği

3.3.Yapılan Kabuller

Yapılan nümerik hesaplamalarda alternatif akıma ait gerilim 220 Volt, frekans 50 Hertz ve güç faktörü 1 olarak kabul edilmiştir.

Fotovoltaik paneller ve konverter çıkışlarının saf doğru akım ve 24 Volt olduğu kabul edilmiştir. Fanın ilk çalıştığı anda oluşan aşırı akıma bağlı negatif etkiler ve kayıplar ihmal edilmiş, fanın deney süresince hızının sabit olduğu ve fan verimliliğinin sabit olduğu kabul edilmiştir.

YHID iç yüzeyinde görülen yoğuşmanın sabit olduğu ve boru içindeki akışın homojen olduğu kabul edilmiştir. Toprağın termal geçirgenliğinin her noktada aynı olduğu ve toprak ile YHID arasında mükemmel temas olduğu kabul edilmiştir.

Sera içindeki tavan ve duvarlardan yansıyan güneş radyasyonunun ölçüm cihazları üzerindeki negatif etkileri ihmal edilmiştir.

Solar ekserji hesaplamalarında güneş kaynak sıcaklığı 6000 K olarak kabul edilmiştir (Ozturk, 2004) (Hatacoglu et. al.,2011).

3.4.Belirsizlik Analizi

Yapılan deneysel ölçümlerdeki, deneysel verilerin analizindeki ve yapılan kabullere dayanan hesaplamalardaki hataları en aza indirmek için kullanılan ölçü aletlerinin yüksek doğrulukta ve kalibre edilmiş olmasına özen gösterilmiştir.

Bununla birlikte gerekli görüldüğü takdirde ilgili ölçümün süresi uzatılmış veya deneysel ölçümler tekrarlanmıştır. Kaydedilen deneysel verilerin çözünürlük değerlerinin %1'in altında olmasına özen gösterilmiştir.

Ölçümlerde yapılan hataların ölçümü yapan gözlemciden, ölçü aletinin belirsizliğinden ve kalibrasyon hatalarından kaynaklandığı öngörülerek yapılan bu ölçümlere ait belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Ölçülen değerlere ait belirsizlikler Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Ölçülen Değer	Birim	Toplam Belirsizlik (%)
Fanın efektif gücü	kW	± 1.0
Faz gerilimi	V	± 1.0
Toplam akım	A	± 1.0
Frekans	Hz	± 1.0
Güç faktörü (Cos ϕ)	-	± 1.0
Yer altı hava tüneli giriş sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	± 1.5
Yer altı hava tüneli çıkış sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	± 1.5
Yer altı hava tüneli giriş bağıl nem değeri	%	± 1.0
Yer altı hava tüneli çıkış bağıl nem değeri	%	± 1.0
Boru içindeki havanın hızı	m/s	± 3.0
Hacimsel debi	m^3/s	± 3.0
Sera içindeki güneş radyasyonu	W/m^2	± 1.0

Çizelge 3.3 Ölçülen değerlere ait belirsizlikler

4. ANALİZ

Yapısal özellikleri ve çalışma prensipleri açıklanan sistem 23–24 Temmuz 2010 tarihlerinde devreye alınarak çalıştırılmış ve test amacıyla ilk ölçümler kaydedilmiştir. Daha sonra ölçü aletleri tekrar kalibre edilerek sistem deneysel ölçümlere hazır hale getirilmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında 19–26 Ağustos 2010 tarihleri arasında iklimlendirme deneyi gerçekleştirilmiş ve deneysel ölçümler kaydedilmiştir. Bu tezde örnek olarak üç farklı güne ait ölçümler ele alınmış ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Enerji ve ekserji analizlerinde de kullanılan ve 19, 25 ve 26 Ağustos 2010 tarihlerinde kaydedilmiş olan ölçümlere ait tüm nümerik değerler sırasıyla Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3’de listelenmiş ve bu ölçümlere ait ortalama değerler bir sonraki ana başlıkta verilmiştir.

4.1. Enerji Analizi

Açık literatüre bakıldığında daha önce yapılmış olan YHID analizlerinde kullanılan temel argümanın sistemin performans katsayısı (COP) olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte tasarlanan modellerde COP değeriyle birlikte YHID giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkının da yüksek olması amaçlanmaktadır. Ele alınan eşitlikte COP değeri YHID’nin soğutma yükü ve fanın enerji talebi arasındaki oran olarak kabul edilmektedir (Eşitlik 1) (Ozgener O. and Ozgener L.,2010a-d).

$$COP = \frac{\dot{Q}_r}{\dot{W}_b} \quad (1)$$

Kullanılan fanın gücü $\dot{W}_b$, sabit hızda ve sabit güç tüketiminde iken, sistemin soğutma yükü $\dot{Q}_r$, mekanik özelliklere bağlıdır ve termodinamik yasaları ile açıklanan ısı ve kütle transferinden kaynaklanmaktadır.

Soğutma yükü $\dot{Q}_r$, YHID giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık ve bağıl nem farkları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Eşitlik 2–4). Hesaplamalarda kullanılan hava ve suya ait entalpi değerleri psikrometrik diyagram kullanılarak elde edilmiştir (Ozgener O. and Ozgener L., 2010a-d;).

$$\dot{Q}_r = \dot{m}_a (h_{a,i} - h_{a,o}) \quad (2)$$

$$h_{a,i} = (h_a)_i + w_i (h_v)_i \quad (3)$$

$$h_{a,o} = (h_{a,o}) + w_o (h_{v,o}) \quad (4)$$

Fotovoltaik panellere ait enerji analizinin yapılabilmesi için çalışma karakteristiklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Deneyde kullanılan fotovoltaik paneller yüksek saflıkta silisyum temelli ve polikristal yapıdadır. Bu paneller metal alt yüzey, silisyumun başka bir elementle katkılanmasıyla elde edilen P ve N tipi yarı iletken maddeler, antireflekte yüzey ve ara yapıştırıcı yüzeyin üst üste birleştirilmesiyle oluşturulmuştur.

Bir P-N yarı iletken yüzeylere sahip solar hücre güneş ışığına maruz kaldığında, güneş ışığındaki fotonlar solar hücre tarafından absorbe edilir. Bu foton enerjisi ile elektronlar arasındaki bağlar kopar, N tipi yarı iletken bölge ve P

tipi yarı iletken bölge arasında elektron akışı olur. Bu olaya fotovoltaiik etki denir. Eğer P ve N uçları kapalı bir elektrik devresi oluşturacak şekilde bir yük üzerinden birbirine bağlı ise o yük üzerinde belli bir gerilim V_m ve belli bir akım I_m oluşur. Böylece foton enerjisi faydalı elektrik enerjisine dönüşmüş olur (Green M. A, 2002).

Enerji analizi kapsamında yapılan çalışmada sistemin termal performansının yanı sıra fotovoltaiik panel verimliliği ve fotovoltaiik üretimin toplam elektrik enerjisi talebindeki payı da hesaplanmıştır. Bu değerlerin saptanabilmesi için fotovoltaiik panellerde üretilen elektrik enerjisi ölçülmesi ile gerçek fotovoltaiik verimlilik deneysel veriler kullanılarak elde edilmiştir.

$$\dot{W}_{urt} = S_T I \eta_{PV} \quad (5)$$

$$\eta_{PV} = \frac{P_m}{S_T I} \quad (6)$$

Sistemin toplam enerji talebi fotovoltaiik katkının ve şebekeden çekilen gücün toplanması ile hesaplanmış ve bu talebin fanı sürekli sabit hızda çalıştırmak için gerekli olan güçten yüksek olduğu görülmüştür. Gözlenen bu elektriksel güç kaybı inverter, regülatör, kablolar ve elektriksel bağlantılar gibi farklı noktalarda gerçekleşen kayıpların toplamıdır.

4.2. Ekserji Analizi

Ele alınan sistemin daha iyi tanımlanması, daha ayrıntılı ve kesin verilerin elde edilmesi, kullanılan kaynakların hangi verimliliklerde kullanıldığının

belirlenmesi, sistemin maksimum ve optimum çalışma aralıklarının bulunması için geniş kapsamlı bir ekserji analizinin yapılması uygun olacaktır.

Yapılan ekserji analizinde sistemi oluşturan parçalar tek tek incelenebileceği gibi tüm sistem tek bir blok olarak da ele alınabilir. Sistemi oluşturan tüm parçalara ait kayıplar ve tersinmezlikler ayrı ayrı elde edilerek sistemde iyileştirme yapılabilecek noktalar belirlenebilir, sistemin kullandığı kaynakların sınırları ve ne kadar verimli kullanılabildiği incelenebilir.

Verilen eşitliklerde güneş ışınımının özelliklerini kullanan güneş ekserjisi ve elektriksel ölçüm parametrelerini kullanan elektriksel ekserji tanımlanmış, ekserji tüketimi bu iki değerin farkı olarak kabul edilmiştir (Eşitlik 7–9).

$$\dot{E}_{X_{elk}} = V_m \cdot I_m \quad (7)$$

$$\dot{E}_{X_{gun}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{gun}}\right) \cdot S_T \cdot I \quad (8)$$

$$\dot{E}_{X_{kay}} = \dot{E}_{X_{gun}} - \dot{E}_{X_{elk}} \quad (9)$$

Fujisawa ve Tani'ye göre elektriksel ekserji çevresel koşullardan etkilenmemektedir (Fujisawa and Tani, 1997). Ekserji hesaplamalarında, fanın gücü W_b hesaplanırken Eşitlik 10'da gösterilen bağıntı dikkate alınmıştır.

$$\dot{W}_b = \frac{\dot{m}_a \cdot (h_{b,i} - h_{b,o})}{\eta_{mek}} \quad (10)$$

Önlenemeyen bir kayıp olarak kabul edilen ekserji tüketimi elektriksel iş, ısı ve kütle arasındaki bağlantılar dikkate alınarak hesaplanabilmektedir (Eşitlik

11–12). Ekserji hesaplamalarında bu faktörler sistem için bir kaynak işlevi görmesi veya sistemden alınan bir sonuç olmasına göre değerlendirilebilir.

$$\dot{E}_{\chi_{isi}} - \dot{E}_{\chi_{ış}} + \dot{E}_{\chi_{kütle,i}} - \dot{E}_{\chi_{kütle,o}} = \dot{E}_{\chi_{kay}} \quad (11)$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) \dot{Q}_r - \dot{W}_b + \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_o \psi_o = \dot{E}_{\chi_{kay}} \quad (12)$$

Enerjinin yararlanılabilen bölümü olan ekserji, kütleli debi ve özgül ekserjinin çarpımı olarak da düşünülebilir (Eşitlik 13).

$$\dot{E}_\chi = \dot{m}_a \psi_a \quad (13)$$

Hava akışkanı için özgül ekserji, havanın ideal gaz oluşu ve YHID içinde yoğuşmanın olmayışı kabulüyle Kotas tarafından tanımlanmıştır (Eşitlik 14) (Kotas, 1985).

Hata payı daha az olan, yoğuşmayı ve havadaki nemin etkilerini de içeren daha geniş ölçekli bir tanımlama Wepher ve Gaggioli tarafından gerçekleştirilmiştir (Eşitlik 15) (Wepher and Gaggioli, 1979). Eşitliklerde kullanılan w değeri özgül nemdir ve kuru hava ve su buharı kütlelerinin oranı olarak kabul edilir (Eşitlik 16).

$$\psi_{C_{p,a}} = C_{p,a} \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + R_a \cdot T_0 \cdot \ln \frac{P}{P_0} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \psi_a = & \left[(C_{p,a} + w C_{p,v}) \right] (T - T_0) \\ & - T_0 \left[(C_{p,a} + w C_{p,v}) \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) - (R_a + w R_v) \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \right] \\ & + T_0 \left[(R_a + w R_v) \cdot \ln \left[\frac{(1 + 1.6078 w_0)}{(1 + 1.6078 w)} \right] + 1.6078 w R_a \cdot \ln \left(\frac{w}{w_0} \right) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

$$w = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} \quad (16)$$

Tersinmezlik akımı, sistemin kayıp analizinde kullanılabilecek önemli bir bağıntıdır. Bu bağıntı sistemde üretilen entropinin çevre sıcaklığıyla ilişkisi olarak ele alınabilir. Sistemin tüm bileşenleri üzerinde aynı kayıp analizi gerçekleştirildiğinde sistemin mümkün olan iyileştirme noktaları da belirlenebilir (Eşitlik 17).

$$\dot{I} = \dot{E}_{\chi_{kay}} = T_0 \dot{S}_{urt} \quad (17)$$

Sistemin ekserji verimliliği saptanırken sistemin girişi, sistemin çıkışı ve fana ait ekserji oranları dikkate alınabileceği gibi sistemdeki ekserji girişi ve ekserji yıkımı arasındaki bağıntı da kullanılabilir. Ekserji verimliliği benzer bir şekilde sistemin kullandığı kaynaklar yakıt $\dot{F}$ ve sistemden sağlanan faydalı enerji ürün $\dot{P}$ kabul edilerek de bulunabilir (Eşitlik 18–20).

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{\chi_o}}{\dot{E}_{\chi_i}} = 1 - \frac{\dot{E}_{\chi_{kay}}}{\dot{E}_{\chi_i}} \quad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{P}}{\dot{F}} \quad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{\chi_o} - \dot{E}_{\chi_i}}{\dot{W}_b} \quad (20)$$

Sistemin iki temel bileşeni olan YHID ve fana ait ekserjetik kayıpların ayrı ayrı hesaplanması ile istenen düzeyde bir kayıp analizi gerçekleştirilebilmektedir (Eşitlik 21–22) (Ozgener O. and Ozgener L., 2010a-d).

$$\dot{E}_{X_{kay,b}} = \dot{W}_b - \dot{m}_a (\psi_{a,o} - \psi_{a,i}) \quad (21)$$

$$\dot{E}_{X_{kay,YHID}} = \dot{m}_a (\psi_{a,i} - \psi_{a,o}) - \dot{Q}_r \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) \quad (22)$$

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Ölçüm Sonuçları

19 Ağustos 2010 tarihinde 07.30 ve 19.00 saatleri arasında 10 dakikalık periyotlara sahip 70 adet ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler Çizelge 4.1’de liste halinde verilmiştir. Yapılan ölçümlerde giriş sıcaklığı 40,5 °C, giriş bağıl nemi % 39,0, çıkış sıcaklığı 32,6 °C, çıkış bağıl nemi % 57,3, şebekeden çekilen güç 545 Watt ve fotovoltaik panellerden çekilen güç 247 Watt ortalama değerlerinde bulunmuştur. 11 saat 30 dakika süren deney boyunca YHID giriş ve çıkışı arasında ortalama 7,9 °C’lık sıcaklık farkı gözlemlenmiştir. Seradan ortalama 4,74 kW ısı akımı çekilerek toprağa atılmıştır. Sistemin ortalama soğutma tesir katsayısı (COP) 6,44 olarak hesaplanmıştır. Deney süresince ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin % 31,2’si fotovoltaik panellerden karşılanmıştır.

25 Ağustos 2010 tarihinde 08.00 ve 16.30 saatleri arasında 10 dakikalık periyotlara sahip 52 adet ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler Çizelge 4.2’de liste halinde verilmiştir. Yapılan ölçümlerde giriş sıcaklığı 38,7 °C, giriş bağıl nemi % 40,6, çıkış sıcaklığı 31,0 °C, çıkış bağıl nemi % 59,7, şebekeden çekilen güç 466 Watt ve fotovoltaik panellerden çekilen güç 324 Watt ortalama değerlerinde bulunmuştur. 8 saat 30 dakika süren deney boyunca YHID giriş ve çıkışı arasında ortalama 7,7 °C’lık sıcaklık farkı gözlemlenmiş ve seradan ortalama 4,63 kW ısı akımı çekilerek toprağa atılmıştır. Sistemin soğutma tesir katsayısı ortalama (COP) 6,29 olarak hesaplanmıştır. Deney süresince ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin % 41,0’i fotovoltaik panellerden karşılanmıştır.

26 Ağustos 2010 tarihinde 08.00 ve 19.00 saatleri arasında 10 dakikalık periyotlara sahip 67 adet ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler Çizelge 4.3'de liste halinde verilmiştir. Yapılan ölçümlerde giriş sıcaklığı 40,9 °C, giriş bağıl nemi % 24,4, çıkış sıcaklığı 32,6 °C, çıkış bağıl nemi % 36,5, şebekeden çekilen güç 501 Watt ve fotovoltaik panellerden çekilen güç 264 Watt ortalama değerlerinde bulunmuştur. 11 saat süren deney boyunca YHID giriş ve çıkışı arasında ortalama 8,3 °C'lik sıcaklık farkı gözlemlenmiş ve seradan ortalama 5,02 kW ısı akımı çekilerek toprağa atılmıştır. Sistemin soğutma tesir katsayısı ortalama (COP) 6,82 olarak hesaplanmıştır. Deney süresince ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin % 34,6'sı fotovoltaik panellerden karşılanmıştır.

Ölçüm No	Saat	$\dot{I}_{gun}$ W/m ²	T_i °C	RH_i %	T_o °C	RH_o %	$\dot{W}_{seb}$ W	$\dot{W}_{pv}$ W	$\dot{Q}_r$ kW	COP
1	07.30	605	27.3	62.1	27.3	63.2	689	0	0.00	0.00
2	07.40	605	27.7	62.0	27.7	62.8	780	0	0.00	0.00
3	07.50	607	27.8	62.0	27.8	63.2	765	0	0.00	0.00
4	08.00	608	28.0	61.6	27.9	63.5	765	0	0.06	0.08
5	08.10	616	28.2	61.7	27.9	63.7	762	0	0.18	0.24
6	08.20	616	28.9	59.5	28.5	62.2	761	0	0.24	0.33
7	08.30	626	29.2	58.2	28.1	63.1	757	50	0.66	0.89
8	08.40	622	29.7	57.1	28.2	63.1	751	37	0.90	1.22
9	08.50	631	31.0	54.4	28.6	62.9	742	24	1.44	1.95
10	09.00	634	31.5	52.6	28.7	62.9	741	11	1.68	2.28
11	09.10	634	33.0	51.0	29.0	63.0	741	43	2.39	3.25
12	09.20	641	33.5	49.2	29.3	63.9	710	74	2.51	3.41
13	09.30	642	34.1	49.8	29.5	64.1	688	106	2.75	3.74
14	09.40	652	35.7	45.6	30.0	63.5	646	137	3.41	4.63
15	09.50	658	36.4	43.8	30.2	62.8	616	168	3.71	5.04
16	10.00	664	36.6	44.4	30.3	63.4	607	199	3.77	5.12
17	10.10	674	36.8	45.9	30.4	63.9	577	225	3.83	5.20
18	10.20	678	37.4	43.6	30.6	63.9	564	251	4.07	5.53
19	10.30	685	38.4	42.9	30.9	63.4	526	277	4.49	6.10
20	10.40	693	38.8	41.4	31.2	62.4	491	305	4.55	6.18
21	10.50	704	39.6	38.8	31.4	62.0	477	332	4.91	6.67
22	11.00	705	39.7	38.5	31.5	62.0	465	360	4.91	6.67
23	11.10	708	40.1	39.0	31.7	61.0	450	368	5.03	6.83
24	11.20	712	40.3	39.3	31.8	60.8	444	376	5.09	6.91
25	11.30	714	40.8	37.0	31.9	59.9	436	384	5.33	7.24
26	11.40	727	41.2	36.3	32.1	60.2	416	397	5.45	7.40
27	11.50	728	41.5	37.0	32.3	58.6	400	410	5.51	7.48
28	12.00	748	42.5	35.0	32.6	58.6	385	423	5.92	8.05
29	12.10	786	43.6	33.0	32.9	58.1	376	432	6.40	8.70
30	12.20	841	43.8	32.1	33.0	56.8	368	441	6.46	8.78
31	12.30	862	44.1	31.6	33.2	54.0	358	450	6.52	8.86
32	12.40	864	44.9	29.3	33.4	52.7	361	456	6.88	9.35
33	12.50	892	45.3	29.6	33.6	52.8	357	461	7.00	9.51
34	13.00	916	45.7	28.1	33.7	52.5	351	467	7.18	9.76
35	13.10	885	46.3	27.7	33.9	51.1	360	468	7.42	10.08
36	13.20	888	46.3	27.8	34.0	51.2	351	469	7.36	10.00
37	13.30	900	46.4	27.6	34.1	52.1	351	470	7.36	10.00
38	13.40	932	46.7	26.3	34.2	49.3	348	467	7.48	10.16
39	13.50	921	47.1	25.7	34.3	48.6	352	463	7.66	10.41
40	14.00	905	47.1	25.4	34.5	48.6	360	460	7.54	10.24
41	14.10	907	47.5	25.6	34.7	48.2	368	457	7.66	10.41
42	14.20	900	47.6	25.8	34.7	49.5	373	453	7.72	10.49
43	14.30	904	47.5	27.0	34.8	50.4	369	450	7.60	10.33
44	14.40	887	46.9	31.0	34.9	54.3	374	433	7.18	9.76
45	14.50	881	46.5	31.3	34.9	54.3	374	416	6.94	9.43
46	15.00	891	46.6	31.2	34.9	55.1	376	399	7.00	9.51
47	15.10	934	46.2	31.7	35.0	55.5	390	399	6.70	9.11
48	15.20	940	46.2	32.4	35.0	56.0	390	398	6.70	9.11
49	15.30	921	45.9	32.6	35.1	55.6	397	398	6.46	8.78
50	15.40	906	45.5	33.0	35.0	56.3	432	375	6.28	8.54
51	15.50	968	45.4	33.2	35.0	56.0	449	353	6.22	8.46
52	16.00	984	45.5	32.0	35.0	55.6	457	330	6.28	8.54
53	16.10	966	45.0	33.7	35.0	56.0	497	308	5.98	8.13
54	16.20	958	44.9	34.5	35.0	56.2	514	285	5.92	8.05
55	16.30	935	44.7	34.8	35.0	55.7	527	263	5.80	7.89
56	16.40	853	44.7	34.8	35.0	55.3	543	232	5.80	7.89
57	16.50	851	44.4	33.7	35.0	53.9	578	201	5.62	7.64
58	17.00	859	44.2	33.4	34.9	54.0	593	170	5.57	7.56
59	17.10	828	44.1	33.0	34.9	53.6	639	136	5.51	7.48
60	17.20	813	43.2	37.0	34.8	56.0	680	101	5.03	6.83
61	17.30	855	42.7	36.0	34.7	55.1	696	67	4.79	6.50
62	17.40	889	42.3	37.6	34.6	54.9	722	55	4.61	6.26
63	17.50	858	41.8	37.3	34.5	54.3	738	43	4.37	5.94
64	18.00	814	41.3	39.0	34.4	54.8	737	31	4.13	5.61
65	18.10	755	40.4	38.8	34.2	55.5	745	24	3.71	5.04
66	18.20	675	40.2	39.7	34.1	53.9	749	17	3.65	4.96
67	18.30	654	39.5	40.7	33.8	54.8	752	10	3.41	4.63
68	18.40	609	37.9	41.1	33.3	52.9	754	9	2.75	3.74
69	18.50	611	36.7	43.3	33.0	54.2	754	7	2.21	3.01
70	19.00	607	36.4	44.1	32.8	54.2	754	6	2.15	2.93

Çizelge 5.1 19.08.2010 Tarihinde yapılan deneysel ölçümler

Ölçüm No	Saat	$\dot{I}_{gun}$ W/m ²	T_i °C	RH_i %	T_o °C	RH_o %	$\dot{W}_{seb}$ W	$\dot{W}_{pv}$ W	$\dot{Q}_r$ kW	COP
1	08.00	607	25.3	65.4	25.3	66.4	661	0	0.00	0.00
2	08.10	613	25.9	64.8	25.9	64.3	662	0	0.00	0.00
3	08.20	619	26.3	63.9	26.3	63.7	705	0	0.00	0.00
4	08.30	618	26.7	62.4	26.6	64.1	744	0	0.06	0.08
5	08.40	622	27.5	60.0	26.8	64.1	734	0	0.42	0.57
6	08.50	629	28.5	58.6	27.0	64.3	728	0	0.90	1.22
7	09.00	627	28.9	56.6	26.6	64.1	744	0	1.38	1.87
8	09.10	639	30.6	53.0	27.6	64.6	722	20	1.80	2.44
9	09.20	641	31.5	50.3	27.8	64.0	697	40	2.21	3.01
10	09.30	641	32.7	47.6	28.1	63.8	684	60	2.75	3.74
11	09.40	645	33.8	45.0	28.5	63.4	650	104	3.17	4.31
12	09.50	647	34.8	43.0	28.8	61.9	621	147	3.59	4.88
13	10.00	654	35.5	41.9	29.0	61.7	601	191	3.89	5.28
14	10.10	665	36.5	42.2	29.4	61.5	561	227	4.25	5.77
15	10.20	681	37.6	40.8	29.8	61.2	522	263	4.67	6.34
16	10.30	684	38.1	39.8	30.0	60.3	505	299	4.85	6.59
17	10.40	682	38.5	38.2	30.1	60.2	495	324	5.03	6.83
18	10.50	695	39.0	37.4	30.3	60.5	481	348	5.21	7.07
19	11.00	705	39.3	38.7	30.6	60.2	455	373	5.21	7.07
20	11.10	711	39.3	38.0	30.8	60.1	434	385	5.09	6.91
21	11.20	708	39.2	38.0	30.8	60.2	427	398	5.03	6.83
22	11.30	714	39.8	38.2	31.0	60.6	412	410	5.27	7.15
23	11.40	715	40.4	37.0	31.2	60.3	396	417	5.51	7.48
24	11.50	716	40.7	36.5	31.4	60.8	390	425	5.57	7.56
25	12.00	718	40.5	37.9	31.5	60.8	380	432	5.39	7.32
26	12.10	726	41.0	37.3	31.7	60.5	358	444	5.57	7.56
27	12.20	741	41.2	37.3	31.9	60.2	347	457	5.57	7.56
28	12.30	767	41.6	36.8	32.0	60.3	340	469	5.74	7.81
29	12.40	826	42.0	35.5	32.2	59.1	340	480	5.86	7.97
30	12.50	885	42.2	35.5	32.3	59.0	328	490	5.92	8.05
31	13.00	921	42.6	35.2	32.5	58.1	314	501	6.04	8.21
32	13.10	906	42.6	34.2	32.5	58.2	316	505	6.04	8.21
33	13.20	891	42.5	34.8	32.6	57.6	309	510	5.92	8.05
34	13.30	912	42.4	34.6	32.6	56.8	308	514	5.86	7.97
35	13.40	938	42.9	34.3	32.7	57.9	315	508	6.10	8.29
36	13.50	933	42.7	34.5	32.7	56.8	308	503	5.98	8.13
37	14.00	924	43.0	33.6	32.9	57.3	311	497	6.04	8.21
38	14.10	925	43.5	34.1	33.0	57.2	328	493	6.28	8.54
39	14.20	929	44.0	32.6	33.1	57.1	324	489	6.52	8.86
40	14.30	925	43.8	32.7	33.2	56.5	331	485	6.34	8.62
41	14.40	898	44.2	34.0	33.4	58.0	350	467	6.46	8.78
42	14.50	889	43.9	33.7	33.5	57.1	344	450	6.22	8.46
43	15.00	915	43.6	34.4	33.6	56.8	377	432	5.98	8.13
44	15.10	919	43.7	34.5	33.6	55.7	375	430	6.04	8.21
45	15.20	948	43.6	34.2	33.6	56.5	377	427	5.98	8.13
46	15.30	953	43.6	33.5	33.6	55.9	382	425	5.98	8.13
47	15.40	926	43.5	34.7	33.6	55.9	392	399	5.92	8.05
48	15.50	896	42.9	33.7	33.5	54.9	429	373	5.62	7.64
49	16.00	954	42.7	33.3	33.6	55.2	459	347	5.45	7.40
50	16.10	926	42.8	33.9	33.6	55.3	474	326	5.51	7.48
51	16.20	999	42.4	35.5	33.6	55.3	512	304	5.27	7.15
52	16.30	996	42.4	35.5	33.6	55.9	509	283	5.27	7.15

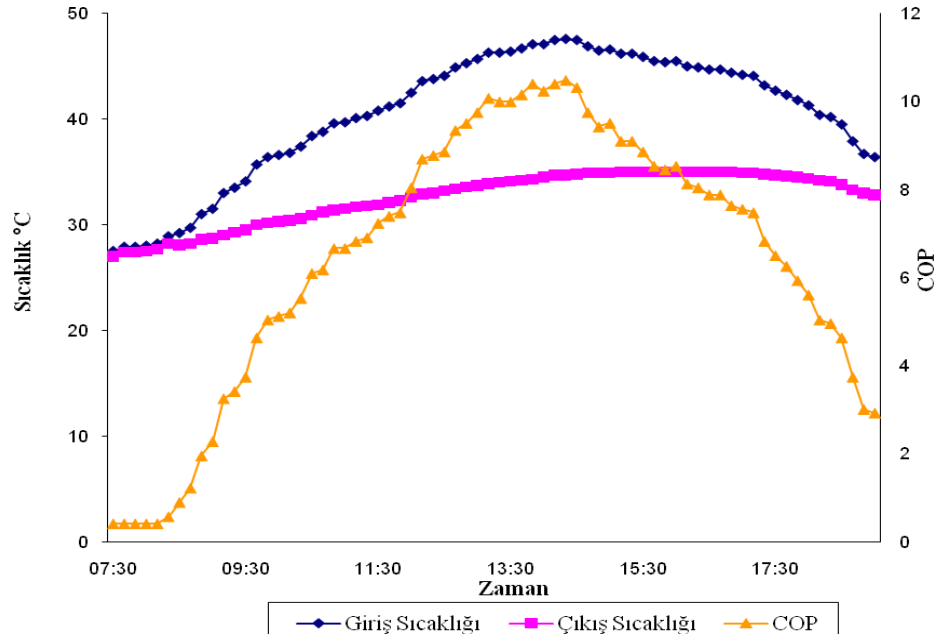
Çizelge 5.2 25.08.2010 Tarihinde yapılan deneysel ölçümler

Ölçüm No	Saat	$\dot{I}_{gun}$ W/m ²	T_i °C	RH_i %	T_o °C	RH_o %	$\dot{W}_{seb}$ W	$\dot{W}_{pv}$ W	$\dot{Q}_r$ kW	COP
1	08.00	607	24.9	44.1	24.5	46.7	652	7	0.24	0.37
2	08.10	609	25.5	45.3	27.1	43.7	731	5	0.96	1.31
3	08.20	613	26.3	45.2	27.3	44.8	730	2	0.60	0.82
4	08.30	615	26.8	44.9	27.5	45.1	730	0	0.42	0.57
5	08.40	626	27.7	45.0	27.7	46.4	729	3	0.00	0.00
6	08.50	626	28.8	43.1	28.0	46.9	725	7	0.48	0.66
7	09.00	628	30.0	40.6	28.3	47.2	718	10	1.02	1.42
8	09.10	634	31.5	36.3	28.7	47.7	719	36	1.68	2.33
9	09.20	640	32.7	34.9	28.9	45.0	702	63	2.27	3.24
10	09.30	647	34.0	28.9	29.2	41.6	660	89	2.87	4.35
11	09.40	653	35.4	26.6	29.6	39.8	613	95	3.47	5.66
12	09.50	660	36.0	28.0	29.9	41.2	591	102	3.65	6.18
13	10.00	655	36.5	26.3	30.0	39.6	570	108	3.89	6.82
14	10.10	675	37.3	25.8	30.3	38.8	534	171	4.19	7.84
15	10.20	682	37.9	22.7	30.5	38.0	514	236	4.43	8.62
16	10.30	689	38.1	24.2	30.7	37.2	506	301	4.43	8.75
17	10.40	687	39.4	24.3	31.0	40.1	483	335	5.03	10.41
18	10.50	695	39.8	24.7	31.2	41.4	463	370	5.15	11.11
19	11.00	702	40.7	24.7	31.6	41.2	442	404	5.45	12.32
20	11.10	708	41.2	23.3	31.8	40.0	426	406	5.62	13.20
21	11.20	708	41.1	21.2	31.9	36.3	397	408	5.51	13.87
22	11.30	713	41.4	20.5	32.1	33.6	371	410	5.57	15.00
23	11.40	709	42.2	19.5	32.4	33.4	351	444	5.86	16.71
24	11.50	715	42.3	19.0	32.5	34.1	350	479	5.86	16.76
25	12.00	718	42.5	19.4	32.6	33.8	345	514	5.92	17.17
26	12.10	716	42.7	19.9	32.7	33.7	327	525	5.98	18.30
27	12.20	732	43.2	19.3	32.8	34.1	328	536	6.22	18.97
28	12.30	767	43.6	19.2	33.1	32.9	316	547	6.28	19.88
29	12.40	840	44.2	17.9	33.3	31.7	307	549	6.52	21.25
30	12.50	875	44.2	18.9	33.3	32.0	307	551	6.52	21.25
31	13.00	945	44.8	17.7	33.5	31.5	305	553	6.76	22.17
32	13.10	933	45.4	16.9	33.7	30.3	299	558	7.00	23.42
33	13.20	918	45.3	16.6	33.8	29.7	302	563	6.88	22.79
34	13.30	934	45.8	17.6	34.0	30.0	299	568	7.06	23.62
35	13.40	969	45.8	16.9	34.1	31.0	306	570	7.00	22.88
36	13.50	961	45.9	17.2	34.1	30.3	299	572	7.06	23.62
37	14.00	946	46.1	16.4	34.2	30.2	302	574	7.12	23.58
38	14.10	946	46.1	16.3	34.3	29.9	308	564	7.06	22.93
39	14.20	946	46.9	15.8	34.5	30.3	316	554	7.42	23.48
40	14.30	948	47.6	16.5	34.7	31.0	322	545	7.72	23.97
41	14.40	924	47.4	17.0	34.8	30.5	331	534	7.54	22.78
42	14.50	926	47.8	17.6	34.9	31.7	334	524	7.72	23.11
43	15.00	889	47.2	16.4	35.0	30.2	337	514	7.30	21.66
44	15.10	892	46.8	17.0	34.9	31.2	345	477	7.12	20.64
45	15.20	932	46.4	18.6	34.9	31.2	376	453	6.88	18.30
46	15.30	944	46.4	19.0	34.9	32.4	385	441	6.88	17.87
47	15.40	881	46.4	19.4	35.1	33.1	412	423	6.76	16.41
48	15.50	914	46.5	19.4	35.1	34.5	426	405	6.82	16.01
49	16.00	940	46.6	19.3	35.1	34.4	430	388	6.88	16.00
50	16.10	946	46.2	20.5	35.1	33.8	462	356	6.64	14.38
51	16.20	921	46.3	19.8	35.1	34.9	463	325	6.70	14.48
52	16.30	999	45.8	20.5	35.0	34.6	505	295	6.46	12.80
53	16.40	940	45.2	20.7	35.0	35.1	531	260	6.10	11.49
54	16.50	873	44.6	21.3	34.9	34.7	541	227	5.80	10.73
55	17.00	839	44.5	22.1	34.8	35.3	570	193	5.80	10.18
56	17.10	847	44.4	22.5	34.8	35.7	606	153	5.74	9.48
57	17.20	838	44.1	23.4	34.8	36.5	650	113	5.57	8.56
58	17.30	819	43.7	23.7	34.7	36.5	664	74	5.39	8.11
59	17.40	853	42.9	24.1	34.6	37.4	704	56	4.97	7.06
60	17.50	905	42.3	24.5	34.5	37.3	715	38	4.67	6.53
61	18.00	867	41.7	26.3	34.4	38.0	720	21	4.37	6.07
62	18.10	811	40.8	27.5	34.2	39.0	727	14	3.95	5.43
63	18.20	718	39.4	28.0	33.9	38.4	731	7	3.29	4.50
64	18.30	658	38.9	28.9	33.7	38.7	733	0	3.11	4.25
65	18.40	607	37.8	29.5	33.3	38.8	730	0	2.69	3.69
66	18.50	601	37.0	31.5	33.1	39.6	733	0	2.33	3.18
67	19.00	599	35.2	33.1	32.5	39.6	722	0	1.62	2.24

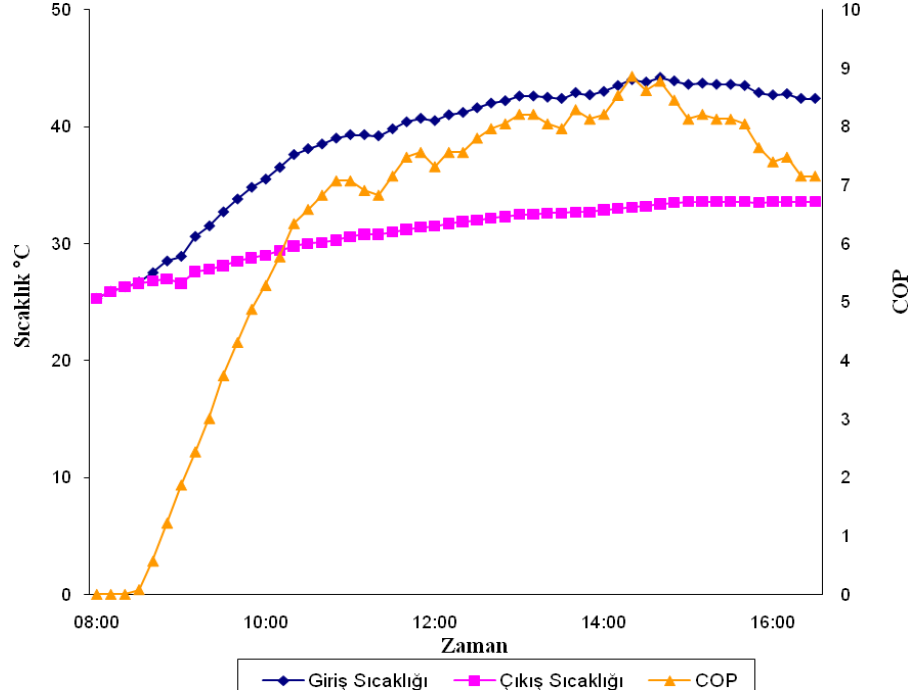
Çizelge 5.3 26.08.2010 Tarihinde yapılan deneysel ölçümler

5.2. Enerji Sonuçları ve Tartışma

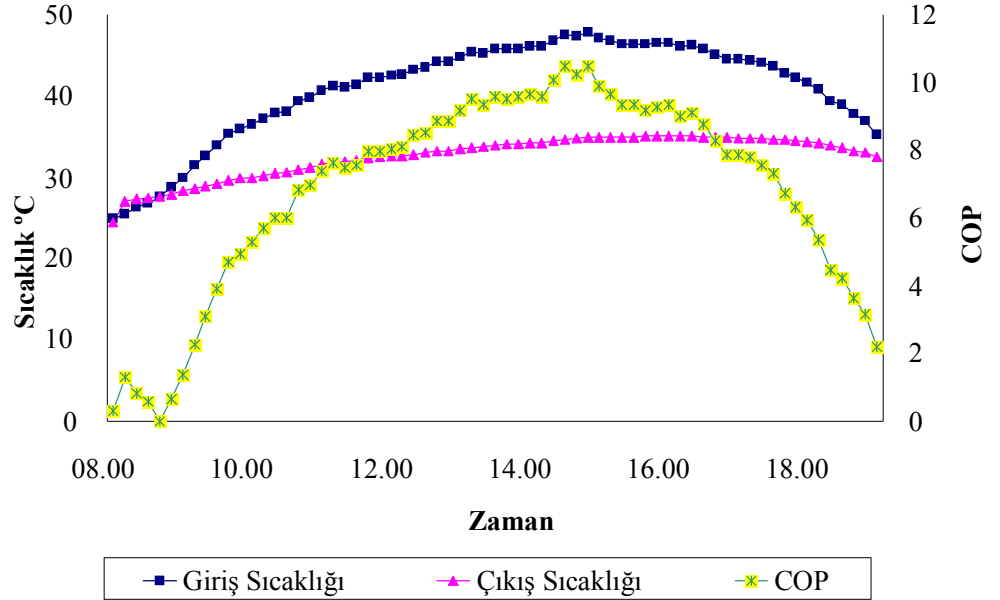
Elde deneysel edilen veriler kullanılarak enerjetik ve ekserjetik analizler gerçekleştirilerek sistemin sınırları ve optimum çalışma noktaları belirlenmiştir. Bununla birlikte çevresel etmenler ile soğutma tesir katsayısı (COP) arasındaki ilişkinin incelenmesi de sistemin daha iyi tanımlanabilmesine ve YHID tasarımcılarına faydalı olabilecek verilerin elde edilmesine olanak sağlar. 19, 25 ve 26 Ağustos 2010 tarihli deneylerde kaydedilen veriler grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 5.1-5.12). YHID giriş ve çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1-5.3).



Şekil 5.1 19.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi



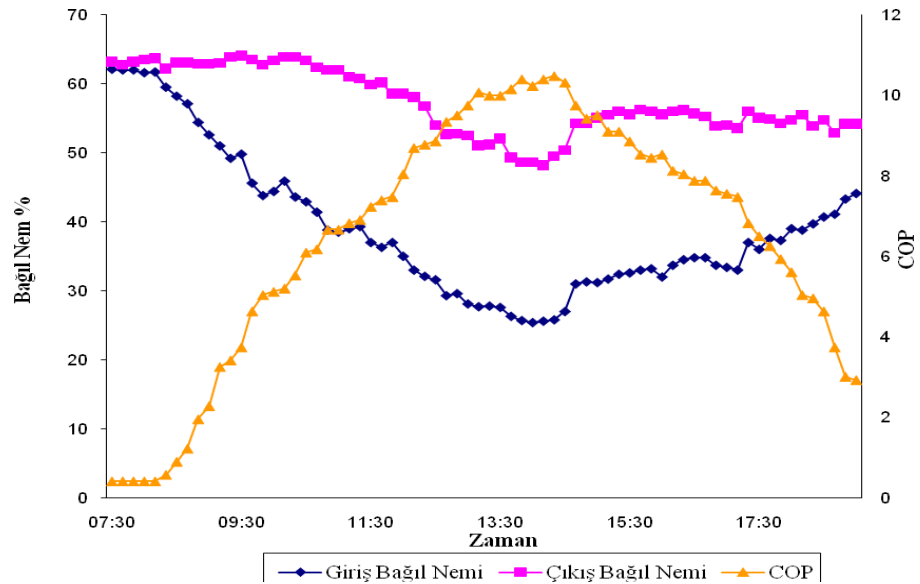
Şekil 5.2 25.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi



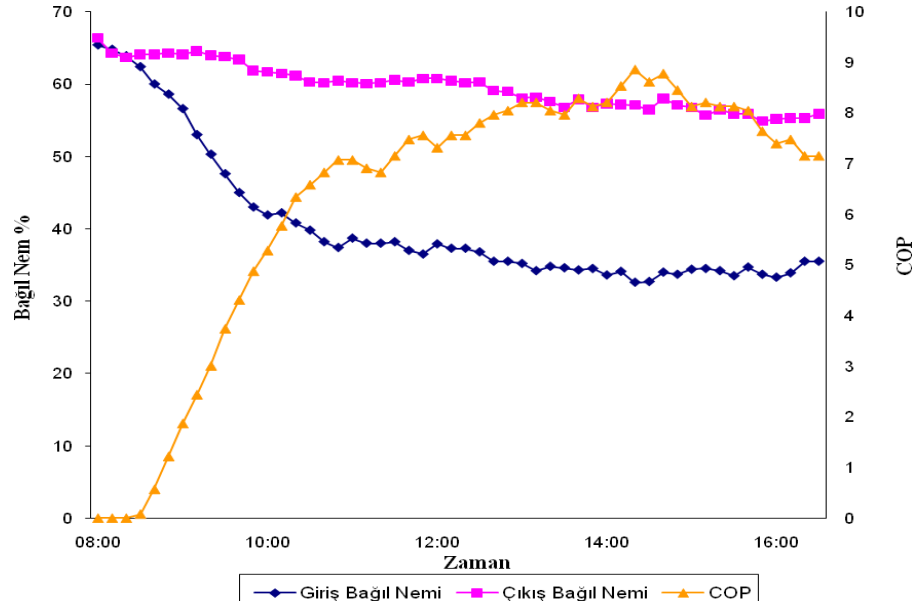
Şekil 5.3 26.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış sıcaklıkları ve COP ilişkisi

Elde edilen sıcaklık grafikleri incelendiğinde YHID giriş sıcaklığının geniş bir aralıkta değişmesine karşın YHID çıkış sıcaklığının toprak sıcaklığına yakın bir değerde olduğu ve dar bir aralıkta değiştiği gözlemlenmiştir. Önceki çalışmalarla kıyaslandığında (Özgener Ö. ve Özgener L. 2010a-d) sıcaklık değerlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş ve yaklaşık 8 °C'lık bir soğutma gerçekleştirilmiştir.

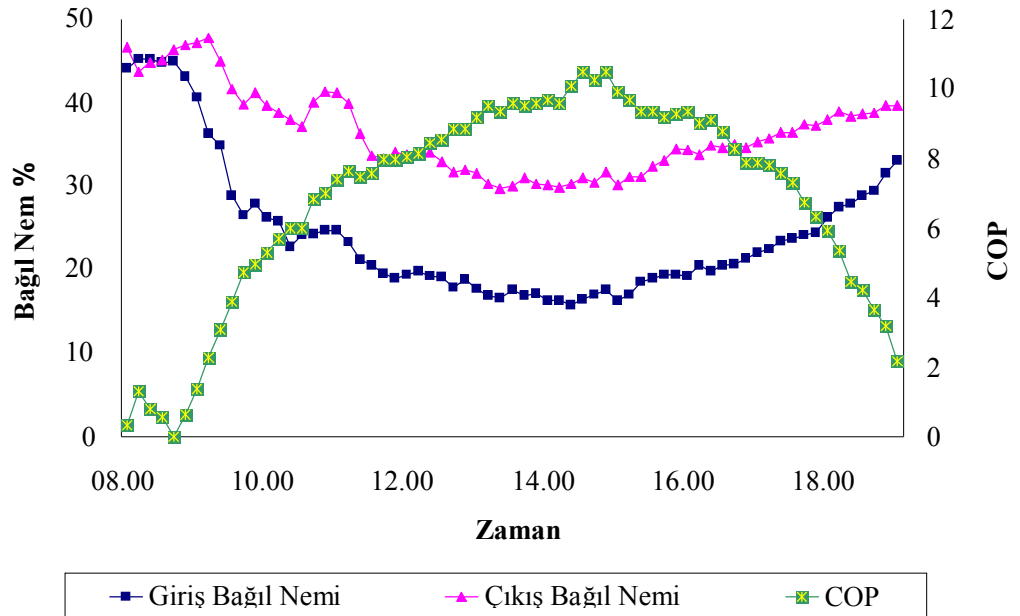
YHID girişinde ve çıkışında deneysel ölçümlerle elde edilen bağıl nem değerleri ve COP ilişkisi aşağıda verilmiştir (Şekil 5.4-5.6). Nem ve sıcaklık değerlerinin bir arada kullanılması ile giriş ve çıkışa ait entalpi değerleri belirlenebilmektedir. Bağıl nemde gözlenen değişimin temel nedeninin sıcaklık değerlerinde değişim olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra yoğunlaşma da göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür.



Şekil 5.4 19.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış bağıl nemi ve COP ilişkisi



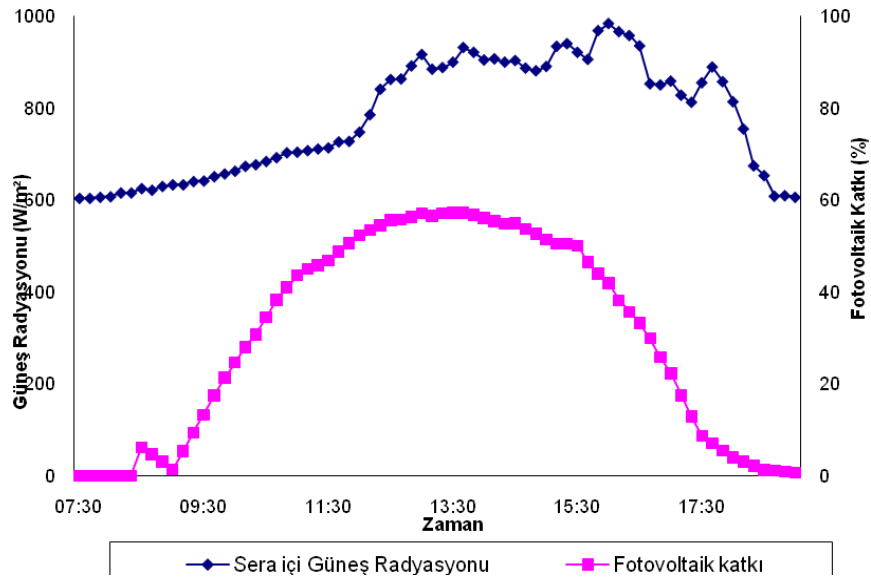
Şekil 5.5 25.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış bağıl nemi ve COP ilişkisi



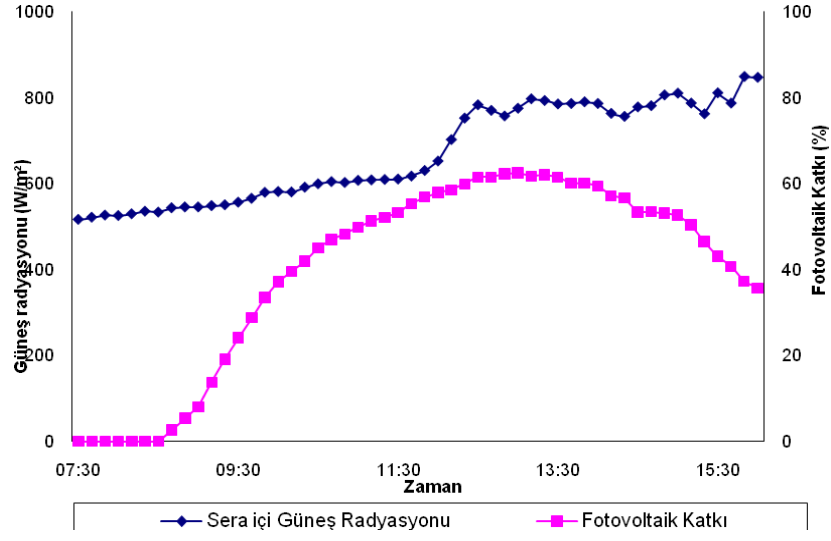
Şekil 5.6 26.08.2010 tarihli YHID giriş-çıkış bağıl nemi ve COP ilişkisi

Bağıl nem grafiklerinde daha fazla değişim ve dalgalanmaların olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde YHID giriş ve çıkışındaki entalpi değişiminin de sıcaklık ve bağıl nem değişimlerine bağlı olarak ani değişimler gösterdiği görülmektedir.

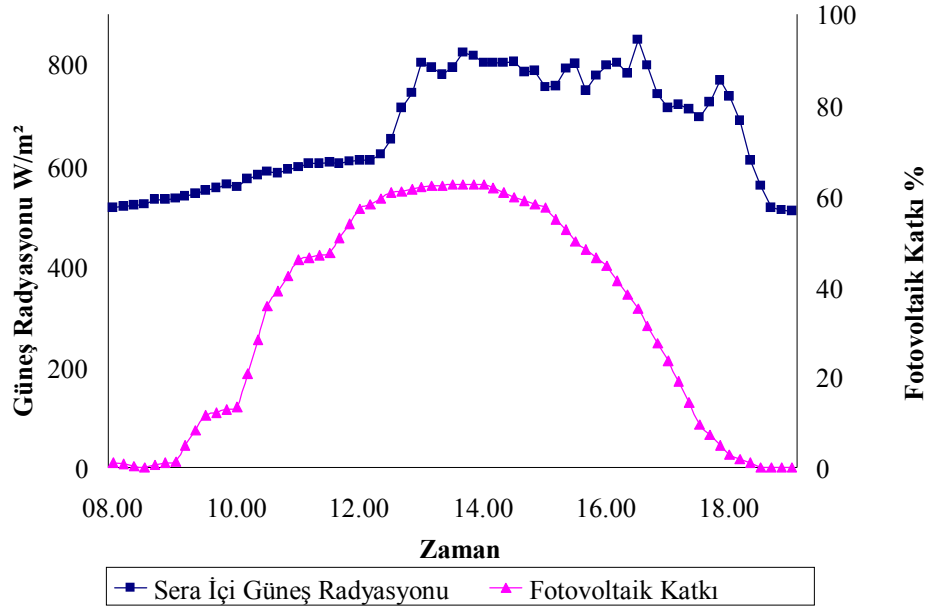
Yapılan pasif soğutma deneyinde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi talebinin bir kısmı fotovoltaik panellerden karşılanmıştır. Fotovoltaik katkının, güneş radyasyonu ve zamana bağlı değişimi aşağıda verilmiştir (Şekil 5.7-5.9). Fotovoltaik katkı saat 13.30'da en yüksek düzeyde gözlenmiş ve ilerleyen saatlerde fotovoltaik panellerdeki sıcaklık artışı gibi nedenlerden dolayı bu katkı azalmıştır. Diğer enerjetik faktörler 19, 25 ve 26 Ağustos 2010 tarihlerinde yapılan deneysel ölçümler kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan nümerik değerler çizelge halinde sunulmuştur Çizelge (5.4-5.6).



Şekil 5.7 19.08.2010 tarihli güneş radyasyonu ve fotovoltaik katkı ilişkisi



Şekil 5.8 25.08.2010 tarihli güneş radyasyonu ve fotovoltaik katkı ilişkisi



Şekil 5.9 26.08.2010 tarihli güneş radyasyonu ve fotovoltaik katkı ilişkisi

Sera içindeki güneş ışınlımı	662	W/m ²
Dış ortamdaki güneş ışınlımı	779	W/m ²
YHID giriş sıcaklığı	40.5	°C
YHID çıkış sıcaklığı	32.6	°C
YHID giriş bağıl nemi	39.0	%
YHID çıkış bağıl nemi	57.3	%
Şebekeden karşılanan toplam enerji	6.3	kWh
Fotovoltaik panellerden sağlanan toplam enerji	2.9	kWh
Fotovoltaik katkı	31.0	%
Sistemin toplam enerji talebi	9.2	kWh
Sistemin soğutma yükü	4.8	kW
COP	6.4	Birimsiz

Çizelge 5.4 19.08.2010 tarihli deneye ait enerji analizi sonuçları

Sera içindeki güneş ışınlımı	670	W/m ²
Dış ortamdaki güneş ışınlımı	788	W/m ²
YHID giriş sıcaklığı	38.7	°C
YHID çıkış sıcaklığı	31.0	°C
YHID giriş bağıl nemi	40.6	%
YHID çıkış bağıl nemi	59.7	%
Şebekeden karşılanan toplam enerji	4.0	kWh
Fotovoltaik panellerden sağlanan toplam enerji	0.9	kWh
Fotovoltaik katkı	39.0	%
Sistemin toplam enerji talebi	4.9	kWh
Sistemin soğutma yükü	4.6	kW
COP	6.3	Birimsiz

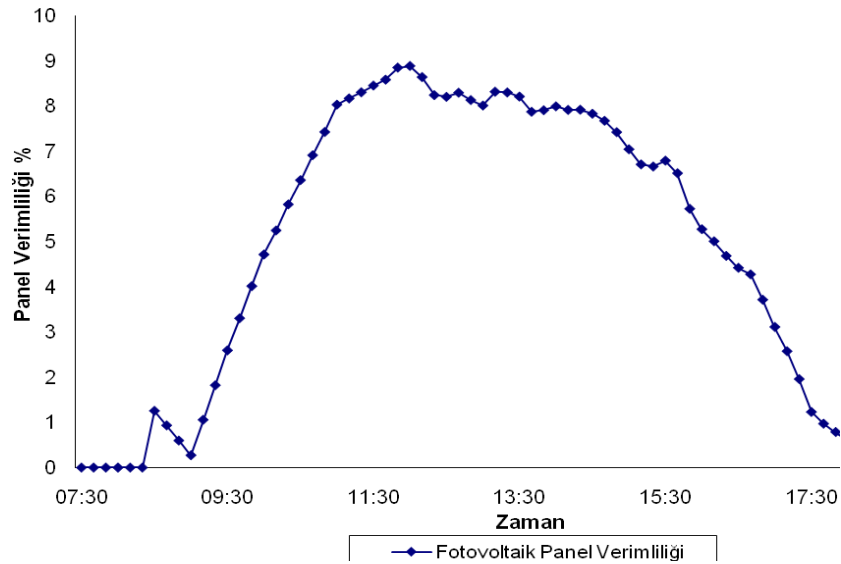
Çizelge 5.5 25.08.2010 tarihli deneye ait enerji analizi sonuçları

Sera içindeki güneş ışınlımı	671	W/m ²
Dış ortamdaki güneş ışınlımı	789	W/m ²
YHID giriş sıcaklığı	40.9	°C
YHID çıkış sıcaklığı	32.6	°C
YHID giriş bağıl nemi	24.4	%
YHID çıkış bağıl nemi	36.5	%
Şebekeden karşılanan toplam enerji	5.6	kWh
Fotovoltaik panellerden sağlanan toplam enerji	2.9	kWh
Fotovoltaik katkı	34.6	%
Sistemin toplam enerji talebi	8.5	kWh
Sistemin soğutma yükü	5.0	kW
COP	6.8	Birimsiz

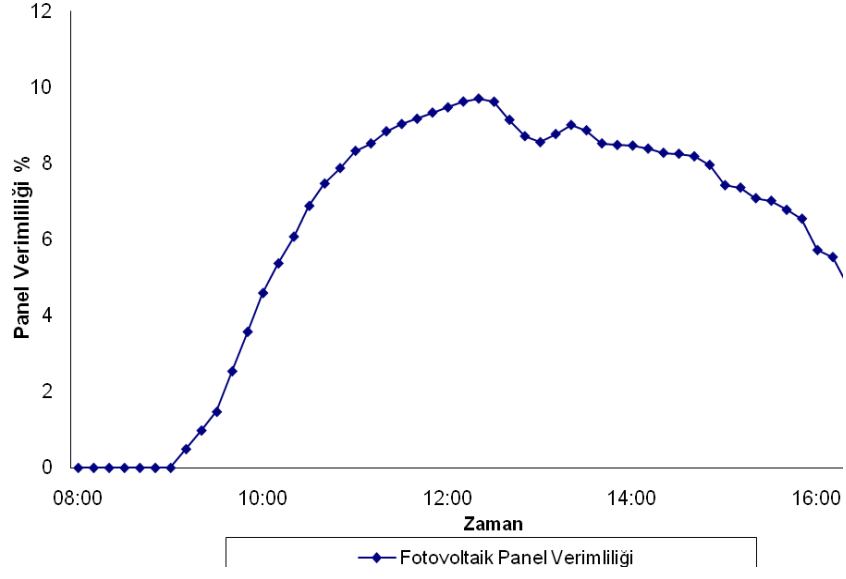
Çizelge 5.6 26.08.2010 tarihli deneye ait enerji analizi sonuçları

5.3. Ekserji Sonuçları ve Tartışma

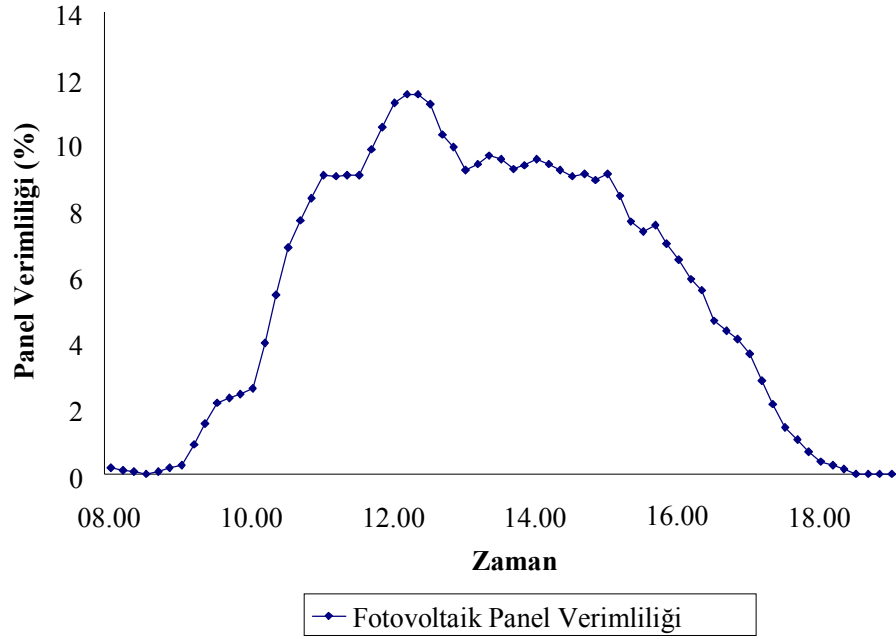
Deneyisel olarak kaydedilen elektriksel ekserji verileri ve güneş radyasyonu değerleri kullanılarak fotovoltaiik panellere ait ekserjetik verimliliğinin zamanla değişimi elde edilmiştir (Şekil 5.10-5.12). Yapılan mukayeselerde elektriksel ölçümlerle edile edilen enerjetik ve ekserjetik değerlerin paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca YHID'nin ve fanın giriş ve çıkışına ait ekserji değerleri de hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında sunulan ekserjetik faktörler 19, 25 ve 26 Ağustos 2010 tarihlerinde yapılan deneyisel ölçümler kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular en büyük kayıpların ve tersinmezliklerin fotovoltaiik çevrimde meydana geldiğini göstermektedir. Bulunan nümerik değerler çizelge halinde sunulmuştur (Çizelge 5.7-5.9).



Şekil 5.10. 19.08.2010 tarihli fotovoltaiik panel verimliliği



Şekil 5.11. 25.08.2010 tarihli fotovoltaik panel verimliliği



Şekil 5.12. 26.08.2010 tarihli fotovoltaik panel verimliliği

Elektriksel ekserji	0.25	kW
Elektriksel ekserji tüketimi	4.46	kW
Fotovoltaik panellerin ekserjetik verimliliği	4.94	%
YHID girişi özgül ekserjisi	11.11	kJ/kg
YHID çıkışı özgül ekserjisi	11.35	kJ/kg
Fan girişi özgül ekserjisi	10.78	kJ/kg
Fan çıkışı özgül ekserjisi	11.11	kJ/kg
YHID girişi ekserji oranı	6.27	kW
YHID çıkışı ekserji oranı	6.40	kW
Fan girişi ekserji oranı	6.08	kW
Fan çıkışı ekserji oranı	6.27	kW
Fana ait ekserji yıkımı	0.54	kW
YHID'ye ait ekserji yıkımı	1.13	kW
YHID'nin ekserjetik verimliliği	80.3	%
Fanın ekserjetik verimliliği	89.7	%
Toplam ekserji verimliliği	71.7	%

Çizelge 5.7 19.08.2010 tarihli deneye ait ekserji analizi sonuçları

Elektriksel ekserji	0.26	kW
Elektriksel ekserji tüketimi	4.52	kW
Fotovoltaik panellerin ekserjetik verimliliği	4.81	%
YHID girişi özgül ekserjisi	11.21	kJ/kg
YHID çıkışı özgül ekserjisi	11.45	kJ/kg
Fan girişi özgül ekserjisi	10.68	kJ/kg
Fan çıkışı özgül ekserjisi	11.21	kJ/kg
YHID girişi ekserji oranı	6.17	kW
YHID çıkışı ekserji oranı	6.30	kW
Fan girişi ekserji oranı	6.02	kW
Fan çıkışı ekserji oranı	6.17	kW
Fana ait ekserji yıkımı	0.51	kW
YHID'ye ait ekserji yıkımı	1.01	kW
YHID'nin ekserjetik verimliliği	81.3	%
Fanın ekserjetik verimliliği	88.7	%
Toplam ekserji verimliliği	70.7	%

Çizelge 5.8 25.08.2010 tarihli deneye ait ekserji analizi sonuçları

Elektriksel ekserji	0.26	kW
Elektriksel ekserji tüketimi	4.16	kW
Fotovoltaik panellerin ekserjetik verimliliği	4.44	%
YHID girişi özgül ekserjisi	10.20	kJ/kg
YHID çıkışı özgül ekserjisi	10.60	kJ/kg
Fan girişi özgül ekserjisi	10.88	kJ/kg
Fan çıkışı özgül ekserjisi	10.20	kJ/kg
YHID girişi ekserji oranı	6.07	kW
YHID çıkışı ekserji oranı	6.20	kW
Fan girişi ekserji oranı	5.98	kW
Fan çıkışı ekserji oranı	6.11	kW
Fana ait ekserji yıkımı	0.48	kW
YHID'ye ait ekserji yıkımı	1.02	kW
YHID'nin ekserjetik verimliliği	81.1	%
Fanın ekserjetik verimliliği	89.1	%
Toplam ekserji verimliliği	72.1	%

Çizelge 5.9 26.08.2010 tarihli deneye ait ekserji analizi sonuçları

6. ÖNERİLER

Yer hava ısı değıştirgeçleri (YHID), mevcut yapılara adapte edilebilir, bu yapılar konut binaları, tarımsal yapılar, ofisler, depolar, vb. farklı amaçlar için kullanılan yaşam alanlarının binalar olabilir.

Yenilenebilir enerjiler bakımından zengin olan ülkemizde fotovoltaiik destekli YHID kullanımının yaygınlaştırılması için artan deneysel çalışmalara gereksinim vardır.

Yeni malzeme teknolojilerinin geliştirilmesi ve YHID içindeki havanın hacimsel debisinin akıllı yazılımlar ile kontrolüyle enerji verimliliğinin artırılması ve birim enerji fiyatının düşürölmesi beklenmektedir.

Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemler ve YHID birlikte kullanılarak oluşturulan mikro kurulumlar ile yerel elektrik şebekesine ulaşımın güç olduğu tarımsal yapılarda ve meskenlerde ihtiyaç duyulabilecek iklimlendirmenin sağlanabileceğı öngörülmektedir. Chel ve Tiwari yayınladıkları çalışmalarında bu tür yerel kurulumların söz konusu sorunun çözümünde önemli bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir (Chel and Tiwari, 2010).

YHID ve güneş bacaları birlikte kullanılması ile elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmadan cazibeli olarak hava sirkölasyonunun sağlanması mümkündür. Maerefat ve Haghighi yayınladıkları çalışmada bu şekilde çalışabilecek kurulumla ait teorik tasarım bilgileri sunmuşlardır (Maerefat and Haghighi, 2010).

Kurak iklimlerde, soğutma amacıyla kullanılan YHID'nin içinde yoğunşan suyun bir hazneye toplanarak içme veya sulama suyu olarak kullanılması mümkündür. Lindblom ve Nordel günlük 1,8 kg/m su temininin mümkün olduğunu açıklamasına karşın bu tez kapsamında ele alınan zirai binanın

küçüklüğü sebebi ile yapılan deneyde elde edilen yoğunlaşmanın bu değerin altında bir kadarı olduğu gözlenmiştir (Lindblom and Nordel, 2007). Bu hali ile YHID sistemleri yalnız iklimlendirme amaçlı değil, çok amaçlı kullanabilecek bir yapıya sahip olduğu, ülkemizde deneysel ve ticari uygulamalara geçilmesi gerekliliği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Al-Ajmi F., Loveday D.L. and Hanby V.I., 2006, The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic climates in a desert climate, *Building and Environment*, 41:235-244 pp.

Ascione F., Bellione A. and Minichiello F., 2011, Earth-to-air heat exchangers for Italian climates, *Renewable Energy*, 36:2177-2188 pp.

Badescu V., 2007, Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, *Renewable Energy*, 32:845-855 pp.

Badescu V. and Isvoranu D., 2011, Pneumatic and thermal design procedure and analysis of earth-to-air heat exchangers of registry type, *Applied Energy*, 88:1266-1280 pp.

Bandyopadhyay G., Gosnold W. and Mann M., 2008, Analytical and semi-analytical solutions for short-time transient response of ground heat exchangers, *Energy and Buildings*, 40:1816-1824 pp.

Bansal V., Misra R., Agrawal G.D. and Mathur J., 2009, Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for winter heating, *Energy and Buildings*, 41:1151-1154 pp.

Bansal V., Misra R., Agrawal G.D. and Mathur J., 2010, Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for summer cooling, *Energy and Buildings*, 42:645-648 pp.

Beier R.A., Smith M.D. and Spitler J.D., 2011, Reference data sets for vertical borehole ground heat exchanger models and thermal response test analysis, *Geothermics*, 40:79-85 pp.

Bi Y., Chen L. and Wu C., 2002, Ground heat exchanger temperature distribution analysis and experimental verification, *Applied Thermal Engineering*, 22:183-189 pp.

Bojic M., 2000, Optimization of heating and cooling of a building by employing refuse and renewable energy, *Renewable Energy*, 20:453-465 pp.

Bojic M., Papadakis G. and Kyritsis S., 1999, Energy from a two-pipe, earth-to-air heat exchanger, *Energy*, 24:519-523 pp.

Bojic M., Trifunovic N., Papadakis G. and Kyritsis S., 1997, Numerical simulation, technical and economic evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building, *Energy*, 22:1151-1158 pp.

Breesch H., Bossaer A. and Janssens A., 2005, Passive cooling in a low-energy office building, *Solar Energy*, 79:682-696 pp.

Chel A. and Tiwari G.N., 2009, Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate, *Energy and Buildings*, 41:56-66 pp.

Chel A. and Tiwari G.N., 2010, Stand-alone photovoltaic (PV) integrated with earth to air heat exchanger (EAHE) for space heating/cooling of adobe house in New Delhi (India), *Energy Conversion and Management*, 51:393-409 pp.

Chel A. and Tiwari G.N., 2011, A case study of a typical 2.32 kWp stand-alone photovoltaic (SAPV) in composite climate of New Delhi (India), *Applied Energy*, 88:1415-1426 pp.

Cornelissen R.L. and Hirs G.G., 1996, Exergetic optimization of a heat exchanger, *Energy Conversion and Management*, 38:1567-1576 pp.

Costa V.A.F., 2006, Thermodynamic analysis of building heating or cooling using the soil as heat reservoir, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49:4152-4160 pp.

Cucumo M., Cucumo S., Montoro L. and Vulcano A., 2008, A one-dimensional transient analytical model for earth-to-air heat exchangers, taking into account condensation phenomena and thermal perturbation from the upper free surface as well as around the buried pipes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51:506-516 pp.

Deglin D., Caenegem L.V. and Dehon P., 1999, Subsoil heat exchangers for the air conditioning of livestock buildings, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73:179-188 pp.

Derbel H.B.J. and Kanoun O., 2010, Investigation of the ground thermal potential in Tunisia focused towards heating and cooling applications, *Applied Thermal Engineering*, 30:1091-1100 pp.

De Paepe M. and Jansens A., 2003, Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers, *Energy and Buildings*, 35:389-397 pp.

Eicker U., Huber M., Seeberger P. and Vorschulze C., 2006, Limits and potentials of office building climatisation with ambient air, *Energy and Buildings*, 38:574-581 pp.

Eicker U. and Vorschulze C., 2009, Potential of geothermal heat exchangers for office building climatisation, *Renewable Energy*, 34:1126-1133 pp.

Florides G. and Kalogirou S., 2007, Ground heat exchangers-A review of systems, models and applications, *Renewable Energy*, 32:2461-2478 pp.

Fujisawa T. and Tani T., 1997, Annual exergy evaluation on photovoltaic-thermal hybrid collector, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 47:135-148 pp.

Gao J., Zhang X., Liu J., Li K.S. and Yang J., 2008, Thermal performance and ground temperature of vertical pile-foundation heat exchangers: A case study, *Applied Thermal Engineering*, 28:2295-2304 pp.

Gauthier C., Lacroix M. and Bernier H., 1997, Numerical simulation of soil heat exchanger storage systems for greenhouses, *Solar Energy*, 60:333-346 pp.

Ghosal M.K. and Tiwari G.N., 2006, Modelling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse, *Energy Conversion and Management*, 47:1779-1798 pp.

Ghosal M.K., Tiwari G.N., Das D.K. and Pandey K.P., 2005, Modeling and comparative thermal performance of ground air collector and earth air heat exchanger for heating of greenhouse, *Energy and Buildings*, 37:613-621 pp.

Ghosal M.K., Tiwari G.N. and Srivastava N.S.L., 2004, Thermal modeling of a greenhouse with an integrated earth to air heat exchanger: An experimental validation, *Energy and Buildings*, 36:219-227 pp.

Green M.A., 2002, Photovoltaic Principles, *Physica E*, 14:11-17 pp.

Hatacoglu K., Dincer I. and Rosen M.A., 2011, Exergy analysis of a hybrid solar hydrogen system with activated carbon storage, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36:3273-3282 pp.

Ho Lee K. and Strand R.K., 2008, The cooling and heating potential of an earth tube system in buildings, *Energy and Buildings*, 40:486-494 pp.

Hollmuller P., 2003, Analytical characterization of amplitude dampening and phase shifting in air/soil heat-exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46:4303-4317 pp.

Hollmuller P. and Lachal B., 2001, Cooling and preheating with buried pipe systems: monitoring, simulation and economic aspects, *Energy and Buildings*, 33:509-518 pp.

Jafarian S.M., Jaafarian S.M., Haseli P. and Taheri M., 2010, Performance analysis of a passive cooling system using underground channel (Naghb), *Energy and Buildings*, 42:559-562 pp.

Kabashnikov V.P., Danilevskii L.N., Nekrasov V.P. and Vityaz I.P., 2002, Analytical and numerical investigation of the charecteristics of a soil heat exchanger for ventilation systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45:2407-2418 pp.

Kotas T.J., 1985, *The exergy method of thermal plant analysis*. Anchor Brandon Ltd Tiptree Essex. Great Britain.

Kumar R., Kaushik S.C. and Garg S.N., 2006, Heating and cooling potential of an earth-to-air heat exchanger using artificial neural network, *Renewable Energy*, 31:1139-1155 pp.

Kumar R., Ramesh S. and Kaushik S.C., 2003, Performance evaluation and energy conservation potential of earth-air tunnel system coupled with non-air-conditioned building, *Building and Enviroment*, 38:807-813 pp.

Kumar R., Sinha A.R., Singh B.K. and Modhukalya U., 2008, A design optimization tool of earth-to-air heat exchanger using a genetic algorithm, *Renewable Energy*, 33:2282-2288 pp.

Kyriakis N., Michopoulos A. and Pattas K., 2006, On the maximum thermal load of ground heat exchangers, *Energy and Buildings*, 38:25-29 pp.

Li X., Chen Y., Chen Z. and Zhao J., 2006, Thermal performances of different types of underground heat exchangers, *Energy and Buildings*, 38:543-547 pp.

Li X., Zhao J. and Zhou Q., 2005, Inner heat source model with heat and moisture transfer in soil around the underground heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 25:1565-1577 pp.

Li X., Zhihao Z. and Zhao J., 2006, Simulation and experiment on the thermal performance of U-vertical ground coupled heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 26:1564-1571 pp.

Lindblom J. and Nordell B., 2007, Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation, *Desalination*, 203:417-434 pp.

Liu Z., Wang Z. and Ma C., 2006, An experimental study on heat transfer characteristics of heat pipe heat exchanger with latent heat storage. Part I: Charging only and discharging only modes, *Energy Conversion and Management*, 47:944-966 pp.

Maerefat M. and Haghighi A.P., 2010, Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney, *Renewable Energy*, 35:2316-2324 pp.

Mihalakakou G., 2002, On estimating soil surface temperature profiles, *Energy and Buildings*, 34:251-259 pp.

Mihalakakou G., 2003, On the heating potential of a single buried pipe using deterministic and intelligent techniques, *Renewable Energy*, 28:917-927 pp.

Mihalakakou G., Santamouris M., Lewis J.O. and Asimakopoulos D.N., 1997, On the application of the energy balance equation predict ground temperature profiles, *Solar Energy*, 60:181-190 pp.

Nayak S. and Tiwari G.N., 2009, Theoretical performance assessment of an integrated photovoltaic and earth air heat exchanger greenhouse using energy and exergy analysis methods, *Energy and Buildings*, 41:888-896 pp.

Nayak S. and Tiwari G.N., 2010, Energy metrics of photovoltaic/thermal and earth air heat exchanger integrated greenhouse for different climatic conditions of India, *Applied Energy*, 87:2984-2993 pp.

Ozgener O. and Ozgener L., 2010a, Exergetic assessment of EAHEs for building heating in Turkey: A greenhouse case study, *Energy Policy*, 38:5141-5150 pp.

Ozgener L. and Ozgener O., 2010b, An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling, *Renewable Energy*, 35:2804-2811 pp.

Ozgener L. and Ozgener O., 2010c, Energetic performance test of an underground air tunnel system for greenhouse heating, *Energy*, 35:4079-4085 pp.

Ozgener O. and Ozgener L., 2010d, Exergoeconomic analysis of an underground air tunnel system for greenhouse cooling system, *International Journal of Refrigeration*, 35:995-1005 pp.

Ozgener O. and Ozgener L., 2011, Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics, *Energy and Buildings*, 43:960-965 pp.

Ozgener O., Ozgener L. and Goswami D.Y., 2011, Experimental prediction of total thermal resistance of a closed loop EAHE for greenhouse

cooling system, International Communications in Heat and Mass Transfer, 38:711-716.

Ozturk H. H., 2004, Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic cooker, Solar Energy, 77:67-71 pp.

Özgener Ö., Özgener L. ve Goswami D.Y., 2011, Yer hava ısı değiştirgeçlerinin güneş serası ön ısıtması için kullanımı, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, İzmir, Proje No: 09-GEE-003, 27 s.

Özgener Ö., Özgener L. ve Yıldız A., 2010 Fotovoltaik destekli yer hava ısı değiştirgeci tasarımı, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, İzmir, Proje No: 10-GEE-007, 23 s. (Devam eden proje).

Pahud D. and Matthey B., 2001, Comparison of the thermal performance of double U-pipe borehole heat exchangers measured in situ, Energy and Buildings, 33:503-507 pp.

Pfafferott J., 2003, Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardized method to calculate energy efficiency, Energy and buildings, 35:971-983 pp.

Sethi V.P. and Sharma S.K., 2008, Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, Solar Energy, 82:832-859 pp.

Sharqawy M.H., Mokheimer E.M. and Badr H.M., 2009, Effective pipe-to-borehole thermal resistance for vertical ground heat exchangers, Geothermics, 38:271-277 pp.

Shukla A., Tiwari G.N. and Sodha M.S., 2006, Thermal modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and an earth-air heat exchanger, Building and Environment, 41:843-850 pp.

Stevens J.W., 2004, Optimal placement depth for air-ground heat transfer systems, *Applied Thermal Engineering*, 24:149-157 pp.

Thanu N.M., Sawhney R.L., Khare R.N. and Buddhi D., 2001, An experimental study of the thermal performance of an earth-air-pipe system in single pass mode, *Solar Energy*, 71:353-364 pp.

Thiers S. and Peuportier B., 2008, Thermal and environmental assessment of a passive building equipped with an earth-to-air heat exchanger in France, *Solar Energy*, 82:820-831 pp.

Tittlein P., Achard G. and Wurtz E., 2009, Modelling earth-to-air heat exchanger behaviour with the convolutive response factors method, *Applied Energy*, 86:1683-1691 pp.

Tiwari G.N., Akhtar M.A., Shukla A. and Khan M.E., 2006, Annual thermal performance of greenhouse with an earth-air heat exchanger: An experimental validation, *Renewable Energy*, 31:2432-2446 pp.

Trazaski A. and Zawada B., 2011, The influence of environmental and geometrical factors on air-ground tube heat exchanger energy efficiency, *Building and Environment*, 46:1436-1444 pp.

Wepher W.J., Gaggioli R.A. and Obert E.F., 1979, Proper evaluation of available energy for HVAC, *ASHRAE transactions*, 85(1): 214-230 pp.

Wu H., Wang S. and Zhu D., 2007, Modelling and evaluation of cooling capacity of earth-air-pipe systems, *Energy Conversion and Management*, 48:1462-1471 pp.

Xu X., Wang S., Wang J. and Xiao F., 2010, Active pipe-embedded structures in buildings for utilizing low-grade energy sources: A review, *Energy and Buildings*, 42:1567-1581 pp.

Yang W., Shi M., Liu G. and Chen Z., 2009, A two-region simulation model of vertical U-tube ground heat exchanger and its experimental verification, *Applied Energy*, 86:2005-2012 pp.

Zhang J. and Haghighat F., 2009, Convective heat transfer prediction in large rectangular cross-sectional area earth-to-air heat exchangers, *Building and Environment*, 44:1892-1898 pp.

Zhang J. and Haghighat F., 2010, Development of artificial neural network based heat convection algorithm for thermal simulation of large rectangular cross-sectional area earth-to-air heat exchangers, *Energy and Buildings*, 42:435-440 pp.

TEZDEN ÇIKAN YAYINLAR

Yıldız A., Ozgener O., Ozgener L., 2011, Exergetic performance assessment of solar photovoltaic (PV) assisted earth to air heat exchanger (EAHE) system for solar greenhouse cooling, Energy and Buildings, In Press.