

Hüsamettin BULUT
Refet KARADAĞ
Yunus DEMİRTAŞ
İsmail HİLALİ

Abstract:

Nowadays, there is a growing interest to the systems based on renewable energy sources due to rising cost of energy and environmental concerns. As one result of efforts of decreasing energy cost and importance of indoor air quality, it is seen that earth energy can be used easily as energy sources by using an earth-air heat exchanger (EAXH) in ventilation and air conditioning systems and the energy costs in heating, cooling and ventilation systems can be reduced with aid of earth-air heat exchangers. In this study, the performance of an earth-air heat exchanger was investigated by using earth energy potential under climatic conditions of Sanliurfa. An EAXH made of galvanized pipe with 13 cm diameter and 20 m length was buried at 2 m deep. Measurements of inlet and outlet air temperatures, air velocity and earth temperature were carried out between December 2014 and February 2014. The measurements are recorded intermittently during daytime. According to the measurements results, the maximum difference between earth and outdoor air temperature is 12.5 °C and the mean is 5.8 °C. In EAXH system, the maximum difference between inlet and outlet air temperature is 11.6 °C and the mean is 4.8 °C. It is found out that the average value of EAXH effectiveness is 0.83 and the mean of COP values lay out in the range from 1.7 to 5.9. According to the results of this experimental study, it is seen that the earth-air heat exchanger shows good thermal performance and has energy saving potential for applications of heating and ventilation.

Key Words:

Soil Energy, Earth-Air Heat Exchanger, Heating, Sanliurfa.

Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisinin Performans Analizi

ÖZET

Günümüzde enerji maliyetlerinin artmasından ve çevresel kaygılardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistemlere ilgi artmaktadır. İç hava kalitesinin önem kazanmasının ve enerji maliyetlerini düşürme çabalarının sonuçlarından biri olarak havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde toprak-hava ısı değiştiricilerinin yardımıyla toprak enerjisinin bir enerji kaynağı olarak rahat kullanılabilmesi ve ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinde enerji maliyetlerinin azaltılabileceği görülmüştür. Bu çalışmada, Şanlıurfa kış şartlarında, toprağın sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanarak bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. 13 cm çapında ve 20 m uzunlukta galvanizli borulardan meydana gelen toprak-hava ısı değiştiricisi, serpantin şeklinde yerin 2 m altına yerleştirilmiştir. Hava girişi ve çıkışı sıcaklığı, hava hızı ve toprak sıcaklığı ölçümleri gündüz saatlerinde ve kesikli manuel olarak Aralık 2013-Şubat 2014 arasında yapılmıştır. Hava hızı ve sıcaklıklar arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Toprak ve dış hava sıcaklık farkı ölçülen değerlere göre maksimum 12,5 °C ve ortalama 5,8 °C olarak tespit edilmiştir. THID sisteminde çıkış ve giriş havası arasındaki sıcaklık farkı maksimum 11,6 °C ve ortalama 4,8 °C olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarla THID'nin etkinliği ortalama 0,83 ve COP değerinin ise ortalama 1,7-5,9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. THID sisteminin ısıtma konumunda iyi performans gösterdiği ve ısıtma ve havalandırma uygulamaları açısından enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toprak Enerjisi, Toprak-Hava Isı Değiştiricisi, Isıtma, Şanlıurfa.

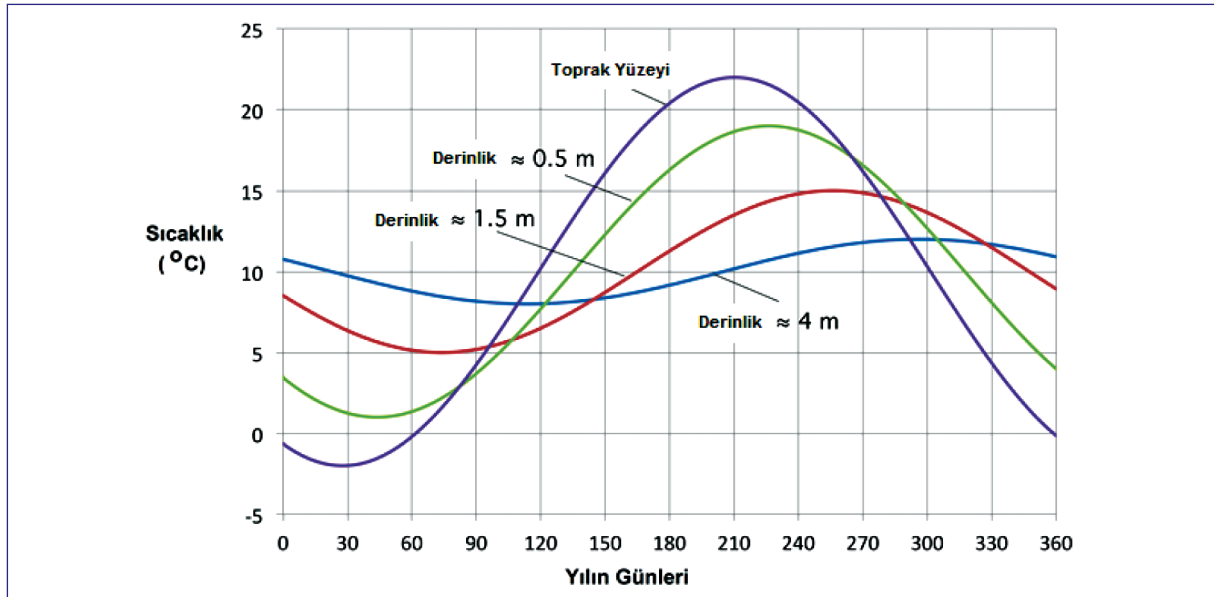
1. GİRİŞ

Isının terk edildiği veya ısının alındığı depolara ısıl enerji depoları denilmektedir. Atmosfer havası, denizler, akarsular ve toprak birer ısıl enerji depolarıdır. Bu ısıl enerji depoları ısı kaynağı veya ısı kaynağı olabirler [1]. Enerji kaynaklarının azaldığı ve maliyetlerinin yükseldiği günümüzde farklı alternatif enerji kaynaklarına yönelmeler olmaktadır. Geçmişte konvansiyonel enerji kaynaklarının yoğun, kolay ulaşılabılır ve ucuz olmasından dolayı göreceli olarak ekonomik ve teknolojik olarak dezavantajlı enerji kaynaklarına ilgi yeterince olmamaktaydı. Fakat bu yaklaşım günümüzde değişmiştir. Tüm enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

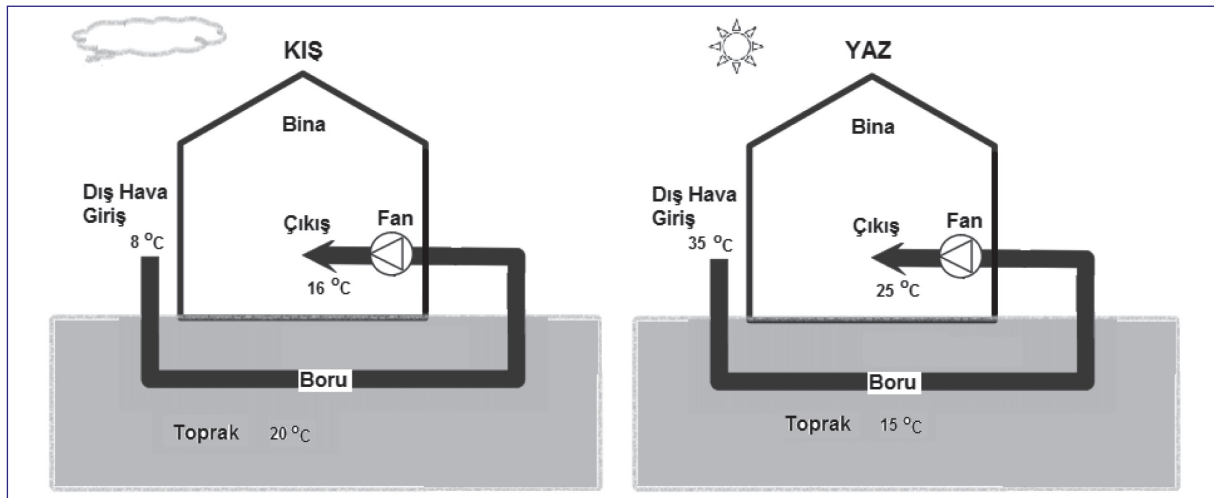
Toprak enerjisi eskiden beri bilinen bir ısı kaynağıdır. Günümüzde toprak, daha çok ısı pompaları için kaynak veya kuyu olmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında akışkan boruları dikey veya yatay olarak toprak altına döşenmektedir. İklimlendirme, sera ve havalandırma sistemleri için toprağın enerji kaynağı veya kuyu olması ise biraz göz ardı edilmiştir. Ancak iç hava kalitesinin önem kazanması ve enerji maliyetlerinin artması ile hava-toprak ısı değiştiricilerine bir yönelmenin olacağı beklenmektedir.

Toprağın yüksek ısı kapasitesi ve ortam havasına göre sıcaklık dalgalanmalarının düşük olmasından

dolayı toprak altı ısı rahatlıkla kullanılabilir. Kışın toprak yüzeyinden derine inildikçe toprak sıcaklığı artmakta, yazın ise azalmaktadır. Şekil 1’de yıl boyunca toprak altı sıcaklığının değişimi gösterilmiştir [2]. Şekilde görüldüğü gibi derinlik arttıkça yıl boyunca sıcaklık değişimi azalmaktadır. Yeterli bir derinlikte, toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığına göre yazın daha düşük ve kışın ise daha yüksektir. Bu sıcaklık farkı kullanılarak, hava, toprağa gömülmüş kanal veya borulardan geçirilerek, yazın soğutulur, kışın ise ısıtılır. Bir THID sistemi borulardan ve hava hareketini sağlayan bir fan dan meydana gelir (Şekil 2). THID sistemi açık ve kapalı devre şeklinde çalış-



Şekil 1. Toprak Sıcaklığının Yıl Boyunca Değişimi [2]



Şekil 2. Tipik Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisi (THID) Sistemi

tırılabilir. Dış havayı alıp içeri basan sistem açık devredir. İç havayı alıp ısıttıktan veya soğuttuktan sonra tekrar içeri veren sistem ise kapalı devredir.

Teorik ve deneysel çalışmalara göre, bir THID sisteminin verim ve performansına aşağıdaki değişkenler etki eder [3, 4]:

- 1- **İklimsel şartlar ve coğrafik konum:** THID sistemleri dış ortam iklim şartlarından etkilenirler. Çok sıcak iklimli çöllerde THID sistemi, soğutma için en uygun yerler olmasına rağmen, ısıtmada ılıman ve sıcak yerler de çok uygun değildir.
- 2- **Toprak çeşidi:** Yüksek ısıletkenliğe, yüksek yoğunluğa ve yüksek ısı kapasitesine sahip topraklar THID için uygundur. Bu toprak özelliklerinin enerji depolama üzerine katkısı sırasıyla %79, %48 ve %33'tür.
- 3- **Boru özellikleri:** Boru, pratik uygulama durumuna göre seçilmelidir. Örneğin suya doymuş topraklarda beton boru kullanılmamalı ve su izolasyonu yapılmalıdır. Bununla birlikte boru malzemesinin enerji depolaması üzerine etkisi çok önemli değildir. Boru malzemesi olarak metal veya PVC kullanılmaktadır. Boru uzunluğu da kapasiteyi belirler. En uygun boru uzunluğu iklim koşullarına ve istenen kapasiteye göre belirlenir. Tan ve Love (2013), THID sistemlerinde daha büyük çaplı boruların kullanımı ve toprak sıcaklığının çekilen ısı üzerine etkisi ile ilgili literatür taraması yapmışlardır. Çok büyük çaplı (900 mm'den büyük) boruların sistem performansı üzerine etkisinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir [5].
- 4- **Gömme derinliği:** Gömme derinliği arttıkça toprak ve hava arasındaki sıcaklık farkı artacak ve dolayısıyla enerji alışverişi de artacaktır. Toprak derinliği arttıkça sistem kapasitesi de artmaktadır. Boruların derinliği bütün sistemin verimini etkilemektedir. Boruların 2 m derinlikte gömülmesinin yıl boyu sıcaklık ve kazma maliyeti açısından uygun olduğu söylenmektedir [6]. Fakat optimum derinliğin 3 m olduğunu söyleyenler de bulunmaktadır [7]. Gömme derinliğinin THID sıcaklık kazanımı üzerine etkisi boru uzunluğundan daha fazladır. Bununla birlikte sistem maliyeti, toprak kaya yatağı derinliği ve su kodu gibi faktörler gömme derinliğini sınırlamaktadır. Ozgener vd.

(2013), derinlik ve zamana bağlı günlük toprak sıcaklığını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir [8].

- 5- **Hava debisi:** Yüksek hava debileri sistem performansını azaltmaktadır. Çünkü bir THID'nin enerji performansı toprak ve boru içinden geçen hava arasındaki ısı transferine bağlıdır. Yüksek hava hızı çekilecek ısı açısından istenmez. Yüksek hava hızı, çıkış sıcaklığını düşürür.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ısıtma ve soğutma sistemlerine artan bir ilgi vardır. Toprak-hava ısı değiştiricileri ile havanın ısıtılması veya soğutulması, havalandırma ısı kayıplarını azaltmada ve binalarda ısı konforu artırmada önemli yaklaşım olarak görülmektedir [4]. Dolayısıyla teorik ve deneysel olarak çeşitli uygulamalar için THID sistemleri araştırılmıştır. Türkiye'de sınırlı sayıda bazı değerli bilim adamları çoğunlukla sera uygulamaları ile ilgili konu üzerinde çalışmalar yapmıştır [9-12]. Dünya'da ise daha çok THID sistem uygulamaları sayısal analizleri ile birlikte verilmiştir. Aşağıda uygulama türüne göre yapılan çalışmalar özetlenmiştir:

THID sistemleri binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma için kullanılabilir. Bununla ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur. Turgay (2013), Fransa'nın merkezinde yer alan Beaucouzé kasabasında bir villanın bahçesinde kurulmuş THID sisteminin performans sonuçlarını 2 yıllık ölçüm değerlerine göre analiz etmiştir. Ayrıca THID sistem performansı Climawin adlı bir programı ile analiz edilerek tasarımlar yapılmıştır [13]. Chiesa vd. (2014), İtalya'daki Imola şehrinde bir okul kompleksi için tasarlanan ve kurulan bir THID sisteminin 12 aylık ölçüm sonuçlarını rapor etmişlerdir. THID sisteminde toplam boru uzunluğu 2240 m, boru çapı 0,25 m'dir. Bu teknoloji, İtalya'da uygulanan en büyük uygulamalardan biridir. Hem yaz hem kışın giriş ve çıkış sıcaklığı arasında önemli farklar bulunmuştur. Üç kısımdan oluşan sistemin yaz ve kış ölçümlerine göre THID etkinlikleri 0,69-0,77, ısıtma ve soğutma COP'leri 20 ile 105 arasında değişmiştir. COP'ler literatürde karşılaşılan en yüksek değerler olup THID sistemleri ile toprak enerji potansiyelinin kullanımı açısından dikkat çekicidir [14]. Ozgener

ve Ozgener (2013), soğutma durumu için kapalı devre bir THID'in ekserjik performansı deneysel olarak incelemişlerdir. Ölçümler Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova Kampüsü'nde 2009-2011 yılları arasında alınmıştır. Ekserji verimi, farklı referans durumları için ayrıca belirlenmiştir [10]. THID olarak kompakt boru sisteminin iç hava şartlandırılmasında kullanılması Freire vd. (2013) tarafından ele alınmıştır. Kompakt gömülü boru sistemi, tek tabaka boru konfigürasyonu ile karşılaştırılmış ve parametrik analiz yapılmıştır. Kompakt gömülü boru sistemi şematik olarak gösterilmiştir. THID sisteminin ekonomik analizinde fanın enerji tüketimi çok önemli olduğu ifade edilmiştir [15]. THID sistemine evaporatif (nemlendirmeli) soğutucu eklenerek sistem etkinliğinin artırılacağı ve konfor şartlarının sağlanabileceği yapılan çalışmalardan görülmüştür [16]. Misra vd. (2012) tarafından hibrit bir THID'in ısı performans analizi yapılmıştır. THID'den alınan soğuk havanın kondenser ısısının alınmasında kullanılması bir pencere tip ikliminin enerji tüketiminde %18 azaltma yaptığı belirlenmiştir [17]. Sehli vd. (2012), Güney Cezayir şartlarında değişik derinliklerde ısıtma ve soğutma amaçlı THID'nin performansını tek boyutlu olarak sayısal olarak analiz etmişlerdir. THID sisteminin iç ortam ısı konforu tek başına sağlamayacağını fakat iklimlendirme sistemleri ile birlikte kullanılması durumunda evlerde enerji talebini Güney Cezayir'de düşüreceğini tespit etmişlerdir [18]. Ascione vd. (2011), THID'lerin İtalya şartlarındaki yaz ve kış ısı performansını ve ekonomik analizini incelemişlerdir. Teorik analiz sonuçlarına göre THID'lerin en iyi performansı soğuk iklim koşullarına sahip yerlerde gösterdikleri tespit edilmiştir. Metalik olmayan boruların daha ekonomik olduklarını ifade etmişlerdir [7]. Darkwa vd. (2011), toprak altına 1,5-3 m eğimli bir derinlikte borular (6 adet, 50 m uzunluk, 0,4 m çapında) dölşeyerek oluşturulan bir E-tube havalandırma sistemini teorik ve pratik olarak değerlendirmişlerdir. Çin, The University of Nottingham'da kurulan böyle bir THID'in binalarda enerji tasarrufu potansiyeli oluşturacağı sonucuna varılmıştır. Bu sistemin pik ısıtma ve soğutma yüküne sırasıyla %62 ve %86 pozitif katkı sağladığı ve COP değerinin 3,2-3,53 olduğu belirlenmiştir [19]. Derinlik, boru uzunluğu, hava hızı ve

boru malzemesinin hava toprak ısı değıştiricisi üzerine etkisi, İran'ın Kuzey Doğı bölgesinde (Ferdowsi University of Mashhad Kampüsü'nde) Abbaspour-Fard vd. (2011) tarafından araştırılmıştır. Yukarıda sayılan parametrelerden sadece boru malzemesinin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Sistemin COP değeri soğutma modunda 5,5, ısıtma modunda ise 3,5 olarak bulunmuştur [3]. Shukla ve ark. (2006), yeni Delhi'de bir THID'nin aylık soğutma ve ısıtma potansiyelleri ve çıkış sıcaklıkları deneysel sonuçlara göre analiz edilmiştir. 1,5 m derinlikteki sistemde çıkışın 8,9 °C sıcaklık artışı, yazın 5,9 °C sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. Aylık ısıtma ve soğutma potansiyelleri, Hindistan'ın Jodhpur, Chennai, Mumbai ve Kolkata şehirleri için de tahmin etmişlerdir [20]. Sıcak ve kurak iklimlerde THID'nin soğutma potansiyeli ve çıkış sıcaklığını tahmin etmek için teorik bir model Al-Ajmi vd. (2006) tarafından geliştirilmiştir. Analiz sonuçları Kuveyt'teki iki yerleşimde alınan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Analizlerde TRNSYS-IISIBAT kullanılmıştır. THID'in pik yükü önemli ölçüde düşürdüğü ve iç hava sıcaklığını yaz pik saatlerde (Temmuz ortalarında) 2,81 °C indirdiğı tespit edilmiştir. THID'in tipik bir evin enerji ihtiyacının pik yaz döneminde %30 düşürme potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [21]. Pfaffert (2003), Almanya'da ofis binaları için kurulmuş 3 farklı THID'ni enerji verimleri açısından değerlendirmiştir. THID'ler farklı topraklarda kurulmuştur ve boru çapları 200, 250 ve 350 mm'dir. THID sistemlerinde kontrol stratejisinin çok önemli olduğu ifade edilmiş ve ele alınan sistemlerde kapalı döngülü sıcaklık kontrol stratejisinin enerji kullanımı açısından daha uygun olduğu fakat açık sistemin daha sağlam çalışacağı belirtilmiştir [22]. Bojic vd. (1997), %100 temiz hava kullanan yazın soğutma ve kışın ısıtma yapan bir THID sistemin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Teorik çalışmanın sonucunda THID'nin binanın günlük ısıtma ve soğutma ihtiyacının bir kısmını sağladığı ve yazın kışa göre daha enerji verimli ve ekonomik olduğu bulunmuştur [23]. Mihalakakou vd. (1996), farklı toprak örtülerinin THID ısıtma potansiyeli üzerine etkisini araştırmışlardır. Dublin havaalanındaki 10 yıllık ölçümler analiz edilerek toprak örtüsü kontrol edilerek THID performansının artırılacağı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca di-

ğer parametrelerin THID performansı üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir [24].

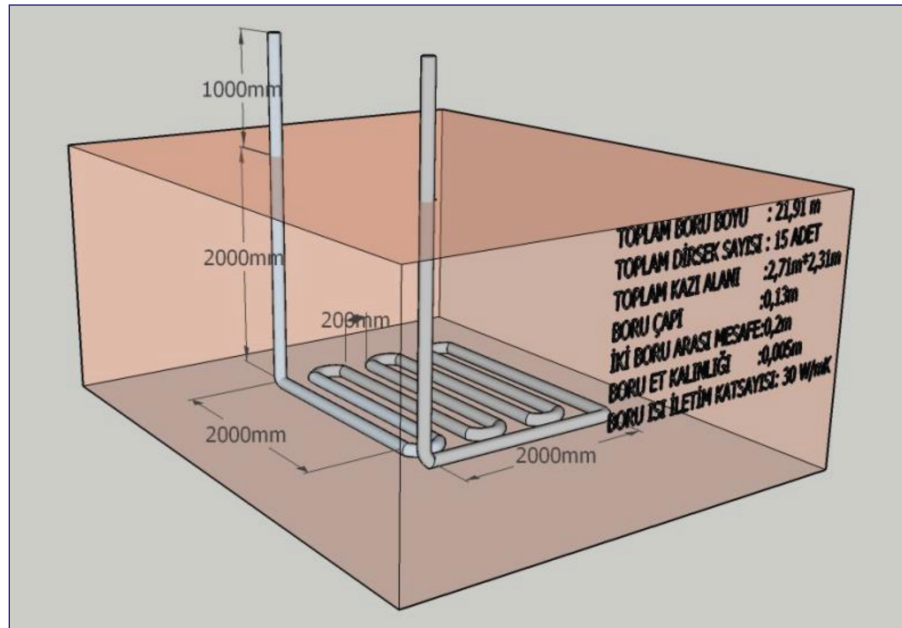
THID sistemi seralar için alternatif ve yenilenebilir bir ısıtma sistemi olarak kabul edilmektedir [25] THID'lerin seralarda kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Mongkon vd. (2013) tarafından 0,08 m çapında 38,5 m uzunluğunda PVC borular 1m derinlikte gömülmüş ve Taylant'ta 30 m²'lik sera soğutmasında kullanılmış ve yoğunlaşma problemine bakılmıştır. COP değerleri mevsimler için hesaplanmış ve yatay döşenmiş bu boru sisteminin soğutma ihtiyacının yazın %74,84'e kadarını sağladığı tespit edilmiştir. Boru içindeki yoğunlaşmanın, soğutma sonunda fan ile giderildiği tespit edilmiştir [26]. Kapalı devre modunda bulunan THID'li sera ısıtma sistemlerinin performansını modellenmesi, analizi ve değerlendirilmesi Hepbaşlı (2013) tarafından yapılmıştır. Çalışılan THID sisteminin toplam enerji verimi %72,10 ve 0 °C referans durum sıcaklığında toplam ekserji verimi değeri %19,18 olarak hesaplanmıştır [9]. Ozgener ve Ozgener (2011), İzmir'de sera ısıtılması için kullanılan bir kapalı döngülü THID'in en uygun tasarımını belirlemesini ekserjoekonomik analiz ile yapmışlardır. Bir THID için termodinamik ve ekonomik faktörlerin önemli olduğu çıkan sonuçlarla görülmüştür. Ortalama COP değeri ve ekserji verimi sırasıyla 10,51 ve %89,25 hesaplanmıştır [11]. Yıldız vd. (2011) bir serada PV entegreli THID sisteminin ekserjik performansını deneysel veriler üzerinden incelemişlerdir [12]. Hindistan Delhi'de bulunan bir seraya entegreli THID sisteminin ısıl performansı için boru uzunluğu, boru çapı, kütleli debi, derinlik ve toprak çeşidi gibi değişik parametreler göz önüne alan bir model Ghosal, ve Tiwari (2006) tarafından geliştirilmiştir. Seradaki hava sıcaklığı-

nın, THID'siz bir seraya göre, kışın 7-8 °C daha yüksek, yazın 5-6 °C daha az olduğu bulunmuştur. Sera sıcaklığının, boru uzunluğunun artırılması, boru çapının düşürülmesi, kütleli debinin azaltılması ve derinliğin 4 m'ye indirilmesi ile kışın arttığı ve yazın azaldığı tespit edilmiştir [27].

Literatür taramasından THID sistemleri üzerine deneysel, teorik ve sayısal olarak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. THID sistemine etki eden çok parametre olması ve değişik şartlarda farklı performans göstermelerinden dolayı her bir durum için ayrı ayrı çalışmalar yapılmıştır. Ancak Türkiye şartlarında yeterli çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada Şanlıurfa kış şartlarında, toprağın sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanarak bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sisteminin performansının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sisteminin performansı Şanlıurfa kış şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. 13 cm çapında ve 20 m uzunlukta galvanizli borulardan meydana gelen bir toprak-hava ısı değiştiricisi, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bahçesinde yerin 2 m altına serpantin şeklinde yerleştirilmiştir (Şekil 3). Şekil 4'te



Şekil 3. THID Sisteminde Toprağa Yerleştirilen Boruların Boyutları ve Şematik Gösterimi



Şekil 4. THID Sisteminde Boruların Yerleştirilmesi

boruların kazı alanına yerleştirilmiş hali gösterilmiştir. Toprak, yaklaşık 1 m derinliğe kadar kırmızı kil, kum ve çakıl karışımından ve 1m derinlikten sonra marn ve gevşek kalkerli malzemedir oluşmuştur [28]. Şekil 5'te THID sisteminin son hali görülmektedir. Hava giriş ve çıkış sıcaklığı, hava çıkış hızı ve 2 m derinlikteki toprak sıcaklığı ölçümleri gündüz saatlerinde Aralık 2013-Şubat 2014 tarihleri arasında alınmıştır. Değişik hava hızlarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklıklar dijital termistörlerle ve hava hızı ise pervane tipli bir hızölçerle ölçülmüştür. THID'nin performans analizi, 2 m/s, 3,7 m/s ve 4,2 m/s hızlarında incelenmiştir.

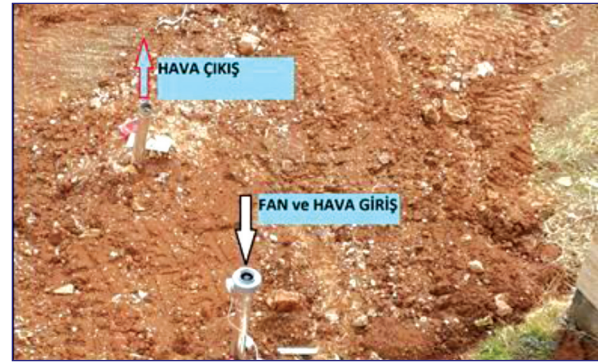
Isı değiştiricisinin etkinliği, ε , aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır [14]:

$$\varepsilon = \frac{|T_g - T_c|}{|T_t - T_g|} \quad (1)$$

Burada T_g ($^{\circ}\text{C}$), hava giriş sıcaklığı, T_c ($^{\circ}\text{C}$), hava çıkış sıcaklığı ve T_t ($^{\circ}\text{C}$) ise toprak sıcaklığıdır. Topraktan çekilen ısı miktarı, Q (W),

$$\dot{Q} = \dot{m} C_{\text{hava}} |T_g - T_c| \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada \dot{m} , havanın kütleli debisi (kg/s), C_{hava} , havanın özgül ısıdır (J/kg $^{\circ}\text{C}$). Denklem 1 ve 2'de mutlak işareti, yaz ve kışın giriş havası sıcaklığı toprak sıcaklığından veya çıkış sıcaklığından daha yüksek veya daha düşük olduğunda kullanılmıştır. THID sistemin COP değeri, topraktan çekilen veya toprağa verilen enerji miktarının (\dot{Q}),



Şekil 5. THID Sisteminin Bitmiş Hali

sistemi çalıştırmak için harcanan güce (\dot{W} , fan gücü) oranıdır [26]:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \quad (3)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 1'de ölçülen ve hesaplanan değişkenlerin istatistiksel değerleri verilmiştir. Tablodan 2 m derinlikteki toprak sıcaklığının ortalama $16,7^{\circ}\text{C}$ ve THID sisteminden çıkan havanın sıcaklığının ise ortalama $15,6^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmektedir. THID sistemine giren havanın sıcaklığının, maksimum $11,6^{\circ}\text{C}$ ve ortalama $4,8^{\circ}\text{C}$ arttığı belirlenmiştir. Sistemdeki THID'nin etkinliği ortalama 0,83 hesaplanmıştır. Sistemin maksimum COP değeri ise 14,4 olarak bulunmuştur. Hız azaldıkça çekilen ısı miktarı ve COP değerleri düşmüştür.

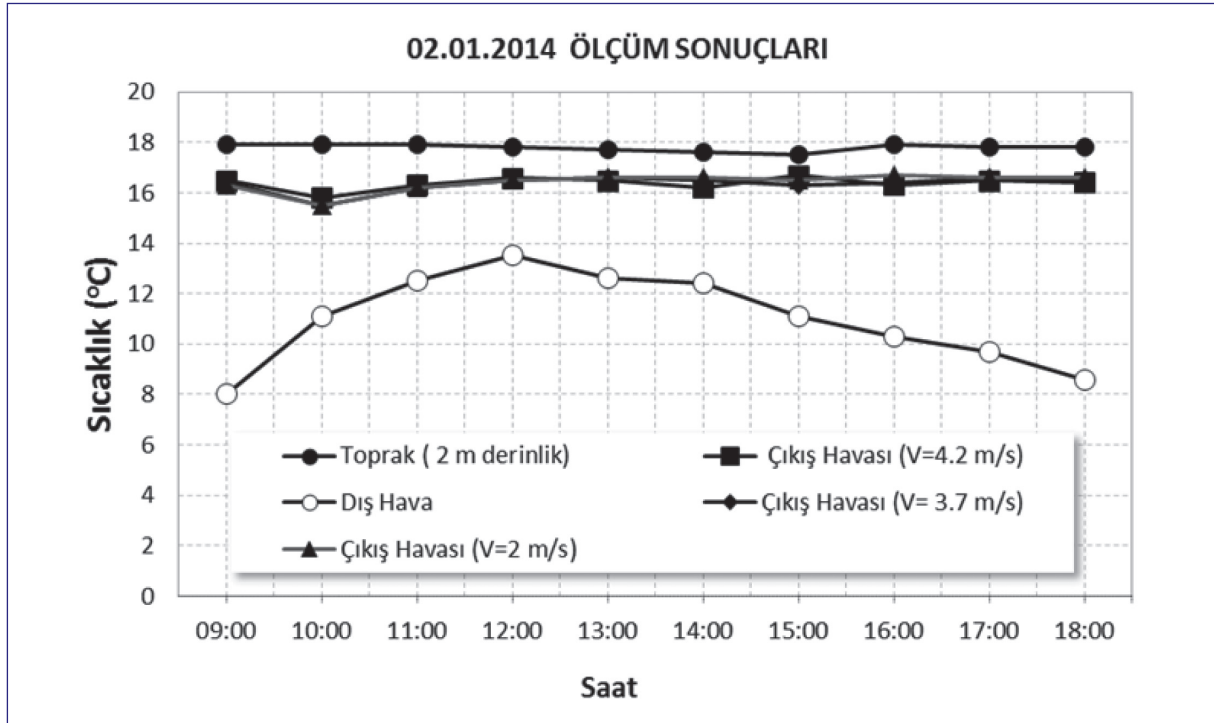
Şekil 6-9'da bazı günler için ölçüm değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekillerden, dış hava sıcaklığı gün

içerisinde değişmesine rağmen toprak sıcaklığının gün boyunca sabit olduğu görülmektedir. Ayrıca şekillerden, THID'den çıkış havasının toprak sıcaklığı-

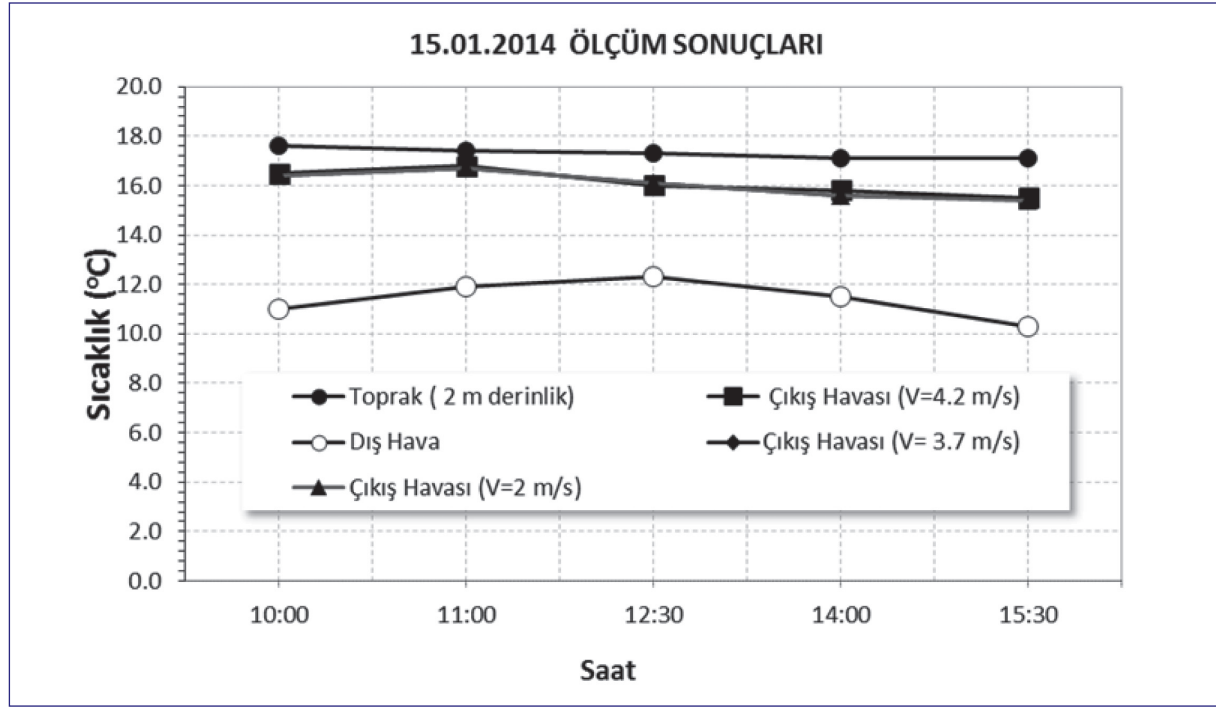
na yaklaştığı ve gün içinde hava hızı ile fazla değişmediği gözlenmiştir.

Tablo 1. Ölçülen ve Hesaplanan Değişkenlerin İstatiksel Değerleri

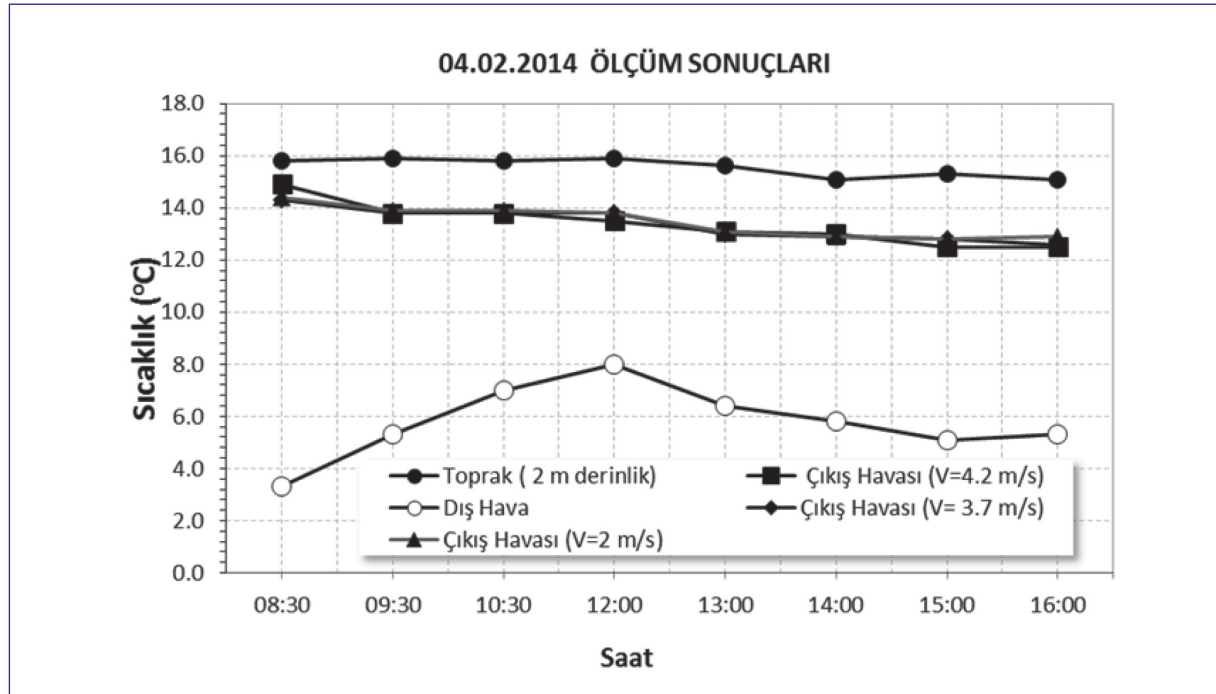
| Parametre | Maksimum | Minimum | Ortalama |
|---|----------|---------|----------|
| Hava Sıcaklığı, (°C) | 15.1 | 3.3 | 10.8 |
| Toprak Sıcaklığı, (°C) | 17.9 | 15.1 | 16.7 |
| Çıkış Hava Sıcaklığı, (°C) (4,2 m/s) | 17.3 | 12.5 | 15.6 |
| Çıkış Hava Sıcaklığı, (°C) (3,7 m/s) | 17.3 | 12.6 | 15.6 |
| Çıkış Hava Sıcaklığı, (°C) (2 m/s) | 17.3 | 12.8 | 15.7 |
| Çıkış ve Giriş Hava Sıcaklığı Farkı, (°C) | 11.6 | 0.7 | 4.8 |
| Etkinlik, ϵ | 1.00 | 0.69 | 0.83 |
| Çekilen Isı miktarı, Q, (W) (4,2 m/s) | 793 | 48 | 326 |
| Çekilen Isı miktarı, Q, (W) (3,7 m/s) | 663 | 78 | 295 |
| Çekilen Isı miktarı, Q, (W) (2 m/s) | 357 | 23 | 156 |
| COP (4,2 m/s) | 14.4 | 0.9 | 5.9 |
| COP (3,7 m/s) | 12.1 | 1.4 | 5.4 |
| COP (2 m/s) | 4.0 | 0.3 | 1.7 |



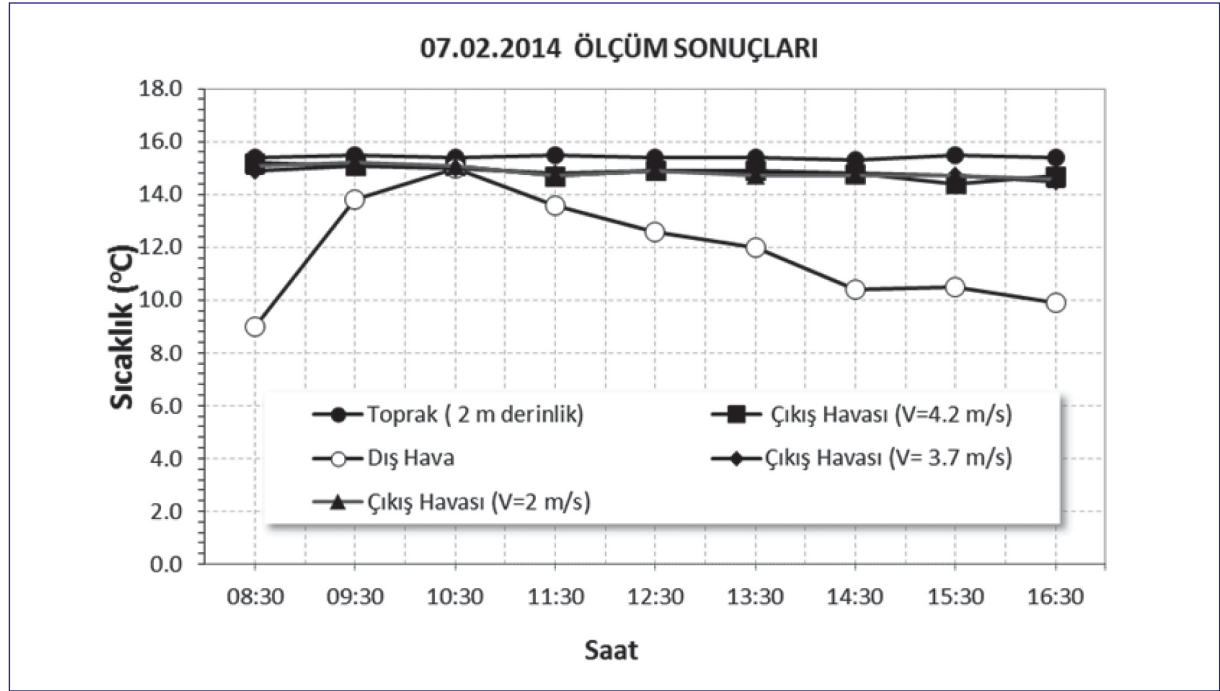
Şekil 6. 2 Ocak 2014 Tarihi İçin Ölçüm Değerlerinin Gün Boyunca Değişimi



Şekil 7. 15 Ocak 2014 Tarihi İçin Ölçüm Değerlerinin Gün Boyunca Değişimi



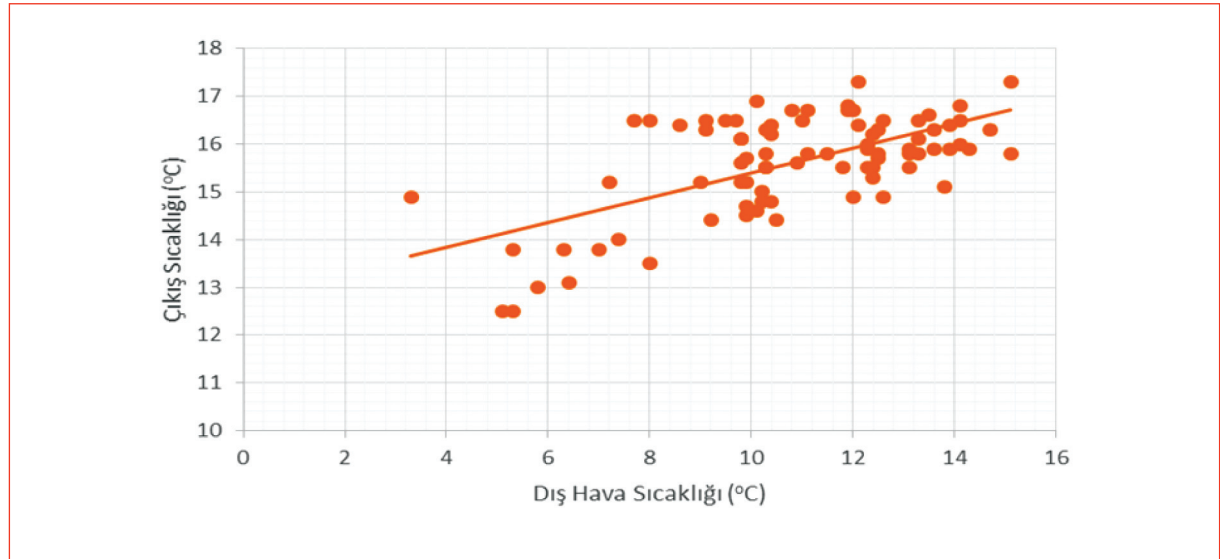
Şekil 8. 4 Şubat 2014 Tarihi İçin Ölçüm Değerlerinin Gün Boyunca Değişimi



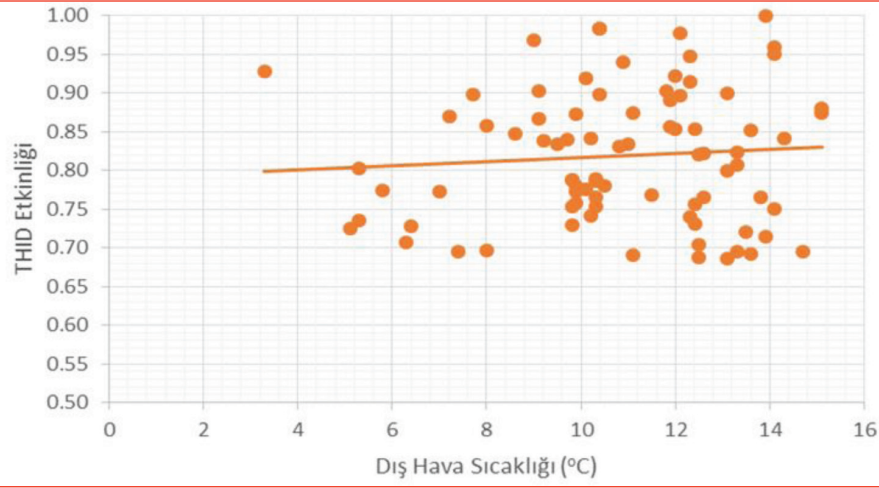
Şekil 9. 7 Şubat 2014 Tarihi İçin Ölçüm Değerlerinin Gün Boyunca Değişimi

Çıkış sıcaklığının dış hava sıcaklığı ile değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden, dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Şekil 11'de dış hava sıcaklığının THID etkinliği üzerine etkisinin çok net olmadığı görülmüştür. Dış hava

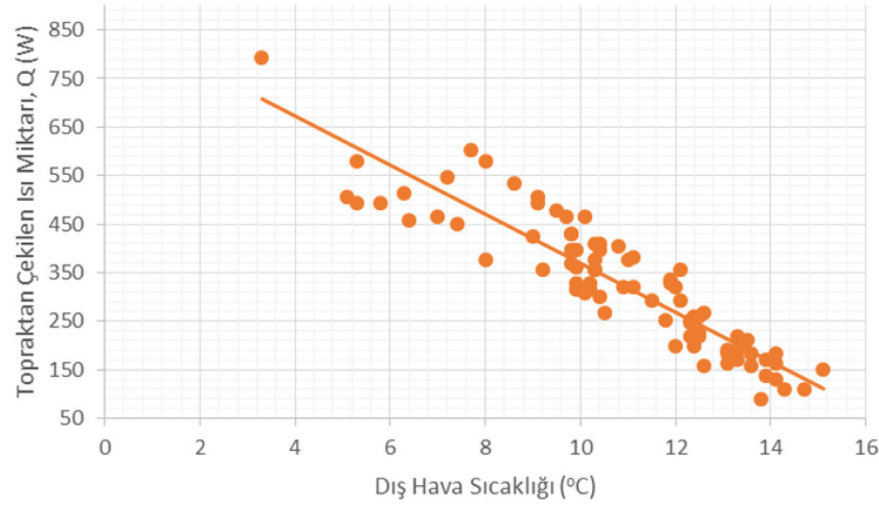
sıcaklığı arttıkça topraktan çekilen ısının (Şekil 12) ve sistem COP katsayısının (Şekil 13) düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum THID sistemlerinin soğuk bölgeler için daha uygun olduğunu göstermektedir.



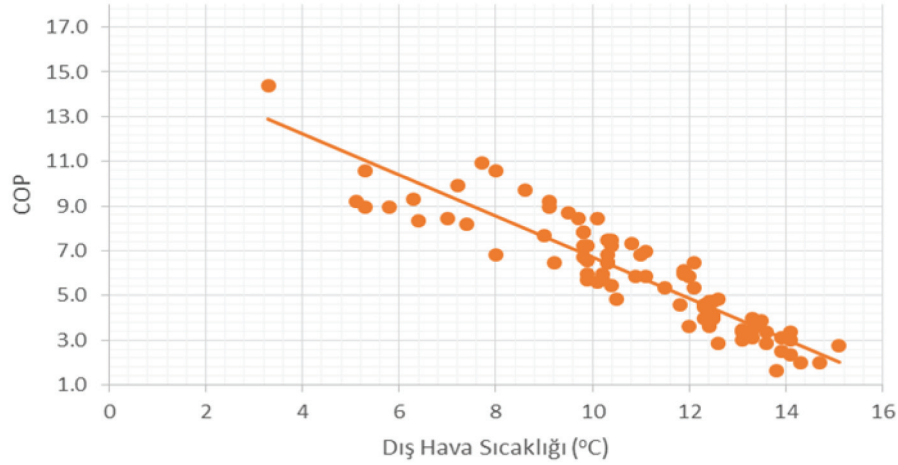
Şekil 10. Çıkış Sıcaklığının Dış Hava Sıcaklığı ile Değişimi



Şekil 11. THID Etkinliğinin Dış Hava Sıcaklığı ile Değişimi



Şekil 12. Topraktan Çekilen Isı Miktarının Dış Hava Sıcaklığı İle Değişimi



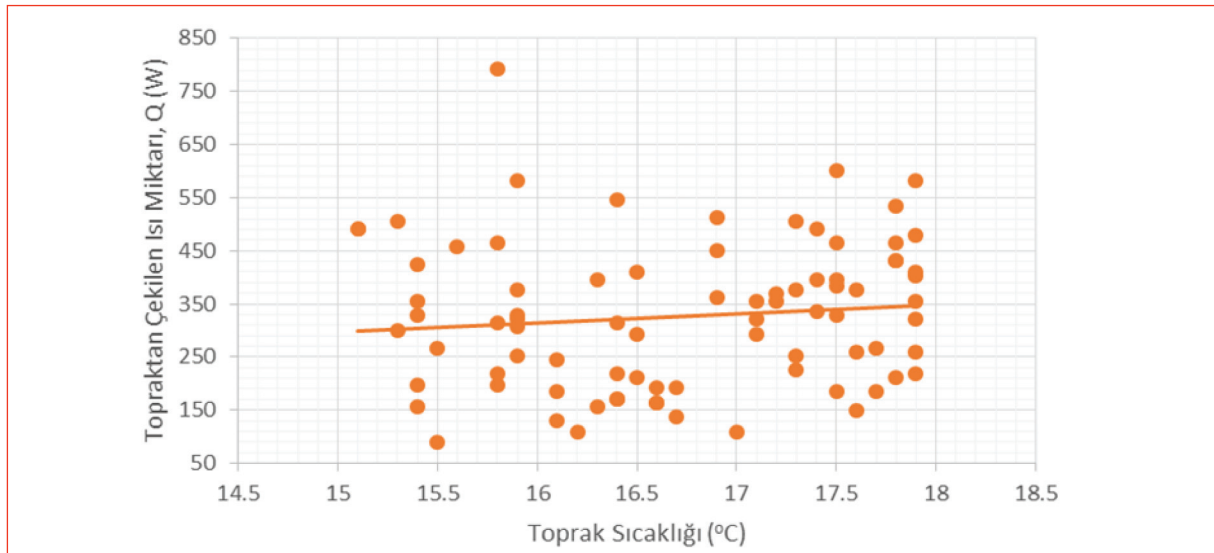
Şekil 13. COP Değerinin Dış Hava Sıcaklığı ile Değişimi

Toprak sıcaklığının çekilen ısı miktarı üzerine etkisi Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, toprak sıcaklığı değişim aralığının 3 °C olmasından dolayı çekilen ısı miktarına net bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde THID etkinliğinin çekilen ısı miktarının üzerine bir etkisi gözlenmemiştir (Şekil 15).

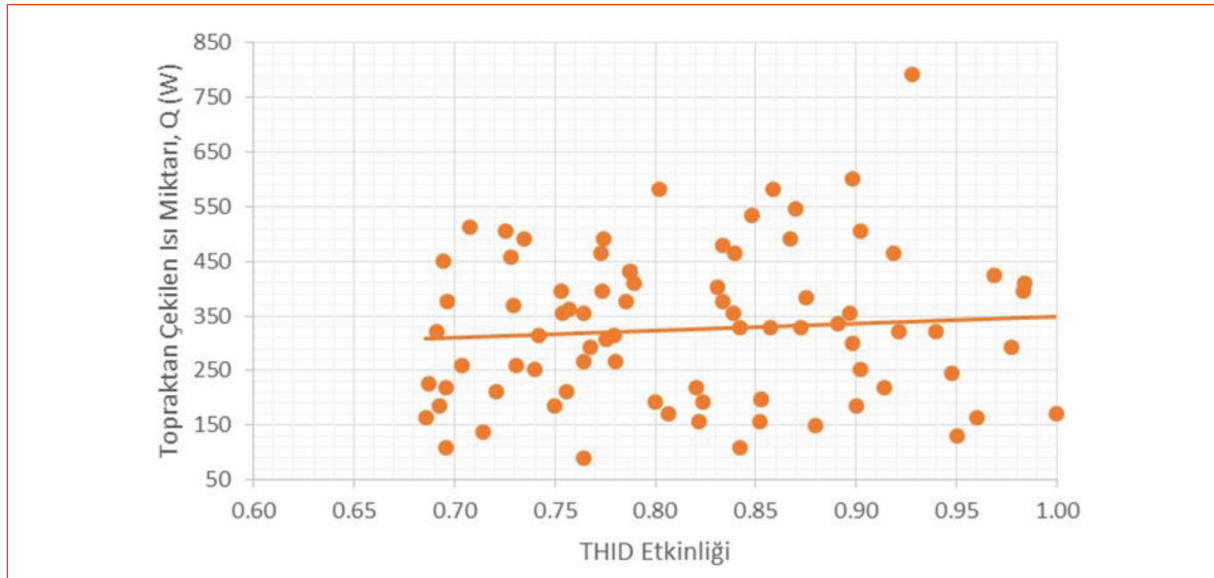
SONUÇ

Şanlıurfa kış şartlarında toprağın sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanarak bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sisteminin performansı incelenmiş-

tir. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında alınan ölçümlere göre 2 m derinlikteki toprak sıcaklığının ortalama 16,7 °C ve THID sisteminden çıkan havanın sıcaklığının ise ortalama 15,6 °C olduğu görülmüştür. THID sisteminin hava sıcaklığını 4,8 °C artırdığı belirlenmiştir. Sistemdeki THID'nin etkinliği ortalama 0,83 hesaplanmıştır. Sistemin maksimum COP değeri ise 14,4 olarak bulunmuştur. Hız azaldıkça çıkış sıcaklığının önemli bir şekilde değişmediği ancak kütleli debinin düşmesi ile çekilen ısı miktarının azaldığı ve COP değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 14. Topraktan Çekilen Isı Miktarının Toprak Sıcaklığı ile Değişimi



Şekil 15. Topraktan Çekilen Isı Miktarının THID Etkinliği ile Değişimi

Dış hava sıcaklığı arttıkça çıkış sıcaklığının da arttığı görülmüştür. Dış hava sıcaklığının THID etkinliği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Dış hava sıcaklığı arttıkça topraktan çekilen ısı miktarının ve sistem COP değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, THID sistemlerinin kış konumunda soğuk bölgeler için daha uygun olduğunu göstermektedir. Toprak sıcaklığının, çekilen ısı miktarı ve THID etkinliği üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmemiştir. Sonuç olarak THID sisteminin ısıtma konumunda iyi performans gösterdiği ve ısıtma ve havalandırma uygulamaları açısından enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Çengel, Y. A. Ve Boles, M. A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2008.
- [2] Podesta, M., “Ground Source Heat Pumps Are Solar Powered”. <https://protonsforbreakfast.wordpress.com/tag/solar/>, Son Erişim Tarihi: 24 Mart 2014.
- [3] Abbaspour-Fard, M. H., Gholami, A., Khojastehpour M., “Evaluation Of An Earth-To-Air Heat Exchanger For The North-East Of Iran With Semi-Arid Climate”, International Journal Of Green Energy, 8:4, 499-510, 2011.
- [4] Peretti, C., Zarrella, A., De Carll, M., Zecchin, R., “The Design And Environmental Evaluation Of Earth-To-Air Exchangers (Eahe). A Literature Review”, Renewable And Sustainable Energy Reviews 28, 107–116, 2013.
- [5] Tan, L., Love, J. A., “A Literature Review On Heating Of Ventilation Air With Large Diameter Earth Tubes In Cold Climates”, Energies 6, 3734-3743, 2013.
- [6] Badescu, V., “Simple And Accurate Model For The Ground Heat Exchanger Of A Passive House”, Renewable Energy, 32, 845-855, 2007.
- [7] Ascione, F., Bellia, L., Minichiello, F., “Earth-To-Air Heat Exchangers For Italian Climates”, Renewable Energy, 36, 2177-2188, 2011.
- [8] Ozgener, O., Ozgener, L., Tester, J. W., “A Practical Approach To Predict Soil Temperature Variations For Geothermal (Ground) Heat Exchangers Applications”, International Journal Of Heat And Mass Transfer, 62, 473–480, 2013.
- [9] Hepbaslı, A., “Low Exergy Modelling And Performance Analysis Of Greenhouses Coupled To Closed Earth-To-Air Heat Exchangers (Eahes)”, Energy And Buildings, 64, 224–230, 2013.
- [10] Ozgener, O., Ozgener, L., “Three Cooling Seasons Monitoring Of Exergetic Performance Analysis Of An Eahe Assisted Solar Greenhouse Building”, Journal Of Solar Energy Engineering-Transactions Of The Asme, 135:2, 021008-1-7, 2013.
- [11] Ozgener, O., Ozgener, L., “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, 2011.
- [12] Yıldız, A., Ozgener, O., Ozgener, L., “Exergetic Performance Assessment Of Solar Photovoltaic Cell (Pv) Assisted Earth To Air Heat Exchanger (Eahe) System For Solar Greenhouse Cooling”, Energy And Buildings, 43, 3154–3160, 2011.
- [13] Turgay, B., “Eahx (Toprak-Hava Isı Eşanjörü)”, II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı, 307-315, 2013.
- [14] Chiesa, G., Simonetti, M., Grosso M., “A 3-Field Earth-Heat-Exchange System For A School Building In Imola, Italy: Monitoring Results”, Renewable Energy, 62, 563-570, 2014.
- [15] Freire, A.D. J., Alexandre, J. L.C., Silva, V. B., Couto, N. D, Rouboa, A., “Compact Buried Pipes System Analysis For Indoor Air Conditioning”, Applied Thermal Engineering, 51, 1124-1134, 2013.
- [16] Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G. D., Mathur, J., “Performance Evaluation And Economic Analysis Of Integrated Earth–Air–Tunnel Heat Exchanger–Evaporative Cooling System”, Energy And Buildings, 55,102–108, 2012.
- [17] Misra, R., Bansal, B., Agarwal, G. D., Mathur, J., Aseri, T., “Thermal Performance Investigation Of Hybrid Earth Air Tunnel Heat Exchanger”, Energy And Buildings, 49, 531–535, 2012.
- [18] Sehli, A., Hasnı, A., Tamalı, M., “The Potential

- Of Earth-Air Heat Exchangers For Low Energy Cooling Of Buildings In South Algeria” *Energy Procedia*, 18, 496 – 506, 2012.
- [19] Darkwa, J., Kokogiannakis, G., Magadzire, C. L., Yuan, K., “Theoretical And Practical Evaluation Of An Earth-Tube (E-Tube) Ventilation System”, *Energy And Buildings*, 43, 728–736, 2011.
- [20] Shukla, A., Tiwari, G. N., Sodha, M. S., “Parametric And Experimental Study On Thermal Performance Of An Earth–Air Heat Exchanger”, *International Journal Of Energy Research*, 30, 365–379, 2006.
- [21] Al-Ajmi, F., Loveday, D. L., Hanby, V. I., “The Cooling Potential Of Earth–Air Heat Exchangers For Domestic Buildings In A Desert Climate”, *Building And Environment*, 41, 235–244, 2006.
- [22] Pfafferoth, J., “Evaluation Of Earth-To-Air Heat Exchangers With A Standardised Method To Calculate Energy Efficiency”, *Energy And Buildings*, 35, 971–983, 2003.
- [23] Bojic, M., Trifunovic, N., Papadakis, G., Kyritsis, S., “Numerical Simulation, Technical And Economic Evaluation Of Air-To-Earth Heat Exchanger Coupled To A Building”, *Energy*, 22:12, 1151-1158, 1997.
- [24] Mihalakakou, G., Lewis J. O., Santamouris, M., “The Influence Of Different Ground Covers On The Heating Potential Of Earth To Air Heat Exchangers”, *J. Renewable Energy*, 7, 33-46, 1996.
- [25] Sethi, V. P., Sumathy K., Lee, C., Pal, D.S., “Thermal Modeling Aspects Of Solar Greenhouse Microclimate Control: A Review On Heating Technologies”, *Solar Energy*, 96, 56–82, 2013.
- [26] Mongkon, S., Thepa, S., Namprakai, P., Pratinthong, N., “Cooling Performance And Condensation Evaluation Of Horizontal Earth Tube System For The Tropical Greenhouse”, *Energy And Buildings*, 66, 104–111, 2013.
- [27] Ghosal, M. K., Tiwari, G. N., “Modeling And Parametric Studies For Thermal Performance Of An Earth To Air Heat Exchanger Integrated With A Greenhouse”, *Energy Conversion And Management*, 47, 1779–1798, 2006.
- [28] Yeşilnacar, M. I., Süzen, M. L., Genç, B., Doyuran V., “Municipal Solid Waste Landfill Site Selection For The City Of Sanliurfa-Turkey: An Example Using Mcda Integrated With Gis”, *International Journal Of Digital Earth*, 5/2, 147-164, 2012.