



Investigation of the effect of different materials on thermal performance of earth - air heat exchanger (EAHX)

Hüsamettin Bulut^{1*}, Yunus Demirtaş¹, Nesrin İlgin Beyazıt²

¹Department of Mechanical Engineering, Harran University, Şanlıurfa, 63190, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Dicle University, Diyarbakır, 21280, Turkey

Highlights:

- The effect of pipe materials used in the earth - air heat exchanger (EAHX) on thermal performance
- The comparison of different materials in heating and cooling conditions
- The effect of soil and outdoor temperatures with different materials on the thermal performance of EAHX

Keywords:

- Earth-air heat exchanger
- heating
- cooling
- material

Graphical/Tabular Abstract

The use of renewable energy sources in heating, cooling and ventilation applications increases and leads to reduce the energy consumption in buildings. Earth - Air Heat Exchanger (EAHX) systems utilize the thermal energy of the soil and can reduce energy use in buildings. In this study, the effect of different materials usage on EAHX systems was examined. The thermal performance of two EAHX systems using PVC and metal pipes at 3 m soil depth were investigated experimentally under Şanlıurfa climatic conditions.

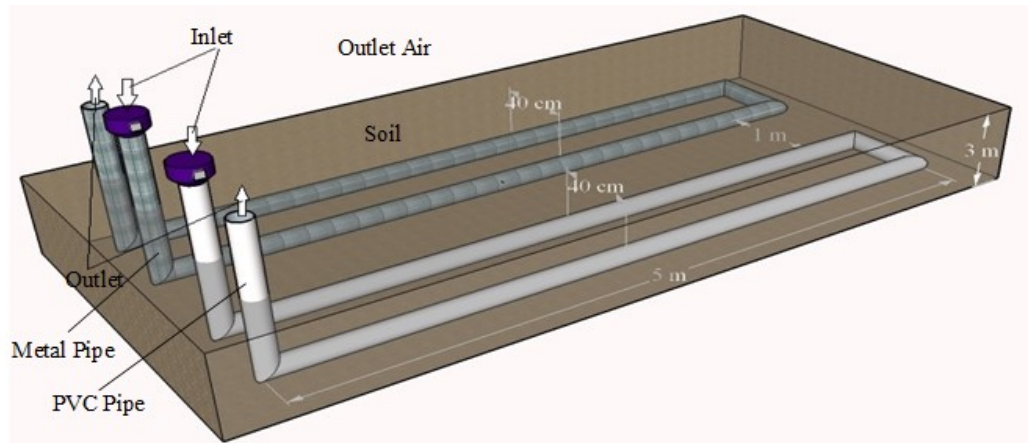


Figure A. Schematic drawing of the EAHX systems

Article Info:

Received: 10.04.2017

Accepted: 03.07.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416446

Acknowledgement:

This study was supported by HUBAK (Project No: 14145). The authors thank to HUBAK(Harran University Scientific Research Projects Coordinator)

Correspondence:

Author: Hüsamettin BULUT
e-mail:
hbulut@harran.edu.tr
phone:+90 414 318 3798

Purpose: In this study, it is aimed to investigate the effect of different material usage on performance of EAHX systems.

Theory and Methods:

In this study, two EAHX systems made of PVC and metal pipe were established at a depth of 3 m in the area belonging to the Harran University. Duct type radial fans with the same specifications were used in both EAHX systems. Measurements were taken from the systems for one year and the analyses were made separately for the heating conditions (winter period) and the cooling conditions (summer period).

Results:

The temperature measurement results of EAHX systems in heating conditions were examined and it was understood that especially in the time interval of low outside temperature, the temperature of the metal pipe EAHX system is 1 or 2°C higher than the other. In the June, July, August and September months, which were selected as the cooling season, it was seen that the metal pipe outlet temperature was about 5°C lower than the PVC pipe outlet temperature in the time period of high outdoor temperature.

Conclusion:

It has been determined that the metal pipe EAHX system has better thermal performance than the EAHX system with PVC pipe. In addition, when the temperature difference between the outside air and soil is low, it is observed that the output temperatures of metal and PVC systems are very close to each other.



Farklı malzemelerin toprak–hava ısı değiştiricisinin (THID) ısı performansına etkisinin incelenmesi

Hüsamettin Bulut^{1*}, Yunus Demirtaş¹, Nesrin İlgin Beyazıt²

¹Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63190, Türkiye

²Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, 21280, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Toprak hava ısı değiştiricisinde (THID) kullanılan boru malzemesinin ısı performansına etkisi
- Farklı malzemenin ısıtma ve soğutma durumunda karşılaştırılması
- Toprak ve dış hava sıcaklık parametrelerinin farklı malzeme ile birlikte THID ısı performansına etkisi

Makale Bilgileri

Geliş: 10.04.2017

Kabul: 03.07.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416446

Anahtar Kelimeler:

Toprak – hava ısı
değiştiricisi,
ısıtma,
soğutma,
malzeme

ÖZET

Günümüzde ülkeler, enerji ihtiyacını başta fosil kaynaklar olmak üzere farklı enerji kaynaklardan karşılamaya çalışmaktadırlar. Binalardaki enerji sarfiyatını azaltmak için ısıtma, soğutma ve havalandırma uygulamalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Toprak – Hava Isı Değiştiricisi (THID) sistemleri toprağın sahip olduğu ısı enerjisiyi kullanan ve binalarda enerji kullanımını azaltan sistemlerdir. Bu çalışmada, THID sistemlerinde farklı malzeme kullanımının sistem ısı performansına etkisi incelenmiştir. PVC ve metal boruların kullanıldığı ve 3 m toprak derinliğindeki iki THID sistemi, Şanlıurfa iklim şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. Bir yıl boyunca sistemlerden ölçümler alınmış ve analizler ısıtma durumu (kış dönemi) ve soğutma durumu (yaz dönemi) için ayrı ayrı yapılmıştır. THID sistemlerine ait COP, etkinlik, topraktan çekilen ısı miktarı ve soğutma kapasiteleri belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin PVC malzeme kullanılan THID sistemine göre ısı performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Metal malzemeden yapılmış THID sisteminden elde edilen en yüksek COP değerinin yaz döneminde 9 ve kış döneminde ise 6 olduğu ve ortalama sistem etkinlik değerinin kış döneminde 0,5'in altında ve yaz döneminde 0,5-0,9 arasında olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda topraktan çekilen ısı miktarının ortalama 500 W, soğutma kapasitesinin ise ortalama 800 W olduğu belirlenmiştir.

Investigation of the effect of different materials on thermal performance of earth - air heat exchanger (EAHX)

H I G H L I G H T S

- The effect of pipe materials used in the earth - air heat exchanger (EAHX) on thermal performance
- The comparison of different materials in heating and cooling conditions
- The effect of soil and outdoor temperatures with different materials on the thermal performance of EAHX

Article Info

Received: 10.04.2017

Accepted: 03.07.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416446

Keywords:

Earth-air heat exchanger,
heating,
cooling,
material

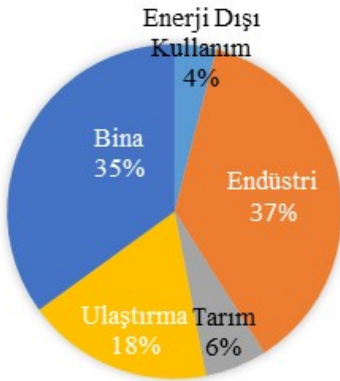
ABSTRACT

Today, countries try to meet their energy needs from different energy sources, primarily fossil resources. The use of renewable energy sources in heating, cooling and ventilation applications increases and leads to reduce the energy consumption in buildings. Earth - Air Heat Exchanger (EAHX) systems utilize the thermal energy of the soil and can reduce energy use in buildings. In this study, the effect of different materials usage on EAHX systems was examined. The thermal performance of two EAHX systems using PVC and metal pipes at 3 m soil depth were investigated experimentally under Şanlıurfa climatic conditions. Measurements were taken from the systems for one year and the analyses were made separately both for the heating conditions (winter period) and the cooling conditions (summer period). The coefficient of performance (COP), effectiveness, amount of heat extracted from the soil and cooling capacity of EAHX systems were determined and the results were compared with each other. It was found that the EAHX system with metal material has higher thermal performance than EAHX system with PVC material. It was determined that the maximum COP value obtained from the EAHX system made of metal material was 9 in summer and 6 in winter and the mean efficiency value of this system is below 0.5 in winter season and between 0.5 and 0.9 in summer season. At the same time, it was calculated that the amount of heat extracted from the soil was 500 W and the cooling capacity was 800 W on average.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: hbulut@harran.edu.tr / Tel: +90 414 3183798

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

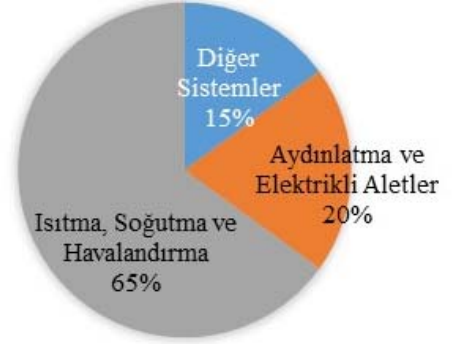
Ülkelerin artan enerji ihtiyaçlarını fosil enerji kaynaklardan karşılamaya çalışmaları birçok probleme neden olmaktadır. Çünkü fosil yakıtların artan maliyetleri, tükenme eğiliminde olmaları ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri küresel düzeyde problem haline gelmiştir. Günümüzde devam eden ekonomik gelişme ve artan yaşam kalitesi sonucu olarak Türkiye’de enerjiye her alanında hızlı bir talep artışı meydana getirmektedir. Türkiye, gelişmekte olan ülkeler içerisinde enerji talebinin en hızlı arttığı ülkeler arasında yer almaktadır. Dolayısıyla ülkemizde enerjinin verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili konular son zamanlarda en önemli gündem maddeleri arasına girmiştir. Türkiye’de nihai enerji tüketiminin %35’i binalarda gerçekleşmektedir (Şekil 1). Binalarda ise ısıtma, soğutma ve havalandırmaya harcanan enerji Şekil 2’de görüldüğü gibi %65 oranındadır. Enerjide yaklaşık %75 dışa bağımlı olan Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının ısıtma, soğutma ve havalandırma uygulamalarında kullanımının artması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve çevrenin korunması açısından önemlidir. Ozon tabakasının incelenmesi, özellikle kloroflorokarbonlar(CFC)’in sebep olduğu küresel ısınma ve yüksek maliyetli enerji tüketiminin azaltılması ihtiyacı nedeniyle; alternatif enerji kaynakları araştırılmaktadır [1].



Şekil 1. Türkiye enerji tüketim oranları
(Turkey energy consumption rates)

Toprak enerjisi eskiden beri bilinen bir ısı kaynağıdır ve bu enerjiyi kullanmak için eskiden beri birçok farklı yöntem denenmiştir. Toprak sıcaklığının ortam havasına göre yıl boyu sıcaklık değişiminin az olması, yaz ve kış dönemlerinde bu enerji kaynağının kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Toprak sıcaklığı, belli bir toprak derinliğinde kışın dış ortam hava sıcaklığından daha yüksek ve yazın ise daha düşüktür. Bu sıcaklık farkı kullanılarak, hava, toprağa gömülmüş kanal veya borulardan geçirilerek, yazın soğutulur, kışın ise ısıtılır. Toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sistemleri temelde fan, filtre ve havanın içinden geçtiği toprak altına yerleştirilmiş boru sisteminden meydana gelir [2]. Kış aylarında binaların ısıtma yükünü

azaltan, yaz aylarında ise soğutma yükünü azaltan THID sistemleri son zamanlarda kullanılan yöntemlerden biridir [3].



Şekil 2. Binalarda enerji tüketim oranları
(Energy consumption rates in buildings)

Jakhar vd. [4], tarafından Hindistan’ın Ajmer şehrinde yapılan çalışmada THID sisteminin kış şartlarında ısı konfor gereksinimlerini karşılamak için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Ancak sisteme güneş enerjili hava ısıtma kanalı entegre edilerek THID sisteminin sahip olduğu ısıtma potansiyelinin artırıldığı gözlemlenmiştir. Çalışmada farklı hava hızı, boru uzunluğu ve toprak derinliğinde yapılan çalışmanın güneş enerjili hava ısıtma kanalı kullanılan ve kullanılmayan durumları karşılaştırılmıştır. Deneysel ve simülasyon sonuçlarına göre 3,7 m toprak derinliği, 34 m boru uzunluğu ve 5 m/s hava hızının en uygun değerler olduğu sonucuna varılmıştır. Yaz döneminde sıcak ve kuru iklim şartlarına sahip Şanlıurfa ilinde Bulut vd. [5], tarafından yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre; THID’ nin iyi bir ısı performans gösterdiği ve soğutma ve havalandırma uygulamalarında enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Daloğlu [6], tarafından yapılan çalışmada, Ankara ilinde bulunan bir evin soğutma ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan bir THID sistemi ile ilgili araştırma yapılmıştır. Çalışmada 4 m derinlikte toprak sıcaklığının 14 °C’de sabit kaldığı kabul edilmiştir. Evin soğutma yükü belirlendikten sonra THID’ nin boru uzunluğu; farklı çap ve farklı malzeme durumları için hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlar teorik sonuçlarla ve literatürdeki benzer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. THID sistemlerinin bir evin soğutma ihtiyacını karşılayabileceği ifade edilmiştir. THID ile havanın ısıtılması ile ilgili olarak Bulut vd. [7] tarafından Şanlıurfa ilinde yapılan çalışmada, bir THID sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. 13 cm çapında ve 20 m uzunlukta galvanizli borulardan meydana gelen toprak-hava ısı değiştiricisinin serpantin şeklinde yerin 2 m altına yerleştirildiği çalışmada; hava giriş ve çıkış 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. Şanlıurfa kış şartlarında yapılan çalışmanın sonucunda THID sisteminin ısıtma konumunda iyi performans gösterdiği ve enerji verimliliği açısından ısıtma - havalandırma uygulamalarında kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Chiesa vd. [8], bir okul yerleşkesi için tasarlanan ve kurulan bir THID sisteminin 12 aylık ölçüm sonuçlarını incelemişlerdir. THID sistemine ait toplam boru uzunluğunun 2240 m, boru çapının 0,25 m olduğu çalışma; İtalya'da yapılan en büyük uygulamalardan biridir. Hem yaz hem de kış döneminde giriş ve çıkış sıcaklığı arasında önemli farklar bulunmuştur. Üç kısımdan oluşan sistemin yaz ve kış ölçümlerine göre THID etkinliğinin 0,69-0,77, ısıtma ve soğutma COP'lerinin 20 ile 105 arasında değişmiştir. Sisteme ait COP değerlerinin literatürde karşılaşılan en yüksek değerlerden olduğu belirlenmiştir. Mongkon vd. [9], tarafından Tayland'da 30 m²'lik bir seranın soğutulması için 38,5 m uzunluğunda PVC borular 1 m toprak derinliğine yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. COP değerleri yaz, kış ve muson dönemi için sırasıyla 3,56, 2,04 ve 0,77 olarak hesaplanmıştır. Sistemin; seranın soğutma ihtiyacını yazın %74,84'e kadar sağladığı tespit edilmiştir. Soğutma sonunda fanın çalışması ile boru içindeki ihmal edilebilir yoğunlaşmanın giderilmesi için ilave bir avantaj sağladığı belirtilmiştir. Avustralya'da yapılan deneysel çalışmada yatay toprak-boru soğutma sistemi ile soğutulan bir konteyner ile dikey toprak-boru soğutma sistemi ile soğutulan bir konteyner karşılaştırılmıştır. Sistemlerde PVC malzeme kullanılmıştır. Hava hızı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve toprak sıcaklığının soğutma performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği çalışmada ANSYS Fluent kullanılarak model geliştirilmiştir. Dikey toprak-boru soğutma sisteminin daha yüksek bir soğutma kapasitesine sahip olduğu belirtilen çalışmada toprak-boru soğutma sistemlerinin enerji verimliliğinin yanında maliyet açısından uygun ve çevre dostu bir teknik olduğu tespit edilmiştir [10].

Isıtma, soğutma ve seralarla ilgili yapılan pek çok çalışmada THID sistemlerinin uygulanabilirliği net bir şekilde ortaya konulmaktadır. Ancak bu çalışmaların önemli bir kısmı sadece yapılan sistemin uygunluğunu değerlendirmektedir [11-13]. THID sisteminin performansına etki eden toprak sıcaklığı, boru uzunluğu, derinlik, hava hızı ve malzeme gibi birçok parametre bulunmaktadır. Literatürde farklı malzeme kullanılarak yapılan çalışmalarla karşılaşılmaktadır. PVC, polietilen, beton ve kil malzemenin kullanıldığı çalışmada hava hızı, boru uzunluğu, boru çapı, toprak derinliği ve boru kalınlığı sabit alınmıştır. Yaz döneminde yapılan çalışmada en düşük ısı iletkenliğe sahip PVC malzemenin, en yüksek çıkış sıcaklığına sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda en düşük çıkış sıcaklığına sahip olan kil malzemenin uygun olduğu ifade edilmiştir [14]. Uddin vd. [15] tarafından Bangladeş'te yapılan çalışmada metal

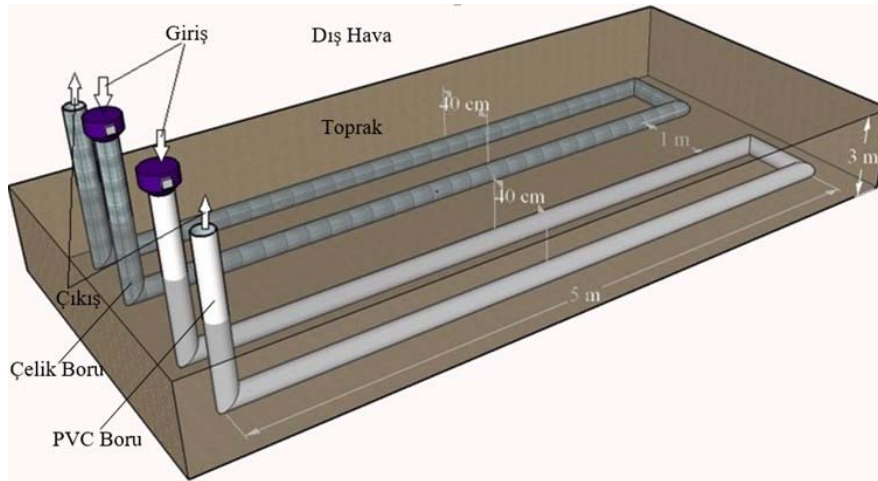
malzeme kullanılan sistemin evsel ve endüstriyel uygulamalar için kurulması önerilmiştir. İran'da yapılan çalışmada ise malzemenin THID performansına önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir [16]. Ascione vd. [17] nın İtalya iklim şartlarında PVC, metal ve beton boru kullanarak yaptıkları çalışmada malzemenin performans üzerine etkisinin önemsiz olduğu ifade edilmiştir. Deneysel uygulamanın yanında matematiksel ve simülasyon modelin geliştirildiği, bakır, çelik ve PVC malzemenin karşılaştırıldığı çalışmada çıkış havası sıcaklıkları sırasıyla 19,8, 19,8 ve 19,7 olarak hesaplanmıştır. Farklı boru malzemelerinin çıkış havası sıcaklığındaki değişimleri, fiyatları ile karşılaştırıldığında ihmal edilebileceği ifade edilmiştir [18]. Bojic vd. [19] ve Bansal vd. [20] yaptıkları çalışmalarda malzemenin THID performansına etkisine değinmişlerdir. Ancak doğrudan malzemenin etkisi ile ilgili yapılan çalışmalara rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, THID sistemlerinde farklı malzeme kullanımının performansa etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Şanlıurfa iklim şartlarında PVC ve metal boruların kullanıldığı 3 m toprak derinliğindeki aynı boyutlardaki iki adet THID sisteminde performans katsayısı (COP), etkinlik, topraktan çekilen ısı miktarı ve soğutma kapasitesi gibi parametreler analiz edilmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada, PVC ve metal boru malzemesinden yapılmış ve aynı boyutlarda olan iki adet THID sistemi Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi Makina Mühendisliği Bölümüne ait alan içinde 3 m derinlikte kurulmuştur. THID ile ilgili yapılan çalışmalarda genel olarak metal ve PVC borular kullanılmıştır [21-23]. Metal malzemeye göre PVC malzemesinin ısı iletim katsayısı daha düşük ve dış yüklerle karşı daha az dayanıklıdır. Ancak, metal borulara göre daha ucuz, korozyona karşı daha dayanıklı olmaları ve kolay montajlarından dolayı PVC borular metal borularla karşılaştırmak için bu çalışmada kullanılmıştır. Şekil 3'te THID sistemlerinin boyutları şematik resim üzerinde gösterilmiştir. THID' nin yataydaki boru yüzey alanı 10 m²'dir. Toprak, yaklaşık 1 m derinliğe kadar kırmızı kil, kum ve çakıl karışımından ve 1 m derinlikten sonra marn ve gevşek kalkerli malzemeden oluşmuştur [24].

Deneysel çalışmada kullanılan boru malzemelerine ait fiziksel özellikler Tablo 1'de gösterilmektedir. Tablo 1'de ayrıca yaz ve kış durumu için ortalama sıcaklığa göre havanın özellikleri verilmiştir [25]. Tabloda hava için verilen değerlerde havanın nemi göz önüne alınmamıştır. Her iki THID sisteminde de aynı teknik özelliklere (Maksimum Güç: 122 W, hacimsel debi: 870 m³/saat, devir: 2250 dev/dk) sahip kanal tipi radyal fanlar kullanılmıştır. Literatürde ısıtma ve soğutma uygulamalarında boru çapının 0,1 m-0,3 m aralığında seçildiği görülmüştür [26, 27]. Bu çalışmada piyasada en çok bulunan 150 mm çapındaki borular kullanılmıştır. Hava hızı KIMO AMI-300 pervane tipi anemometre (±0,1 m/s) ile ölçülmüştür. Fanlara ait akım ve volt değerlerinin ölçülmesi için HIOKI 2637-20 ve 2638-20



Şekil 3. THID sistemlerinin şematik çizimi (Schematic drawing of the EAHX systems)

Tablo 1. PVC ve metal boruların ve havanın fiziksel özellikleri (Physical properties of PVC and metal pipes and air)

| Madde | Çap, D (m) | Et Kalınlığı, (m) | Isı iletim Katsayısı, k (W/mK) | Yoğunluk, ρ (kg/m ³) | Özgül Isı, C (J/kgK) |
|------------|------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Çelik | 0,15 | 0,003 | 54 | 7833 | 465 |
| PVC | 0,15 | 0,007 | 0,16 | 1380 | 900 |
| Hava (Yaz) | - | - | 0,02625 | 1,145 | 1007 |
| Hava (Kış) | - | - | 0,02439 | 1,246 | 1006 |

ölçüm cihazları ($\pm 1\%$ V, $\pm 1\%$ A) kullanılmıştır. Ayrıca deneyde yapılan ölçümleri kaydetmek için HIOKI LR8402-20 veri kayıt cihazı ve sıcaklık ölçümleri için T tipi ısıl çiftler ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) kullanılmıştır. Deneysel çalışmada hata analizi olarak belirsizlik analizi yöntemi kullanılmıştır [28, 29]. Yapılan belirsizlik analizinde COP, Q, W ve ε ait belirsizlik miktarları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Parametrelere ait belirsizlik miktarları (Uncertainties in the parameters)

| | Belirsizlik, $\pm\%$ |
|---------------|----------------------|
| COP | 3,51 |
| \dot{Q} | 3,21 |
| \dot{W} | 1,41 |
| ε | 0,8 |

Toprak-hava ısı değiştiricisinin etkinliği, ε , Eş.1 kullanılarak hesaplanmıştır [30].

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

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. Toprakta çekilen veya toprağa verilen ısı miktarı, \dot{Q} (W), Eş. 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

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

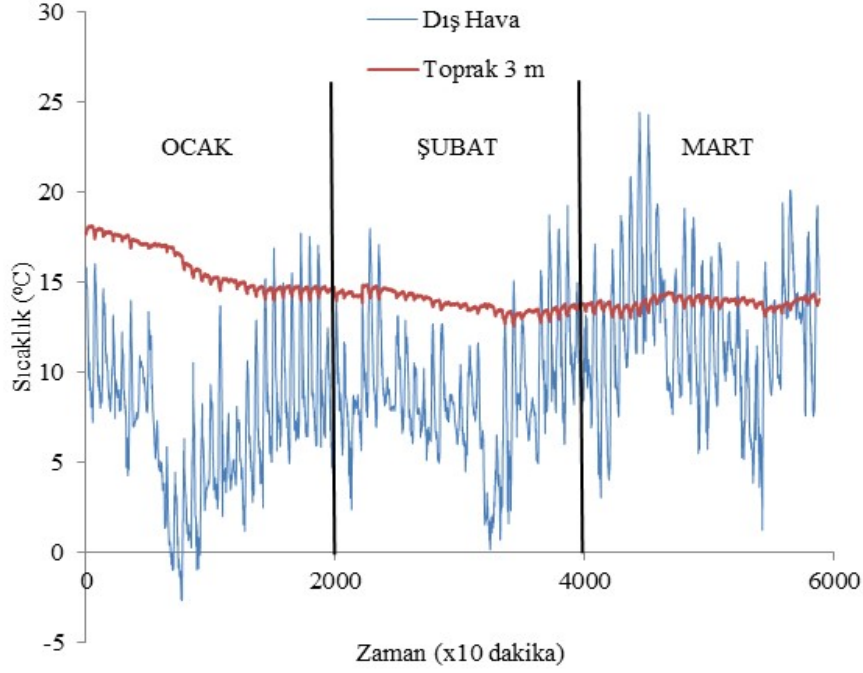
Burada \dot{m} , havanın kütleli debisi (kg/s), C_{hava} , havanın özgül ısısıdır (J/kg $^\circ\text{C}$). Eş. 1 ve Eş. 2’de mutlak işaretleri, yaz ve kışın giriş havası sıcaklığının toprak sıcaklığından veya çıkış sıcaklığından daha yüksek veya daha düşük olduğunda kullanılmıştır. Eş. 3 kullanılarak hesaplanan; THID sisteminin COP değeri, topraktan çekilen veya toprağa verilen enerji miktarının, \dot{Q} sistemi çalıştırmak için harcanan güce (\dot{W} , fan gücü) oranıdır [9].

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

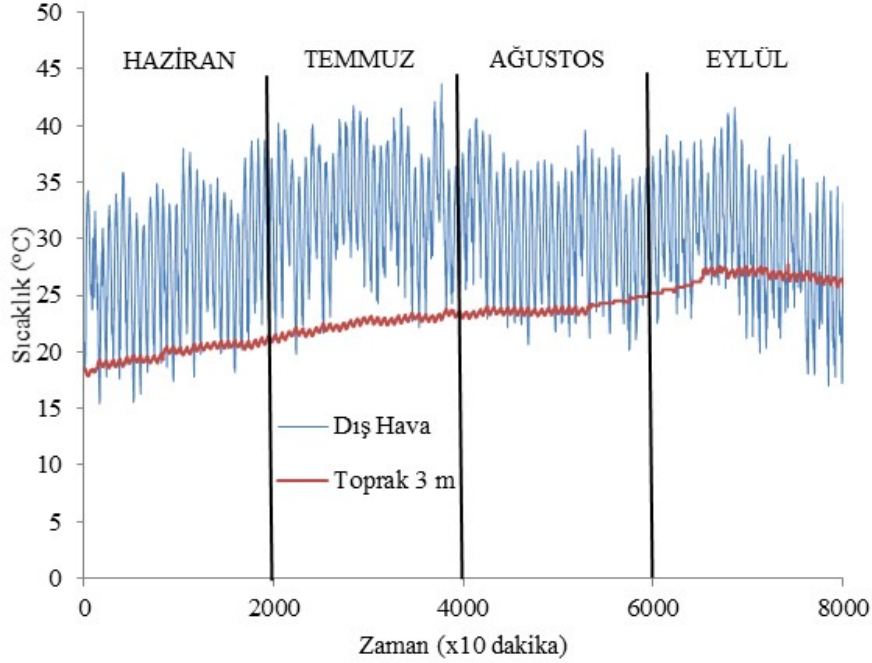
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Kış ve yaz aylarında dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4 ve Şekil 5’de sırasıyla verilmiştir. Şekillerden kış aylarında, toprak sıcaklığının dış ortam hava sıcaklığından daha yüksek ve yaz aylarında ise daha düşük olduğu görülmektedir.

THID sistemlerinde kullanılan boru malzemesinin performansa etkisini incelemek için PVC ve metalden yapılmış borular kullanılmıştır. Ayrıca sistemlerin ısıtma ve soğutma durumundaki değişimini görmek için bütün sene boyunca her gün ölçüm alınmıştır. Ancak ısıtma durumunda Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki ölçümler, soğutma durumunda ise Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki ölçümler analiz edilmiştir.



Şekil 4. Kış dönemi için dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi
(The variation of the temperature of outside air and soil at 3m depth with time for winter season)



Şekil 5. Yaz dönemi için dış hava ve 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının zamanla değişimi
(The variation of the temperature of outside air and soil at 3m depth with time for summer season)

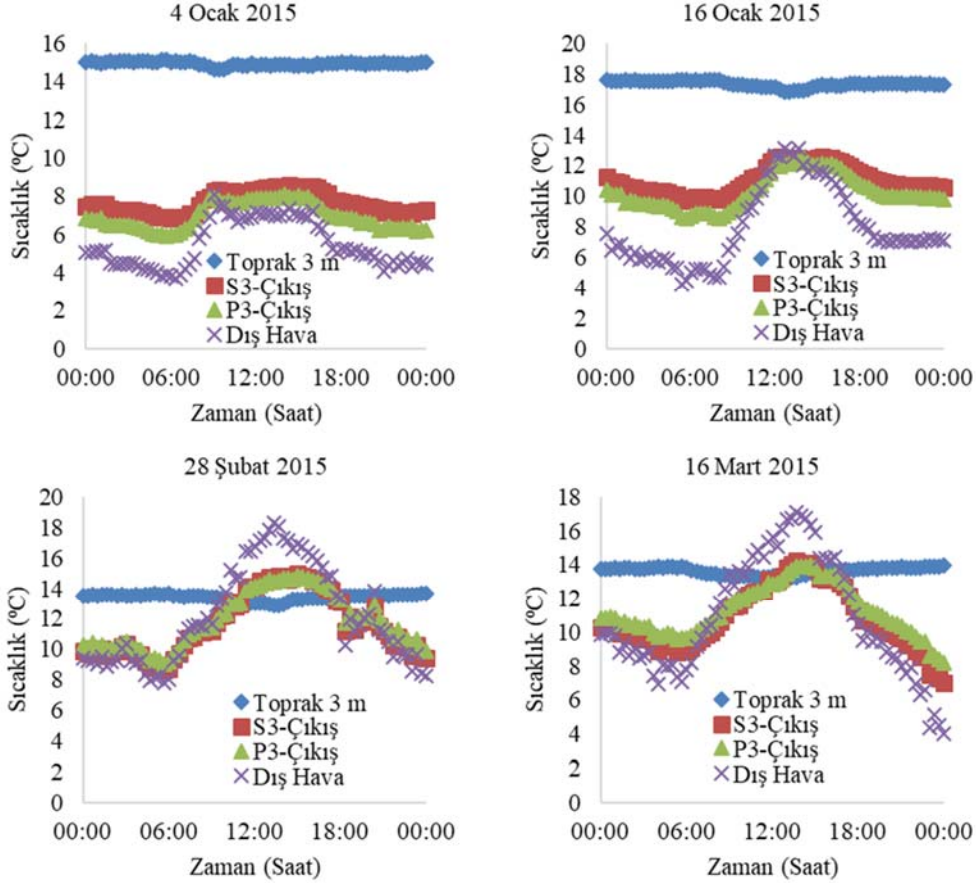
3.1. Isıtma Durumu (Heating Condition)

Şekil 6'da 3 m toprak derinliğine ait farklı malzemelerden yapılmış THID sistemlerine ait sıcaklık ölçüm sonuçları gösterilmektedir. Şekilden özellikle dış hava sıcaklığının düşük olduğu zaman aralığında metal borulu THID sisteminde (S3) çıkış sıcaklığının, PVC borulu THID sistemi

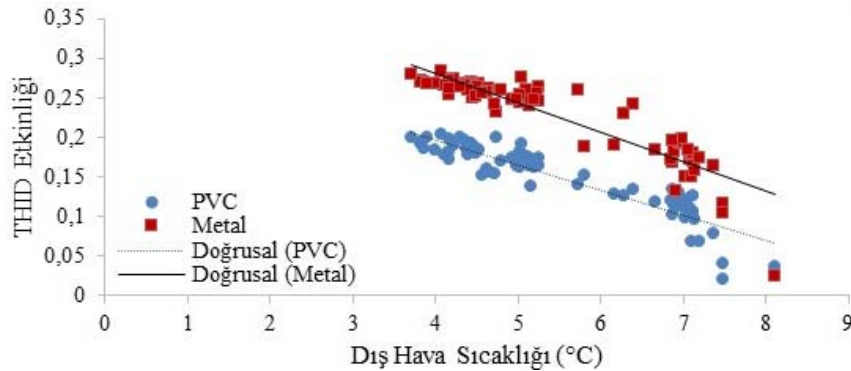
(P3) çıkış sıcaklığından 1 veya 2°C daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca dış hava ile toprak arasındaki sıcaklık farkının düşük olduğu zaman aralığında ise S3 ve P3 sistemlerine ait çıkış sıcaklıklarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Gün içinde dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığından daha yüksek olduğu zamanlarda ise, sistemlerin soğutma durumuna geçtiği de Şekil 6'da

görülmektedir. Şekil 6'dan da görüleceği gibi toprak sıcaklığı gün boyunca sabit kalmaktadır. Isıtma durumu için Ocak, Şubat ve Mart aylarında yapılan tüm ölçümlerin sonuçlarına bakıldığında metal malzemenin PVC malzemeye göre daha yüksek çıkış sıcaklığı verdiği belirlenmiştir. THID sistemlerinin ısıtma dönemine ait ölçüm sonuçlarına göre metal malzemeli sistemin etkinliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 7). Ayrıca THID etkinliğinin her iki sistem için dış hava

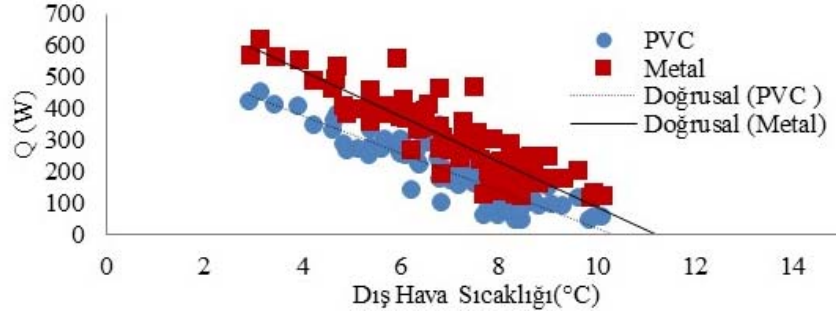
sıcaklığı arttıkça azaldığı görülmektedir. Şekil 8'de dış hava sıcaklığının kış aylarında topraktan çekilen ısı miktarına etkisi her iki THID sistemi için gösterilmiştir. Şekilden metal malzemenin kullanıldığı sistemin topraktan çektiği en yüksek ısı miktarının 700 Watt ve PVC malzemenin kullanıldığı sistemin ise en yüksek 620 Watt ısı çektiği görülmüş olup dış hava sıcaklığı arttıkça topraktan çekilen ısı miktarının azaldığı belirlenmiştir. Şekil 9'da PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait COP



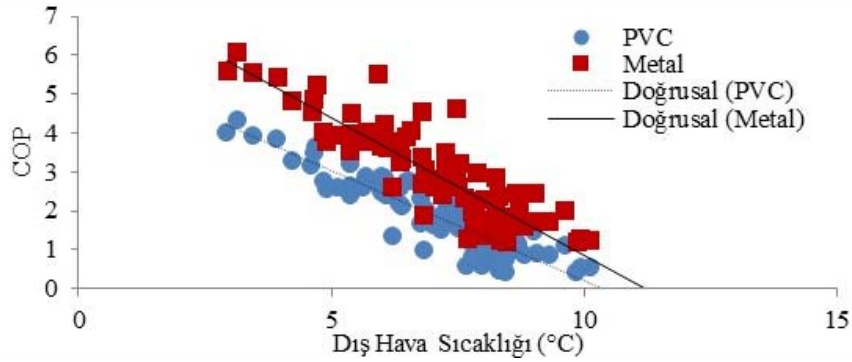
Şekil 6. Isıtma durumunda sıcaklıkların zamanla değişimi (The variation of temperatures with time for heating conditions)



Şekil 7. Isıtma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (The variation of EAHX efficiency with outside air temperature for heating -conditions)



Şekil 8. Toprakta çekilen ısı ile dış hava sıcaklığı ile değişimi
(The variation of heat extracted from the soil with outside air temperature)



Şekil 9. Isıtma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi
(The variation of COP with outside air temperature for heating conditions)

değerlerinin dış hava sıcaklığı ile değişimi gösterilmiştir. Şekilden metal malzeme kullanılan sisteme ait COP değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca dış hava sıcaklığı arttıkça sistemlere ait COP değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

3.2. Soğutma Durumu (Cooling Condition)

Soğutma sezonu olarak seçilen Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında THID sistemlerinde belirli günler için ölçüm sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. Özellikle dış hava sıcaklığının yüksek olduğu zaman aralığında, metal boru (S3) çıkış sıcaklığının PVC boru (P3) çıkış sıcaklığından yaklaşık 5°C daha düşük olduğu görülmüştür. Dış hava sıcaklığı düştükçe iki sistem arasındaki bu sıcaklık farkının da azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 10'dan da görüleceği gibi toprak sıcaklığının gün boyunca değişmediği tespit edilmiştir. Yaz aylarında yapılan ölçümlerin genel sonuçlarına bakıldığında metal malzemenin PVC malzemeye göre çıkış sıcaklığının daha uygun olduğu belirlenmiştir.

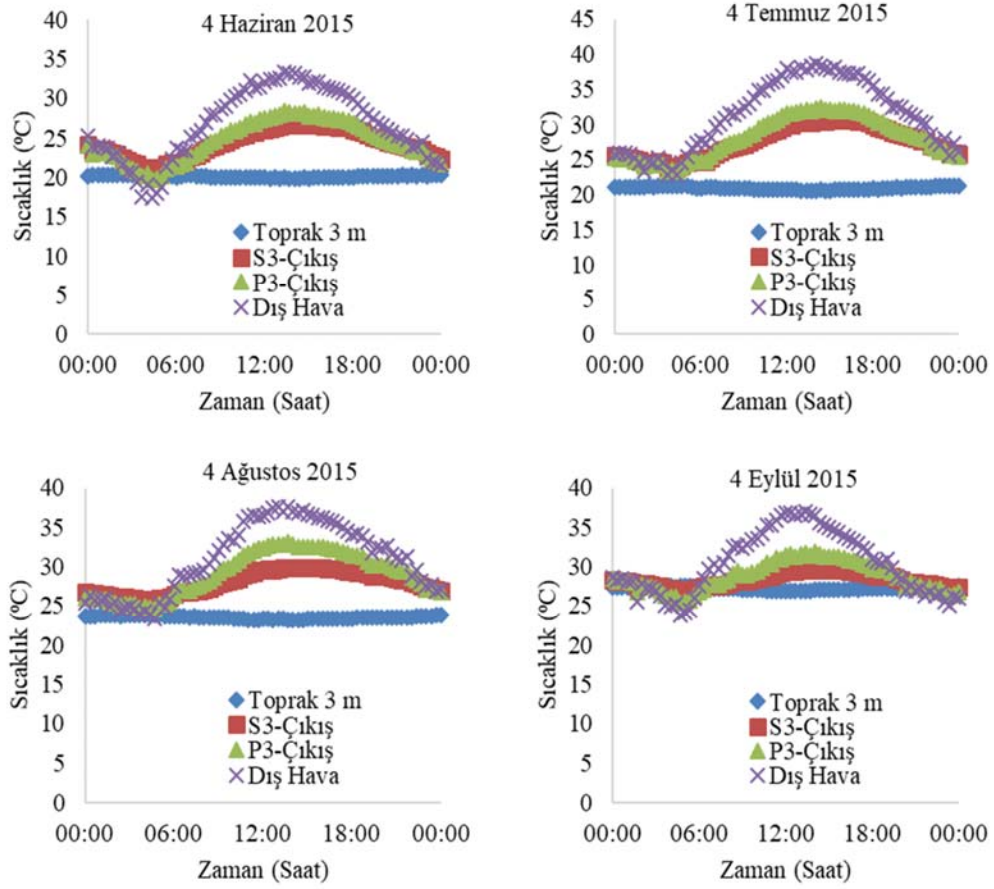
Şekil 11'de soğutma dönemi için THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı arttıkça değişmediği ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemi etkinliğinin PVC borulu THID sistemine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait ölçüm sonuçları

incelendiğinde, dış hava sıcaklığı arttıkça soğutma kapasitesinin de arttığı görülmüştür (Şekil 12). Yüksek sıcaklıklarda soğutma kapasitesinin metal malzemenin kullanıldığı THID sistemi için 1000 W'a kadar çıktığı, PVC malzemenin kullanıldığı THID sistemi için ise en yüksek 800 W'a yükseldiği gözlemlenmiştir.

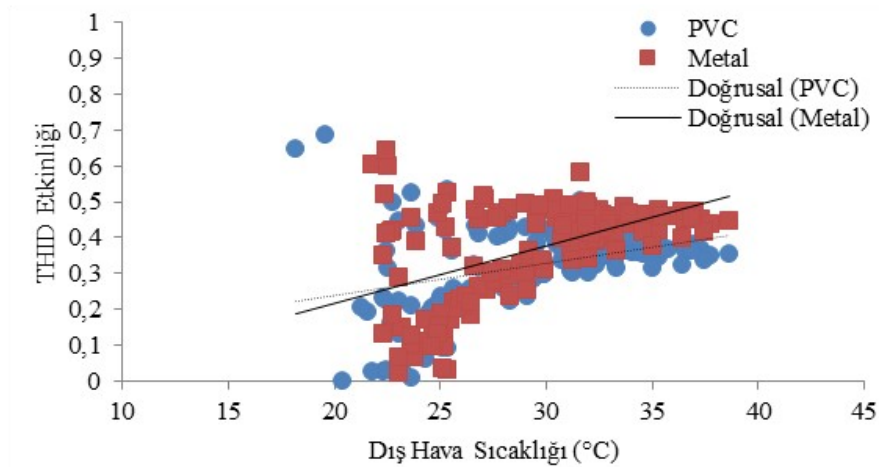
Şekil 13'de gösterilen 3 m toprak derinliğindeki PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça COP değerinin de arttığı görülmektedir. Isıtma dönemine benzer şekilde soğutma döneminde de metal malzeme kullanılan sisteme ait COP' nin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

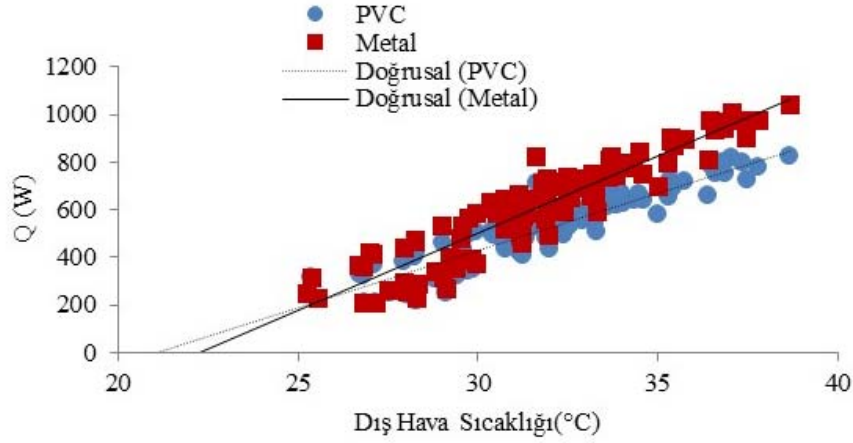
| | |
|------------|-----------------------------------------------------|
| THID | : Toprak-hava ısı değiştiricisi |
| P3 | : 3 m derinliğindeki, PVC malzeme borulu THID |
| S3 | : 3 m derinliğindeki, sac malzeme borulu THID |
| g | : Giriş |
| ç | : Çıkış |
| Q | : Toprakta çekilen veya toprağa verilen ısı miktarı |
| ϵ | : Etkinlik |
| \dot{W} | : Fan gücü |
| C_{hava} | : Havanın özgül ısısı |
| COP | : Etkinlik katsayısı |
| m | : Kütleli debi |



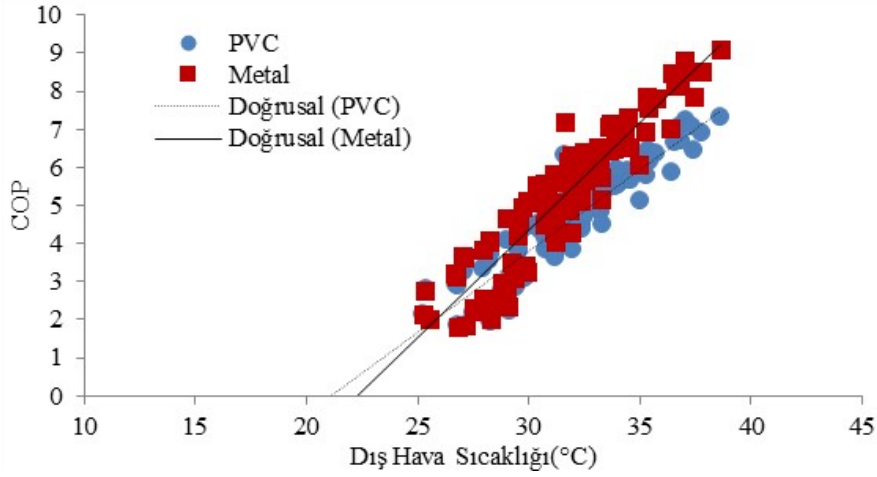
Şekil 10. Soğutma durumunda sıcaklıkların zamanla değişimi (The variation of temperatures with time for cooling conditions)



Şekil 11. Soğutma durumunda THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (The variation of EAHX efficiency with outside air temperature for cooling conditions)



Şekil 12. Soğutma kapasitesinin dış hava sıcaklığı ile değişimi (The variation of cooling capacity with outside air temperature)



Şekil 13. Soğutma durumunda COP' nin dış hava sıcaklığı ile değişimi (The variation of COP with outside air temperature for cooling conditions)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Şanlıurfa iklim şartlarında ısıtma ve soğutma durumunda PVC ve metal boruların kullanıldığı 3 m toprak derinliğindeki aynı boyutlardaki iki adet THID sisteminin ısıtma performansları incelenmiştir. Soğutma ve ısıtma döneminde kullanılan THID sistemlerinin kapasiteleri, boru uzunluğu, çapı, derinliği, toprak çeşidi ve dış ortam gibi birçok parametreye bağlıdır. Dolayısıyla deneysel sonuçları karşılaştırmak için literatürde benzer çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak çekilen veya verilen ısının literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir [31,32]. Yapılan deneysel ölçüm ve analizler ile aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir;

Ocak, Şubat ve Mart aylarında yapılan tüm ölçümlerin sonucuna bakıldığında dış hava sıcaklığının düşük olduğu zaman aralıklarında yüksek hava çıkış sıcaklığı açısından metal malzemenin uygunluğu daha belirgin bir şekilde görülmüştür. Ancak dış hava sıcaklığının toprak sıcaklığına

yaklaştığı zaman aralıklarında ise PVC ve metal malzeme arasında nerdeyse hiçbir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca dış hava sıcaklığındaki artışın topraktan çekilen ısı miktarıyla ters orantılı olduğu ve dış hava sıcaklığı arttıkça sistemlere ait COP değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Soğutma dönemi olarak Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki ölçümlerde malzemenin sistem performansı üzerine etkisi çok açık bir şekilde görülmüştür. Isıtma durumu ile karşılaştırıldığında dış hava ve toprak sıcaklığı arasındaki farkın daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 3 m derinlikte özellikle sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde malzeme etkisinin önemli olduğu, metal malzeme kullanılan sistemin PVC malzeme kullanan sisteme göre daha düşük çıkış sıcaklığına sahip olduğu tespit edilmiştir. THID etkinliğinin dış hava sıcaklığı arttıkça değişmediği, ayrıca metal malzemenin kullanıldığı THID sisteminin etkinliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. PVC ve metal malzemenin kullanıldığı THID sistemlerine ait ölçüm sonuçları incelendiğinde; dış hava sıcaklığı arttıkça COP değerinin de

arttığı belirlenmiştir. Soğutma kapasitesinin metal malzemenin kullanıldığı THID sistemi için ortalama 800 W, PVC malzemenin kullanıldığı THID sistemi için ise ortalama 600 W olduğu belirlenmiştir. Metal malzemeli THID sisteminde birim boru uzunluğu için soğutmada ortalama 77 W/m ve ısıtmada ortalama 50 W/m kapasite tespit edilmiştir.

Sonuç olarak Şanlıurfa iklim şartlarında soğutmada dış hava sıcaklığının çok yüksek, ısıtmada ise dış hava sıcaklığının düşük olduğu durumlarda PVC ve metal boruların kullanıldığı 3 m toprak derinliğindeki aynı boyutlardaki THID sistemlerinin başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Metal borulu THID sisteminin, PVC borulu THID sistemine göre daha iyi ısı performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu tür THID Sistemleri özellikle yüksek temiz hava oranları ile çalışan iklimlendirme tesislerinde ısıtma ve soğutma durumları için dış havanın ön şartlandırılmasında kullanılabilir. Bu durum iyi bir iç ortam hava kalitesi ve enerji verimliliği sağlayacaktır. Ayrıca THID sistemleri kış mevsimlerinde sera ısıtılmasında kullanılarak alternatif ve yenilenebilir bir ısıtma sistemi olabilirler.

THID sistemlerinin seçiminde sistem performansını etkileyen tüm parametreler dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Sistemde kullanılacak uygun malzemenin tercihinde yukarıda tespit edilen değerlendirmelerin yanında PVC, metal ve beton malzemenin ekonomik analizi yapılarak metalin korozyona uğramasına karşı önlem alınması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma (Proje No: HÜBAK-14145) Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü- HÜBAK tarafından desteklediği için kendilerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Soni S.K., Pandey M., Bartaria V.N., Energy metrics of a hybrid earth air heat exchanger system for summer cooling requirements, *Energy and Buildings*, 129,1–8, 2016.
2. Peretti C., Zarella A., De Carli M., Zecchin R., The design and environmental evaluation of earth-to-air heat exchangers (EAHE). A literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 107–116, 2013.
3. Bansal V., Misra, R., Agrawal, G.D., Mathur, J., Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for summer cooling, *Energy and Buildings*, 42, 645–648, 2010.
4. Jakhar S., Misra R., Soni M.S., Gakkhar N., Parametric simulation and experimental analysis of earth air heat exchanger with solar air heating duct, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19, 1059–1066, 2016.
5. Bulut H., Demirtaş Y., Karadağ R., Hilali İ., Experimental analysis of an earth tube ventilation system under hot and dry climatic conditions, *Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015*, Juan Les Pins, France.
6. Daloğlu A., Performance analysis of an earth tube heat exchanger for summer cooling in ankara. *Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015*, Juan Les Pins, France, 2015.
7. Bulut H., Karadağ R., Demirtaş Y., Hilali İ., Şanlıurfa kış şartlarında bir toprak-hava ısı değiştiricisinin performans analizi. *12.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1789-1804, İzmir, 2015.
8. 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.
9. 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.
10. Ahmed S.F., Khan M.M.K., Amanullah M.T.O., Rasul M.G., Hassan N.M.S., Performance assessment of earth pipe cooling system for low energy buildings in a subtropical climate, *Energy Conversion and Management*, 106, 815–825, 2015.
11. Ascione F., D'agostino D., Marino C., Minichiello F., Earth-to-air heat exchanger for NZEB in Mediterranean climate, *Renewable Energy*, 99, 553-563, 2016.
12. Sobti J., Singh S.K., Earth-air heat exchanger as a green retrofit for Chandigarh—a critical review, *Geothermal Energy*, 3 (14), 1-9, 2015.
13. Hepbasli 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.
14. Ahmed S.F., Amanullah M.T.O., Khan M.M.K., Rasul M.G., Hassan N.M.S., Parametric study on thermal performance of horizontal earth pipe cooling system in summer, *Energy Conversion and Management*, 114, 324–337, 2016.
15. Uddin M.S., Ahmed R., Rahman M., Performance evaluation and life cycle analysis of earth to air heat exchanger in a developing country, *Energy and Buildings*, 128, 254–261, 2016.
16. 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.
17. Ascione F., Bellia L., Minichiello F., Earth-to-air heat exchangers for Italian climates, *Renewable Energy*, 36, 2177-2188, 2011.
18. Serageldin A.A., Abdelrahman A.K., Ookawara S., Earth-Air Heat Exchanger thermal performance in Egyptian conditions: Experimental results, mathematical model, and Computational Fluid Dynamics simulation, *Energy Conversion and Management*, 122,25–38, 2016.
19. Bojic M., Papadakis G., Kyritsis S., Energy from a two-pipe earth-to-air heat exchanger, *Energy*, 24, 519–523, 1999.

20. Bansal V., Misra R., Agrawal G.D., Mathur J., Performance analysis of earth pipe–air heat exchanger for summer cooling, *Energy and Buildings*, 42, 645-648, 2009.
21. Bansal V., Misra, R., Agrawal, G.D., Mathur, J., Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating, *Energy and Buildings*, 41, 1151–1154, 2009.
22. Badescu V., Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, *Renewable Energy*, 32 (5), 845-855, 2007.
23. Benhammou M., Draoui B., Parametric study on thermal performance of earth-to-air heat exchanger used for cooling of buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 348–355, 2015.
24. Yeşilnacar M.İ., Süzen M.L., Şener 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.
25. Çengel Y.A. ve Cimbala J.M., *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları* (2. Basım), İzmir: İzmir Güven Kitabevi. 2012.
26. Thevenard, D., *Earth-to-Air Heat Exchanger Design Evaluation*; Numerical Logics Inc.:Waterloo, Canada, 2007., Available online: [www.energy.gov.yk.ca /pdf/earth_tubes_report.pdf](http://www.energy.gov.yk.ca/pdf/earth_tubes_report.pdf), 2012.
27. Ozgener L., A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4483– 4490, 2011.
28. Holman J.P., *Experimental Methods for Engineers* (6st Ed.), McGraw-Hill, Singapore, 48-143, 1994.
29. Akpınar E.K., Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: Kurutma deneylerindeki hata analizi, *Mühendis ve Makina*, 46 (540),41-48, 2005.
30. Pfafferoth J., Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardized method to calculate energy efficiency. *Energy and Buildings*, 35, 971-983, 2003.
31. Mongkon S., Thepa S., Namprakai P., Pratinthong N., Cooling performance assessment of horizontal earth tube system and effect on planting in tropical greenhouse, *Energy Conversion and Management*, 78, 225–236, 2014.
32. Kumar R., Kaushik S.C., Garg S.N., Heating and cooling potential of an earth-to-air heat exchanger using artificial neural network, *Renewable Energy*, 31, 1139–1155, 2006.