



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 3, Article Number: 2A0069

TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: June 2011
Accepted: July 2011
Series : 2A
ISSN : 1308-7231
© 2010 www.newwsa.com

Onur Özsolak¹

Mehmet Esen²

Sutcu Imam University¹

Firat University²

onurozsolak@gmail.com

mesen@firat.edu.tr

Kahramanmaraş-Turkey

**SLINKY TOPRAK ISI DEĞİŞTİRGEÇLİ TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

ÖZET

Bu çalışmada 12 m² alanındaki deney odası Elazığ şartlarında toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılmıştır. Slinky toprak ısı değiştirgeci borularını yerleştirebilmek için 1 m eninde, 2 m derinliğinde ve 15 m uzunluğunda çukur kazılmıştır. Slinky borular çukur içine yatay olarak yerleştirilerek sirkülasyon pompasıyla su-antifriz karışımı yatay slinky toprak ısı değiştirgeci içinde dolaştırılmıştır. Toprakta çekilen ısı, ısı pompası vasıtasıyla ısıtılacak ortama atılmıştır. Böylece çalıştırılan sistemin performansı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toprak Kaynaklı Isı Pompası,
Toprak Isı Değiştirgeci, Slinky, Isıtma,
Enerji

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SLINKY GROUND HEAT EXCHANGER GROUND
SOURCE HEAT PUMP**

ABSTRACT

In present study, the test room of 12 m² floor area has been heated by ground source heat pumps under Elazığ climate conditions. In order to lay the slinky ground heat exchanger pipe, a ditches with width of 1 m, depth of 2 m and length of 15 m have been excavated. The slinky pipe have been laid horizontally in the ditch and the water-antifreeze mixture has been circulated through the horizontal slinky ground heat exchanger by the circulation pump. The heat absorbed from the ground has been conveyed to the area to be heated through the heat pump. Thus, the performance of the operated system has been calculated.

Keywords: Ground Source Heat Pump, Ground Heat Exchanger,
Slinky, Heating, Energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toprak kaynaklı ısı pompaları geçtiğimiz yarım yüzyıl içerisinde kış sezonunun uzun ve sert geçtiği Kuzey Avrupa, İskandinavya ve Kuzey Amerika'da avantajları ve yüksek konfor özelliklerinden ve çok yönlü kullanılabilir olmasından dolayı tercih edilmiştir. Süreç içinde Kuzey Avrupa ülkeleri tarafından AR-GE'ye verilen önem sayesinde mükemmel bir tekniğe sahip olmuştur. Enerji politikaları ve petrol ürünlerinin birim fiyatlarındaki beklenmedik artışlar ısı pompasını ön plana almış çevre faktörü de eklendiğinde kullanılabilir tek sistem olduğu ortaya çıkmıştır.

ABD, Kanada ve Kuzey Avrupa ülkelerinde yüz binlerce ev, işyeri, okul vb. gibi yerlerin son zamanlarda toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri ile iklimlendirilmesi ve üstelik ABD ve İsveç'te bu tür sistemlerin doğalgazdan sonra en çok kullanılan ikinci kaynak olması nedeniyle Türkiye'de de bu tür sistemlerin yaygınlaştırılması için çalışmalar hızlanmalıdır. Özellikle ülkemiz gibi enerji yönünden dış ülkelere bağımlı devletler enerji politikalarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yoğunlaştırmalıdır. Kullanımını yaygınlaştırmak için bu sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini düşürüp performanslarını artırmak gereklidir.

Ülkemizin iklim ve toprak özellikleri, toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri için çok uygundur. Ülkelerin, elektrik enerjisi tüketiminin %25'inden fazlası konutların ısıtılması ve soğutulması masraflarına gitmektedir. Tüketicilerin elektrik talepleri, teknolojinin gelişmesiyle sürekli artmaktadır. Toprak kaynaklı veya jeotermal ısı pompaları, toprağın içindeki ısının kararlı değişmesi ve soğuk iklimlerde performansını yüksek seviyede tutması nedeniyle enerjinin kullanımında daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır.

Isı kaynağı olarak toprak geç ısınıp geç soğuduğu için, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performans katsayısı kararlı bir yapıdadır ve dış hava sıcaklığından fazla etkilenmez. Ayrıca toprak kaynaklı ısı pompasının belirli sıcaklık aralıklarında pasif soğutma (kompresör kullanılmadan sadece akışkanın toprak içerisinde sirküle ettirilmesi) ile de çalıştırılabileceği düşünülürse hava kaynaklı sisteme göre önemli bir avantaja sahiptir ve ortalama yıllık %33 daha az enerji tüketirler. Hava ısı kaynağı olarak kararlı olmadığı için, hava sıcaklığının değişmesi sonucu ısı pompasının performans katsayısındaki kararlılıkta sürekli değişir. Toprak kaynaklı ısı pompaları alternatif sistemlere nazaran ürettiği enerjinin 1/3'ü bedel karşılığı düşünülürse sadece tüketicinin değil, devletlerinde dış kaynaklı enerji alım politikalarında büyük bir avantaj sağlayacağı ispatlanmış ve bu sayede ısı pompası teknolojisi devletler tarafından teşvik ve destek görmektedir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları enerji üretimi ve kullanımının çevresel ve verimlilik bakış açıları gelişmekte olan ülkelere öncelikli olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda, toprak kaynaklı ısı pompalarının elektrik şirketlerine daha iyi yük yönetimi, tüketicilere daha düşük elektrik faturaları ve topluma daha temiz çevre sağlamada önemli katkılar sağlayabileceği görülmektedir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) hakkında literatürde çok sayıda deneysel ve teorik çalışma bulunmaktadır. Yang ve diğ. [1], yaptıkları çalışmada ısı pompası kullanımının çevre kirlenmesini azalttığını, halihazırda kullanılan birincil enerji kaynaklarının (petrol, kömür, elektrik) daha pahalıya mal oldukları için ısı pompalarının kullanımı ile önemli ölçüde enerji tasarrufu yapılabileceğini vurgulamışlardır. Piechowski [2], 1999 yılında yatay tip toprak ısı değiştirgeci (TID)'ın dizaynının daha doğru ve hesaplamalarının daha kolay olacağı simülasyonlar yapmıştır. Bu çalışma, toprak-boru yüzeyi gibi daha büyük sıcaklıklar ve nem

hareketinin yoğun olduğu yerlerde daha kolay çözüme erişmek için yapılmıştır. Analitik çalışmada implicit ve explicit yöntem kullanılmıştır ve bu iki yöntemin kıyaslanması yapılmıştır. Sonuçta implicit formülasyonun bu tür çalışmalarda daha iyi bir yöntem olduğunu savunmuştur. Esen ve İnallı [3], deneysel olarak mekanların ısıtılmasında kullanılan yatay bir TKIP'nin performansı ile ilgili toprağa bağlı ısı değiştiricisinin gömülü derinliği, su-antifriz çözeltisinin debisi ve logar suyu gibi parametrelerin etkilerini incelemiştir. Jacovides ve Mihalakakou [4], bir enerji kaynağı olarak soğutma ve ısıtma için yeraltına döşenmiş boruları kullanmıştır. Yeraltındaki boru sistemlerinde aynı anda ısı ve kütle transferini tanımlayarak, deneysel datalardan bir algoritma geliştirmişler. Esen ve diğ. [5], çalışmalarında ısıtma sezonu için derinlik kuyularının bir fonksiyonu olarak toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin enerjetik ve ekserjetik verimliliklerini araştırmışlar. Yatay toprak ısı değiştiricileri (YTID) kullanılmış ve bunlar 1 metrelik (YTID 1) ve 2 metrelik (YTID 2) derinliğe sahip kuyuların içersine gömülmüşlerdir. TKIP sistemlerinin enerji verimlilikleri sırasıyla 2.5 ve 2.8 olarak elde edilmiş ve genel sistemin ekserjetik verimlilikleri, YTID 1 ve YTID 2 için sırasıyla %53.1 ve %56.3 olarak bulunmuştur. Florides ve Kalogirou [6], yeraltında belli bir derinlikteki sıcaklık, yıl boyunca hemen hemen sabit kalmakta ve toprak kapasitansı binaları ısıtmanın ve soğutmanın pasif bir yolu olarak görüldüğünü belirtmişler. Esen ve diğ. [7], çalışmalarında, bir yatay toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansını tahmin etmek için yapay sinir ağlarının (YSA) uygulanabilirliğini açıklamışlar. Isı pompası sistemlerinin enerji tasarrufu işlemi ve optimal kontrolü için performans tahmini ön koşul olduğunu belirtmişler. Omer [8], toprak kaynaklı ısı pompaları, primer enerji tüketimini azaltma ve böylece sera gazlarının emisyonlarını düşürme potansiyellerini nedeniyle giderek daha fazla ilgi çektiklerini belirtmiş. McKay ve Wilson [9], toprak kaynaklı ısı pompaları gibi alternatif teknolojiler, bir düşük karbonlu ısıtma çözümü olarak hızlı bir şekilde benimsendiğini belirtmişler. İngiltere'de, TKIP piyasası yılda %60 oranında büyümektedir ve önümüzdeki 5 yıl içinde bu rakamın dört kat artacağı ve yeni evlerdeki ısıtma sistemleri piyasasının %10'u oluşturacağı beklenmektedir. Yang ve diğ.[10], Çin'de yapılan toprak kaynaklı ısı pompası ile ilgili araştırmalar ve uygulamalar ve patentlere ilişkin açıklamalara yer vermişler. Ayrıca TKIP ile ilgili politikalar tartışılmakta ve analiz edilmektedir. Günerhan ve diğ. [11], yaptıkları çalışmada TKIP sisteminin kalbi olan toprak ısı değiştirgeci(TID) ile ilgili önemli tasarım kriterleri sunmuşlar. Esen ve Balbay [12], yaptıkları çalışmada toprak ısı değiştiricisi boru uzunluğunu; farklı ısı değiştiricisi şekilleri (yatay ve düşey), boru malzemeleri ve ısıtma ve soğutma kapasiteleri için belirlemişler.

Toprak kaynaklı ısı pompası endüstrisi ülkemiz için oldukça yenidir. Buna bağlı olarak kurulan toprak kaynaklı ısı pompalarının sayısı, yurt dışında kurulanlarla kıyaslanmayacak ölçüde azdır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin yaygınlaşmasına engel olan ilk yatırım maliyetinin yüksekliği, toprak özelliklerinin tam olarak belirlenememesi ve topraktan tam olarak faydalanılamaması gibi dezavantajları yok etmek veya azaltmak yönündeki araştırmalar özellikle son yıllarda yabancı ülkelerde artış göstermektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu tür sistemlerin ülkemizde yaygınlaştırılmasını sağlamak; ülkemize ithal edilen toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde eksik görülen toprak ısı değiştiricisi tasarımını, sistemin doğru, kolay bir şekilde kontrolünü ve uzun süreli davranışlarının incelenmesini bilimsel olarak sağlamak ve enerjinin verimli bir şekilde kullanımını

sağlayarak çevresel etkileri azaltmaktır. Uzun süreli performans analizlerinde çeşitli parametreleri değiştirerek performansa nasıl etki ettiğini görüp sistemi eksikliklerinden kurtarmaktır. Böylece bu tür sistemlerin ülkemize hazır olarak getirilip kurulmasına, ülkemizin çok değerli kaynaklarının ülke dışına akmasına izin verilmeyecek ve yerli uygulayıcıların bu konu hakkındaki problemlerine de cevap aranarak ülke kaynaklarının devlet ve millet faydasına kullanılmasına ön ayak olunacaktır.

Yapılan çalışmada 12 m² alanındaki deney odası Elazığ şartlarında toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılmıştır. Slinky konfigürasyonlu borular çukur içine yatay olarak yerleştirilerek sirkülasyon pompasıyla su-antifriz karışımı toprak ısı değiştirgeçleri içinde dolaştırılmıştır. Toprakтан çekilen ısı, ısı pompası vasıtasıyla ısıtılacak ortama atılmış. Böylece çalıştırılan sistemin performansı hesaplanmış ve sistemin meydana getireceği iyileşme incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Sistem Elemanları (System Elements)

Elazığ'da 12 m² taban alanına sahip deney odasının toprak kaynaklı ısı pompası yardımıyla ısıtılacağı düşünülmüş hesaplamalar yapılmıştır. Isıtma yapılacak odanın ısı kaybı 4099 W olarak bulunmuştur.

Kompresör, hermetik tipte imal edilmiş olup R-22 gazı ile çalışmaktadır. Kompresörün kapasitesi 5.8 kW ve motor gücü de 2190 W'dır.

Evaporatör olarak 50x50x70 cm boyutlarında 0.50 mm kalınlığında galvanizli sacdan üstü açılabilir bir ısı enerji deposu yapılarak bu deponun etrafı XPS yalıtımla izole edildi. Depoya soğutucu akışkan çevriminin gerçekleştiği Buz Çelik firmasının BK 16x35 modeli, 16.27 m²'lik yüzey alanına sahip, kapasitesi 6535 kcal/h olan bir ısı değiştiricisi yerleştirildi. Daha sonra deponun içi su-antifriz karışımıyla doldurulup toprak ısı değiştiricisine bağlantısı yapılarak, toprak ısı değiştiricisinde depo içindeki su-antifriz karışımının sirküle edilmesi sağlandı.

Kondenser olarak Buz Çelik firmasının BK 16x35 modeli, 16.27 m²'lik yüzey alanına sahip, kapasitesi 6535 kcal/h olan hava soğutmalı kondenser (yoğuşturucu) kullanılmaktadır. Kondenserin ön tarafına da Fantech marka 150 W gücünde bir fan yerleştirilerek kondenser üzerinden iç ortam havasını emerek ısıtıp yine iç ortama göndermektedir.

Toprak altı çevrimde TID içindeki su-antifriz karışımını (salamurayı) evaporatöre getiren sonra tekrar TID'ye götüren 1 adet sirkülasyon pompası kullanılmıştır.

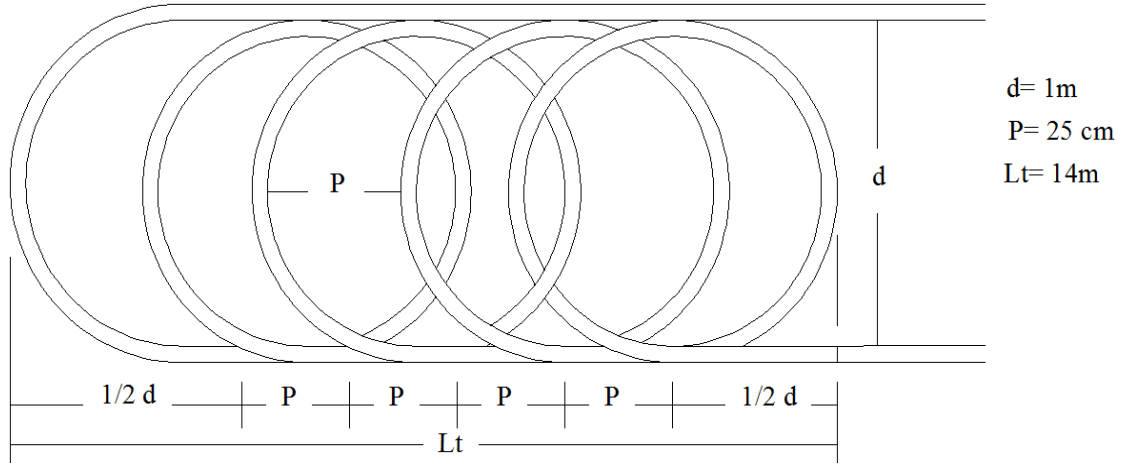
Deney düzeneğinde, TID'de dolaşan su-antifriz karışımının debisini ölçmek için 1 adet Teksan firmasının ürettiği ortalama debisi su için 1.5 m³/ h olan su sayacı kullanılmıştır. Ayrıca debiyi ayarlayabilmek için 1 adet vana kullanılarak debi 0.1 kg/s'e ayarlanmıştır.

Kılcal boru, kısma vanası olarak kullanılmıştır. Düşük maliyet, oynak parça olması gibi nedenlerden dolayı seçilmiştir.

Topraktaki ısının ısı pompasına veya ısı pompasından toprağa taşınması TID'de dolaştırılan bir akışkan ile olur. Su, termodinamik ve ekonomik bakımdan oldukça uygun bir akışkandır. Ancak donma sıcaklığının 0 °C olması bir çok uygulamada problem teşkil eder. Özellikle toprak sıcaklığının düşük olduğu bölgelerde, donma problemine karşı, donma sıcaklıkları daha yüksek olan akışkanlar tercih edilir. Sistemin toprak kısmında kullanılan akışkan için, akışkanın ağırlıkça %20 oranında etilen glikol katılmıştır.

Çalışmamızda gerekli ısı yükünü sağlayabilmek için 150 m boru

kullanılmıştır. Toprak altına TID borusu olarak 40 mm'lik Polietilen SDR-11 boru kullanılmıştır. Polietilen SDR-11 borular 100 m'lik kangal borular halinde alındı. Kangal borulara slinky konfigürasyon çukurun dışında verildi. Slinky konfigürasyonda, 50 tane slinky döngü ve her döngü arasında 25 cm mesafe ve döngü çapı da 1 m olacak şekilde ayarlanmıştır. Döngülerin bozulmaması içinde borular belirli mesafelerde plastik klipslerle tutturulmuştur. Slinky konfigürasyonun ayrıntısı da Şekil 1'de gösterilmektedir.

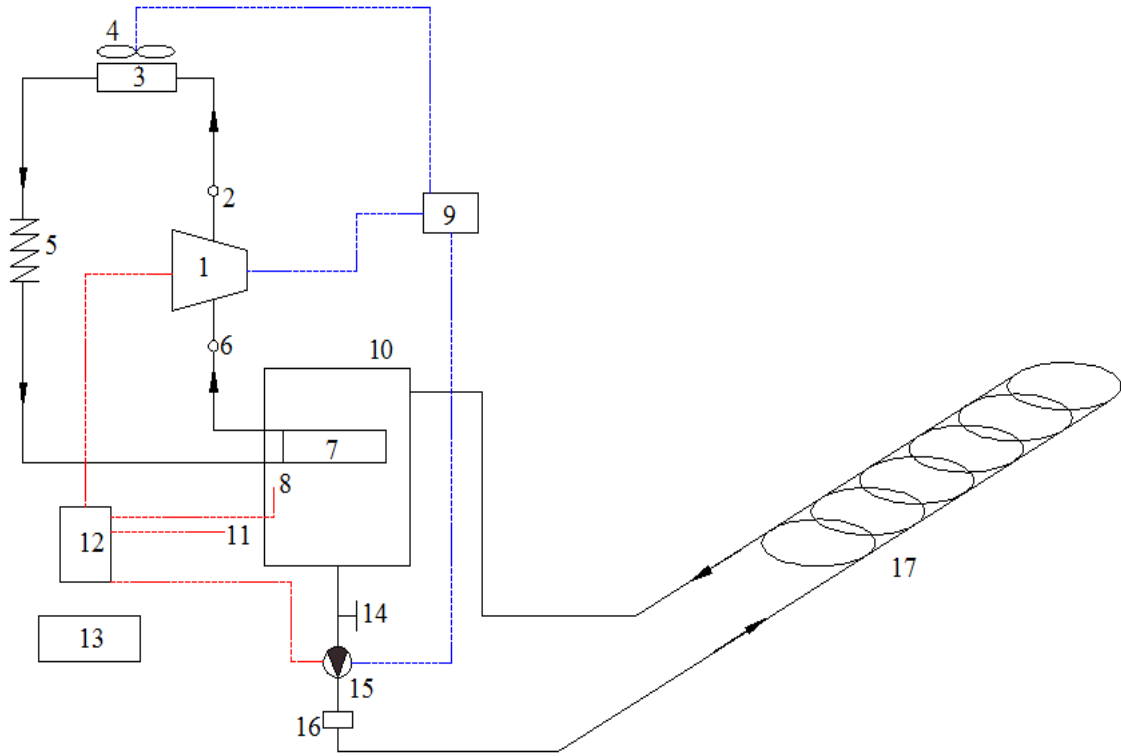


Şekil 1. Slinky konfigürasyonunun ayrıntılı şekli
(Figure 1. Detailed shape of the slinky configuration)

Isı pompası sisteminin tamamlanabilmesi için toprak kısmının ısı pompası tesisatı (soğutucu akışkan çevrimi) ile birbirine bağlanması gerekmektedir. Toprakta gelen su-antifriz karışımı depo içinde açık bir çevrim ile sirküle edildi. Isı pompası (soğutucu çevrim) çevrimi de evaporatör içindeki ısı değiştiricisi vasıtasıyla kapalı çevrimde çalıştırıldı. Isı pompası çevrimini oluşturan kompresör, kondenser, kılcal boru ve evaporatör kısımlarının bağlantıları bakır borularla uygun bir teknikle kendi yerel imkanlarımızla yapılmıştır. Daha sonra ısı pompası çevrimine Freon-22 gazı doldurularak sistem test edilmiştir. Kondenser üzerine de bir fan yerleştirilerek kondenserden alınan ısı odaya fan yardımıyla atılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ayrıntılı şematik diyagramı Şekil 2' de ve şekil üzerindeki noktaların açıklamaları da Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Diyagram üzerindeki noktaların açıklamaları
(Table 1. Descriptions of the points on the diagram)

1	Kompresör	8	Depo sıcaklığını ölçen sensör
2,6	Manometre	11	Oda sıcaklığını ölçen sensör
3	Kondenser	9	Enerji Analizörü
4	Fan	10	Evaporatör
5	Kılcal Boru	12	Dijital termostat XR0ICX
7	Isı Değiştiricisi	13	Veri Kaydedici (Data Logger)
14	Vana	16	Su sayacı
15	Sirkülasyon Pompası	17	Yatay Slinky TID



Şekil 2. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ayrıntılı şematik diyagramı
(Figure 2. Detailed schematic diagram of ground source heat pump system)

3.2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Deneysel veriler belirli aralıklarla alınmıştır. Deneylerde sıcaklık, debi, basınç ve güç ölçümleri yapılmıştır. Deney sırasında deney setinin çeşitli noktalarına yerleştirilen T tipi Cu-Co ısıl çiftler yardımıyla; soğutucu akışkan, sistemde dolaşan su-antifriz karışımı, farklı derinliklerdeki toprak sıcaklıkları ile iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları ölçülmüştür.

Deneye 14.01.2010 tarihinde sabah saat 09:00 da başlanıp akşam 17:00 da bitirilmiştir.

Dijital termostat XR01CX sayesinde ısıtılan odanın sıcaklığı istenilen değerde tutulmuştur. Oda içine yerleştirilen bir sensör sayesinde oda sıcaklığı 24 °C de tutulmuştur. Dijital termostat oda sıcaklığı 24 °C'ye yükseldiğinde devreye girerek kompresörü durdurmuş oda sıcaklığı 21 °C'ye düştüğünde de tekrar devreye girerek kompresörü çalıştırmıştır. Sistemde toprak ısı değiştirgecinden çekilen ısı iç ortama ısı pompası çevrimi sayesinde verilmektedir. Isı pompasının kapalı çevriminde soğutucu akışkan olarak freon-22 gazı kullanılmıştır.

Sistemin çalışması kısaca şöyle özetlenebilir:

Toprak ısısu toprak altına yerleştirilen ısı değiştirgeçlerinde dolaştırılan su-antifriz vasıtasıyla çekilerek evaporatör (buharlaştırıcı)'e verilir. Buharlaştırıcıdan çıkan doymuş buhar halindeki soğutucu akışkan kompresör de daha yüksek bir basınç ve sıcaklığa sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir. Daha sonra kondensere (yoğuşturucu) giren kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan kondensere monte edilmiş olan fan vasıtasıyla ısısını odaya atarak sabit basınçta yoğuşur. Doymuş sıvı haldeki yüksek basınçlı soğutucu

akışkanın basıncı ve sıcaklığı kılcal borularda buharlaştırıcı şartlarına getirilir. Buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığından düşük olduğundan, ısı kaynağından yani ısı pompası deposundan soğutucu akışkana sabit basınçta ısı geçişi olur ve soğutucu akışkan buharlaşır. Bundan sonra çevrim yeniden başlar ve bu şekilde devam eder.

3.3. Hesaplamalar (Calculations)

TID içerisinde dolaştırılan su antifriz karışımının topraktan çektiği ısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\dot{Q}_{tid} = \dot{m}_{sa} C_{p,sa} (T_{sa,g} - T_{sa,\zeta}) \quad (1)$$

Burada; \dot{Q}_{tid} su antifriz karışımının topraktan çektiği ısı miktarı (kW), \dot{m}_{sa} su antifriz karışımının debisi (kg/s), $C_{p,sa}$ su antifriz karışımının özgül ısısı (kJ/kgK), $T_{sa,g}$ su antifriz karışımının topraktan çıkıp evaporatöre giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), $T_{sa,\zeta}$ su antifriz karışımının evaporatörden çıkıp toprağa giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)'dir.

Isı pompasının performans katsayısı (COP_{ip}) ve sistemin performans katsayısı (COP_{sis}) aşağıdaki gibi bulunur:

$$\text{COP}_{ip} = \frac{\dot{Q}_{kon}}{\dot{W}_{komp}} \quad (2)$$

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

Burada \dot{Q}_{kon} kondenser tarafından odaya atılan ısı miktarını, \dot{W}_{komp} kompresörün şebekeden çektiği gücü, \dot{W}_{sis} sistemin şebekeden çektiği toplam gücü göstermektedir. \dot{W}_{sis} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\dot{W}_{sis} = \dot{W}_{komp} + \dot{W}_{sp} + \dot{W}_f \quad (4)$$

\dot{W}_{sp} sirkülasyon pompasının şebekeden çektiği gücü, \dot{W}_f fanın şebekeden çektiği gücü göstermektedir. \dot{Q}_{kon} kondenser tarafından odaya atılan ısı da aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{Q}_{kon} = \dot{m}_{hava} C_{p,hava} (T_{hava,\zeta} - T_{hava,g}) \quad (5)$$

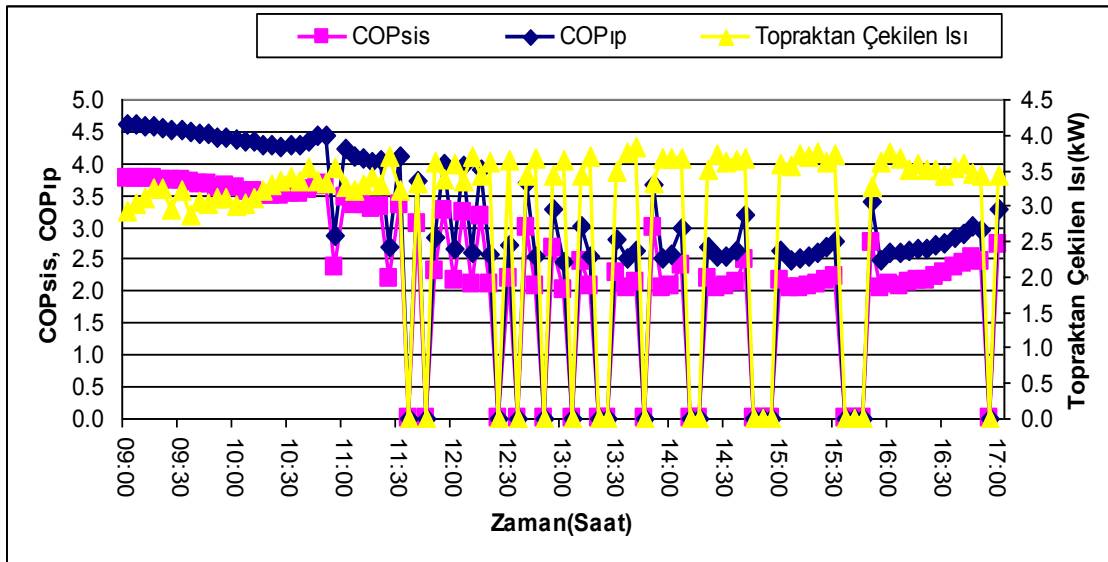
Burada; \dot{m}_{hava} kondensere geçen havanın debisini, $C_{p,hava}$ havanın özgül ısısını, $T_{hava,\zeta}$ havanın kondensere çıkış sıcaklığını, $T_{hava,g}$ havanın kondensere giriş sıcaklığını göstermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

14.01.2010 tarihinde TID'deki su-antifriz debisi 0.1 kg/s olan yatay slinky TID ile toprak kaynaklı olarak sistem çalıştırılmış ve elde edilen performans eğrileri Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 3'de COP_{sis} , COP_{ip} ve topraktan çekilen ısı miktarının değişimi verilmiştir. Yapılan deneyde sistemin en yüksek COP_{sis} ve COP_{ip} değerleri sırasıyla 3.77 ve 4.62 iken gün içindeki ortalaması da sırasıyla 2.78 ve 3.41 olarak hesaplanmıştır. Toprakтан çekilen ısı miktarı ise 2.94-3.84 kW arasında değişirken gün içindeki ortalaması 3.43 kW olarak hesaplanmıştır. Toplam boru boyuna göre topraktan çekilen ısı miktarı 19-25 W/m arasında değişirken gün içindeki ortalaması 22 W/m'dir. Literatürde bir çalışmada [13], yatay düz TID lerinin boru boyuna göre topraktan çektikleri ısı miktarı 23-33 W/m iken , başka bir çalışmada bu değer 16-28 W/m olarak verilmektedir [6]. Yatay slinky TID'de bu değer 11-25 W/m olarak verilmektedir [14].

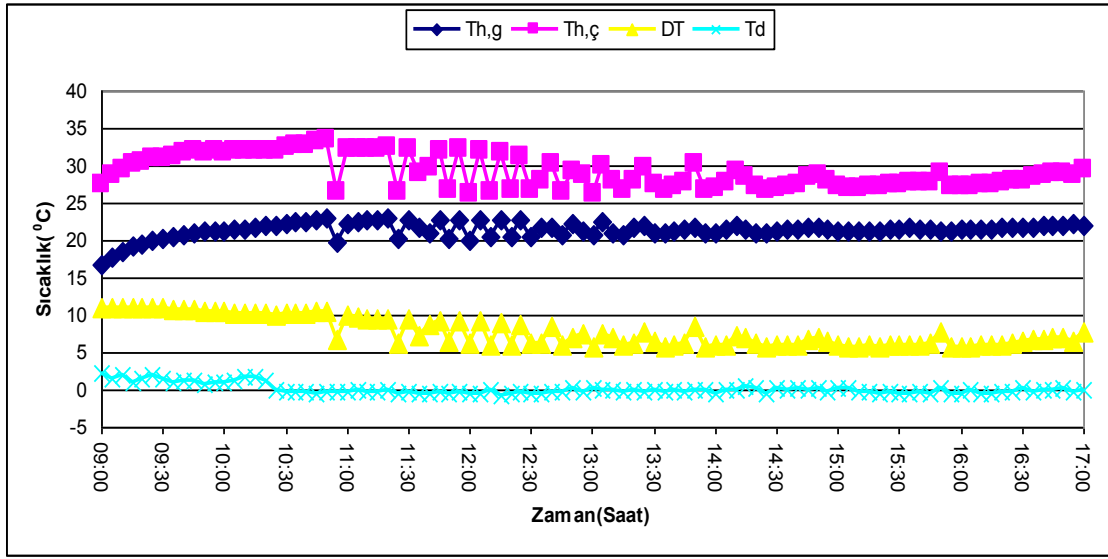
Toplam çukur boyuna göre topraktan çekilen ısı miktarı da 210-274 W/m arasında değişirken gün içindeki ortalaması da 245 W/m olarak hesaplanmıştır. Literatürde bir çalışmada [15], 1.4 m derinlikte 1.2 m adımdaki yatay slinky TID ısı pompasının çukur boyuna göre topraktan çektiği ısı miktarı 42.5-158.4 W/m olarak hesaplanmıştır.



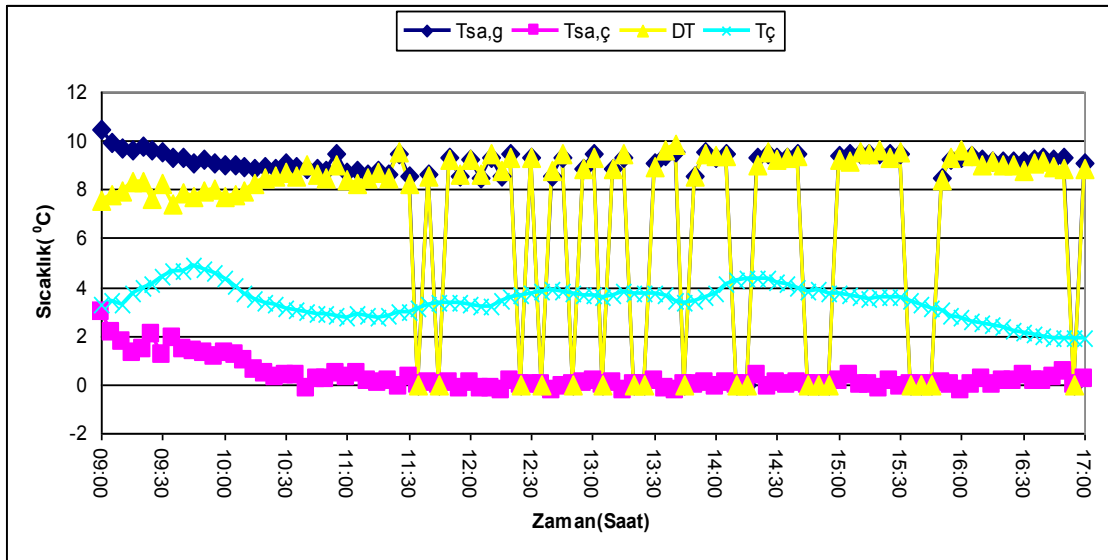
Şekil 3. COP_{sis} , COP_{ip} ve topraktan çekilen ısı miktarının zamanla değişimi

(Figure 3. Variation of COP_{sis} , COP_{ip} and the amount of heat taken from the soil)

Şekil 4'de $T_{h,g}$, $T_{h,ç}$ ve ısı pompası depo sıcaklığının zamanla değişimi, Şekil 5'de $T_{sa,g}$, $T_{sa,ç}$ ve $T_{ç}$ sıcaklıklarının zamanla değişimi verilmiştir. Gün içinde su antifriz karışımının TID'ne gidiş sıcaklığı ($T_{sa,ç}$) ile TID'den dönüş sıcaklığı ($T_{sa,g}$) arasında en yüksek fark 9.86 °C iken, $T_{sa,g}$ sıcaklığında 10.5 °C'ye ulaşmıştır. Kondensere giren havanın sıcaklığı ($T_{h,g}$) ile kondensere çıkan havanın sıcaklığı ($T_{h,ç}$) arasındaki en yüksek fark 11.05 °C iken, gün içindeki ortalaması da 7.79 °C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. $T_{h,g}$, $T_{h,ç}$ ve depo sıcaklığının zamanla değişimi
(Figure 4. Variation of $T_{h,g}$, $T_{h,ç}$ and storage temperature)



Şekil 5. $T_{sa,g}$, $T_{sa,ç}$ ve $T_{ç}$ sıcaklıklarının zamanla değişimi
(Figure 5. Variation of $T_{sa,g}$, $T_{sa,ç}$ and $T_{ç}$ temperatures)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Yatay slinky (spiral) toprak ısı değiştirgeçli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansı deneysel hesaplanarak sistemin enerji analizi yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen bazı önemli sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir:

- 0.1 kg/s debili yatay slinky TID sisteminin COP_{sis} ve COP_{ip} değerleri sırasıyla 2.88 ve 3.55 olarak bulunmuştur.
- Evaporatöre giren su-antifriz karışımının sıcaklığı arttıkça daha yüksek COP_{sis} elde edilmiştir.
- Toplam boru boyuna göre topraktan çekilen ortalama ısı miktarı 22 W/m hesaplanmıştır.
- Toplam çukur boyuna göre topraktan çekilen ısı miktarı ortalaması da 245 W/m olarak hesaplanmıştır.

Bu tür sistemlerde toprak ısı değiştiricisini yerleştirmek için

kazı maliyeti önemli bir unsurdur. Yatay slinky toprak ısı değiştirgeçli ısı pompasının toplam çukur boyuna göre topraktan çektiği ısı miktarı, düz borulu yatay toprak ısı değiştirgeçli ısı pompasına göre daha yüksek çıkmasından dolayı, bu bölgede yatay slinky toprak ısı değiştirgeçli ısı pompası rahatlıkla kullanılabilir. Bu sayede toprak kaynaklı ısı pompaları için önemli bir maliyet oluşturan kazı maliyeti düşürülebilir. Açıkçası yatay slinky toprak ısı değiştirgeçli ısı pompasının kurulması mantıklı bir yatırım olarak düşünülebilir.

Sonuçta, toprak ısı değiştiricileri ve kazı maliyetleri düşürülürse ve yerli teknolojiyle ısı pompası üretilirse, toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri ülkemizde hem ekonomik hem de çevresel yararlar sağlayacağı açıktır. Toprak kaynaklı ısı pompaları, enerji tüketimini azaltma ve böylece sera gazlarının emisyonlarını düşürme potansiyelleri nedeniyle giderek daha fazla ilgi çekeceklerdir.

Bu konuda ileride yapılacak olan çalışmalarda topraktan çekilen ısı miktarında çok belirleyici olan farklı döngü adımları için toprak ısı değiştirgeçleri dizayn edilerek, bu farklı döngü adımları için bir matematiksel model oluşturulup adım miktarlarının ısı performansına etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yang, Z., Ma, Y., and Lu, C., (1995). A heat-pump system for heat recovery at a substation. *Energy*, 20, 3, pp: 243-245.
2. Piechowski, M., (1999). Heat and mass transfer model of a ground heat exchanger: theoretical development. *International Journal of Energy Research*, 23, pp: 571-88.
3. Inalli, M. and Esen, H., (2004). Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system. *Applied Thermal Engineering*, 24, pp: 2219-2232.
4. Jacovides, C.P. and Mihalakakou, G., (1995). An underground pipe system as an energy source for cooling/heating purposes. *Renewable Energy*, 6, 8, pp:893-900.
5. Esen, H., Inalli, M., Esen, M., and Pihtili, K., (2007). Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers. *Building and Environment*, 42, pp: 3606-3615.
6. Florides, G. and Kalogirou, S., (2007). Ground heat exchangers-A review of systems, models and applications. *Renewable Energy*, 32, pp: 2461-2478.
7. Esen, H., Inalli, M., Sengur, A., and Esen, M., (2008). Performance prediction of a ground-coupled heat pump system using artificial neural Networks. *Expert Systems with Applications*, 35, pp: 1940-1948.
8. Omer, A.M., (2008). Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp: 344-371.
9. McKay, S. and Wilson, M., (2008). An analysis of a monitored ground source heat pump installed at the National Energy Foundations Phase II Building. *Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 27-29 July.
10. Yang, W., Zhou, J., Xu, W., and Zhang, G., (2010). Current status of ground-source heat pumps in China. *Energy Policy*, 38, pp: 323-332.
11. Günerhan, H., Ülgen, K. ve Hepbaşlı, A., (2001). Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak ısı değiştiricisinin tasarımı: Ege Üniversitesi uygulaması. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 21, 1, ss: 18-24.

12. Esen, H. ve Balbay, A., (2003). Yer kaynaklı bir ısı pompası sistemindeki toprak ısı değiştiricisi boru uzunluğunun belirlenmesi. *Mühendis ve Makine*, 44, 527, ss: 55-61.
13. National Rural Electric Cooperative Association, Oklahoma State University and International Ground Source Heat Pump Association, (1988). Closed-loop / ground-source heat pump systems: Installation guide, *NRECA Research Project 86-1*, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma.
14. Doherty, P.S., Al-Huthaili, S., Riffat, S.B., and Abodahab, N., (2004). Ground source heat pump--description and preliminary results of the Eco House system. *Applied Thermal Engineering*, 24, pp: 2627-2641.
15. Wu, Y., Gan, G., Verhoef, A., Vidale, P.L., and Gonzalez, R.G., (2010). Experimental measurement and numerical simulation of horizontal-coupled Slinky Ground Source Heat Exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 30, 16, pp: 2574-2583.