



T.C.

*BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ*  
*MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ*  
*MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ*

***İKSES'14***  
***2. ULUSAL***  
***İKLİMLENDİRME SOĞUTMA EĞİTİMİ***  
***SEMPOZYUMU VE SERGİSİ***  
***23-25 EKİM 2014***

***BİLDİRİLER KİTABI***

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**İKSES'14**  
**2. ULUSAL İKLİMLENDİRME SOĞUTMA EĞİTİMİ**  
**SEMPOZYUMU VE SERGİSİ**  
**23-25 EKİM 2014**

**EDİTÖRLER**

*Doç. Dr. Hüseyin BULGURCU*

*Dr. Okan KON*

**YARDIMCI EDİTÖRLER**

*Veli Gökhan DEMİR*

*İsmail CANER*

**BAÜ KONGRE VE KÜLTÜR MERKEZİ**

**BALIKESİR 2014**

## KURULLAR

### ONUR KURULU

Prof. Dr. Mahir ALKAN (BAÜ Rektörü)
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (BAÜ Rektör Yrd.)
Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ (Uludağ Ü.)
Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ-MMF Dekanı)
Mak. Yük. Müh. Nuri ÖZKOL (EPKON A.Ş.)
Dr. Müh. Erol ERTAŞ (ESSİAD Onursal Başkanı)
Zeki POYRAZ (İSİB Başkanı-AFS)

### DÜZENLEME KURULU

Doç. Dr. Hüseyin BULGURCU (Düz. Kurul Başk.)	Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN (Hitit Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Enver YALÇIN (BAÜ-MMF) (Başk. Yrd.)	Doç. Dr. A. Emre ÖZGÜR (SDÜ-TF)
Doç. Dr. Nadir İLTEN (BAÜ-MMF)	Doç. Dr. Mehmet BİLGİLİ (Çukurova Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Kadir YAŞAR (BAÜ-MMF)	Doç. Dr. Hüseyin GÜNERHAN (Ege Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Asiye ASLAN (BAÜ Gönen MYO)	Doç. Dr. Orhan EKREN (Ege Ü.)
Prof. Dr. Tuncay YILMAZ (Osmaniye K.A.Ü.)	Doç. Dr. Salih COŞKUN (Uludağ Ü.)
Prof. Dr. Abdulvahap YIĞIT (Uludağ Ü.)	Doç. Dr. Ziya SÖĞÜT (Anadolu Ü.)
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR (Ege Ü.)	Doç. Dr. H. Cenk BAYRAKÇI (SDÜ)
Prof. Dr. Ahmet CAN (Arel Ü.)	Doç. Dr. İbrahim ATMACA (Akdeniz Ü.)
Prof. Dr. Cemal OKUYAN (BAÜ MYO Müdürü)	Yrd. Doç. Dr. Umit YALÇIN (BAÜ MYO)
Prof. Dr. Hüsametdin BULUT (Harran Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN (Osmaniye K.A.Ü.)
Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ (İst. Tic. Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Turhan ÇOBAN (Ege Ü.)
Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI (Yaşar Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Ayhan ONAT (Marmara Ü.)
Prof. Dr. Korhan BİNARK (Marmara Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Kadir İSA (İstanbul Ü.)
Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ (Anadolu Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Necati KOÇYIĞIT (Rize Ü.)
Prof. Dr. Ramazan KÖSE (Dumlupınar Ü.)	Öğr. Gör. Erdoğan ŞİMŞEK (Çukurova Ü.)
Prof. Dr. İlhami HORUZ (Gazi Ü.)	Öğr. Gör. İsmail MUTLU (BAÜ-Edremit MYO)
Prof. Dr. Orhan BÜYÜKALACA (Osmaniye K.A.Ü.)	Öğr. Gör. Özer KULA (BAÜ-Edremit MYO)
Prof. Dr. Murat HOŞÖZ (Kocaeli Ü.)	Tek. Öğr. Aydın YÖRÜKOĞLU (MEB)
Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI (Uludağ Ü.)	

### SEKRETERYA

Araş. Gör. Dr. Okan KON (BAÜ) (Sempozyum Sekreteri)
Araş. Gör. Tuğrul AKYOL (BAÜ-MMF)
Arş. Gör. İsmail CANER (BAÜ-MMF)
Arş. Gör. V. Gökhan DEMİR (BAÜ MMF)

**DANIŞMANLAR KURULU**

Prof. Dr. Kadir BİLEN (Atatürk Ü.)	Doç. Dr. Hüseyin USTA (Gazi Ü.)
Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ (İstanbul Ü.)	Doç. Dr. Yusuf ÇAY (Sakarya Ü.)
Prof. Dr. Halil İbrahim SARAÇ (Kocaeli Ü.)	Doç. Dr. Önder KIZILKAN (SDÜ)
Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI (Fırat Ü.)	Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI (Atatürk Ü.)
Prof. Dr. Yaşar BİÇER (Fırat Ü.)	Doç. Dr. Ahmet KOLİP (Sakarya Ü.)
Prof. Dr. Osman ISIKAN (Marmara Ü.)	Doç. Dr. Ahmet KAYA (KSÜ)
Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN (YTÜ)	Doç. Dr. Kürşat ERSOY (Selçuk Ü.)
Prof. Dr. Düriye BİLGE (YTÜ)	Doç. Dr. Oğuz BOZKIR (İnönü Ü.)
Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN (Fırat Ü.)	Doç. Dr. M. Azmi AKTACİR (Harran Ü.)
Prof. Dr. Mustafa İNALLI (Fırat Ü.)	Doç. Dr. Kemal ATİK (Erciyes Ü.)
Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (Fırat Ü.)	Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN (Batman Ü.)
Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT (SDÜ)	Doç. Dr. Kamil KAHVECİ (Trakya Ü.)
Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER (NKÜ)	Doç. Dr. Süleyman KARSLI (Atatürk Ü.)
Prof. Dr. Olcay KINCAI (YTÜ)	Doç. Dr. Nedim SÖZBİR (Sakarya Ü.)
Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU (İnönü Ü.)	Doç. Dr. Reşat SELBAŞ (SDÜ)
Prof. Dr. Aydın DURMUŞ (Ondokuzmayıs Ü.)	Doç. Dr. Ahmet KABUL (SDÜ)
Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK (Kocaeli Ü.)	Doç. Dr. Emrah DENİZ (Karabük Ü.)
Prof. Dr. Fikret YÜKSEL (Yalova Ü.)	Doç. Dr. İlhan TARIMER (Muğla Ü.)
Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU (Gazi Ü.)	Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ (Muğla Ü.)
Prof. Dr. Arzu ŞENCAN (SDÜ)	Yrd. Doç. Dr. Necati KOÇYİĞİT (Rize Ü.)
Prof. Dr. Hikmet DOĞAN (Gazi Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Fevzi GÜLÇİMEN (Tunceli Ü.)
Prof. Dr. Adnan SÖZEN (Gazi Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Mustafa SEÇİLMİŞ (Kocaeli Ü.)
Prof. Dr. Nazım USTA (PAÜ)	Yrd. Doç. Dr. Semin KAYA (BAÜ)
Prof. Dr. Serhan KÜÇÜKA (Dokuz Eylül Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER (Dumlupınar Ü.)
Prof. Dr. Dilek KUMLUTAŞ (Dokuz Eylül Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Kemal BİLEN (Kırıkkale Ü.)
Prof. Dr. Ebru Kavak AKPINAR (Fırat Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Kemal KUVVET (Gümüşhane Ü.)
Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP (Fırat Ü.)	Yrd. Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY (İnönü Ü.)
Prof. Dr. Yusuf Ali KARA (BTÜ)	Yrd. Doç. Dr. Uğur ÇAKIR (Bayburt Ü.)
Prof. Dr. Yunus ÇERÇİ (ADÜ)	Yrd. Doç. Dr. Mehmet KUŞ (Harran Ü.)
Prof. Dr. Rıza GÜRBÜZ (Çankırı Karatekin Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Talat İNAN (Marmara Ü.)
Prof. Dr. Ünal ÇAMDALI (Yıldırım Beyazıt Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Gülşen YAMAN (BAÜ)
Prof. Dr. Aytunç EREK (DEÜ)	Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI (Bartın Ü.)
Prof. Dr. Galip TEMİR (Y.T.Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Cüneyt TUNÇKAL (Yalova Ü.)
Prof. Dr. Muhittin CAN (Uludağ Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Ertan HURDOĞAN (Osmaniye K.A.Ü.)
Prof. Dr. Gülden GÖKÇEN (I.Y.T.E.)	Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ (MKÜ)
Prof. Dr. Yaşar İSLAMOĞLU (Sakarya Ü.)	Yrd. Doç. Dr. A. Mutalip ŞAHİNASLAN (İnönü Ü.)
Prof. Dr. Muhsin KILIÇ (Uludağ Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Numan YÜKSEL (B.T.Ü.)
Prof. Dr. Ertan BUYRUK (Cumhuriyet Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Özay AKDEMİR (Ege Ü.)
Prof. Dr. Zühal OKTAY (Rize RTE Ü.)	Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK (Tunceli Ü.)
Doç. Dr. Kurtuluş BORAN (Gazi Ü.)	Yrd. Doç. Dr. İrfan UÇKAN (YYÜ)
Doç. Dr. Tayfun MENLİK (Gazi Ü.)	



## TOPRAK ENERJİSİ DESTEKLİ, ISI GERİ KAZANIMLI VE HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLÜ BİR ISITMA SİSTEMİNİN DENEYSEL ANALİZİ

**İbrahim SANCAR<sup>1</sup>, Hüsamettin BULUT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 02040-Adıyaman.

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü, 63190-

Şanlıurfa. [isancar@adiyaman.edu.tr](mailto:isancar@adiyaman.edu.tr)

[hbulut@harran.edu.tr](mailto:hbulut@harran.edu.tr)

### ÖZET

Mahal ısıtılmasında kullanılan enerji miktarının düşürülmesi için farklı yöntemler ve kaynaklar kullanılabilir. Bu çalışmada bir ortamın ısıtılmasında güneş enerjisi, toprak enerjisi ve atık ısıdan yararlanılmıştır. Bunun için geliştirilen sistemde havalı güneş kolektörleri, bir toprak-hava ısı değiştiricisi ve bir reküperatör kullanılmıştır.

Bir toprak-hava ısı değiştirici yardımıyla toprak altı ısısından faydalanılarak dış havanın ön ısıtılması sağlanmıştır. Daha sonra bir reküperatör yardımı ile içerden dışarıya atılan egzoz havasının faydalı ısısı içeri verilecek havanın tekrar ön ısıtılmasında kullanılmıştır. Seri-paralel şekilde montajı yapılmış güneş kolektörlerinden geçirilerek hedeflenen sıcaklığa getirilen hava, bir fan yardımı ile ısıtılacak ortama verilmiştir. Sistem elemanları üzerindeki havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, egzoz havasının sıcaklığı, havanın debisi, kolektörlere gelen güneş ışınımı, iç ve dış ortamın bağıl nemi, iç ortamın karbondioksit miktarı gibi parametreler ölçülerek sistemin ısı ve konfor analizi yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada güneş ışınımının, dış hava sıcaklığı, hava hızı ve hava debisinin ısıtma sisteminin performansını etkileyen en önemli parametreler olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümler değerlendirildiğinde kolektör veriminin, güneş ışınımı ve hava debisi ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Güneş ışınımının ve hava debisinin yüksek olduğu günlerde kolektör ısı verimliliği yüksek hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda güneş enerjisinden yararlanılarak bir ortamın ısıtılmasında toprak-hava ısı değiştirici destekli, ısı geri kazanımlı, havalı güneş kolektörlerinin Adıyaman iklim şartlarında alternatif ısıtma sistemi olabileceği ve iç ortam ısı konfor şartlarını sağlayabileceği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Havalı Güneş Kolektörü, Reküperatör, Toprak-Hava Isı Değiştiricisi, Mahal Isıtma, Atık Isı

### ABSTRACT

Different methods and resources for reducing the amount of energy consumption can be used in space heating. In this study, solar energy, soil and waste heat energy is utilized in a space heating. For this purpose, solar air collectors, an earth-air heat exchanger and a recuperator are used in the proposed heating system.

Outdoor air is preheated via an earth-air exchanger by utilizing underground energy. Then, the useful heat of air discharged from the inside to outside is used to preheat the air again with the aid of a recuperator. The air

passed through series-parallel mounted solar collectors and reached to desired temperature is provided to the space with the aid of a fan. The parameters such as the inlet and outlet air temperatures of the elements in the system, ambient temperature, exhaust air temperature, air velocity, solar radiation incident on collectors, indoor and outdoor relative humidity and indoor carbon dioxide were measured and thermal and comfort analysis of the system was conducted.

In this study, solar radiation, outside air temperature, air velocity and air flow rate were determined to be the most important parameters affects the performance of the heating system. Considering the measurements, collector efficiency has been shown to be directly proportional to air flow rate and solar radiation. High collector efficiencies are obtained in the days have high solar radiation and air flow rate. As a results of this study, the heating system utilizing solar energy with aid of earth-air heat exchanger, heat recover and solar air collectors has been proved to be an alternative system for space heating in Adıyaman climatic conditions and it is seen that indoor thermal comfort could be achieved by the proposed system.

**Keywords:** Solar air collector, recuperator, earth-air heat exchanger, space heating, waste heat.

## 1. GİRİŞ

Enerji insanoğlunun varoluşundan itibaren insan yaşamının vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Günümüzde bu önem daha da artmıştır. Yeryüzünde doğal enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Endüstriyel ve günlük hayatta yoğun bir şekilde ihtiyaç duyulan enerjinin her gün biraz daha pahalılaşması ve tüketiminin beklenilenin üstünde artış göstermesi, çeşitli alanlar için ihtiyaç duyulan enerji temini konusunda yeni kaynaklara yönelmeyi zorunlu kılan nedenlerin başında gelmektedir.

Enerjinin önemli bir kısmı binalarda ısıtma amaçlı olarak tüketilmektedir. Çünkü yaşam mahallerinde ısı konforun sağlanması için ısıtma sistemleri yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla ısıtma amaçlı enerji tüketiminin azaltılması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi önemli bir alternatif enerji türüdür ve birçok ısı uygulaması bulunmaktadır. Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında, insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirletici artıkların bulunmayışı, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir konu olmuştur. Binaların ısıtılması, soğutulması, endüstriyel uygulamalar, bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin kullanıldığı alanlardır [1]. Isıtma uygulamaları güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanlarından biridir. Ancak güneş enerjisinin ısıtma uygulamaları, sıcak su üretimi dışında istenen seviyede değildir [2].

Hacim ısıtılması güneş enerjisinin önemli ısı uygulamalarında biridir. Binalarda güneş enerjisinin ısıtmada kullanımı, aktif ve pasif sistemlerle yapılmaktadır. Güneş enerjili pasif ısıtma sistemleri, binanın mimari yapısı ile ilgili olup mekanik enerji kullanılmamaktadır. Aktif sistemlerinde ise güneş kolektörleri, fan ve pompa gibi mekanik elemanlar kullanılmaktadır. Aktif güneş enerjisi sistemlerinin amacı, bir akışkanı kolektör kullanılarak ısıtmak, ihtiyaç oluncaya kadar ısıtılmış akışkanı depolama ünitesinde depolamak, bir kontrol mekanizması yardımıyla ısıtılacak hacimlere bu enerjiyi dağıtım ekipmanları aracılığı ile sağlamaktır [3,4].

Güneş enerjili hacim ısıtılmasında ısı taşıyan akışkana göre sulu sistemler veya havalı ısıtma sistemler kullanılır. Bu amaç için sıvılı ve havalı kolektörlerden yararlanır. Sulu tip güneş enerjili ısıtma sistemleri, yerden ısıtma sistemleri olabildiği gibi merkezi kalorifer sisteminde kazan ile birlikte kullanılabilir. İç hava kalitesi açısından havalı tip güneş enerjili ısıtma sistemleri daha avantajlı konumdadırlar. Her iki ısıtma sisteminde de ısıtmanın tamamen güneş enerjisinden sağlanamamasından dolayı ek enerji kaynaklarının veya enerji depolama sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Havalı güneş kolektörleri temelde, üzerindeki yutucu levhaya gelen güneş ışınımını havaya aktaran bir ısı değiştirgeci'dir. Havalı güneş kolektörleri, kurutma ve hacim ısıtılması uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca, ortamların havalandırılması için temiz havanın ön ısıtılmasında da havalı güneş kolektörlerinin

kullanımı bulunmaktadır [5]. Havalı güneş kolektörlerinin kullanımındaki artışının ve ilginin nedenleri şunlardır; ucuzdurlar, bakım ve işletme maliyetleri yoktur, yerel imkân ve malzemelerle rahatlıkla imal edilebilirler, ileri teknoloji gerekmemektedir ve çevre dostudurlar [6].

Havalı güneş kolektörlerinin sahip olduğu avantajlardan dolayı uygulama alanları genişlemekte ve artmaktadır. Güneş enerjili hacim ısıtma sistemleri üzerine yurtiçi ve yurtdışında önemli çalışmalar yapılmıştır. Fakat çalışmalar daha çok sulu ısıtma sistemleri üzerinedir. Havalı güneş kolektörleri ile ilgili yapılan çalışmalar temelde, kurutma uygulamaları, yapısı ve ısı performansının artırılması ile ilgilidirler Havalı tip sistemlerle ilgili hacim ısıtılması üzerine yapılan çalışmalar ise sınırlıdır. Havalı güneş kolektörleri ile ilgili yapılan çalışmalar temelde, uygulamaları, yapısı ve ısı performansının artırılması ile ilgilidirler [6, 7].

Mahal ısıtması ilgili yapılan bir çalışmada; Kayseri Erciyes Üniversitesinde 1996 yılında işletmeye alınan ve halen çalışmakta olan iki katlı, havalı güneş kolektörleri ile ısıtılan ve laboratuvar olarak kullanılan bir güneş evinin 1996–1997 kış sezonunda yapılan performans ölçümlerinde binanın %84.5 oranında güneş enerjisinden ısındığı belirlenmiştir. Bu bina içerisinde aynı zamanda 30 m<sup>2</sup>'lik bir alan, sulu güneş kolektörleri kullanılarak döşemeden ısıtılmaktadır [8]. Sugözü ve Sarsılmaz (2006), havalı güneş kolektörü ile iç ortam ısıtılmasını deneysel olarak araştırmışlardır. Bu amaçla, Elazığ'da 13 m<sup>3</sup>'lük güney duvarına düz toplayıcı havalı güneş kolektörü yerleştirilmiş bir oda üzerinde ölçümler alınmıştır. Kış aylarında, havalı güneş kolektörü ile odanın iç ortam havası ısıtılmıştır. Yapılan sistemle, günlük güneş ışınımına göre odanın iç ortam sıcaklığının 5°C ile 20°C arasında artırıldığı tespit edilmiştir [9]. Van ilinde bir konutun kullanma sıcak su ihtiyacının karşılanması ve kış konumunda güneş enerjisinden elde edilen sıcak su ile kalorifer kazanından yıllık bazda sağlanabilecek enerji tasarrufu araştırılmıştır. Düşünülen sistemin dokuz yıl içerisinde ilk kurulum maliyetini karşıladığı hesaplanmıştır [10].

Turgut (2002), mahal ısıtılmasında kullanılan yatay jaluzili, aktif güneş ısıtıcı, hava-tutuculu pencerenin ısı performansını deneysel olarak incelemiştir. Kütleli debi, pencereler arasındaki mesafe, dilimlerin eğim açısının hava-tutuculu pencerenin ısı performansı üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmış ve şekillerle gösterilmiştir. Kütleli debide meydana gelen artışın verimi artırdığı, camlar arasındaki mesafede meydana gelen artışın ise verimde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Mevcut pencerelerin küçük bir maliyet ile pencere tipi kolektörlere dönüşebileceğini önermiş ve kışın ısı ihtiyacının bir kısmını sağlamak için pencere tipi kolektörler kamu binalarında, fabrikalarda ve evlerde kullanılabilirliğini öne sürmüştür [11].

Benli ve Durmuş (2006), cam seraların havalı güneş kolektörleri yardımıyla gündüz ısıtılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırma için örnek bir cam sera inşa edilmiş ve deneyler, seraların ısıtma ihtiyacının olduğu Eylül ve Kasım ayları boyunca yapılmıştır. Isı depolama verimi, kolektör verimi ve kolektör basınç kaybı bulunmuştur. Bu tür sistemlerin ülkemiz koşulları için sera ısıtılmasında gündüz havalı güneş kolektörleri kullanımının gayet uygun olduklarını tespit etmişlerdir [2]. Kahraman (2005), güneş enerjisi destekli mahal ısıtmasının matematiksel modellemesini yapmıştır. Bu amaçla doğu ve güneydoğu illeri için güneş enerjili sıcak su destekli mahal ısıtmanın olabilirliği ve güneşten faydalanma oranlarını belirlemiştir [12]. Doğan (2006), güneş enerjisi yardımıyla gerçekleştirilen ısıtma sistemlerinin Kocaeli bölgesi için uygulanabilirliğini araştırmıştır. Kocaeli bölgesi için aktif ve pasif sistemlerinin verimliliğini karşılaştırarak aktif sistemin daha uygun olduğunu belirtmiştir [13].

Belusko ve arkadaşları (2004), çatı ile bütünleşik cam yüzeyli bir güneş enerjili ısıtma sistemini analiz etmişlerdir. Bu sistemin matematiksel analizini yapmışlardır [14]. Badescu (2002), havalı tip güneş kolektörünün hacim ısıtılması ve ısı pompası sisteminde kullanımı üzerine bir araştırma yapmıştır. Havalı güneş ısıtıcısının önemli miktarda sisteme katkı sağladığını tespit etmiştir [15]. Jha ve arkadaşları (1992), güneş enerjisi ile ısıtılan bir evin performansını araştırmışlardır. Bu güneş evinin performans parametreleri arasındaki ilişkiyi irdelemişlerdir [16].

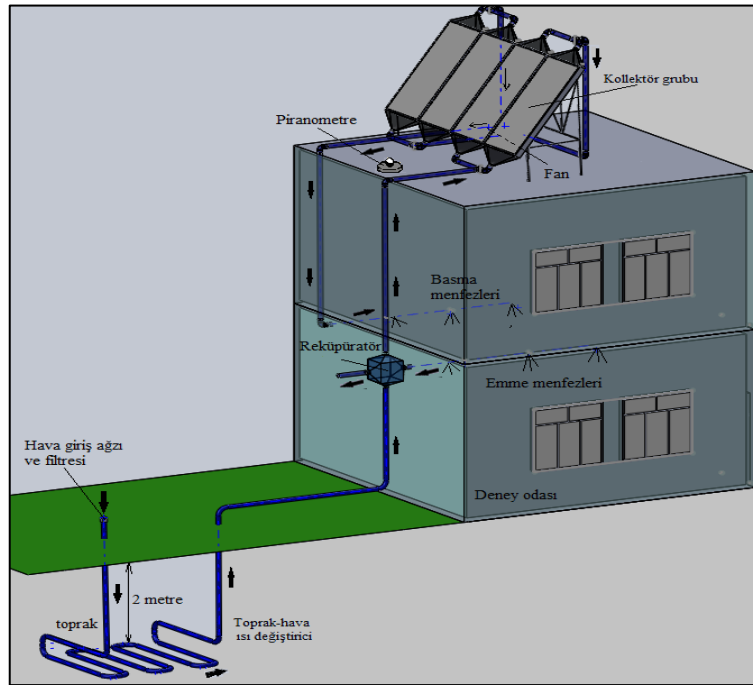
Literatürde reküperatör ve toprak-hava ısı değiştiricisi destekli, havalı güneş kolektörlü ısıtma sistemlerine rastlanmamıştır. Bu çalışmada, havayı ön ısıtma için bir toprak-hava ısı değiştiricisi ve reküperatör ile ısı geri kazanımıyla ikincil ön ısıtma yapan ve güneş enerjisinden faydalanmak için havalı güneş kolektörleri kullanılan bir ısıtma sisteminin Adıyaman iklim şartlarında uygulanabilirliğinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.



### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmanın temel amacı havalı tip güneş kolektörlü bir ısıtma sisteminin Adıyaman iklim şartlarında uygulanabilirliğinin deneysel olarak araştırılmasıdır. Bu amaç için temelde havalı güneş kolektörlerinden oluşan fakat ısı geri kazanımı ve toprak-hava ısı değiştiricisi destekli bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Şekil-1'de güneş enerjili, toprak-hava ısı değiştiricili ve reküperatörlü ısıtma sistemi şematik olarak görülmektedir. Dış ortamdan çekilen havanın ön ısıtılması toprakaltı ısısından faydalanılarak bir toprak-hava ısı değiştiricisi ile sağlanmıştır. Daha sonra bir ısı geri kazanımı cihazı (reküperatör) yardımı ile egzoz havasının faydalı ısısı dış ortamdan çekilen havaya kazandırılmıştır. Devamında seri-parallel bağlanmış güneş kolektörlerinden geçirilerek hedeflenen sıcaklığa getirilen hava bir fan yardımı ile deney odasına verilmiştir. Deney odası, Adıyaman Üniversitesi kampüsündeki Meslek Yüksek Okulu Uygulama atölyesinde iki katlı bir binanın zemin katında atölyelere bitişik nizam 18 m<sup>2</sup> 'lik yalıtımsız bir mahaldir. Oda yüksekliği 3.5 m'dir. Doğu ve Güney cephesinde 30 cm kalınlığında tuğla duvar mevcuttur. İç duvarı 14 cm kalınlığında, doğuya bakan yönde çift camlı PVC pencere ve atölyeye açılan bir PVC kapı mevcuttur. Şekil-2' de imalatı tamamlanmış ve montajı yapılmış ısıtma sistemi görülmektedir.



Şekil-1 Güneş enerjili, toprak-hava ısı değiştiricili ve reküperatörlü ısıtma sistemi şematik görünümü



Şekil-2 Güneş enerjili, toprak-hava ısı değiştiricili ve reküperatörlü ısıtma sistemi



İmalatı yapılan havalı güneş kolektörlerin özellikleri Tablo-1' de verilmiştir. Sistem hava kanalları olarak 120 mm çapında PVC borular kullanılmıştır. Hava taşıyıcı borularda ısı kaybını en aza indirmek için şekil 3'te görüldüğü gibi cam yünü ile sarılarak üzerine özel yapıştırıcı bez sarılarak siyah izole bant ile yalıtımı yapılmıştır. Fanın montajı hava kanalı basma hattı üzerine yapılmıştır. Toprak altı ısısından faydalanmak için imalatı yapılan toprak-hava ısı değiştirici 3 mm et kalınlığında 120 mm çapında borudan imal edilmiştir. Şekil-4'de 2 metre derinlikte gömülen ve üzeri toprakla kapatılan toprak-hava ısı değiştiricisi görülmektedir.

**TABLO-1** İmalatı yapılan havalı güneş kolektörlerinin teknik özellikleri

Hava akış kanalı	Düz
Geçirgen üst örtü	Tek cam
Kasa boyutu	2000x1000x100 mm
İzolasyon malzemesi	Cam yünü
Yutucu plaka	1900x900x0.5 mm siyah mat boyalı galvaniz sac
Kasa malzemesi	2 mm sac



**Şekil-3** Seri-paralel havalı güneş kolektörü grubu ve yalıtımlı hava kanalı



**Şekil-4** Toprak-hava ısı değiştiricisinin toprağa yerleştirilmiş hali

Isı geri kazanım cihazı olarak bir reküperatör imalatı yapılmıştır. Isı geri kazanım cihazında 0.5 mm kalınlığında galvaniz sac kullanılmıştır. Saclar trapez şekilde pres makinasında bükülerek çapraz bir şekilde üst üste konularak kaynağı yapılmıştır. Alt ve üst kısmına ısı kaybını önlemek amacıyla 10 mm kalınlığında kauçuk malzeme ve hava geçiş kanallarında kenar hatlarda olası bir boşlukta temiz ve kirlı havanın birbirine karışmaması için de silikon malzeme kullanılarak yalıtılan kasetler gövde içine alınmıştır. Hava kanallarına davlumbaz yapılarak reküperatör imalatı tamamlanmıştır. Şekil-5' de imalatı yapılan ve dış etkilere karşı dış yüzeyleri boyanmış ısı geri kazanımı cihazı görülmektedir.



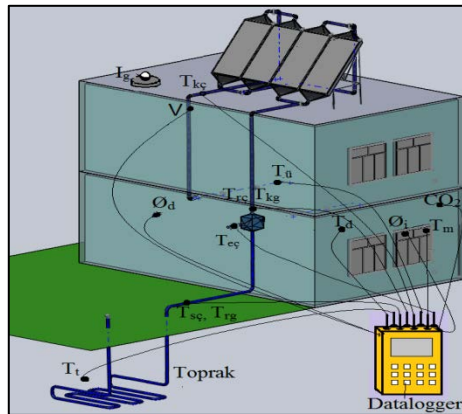
Şekil-5 Isı geri kazanım cihazı (reküperatör)

### 3.2 Metod

Deneyel çalışmada, Adıyaman iklim şartlarında kış mevsiminde  $52^\circ$  eğime ( enlem derecesi +  $15^\circ$  ) yerleştirilmiş ve kendi aralarında seri-paralel bağlanmış havalı güneş kolektörleri grubu, toprak-hava ısı değiştiricisi ve reküperatörün giriş - çıkış sıcaklıkları, iç ve dış ortam sıcaklığı, toprak altında 2 metre derinlikte toprak sıcaklığı sabah 08:00 ve akşam 17:00 saatleri arasında her saat başı alınmak üzere ölçümler alınmıştır. Ayrıca, üfleme kanalında hava hızı, iç ve dış ortamın bağıl nemi ve deney odasının karbondioksit miktarı da kaydedilmiştir. Ölçüm noktaları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Deney odasının dış cephesinde gölgede 2 metre yükseklikte dış hava sıcaklığı ( $T_d$ ), toprak-hava ısı değiştirici borularının gömülü olduğu 2 metre derinlikte toprak sıcaklığı ( $T_t$ ), ölçülmüştür. Toprak-hava ısı değiştirici çıkışı aynı zamanda reküperatör temiz hava girişi olduğu için toprak-hava ısı değiştirici çıkış sıcaklığı ( $T_{sc}$ ) ve reküperatör temiz hava giriş sıcaklığı ( $T_{rg}$ ) aynı noktadan ölçülmüştür. Reküperatör çıkışı ve kolektör grubu girişi aynı hat olduğundan reküperatör çıkış sıcaklığı ( $T_{rc}$ ) ve kolektör giriş sıcaklığı ( $T_{kg}$ ) aynı noktadan ölçülmüştür. Kolektör çıkışında kolektör çıkış sıcaklığı ( $T_{kc}$ ), ölçülmüştür. Üfleme hattı üzerinde hava fanı ve ilave ısıtıcının olduğu, havanın hava kanalı ile çatı katından zemin kat deney odasına taşındığı göz önünde bulundurulduğunda sistem elemanlarının flanşlı bağlantı noktalarında yalıtım yetersizliği nedeniyle basma menfezi çıkışında üfleme sıcaklığı ( $T_u$ ) ve deney odasının ortam sıcaklığı ( $T_m$ ) ölçülmüştür. Ayrıca reküperatörün performansını ölçmek amacıyla reküperatörden çıkan egzoz havasının sıcaklığı ( $T_{ec}$ ), ölçülmüştür. Reküperatöre giren egzoz havası sıcaklığı ( $T_{eg}$ ), direk deney odasının havası reküperatöre girdiği için mahal sıcaklığına ( $T_m$ ) eşit olduğu kabul edilmiştir. Basma hattı üzerinde kanal içindeki havanın hızı ( $V$ ) ölçülmüştür. Ayrıca iç ve dış ortamın bağıl değerleri sırayla  $\phi_i$  ve  $\phi_d$  ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Deney odası, atölye içinde ama bağımsız birim olduğu için odanın karbondioksit ölçümleri yapılarak dış havanın deney odasının havasını hangi oranlarda temizlediğini görmek amacıyla odanın karbondioksit oranı ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Sıcaklık ölçümlerinde K tipi ısı çiftleri ve veri kaydı için datalogger kullanılmıştır. Güneş ışınım şiddetini ölçmek için bir piranometre ve veri kaydı için datalogger kullanılmıştır. İç ve dış ortamın nem oranını ölçmek için nemölçer kullanılmıştır. Menfez üfleme noktasında hava hızının ölçmek için pervane tipi hızölçer kullanılmıştır. Ortamın karbondioksit miktarını ölçmek için duvar tipi ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil-6 Isıtma sisteminde ölçüm noktaları

### 3.2.2 Sistem Elemanları Verim ve Etkinlikleri

#### 3.2.2.1 Kollektör Grubu Isıl Verimi

Isıl verim, kollektörden toplanan kullanılabilir enerjinin, aynı sürede kollektör yüzeyine gelen güneş enerjisine oranı olarak tarif edilir. Havalı güneş kollektör grubunun ısı verimi,  $\eta$ , aşağıdaki denklemler (1-2) ile hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{k\check{c}} - T_{kg})}{I_g \cdot A_k} \quad (1)$$

Burada;

$\dot{m}$  : Kollektörden geçen havanın kütleli debisi (kg/s),

$C_p$  : Havanın sabit basınçta özgül ısısı (J/kg °C),

$I_g$  : Kollektör yüzeyine gelen ışınım miktarı (Watt/m<sup>2</sup>)

$A_k$  : Kollektör alanı (m<sup>2</sup>)

$T_{k\check{c}} - T_{kg}$  : Kollektörden çıkan ve kollektöre giren havanın sıcaklık farkı (°C)' dir.

Kütleli debi;

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_{\check{c}} \quad (2)$$

ile hesaplanır. Burada;

$\rho$  : Havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),

$V$  : Hava akış hızı (m/s),

$A_{\check{c}}$  : Havanın kollektör çıkış kesit alanıdır.

#### 3.2.2.2 Toprak-Hava Isı Değiştirici Etkinliği

Toprak-hava ısı değiştirici etkinliği,  $\epsilon_s$ , eşitlik (3) ile hesaplanmıştır.

$$\epsilon_s = \frac{T_{s\check{c}} - T_d}{T_t - T_d} \quad (3)$$

Burada;

$T_d$  : Dış hava sıcaklığı (°C),

$T_t$  : 2 metre derinlikteki toprak sıcaklığı (°C),

$T_{s\check{c}}$  : Toprak-hava ısı değiştirici çıkış sıcaklığı (°C)' dir.

#### 3.2.2.3 Reküperatör Etkinliği

Reküperatör etkinliği,  $\epsilon_r$ , eşitlik (4) ile hesaplanmıştır.

$$\epsilon_r = \frac{T_{r\check{c}} - T_{rg}}{T_e - T_{rg}} \quad (4)$$

Burada;

$T_{rg}$  : Reküperatör giriş sıcaklığı (°C),

$T_{r\check{c}}$  : Reküperatör çıkış sıcaklığı (°C),

$T_e$  : Egzos havası reküperatör giriş sıcaklığı (≈mahal sıcaklığı) (°C) ' dir.

#### 3.2.2.4 Isıtma Sisteminin Performans Katsayısı

Isıtma sisteminin COP<sub>ısıtma</sub> değeri eşitlik 5 ve 6 ile hesaplanmıştır.

$$COP_{ısıtma} = \frac{Q_{oda}}{W_{fan}} \quad (5)$$

Deney odasına verilen ısıtma gücü,  $Q_{oda}$  (Watt), ise eşitlik (6) ile hesaplanmıştır.

$$Q_{oda} = \dot{m}_{oda} \cdot C_p \cdot \Delta T_{oda} \quad (6)$$

Burada;

$W_{fan}$  : Fan gücü (Watt),  
 $\dot{m}_{oda}$  : Deney odasına verilen havanın kütleli debisi ( $\dot{m}_{oda} = \dot{m}$ , eşitlik 2) (kg/s),  
 $\Delta T_{oda}$  : Deney odasına üflenen ve oda havasının sıcaklık farkı, ( $T_{ü} - T_e$ ), ( $^{\circ}C$ )' dir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Ocak-Mart 2014 ayları arasında alınan ölçüm değerlerini analiz etmek için belirli günler seçilmiştir. Bu amaçla rastgele seçim yerine aşağıdaki yöntem takip edilmiştir [17]. Ay (31 gün) kartillere (çeyreklere) ayrılarak her kartildeki orta gündeki sıcaklıklar tipik veriler olarak alınmıştır. 1. kartilden ayın 4. günü, 2. kartilden ayın 12. günü, 3. kartilden ayın 20. günü ve 4. kartilden ayın 28. gününün ölçümleri ısı özellikleri açısından istatistiksel olarak incelenmiştir. İstatistiksel inceleme için dataloggerden alınan sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Ölçülen parametrelere ait minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Tablo-2' de ölçülen parametrelerin istatistiksel değerleri verilmiştir.

**TABLO-2 Ölçülen parametrelerin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri**

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
$T_d$ ( $^{\circ}C$ )	3.6	24.3	14.1	3.9
$T_t$ ( $^{\circ}C$ )	15.1	16.4	15.9	0.4
$T_{sç} = T_{rg}$ ( $^{\circ}C$ )	6.3	22.2	14.8	2.8
$T_{rç} = T_{kg}$ ( $^{\circ}C$ )	6.8	24.4	17.2	3.5
$T_{kç}$ ( $^{\circ}C$ )	9.2	65.6	37.2	15.8
$T_{ü}$ ( $^{\circ}C$ )	4.2	49.2	28.7	11.5
$T_m$ ( $^{\circ}C$ )	12.3	31.2	21.4	3.3
$T_e$ ( $^{\circ}C$ )	10.0	27.4	20.0	3.5
$V$ (m/s)	2.0	8.2	6.9	1.9
$I_g$ ( $W/m^2$ )	0.2	1179	524	333
$\phi_d$ (%)	19.2	96.5	50.2	20
$\phi_i$ (%)	12.2	94.3	38.1	15.3
$CO_2$ (ppm)	290	710	385	54.4

Tablo-3' de ölçülen parametrelerin aylık ve mevsimlik ortalama değerleri görülmektedir. Tablo-4' de ise kollektör verimi, toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) etkinliği, reküperatör etkinliği ve ısıtma sisteminin COP değerinin seçilen günler için ortalama değerleri verilmiştir.

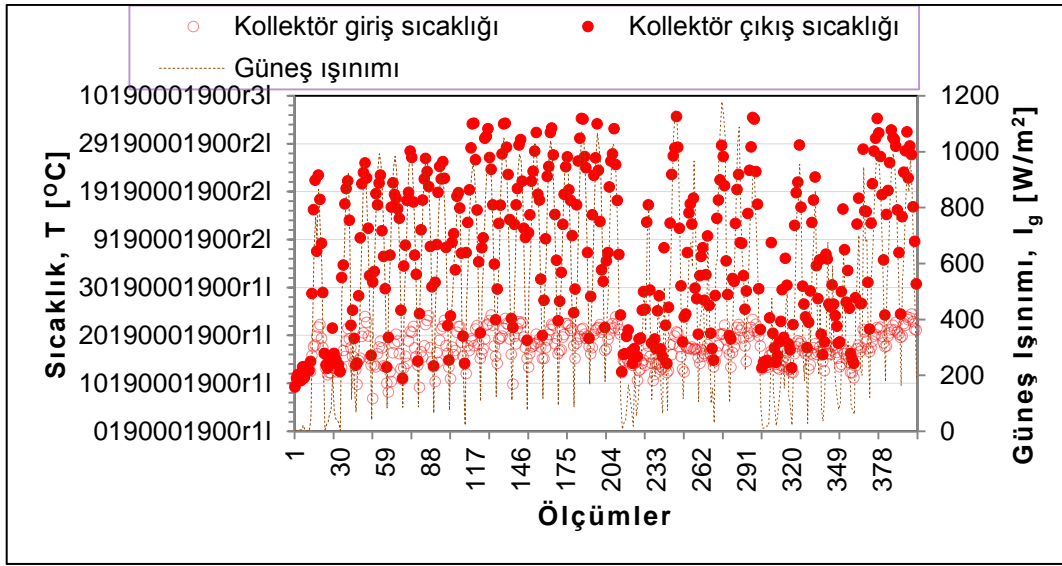
**TABLO-3 Ölçülen parametrelerin aylık ve mevsimlik ortalama değerleri**

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	3 Aylık
$T_d$ ( $^{\circ}C$ )	11.7	13.3	15.8	14.1
$T_t$ ( $^{\circ}C$ )	16.0	16.1	15.5	15.9
$T_{sç} = T_{rg}$ ( $^{\circ}C$ )	13.1	14.5	15.7	14.8
$T_{rç} = T_{kg}$ ( $^{\circ}C$ )	15.3	17.5	17.4	17.2
$T_{kç}$ ( $^{\circ}C$ )	27.2	40.5	36.2	37.2
$T_{ü}$ ( $^{\circ}C$ )	23.1	30.8	27.6	28.7
$T_m$ ( $^{\circ}C$ )	20.4	21.8	21.3	21.4
$T_e$ ( $^{\circ}C$ )	18.5	20.4	20.0	20.0
$V$ (m/s)	7.9	5.9	7.8	6.9
$I_g$ ( $W/m^2$ )	322	609	480	524
$\phi_d$ (%)	69.4	41.9	75.9	50.2
$\phi_i$ (%)	53.3	31.8	41.4	38.1
$T_d$ ( $^{\circ}C$ )	444	395	353	385

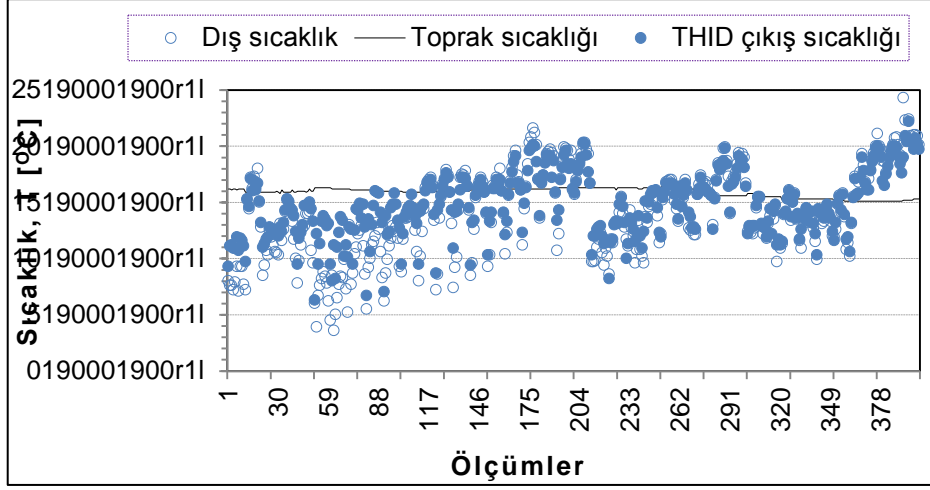
**TABLO-4** Kollektör verimi, toprak-hava ısı değiştirici etkinliği, reküperatör etkinliği ve  $COP_{\text{ısıtma}}$  değerinin günlük ortalama değerleri

Tarih	Kollektör Verimi, %	THID Etkinliği, %	Reküperatör Etkinliği, %	$COP_{\text{ısıtma}}$
28.01.2014	69.0	31.7	36.2	3.0
04.02.2014	60.0	46.1	34.1	3.1
12.02.2014	49.9	30.9	55.9	4.2
20.02.2014	21.4	18.7	34.0	6.7
28.02.2014	72.4	45.0	30.2	3.6
04.03.2014	70.4	29.8	27.1	1.7
12.03.2014	72.9	11.2	33.9	2.6
20.03.2014	76.7	13.5	30.1	3.8

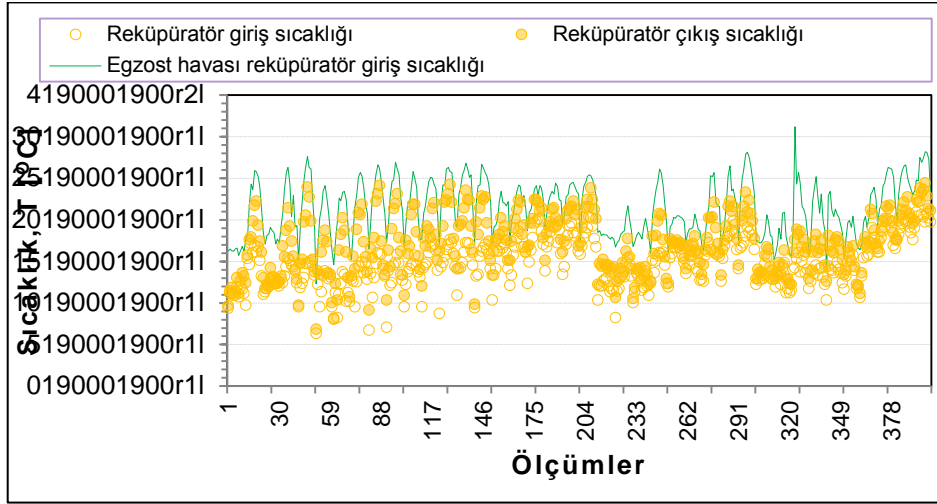
Şekil-7'de 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası alınan kollektör giriş- çıkış sıcaklığı ölçümlerinin değişimi verilmiştir. Şekilden kollektör giriş sıcaklığı ve gelen güneş ışınımındaki dalgalanmanın kollektör çıkış sıcaklığını etkilediği görülmektedir. Şekil-8'de 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası dış sıcaklık, toprak sıcaklığı ve toprak-hava ısı değiştirici çıkış sıcaklığının değişimi yer almaktadır. Şekilden dış sıcaklığın toprak sıcaklığından düşük olduğu durumlarda THID'nin iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Dış hava sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda doğal olarak toprak ısısından yararlanılamamıştır. Şekil-9'da 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası reküperatör giriş sıcaklığı, reküperatör çıkış sıcaklığı ve egzost havası sıcaklığının değişimi verilmiştir. Şekilden reküperatörün atık havanın enerjisini sistem havasına verdiği görülmektedir.



**Şekil-7** 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası kollektör giriş ve çıkış sıcaklığı ölçümlerinin değişimi (6.9 m/s hava hızı)

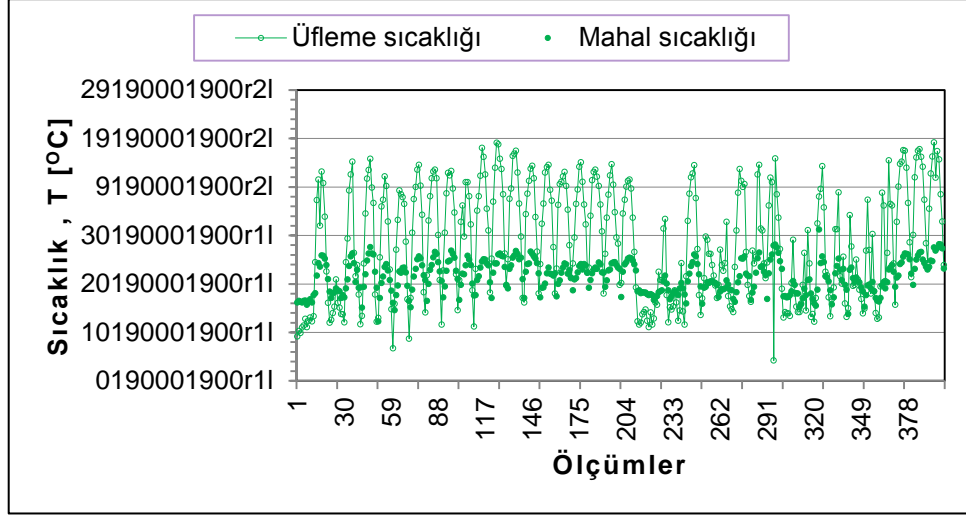


Şekil-8 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası dış sıcaklık, toprak sıcaklığı ve toprak-hava ısı değiştirici çıkış sıcaklığının değişimi (6.9 m/s hava hızı)

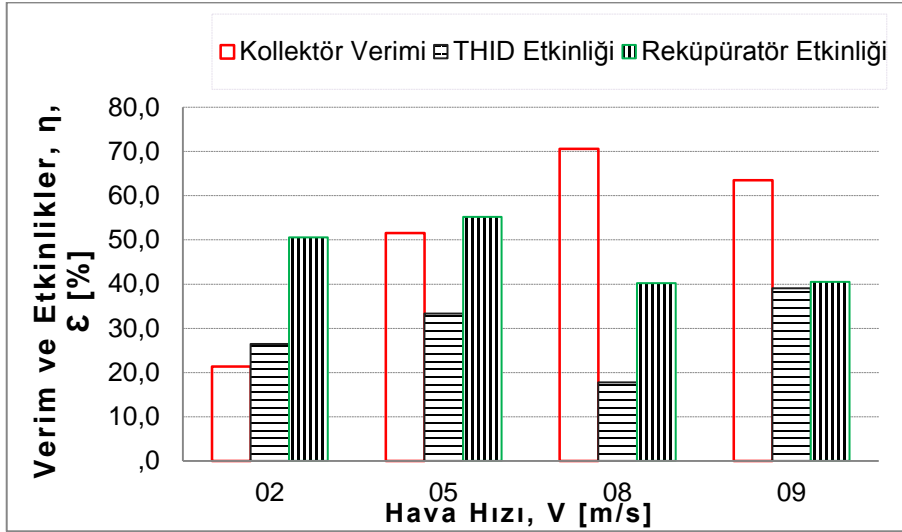


Şekil-9 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası reküperatör giriş - çıkış sıcaklığı ve egzost havası sıcaklığının değişimi (6.9 m/s hava hızı)

Şekil-10' da 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası üfleme sıcaklığı ve mahal sıcaklığının değişimi yer almaktadır. Şekilden güneşin olmadığı zamanlarda üfleme sıcaklığının düştüğü ve mahal havası sıcaklığının altına indiği görülmüştür. Şekil-11'de kollektör verimi, toprak-hava ısı değiştiricisi etkinliği ve reküperatör etkinliğinin hava hızıyla değişimi görülmektedir.



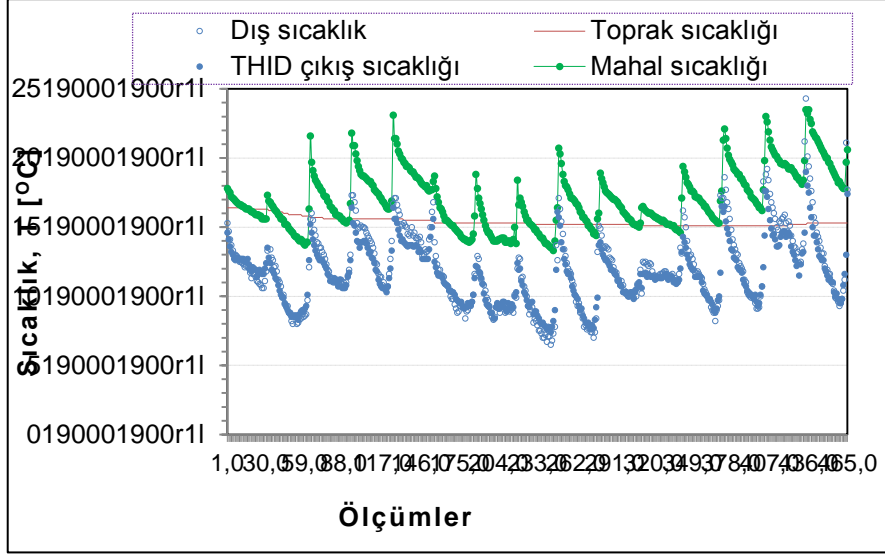
Şekil-10 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası üfleme sıcaklığı ve mahal sıcaklığının değişimi (6.9 m/s hava hızı, 0.11 kg/s debi için)



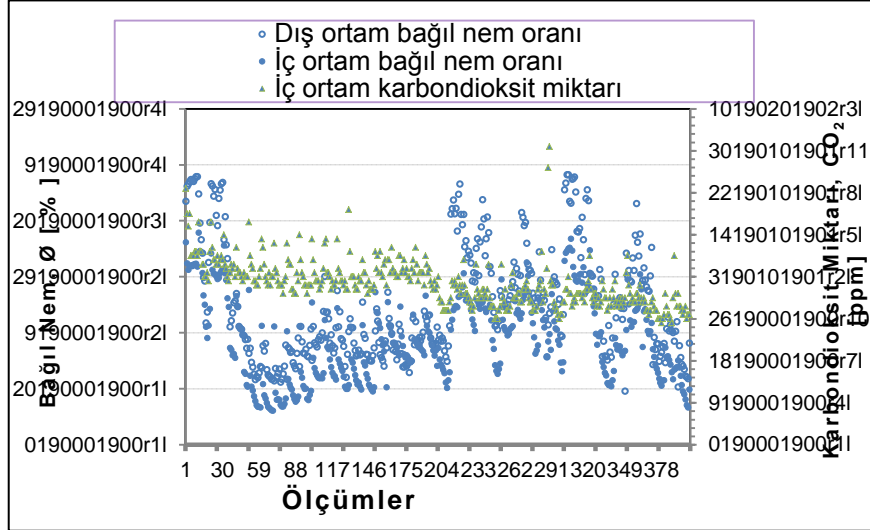
Şekil-11 Kollektör verimi, toprak-hava ısı değiştiricisi ve reküperatör etkinliklerinin hava hızıyla değişimi

Şeki-12' de 03 Mart 2014 – 22 Mart 2014 tarih, 17:00 – 08:00 saatleri arasında gece şartlarında dış sıcaklık, toprak sıcaklığı, toprak-hava ısı değiştiricisi çıkış sıcaklığı ve mahal sıcaklığının değişimi görülmektedir. Şekilden dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığının altında olduğu durumlarda ısıtma olduğu dış hava sıcaklığının çok düşük olduğu durumlarda mahal sıcaklığının da düştüğü görülmektedir. Şekil-13' de 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası dış ve iç ortam bağıl nem oranı ile iç ortam karbondioksit miktarının değişimi görülmektedir. Şekilden mahal bağıl nemi ve karbondioksit miktarının konfor şartlarında olduğu görülmektedir.





**Şekil-12** 03 Mart 2014 – 22 Mart 2014 tarih, 17:00 – 08:00 saatleri arasında gece şartlarında dış sıcaklık, toprak sıcaklığı, THID çıkış sıcaklığı ve mahal sıcaklığının değişimi (7.8 m/s hava hızı)



**Şekil-13** 27 Ocak 2014 – 21 Mart 2014 tarihleri arası iç ve dış ortam bağıl nem oranı ve iç ortam karbondioksit miktarının değişimi (6.9 m/s hava hızı için)

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan deneylerde kış mevsimi boyunca dış hava sıcaklığı ortalama 14.1 °C iken ısıtılan deney odasının sıcaklığı ortalama 21.4 °C 'de kaldığı görülmüştür. Mahal havasının sürekli konfor sıcaklığında kalması, çalışılan sistemin iyi performans sağladığını göstermektedir.

Isıtma sisteminde ölçülen sonuçlarına göre kolektör çıkış sıcaklığı güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak artmakta ve kolektör yüzeyine gelen ışınımın dik olduğu öğlen saatlerinde maksimum olmaktadır. Tasarımı ve imalatı yapılan ve ikişer paralel olmak üzere seri bağlanan 4 adet havalı güneş kolektör grubunun ortalama ısı verimi %61 olarak hesaplanmıştır. Yapılan ölçümler değerlendirildiğinde kolektör veriminin, hava debisi ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Kolektörlerden geçen hava debisinin yüksek olduğu günlerde kolektör veriminin arttığı, düşük olduğu günlerde ise kolektör veriminin en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Saatlik ortalama kolektör verimine bakıldığında kolektör veriminin %56 ile %69 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kolektörlere giren ve kolektörlerden çıkan havanın sıcaklığı arasındaki fark ortalama 20 °C'ye kadar çıktığı

görülmüştür. Dağıtıcı menfezlerde üfleme sıcaklığının kollektör çıkış sıcaklığından ortalama 8 °C daha düşük olması hava taşıyıcı dairesel kesitli kanal üzerinde bulunan hava fanı, ilave ısıtıcı ve kanal ek yerlerinde ısı yalıtımının yetersiz kalmasından olduğu tespit edilmiştir. Kollektör çıkış sıcaklığının bütün hava hızlarında güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak artıp azaldığı görülmüştür. Ancak dış hava sıcaklığının ortalama göre daha düşük olduğu ve güneş ışınım şiddetinin olmadığı hava akış hızı ve hava debisinin yüksek olduğu zamanlarda, kollektör veriminin sıfır olduğu ve dolayısıyla kollektörlerin ortalama 0.1-1°C arasında havayı soğuttuğu görülmüştür.

2 metre derinlikte toprak sıcaklığı tüm ölçümlerin ortalamasında 15.9 °C olarak tespit edilmiştir. Dış hava sıcaklığının toprak altından düşük olduğu durumlarda, hava hızı ve hava kütlesi ile orantılı olarak ortalama 1.4 °C ön ısıtma yapıldığı görülmüştür. Dış hava sıcaklığı toprak altından düşük olduğu zamanlarda, yüksek hava debisinde yüksek THID etkinliği gözlemlenmiştir. Ancak dış hava sıcaklığının toprak altından yüksek olduğu, hava akış hızı ve hava debisinin yüksek olduğu durumlarda yüksek hava hızlarında THID etkinliğinin düştüğü görülmüştür. Ölçüm alınan bazı günlerde 11:00-16:00 saatleri arasında dış hava sıcaklığı toprak altı sıcaklığından daha yüksek olduğu ve hava debisinin ortalama göre daha yüksek olduğu durumlarda THID dışardan emiş yapılan havayı soğuttuğu belirlenmiştir. Mevsim geçiş dönemlerinde dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumlar, THID'lerin soğuk iklim bölgelerinde ısıtma açısından daha verimli olacağını göstermiştir.

Rekuperatör etkinliği ortalama %34 olduğu tespit edilmiştir. Rekuperatör temiz hava giriş sıcaklığı ile temiz hava çıkış sıcaklığı arasında ortalama 2.4 °C' lik bir sıcaklık farkı gözlemlenmiştir. Rekuperatör etkinliği egzoz havası sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Dışarı atılacak havanın sıcaklığı arttıkça rekuperatörden atılan egzoz havasının sıcaklığı da artmaktadır.

% 100 dış temiz hava ile çalışıldığından dış havanın ve deney odasının bağıl nem oranı ile birlikte deney odasının karbondioksit miktarı da ölçülmüştür. Ortalama bağıl nem değeri dış ortamda %50, iç ortamda %38 olduğu tespit edilmiştir. Mahalin karbondioksit miktarı ortalama 385 ppm değerlerinde kaldığı görülmüştür. Mahalin ortalama sıcaklığı 21.4 °C olarak tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada sistemin hava kalitesi ve mahal konfor şartlarını sağladığı görülmüştür.

Çalışma sonucunda güneş enerjisinden yararlanılarak bir ortamın ısıtılmasında toprak-hava ısı değiştirici destekli, ısı geri kazanımlı, havalı güneş kolektörlerinin Adıyaman iklim şartlarında alternatif ısıtma sistemi olabileceği görülmüştür.

Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde THID destekli, ısı geri kazanımlı havalı güneş kollektörleri ile ısıtma sisteminde hava hızının önemli bir parametre olduğu görülmüştür. İlerde yapılacak olan çalışmalarda kollektör, ısı geri kazanım cihazı ve THID geçişlerinde hava hızının kontrol edilmesi önerilmektedir. Kollektörlerde damperler kullanılarak hava debisi kontrol edilerek kollektör verimi artırılabilir.

Dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda THID ön ısıtma açısından dezavantaj olup bu durumlarda havanın by pass etmek gerekir. Isıtma sisteminde en uygun performansı elde etmek için otomasyon sisteminin kurulması gerekir. İyi bir ısı performans için sistem elemanları ve hava kanallarının ısı yalıtımı iyi yapılması gerekir.

Sistemin güneş kollektörleri hariç, toprak ve atık ısıdan faydalanılarak yazın soğutma amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar yapılabilir. Bu durumda THID ve rekuperatör tekrar kullanılabilir. Sistem evaporatif soğutma sistemi ile entegre edilebilir.

## 6. TEŞEKKÜR

Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (HÜBAK) tarafından maddi olarak desteklenen HÜBAK/13050 no' lu projemize destek kattıklarından dolayı HÜBAK yönetimine, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (ADYÜBAP) tarafından maddi olarak desteklenen ADMYOBBAP/2013-004 no' lu projemize destek kattıklarından dolayı ADYÜBAP yönetimine, teşekkür ederiz.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] M. A. Karım and M.N. A. Hawlader, "Development of Solar Air Collectors for Drying Applications", *Energy Conversion and Management*, 45: 329-344, 2004.
- [2] H. Benli ve A. Durmuş, "Cam Seraların Havalı Güneş Kollektörleri Yardımıyla Isıtılması", *e-Journal of New World Sciences Academy*, 1(4):104-120, 2006.
- [3] G. G. Günerhan, "Güneş Enerjisinin Aktif Sistemlerle Isıtma Amaçlı Kullanımı", *Tesisat Dergisi*, 22:1-6, 1996.
- [4] İ. Çakmanus ve A. Böke, "Binaların Güneş Enerjisi ile Pasif Isıtılması ve Soğutulması", *Yapı Dergisi*, 235: 83-88, 2001.
- [5] H. Bulut, A. F. Durmaz ve M. A. Aktacı, "Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performans Analizi", 3. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 53-61, Mersin, 2007.
- [6] K. Karılı, "Performance Analysis of New-Design Solar Air Collectors for Drying Applications", *Renewable Energy*, 32:1645-1660, 2007.
- [7] W. Gao, W. Lin, T. Liu, C. Xia, "Analytical and Experimental Studies on the Thermal Performance of Cross-Corrugated and Flat-Plate Solar Air Heaters", *Applied Energy*, 84: 425-441, 2007.
- [8] D. Demiral, N. Altıntop, G. Çınar, "Erciyes Üniversitesi Güneş Evi ve Teknik Özellikleri", *Isı Bilim ve Tekniği Dergisi*, 20:1-2, 2000.
- [9] İ. Suğözü ve C. Sarsılmaz, "Havalı Güneş Kollektörü ile İç Ortam Isıtılmasının Deneysel Olarak Araştırılması", *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (2), 257-265, 2006.
- [10] M. A. Işık, "Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtma Sisteminin Van İlinde Sağladığı Enerji Tasarrufunun İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 2007.*
- [11] O. Turgut, "Yatay Jaluzili, Aktif Güneş Isıtıcılı, Hava-Tutuculu Pencerenin Isıl Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 17(4):71-82, 2002.
- [12] G. Kahraman, "Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtmasının Matematiksel Modellemesi", *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2005.*
- [13] M. C. Doğan, "Güneş Enerjisi Yardımıyla Gerçekleştirilen Isıtma Sistemlerinin Kocaeli Bölgesi İçin Uygulanabilirliğinin Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 2006.*
- [14] M. Belusko, W. Saman, F. Bruno, "Roof Integrated Solar Heating System with Glazed Collector", *Solar Energy*, 76: 61-69, 2004.
- [15] V. BADESCU, "Model of a Space Heating System Integrating a Heat Pump", *Photothermal Collectors and Solar Cells. Renewable Energy*, 27:489-505, 2002.

[16] R. K. Jha, C. Choudhury, H. P. Garg, Z. H. Zaidi, "Performance Prediction of a Solar Heated House", *Energy Conversion and Management*, 33(4): 263-273, 1992.

[17] B. Yesilata, H. Bulut, P. Turgut, "Experimental study on thermal behavior of a building structure using rubberized exterior-walls", *Energy and Buildings*, 43/2-3: 393-399, 2011.