



GÜNEŞ, HAVA VE TOPRAK ENERJİSİ KAYNAKLI ISI POMPALARININ ELAZIĞ ŞARTLARINDA KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI VE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ

Aydın DİKİCİ, Abdullah AKBULUT, Fevzi GÜLÇİMEN
Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Elazığ
adikici1@firat.edu.tr, aakbulut1@firat.edu.tr, fgulcimen@firat.edu.tr

(Geliş Tarihi: 18. 02. 2005)

Özet: Bu çalışmada, konutların ısıtılması amacıyla kurulan güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performans karakteristikleri, enerji ve ekserji analizleri araştırılmıştır. Deneysel seti Elazığ İli Fırat Üniversitesi'nde 60 m²'lik bir deney odasına kurulmuştur. Bu sistem; altı adet düzlemsel güneş kolektörü, bir adet ısı değıştirgeci, iki adet plaka tipi sulu ısı değıştirgeci, iki adet sirkülasyon pompası, hava kaynaklı buharlaştırıcı ve deneyler esnasında ölçüm değerlerinin alınmasında kullanılan yardımcı elemanlardan meydana gelir. Deneyler, 2002 ve 2003 yılları arasındaki Aralık'tan Mart ayına kadar olan ısıtma sezonunda yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada; güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin her bir bileşeni için ısıtma performans katsayıları, enerji ve ekserji analizleri hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş kaynaklı ısı pompası, Toprak kaynaklı ısı pompası, Hava kaynaklı ısı pompası, Enerji, Ekserji, Performans katsayısı.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GROUND SOURCE, SOLAR SOURCE AND AIR SOURCE HEAT PUMPS IN ELAZIĞ AND ENERGY AND EXERGY ANALYSES OF THESE SYSTEMS

Abstract: In this study, the performance characteristics, energy and exergy analyses of a solar assisted, ground source and air source heat pump systems constructed for domestic heating were investigated. The experimental set-up was constructed in a test room with 60 m² floor area in Fırat University, Elazığ. A system consisting of six plate solar water collectors, one heat exchanger, two plate type water evaporators, two circulation pumps, one air source evaporator and auxiliary apparatus was used during measurements. The experiments made in the heating season from December to March in 2002-2003. As a result in this study, the heating performance coefficients, the energy and exergy analyses in each of the components of the solar assisted, air source and ground source heat pump systems were calculated and compared with each other.

Keywords: Solar source heat pump, Ground source heat pump, Air source heat pump, Energy, Exergy, Performance coefficient.

SEMBOLLER

A	Alan [m ²]
C_p	Özgül ısısı [kJ/kgK]
COP	Performans katsayısı
\dot{E}	Enerji [kW]
Ex_k	Ekserji kaybı [kW]
h	Akışkanın entalpisi [kJ/kg]
I	Kollektör yüzeyine düşen anlık güneş ışınımı [kW/m ²]
\dot{m}	Debi [kg/s]
\dot{Q}	Birim zamanda ısı iletimi [kW]
s	Akışkanın entropisi [kJ/kgK]
T	Sıcaklık [K]
\dot{W}	Kompresöre birim zamanda verilen güç [kW]

Alt indisler

0	Ölü nokta
1 – 16	Şekil.1 de gösterilen belirli noktalar
17	Dış ortam
18	İç ortam
19	Kondenser hava çıkışı
a	akışkan
buh	Buharlaştırıcı
φ	çıkan
fiz	fiziksel
g	giren
gen	üretim
$gnş$	güneş
i	ısı transferinin gerçekleştiği ortam
$komp$	kompresör

<i>kol</i>	kollektör
<i>km</i>	kimyasal
<i>kn</i>	kinetik
<i>pot</i>	potansiyel
<i>r</i>	soğutucu
<i>s</i>	su
<i>s, a</i>	su-antifriz karışımı
<i>sal</i>	salamura
<i>sis</i>	sistem
<i>sp</i>	sirkülasyon pompası
<i>t</i>	toprak
<i>tid</i>	toprak ısı değiştirgeci
<i>u</i>	faidalı
<i>yoğ</i>	Yoğuşturucu

GİRİŞ

Çağımızda enerjinin sağlanması insanlığın temel sorunlarından biri olmuştur. Gelişen teknoloji ile paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Gelişmişliğin bir ölçüsü olarak görülen enerji tüketimi arttıkça fosil kökenli yakıtlara olan talebi de beraberinde arttırmaktadır. Fosil kökenli yakıtların hızla azalması, hidroelektrik enerji santrallerinin gerek kurulabileceği yerlerin gerekse mümkün olan enerji üretim kapasitelerinin sınırlı olması, acil enerji ihtiyacını karşılama gayretlerini hızlandırmıştır. En hızlı ve etkili çözüm ise 20. asrın ikinci yarısından itibaren elektrik enerjisini gittikçe artan nispete nükleer santraller vasıtasıyla üretmek olmuştur. Nükleer enerjinin kullanılmasıyla ortaya çıkan çevre meseleleri, radyasyon tehlikesi, enerji üretimi yanı sıra atom bombası imalatı imkânının varlığı ve nükleer santrallerin tesisi ile işletmesi için yüksek teknolojilerin gerekmesi; alternatif kaynaklardan faydalanma fikrini desteklemiştir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve fosil kaynakların hatta nükleer enerjinin yerini alarak insanlığa temiz ve sonsuz enerji sağlamak fikri, hem ilim adamlarının hem de onlara destek sağlayan siyasetçileri gayrete getirmiştir (Reay ve Mac Michael, 1988).

Enerji sorununun önem kazandığı günümüzde yeni enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Isı pompaları, elektrikli ısıtmaya göre 3 ile 6 kat avantajlı olmaları, çevre kirlenmesine neden olmamaları, endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmeleri gibi özellikleri nedeni ile son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir konu haline gelmiştir (Yamankaradeniz, 1982).

Toprak kaynaklı ısı pompalarının Avrupa'da (Almanya'da, İsviçre'de, Avusturya'da, İsveç'te, Danimarka'da, Norveç'te, Fransa'da) pazarlanması 20 yılı aşkın bir süredir yapılmaktadır. Adı geçen bu ülkelerde özellikle dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Amerika'da ise toprak kaynaklı ısı pompalarının ticari

olarak pazara girişi 50 yılı bulmaktadır (Sanner vd., 2003).

Türkiye, Jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın en zengin yedi ülkesinden biridir. Sıcaklığı 40–232 °C arasında değişen 1.000'den fazla sıcak ve mineral su kaynakları tespit edilmiştir. Jeotermal enerji; temiz, ucuz, geri dönüştürülebilir, evlerde ısıtma ve sıcak su kullanımına uygun, ısı pompaları için kullanılabilir, seralar ısıtılabilir, yüzme havuzlarında ve kaplıçalarda kullanılabilir, endüstriyel işlemlere ve elektrik üretimine uygundur. Ülkemizde 1990 yılından bu yana ortam ısıtılmasında ve seralarda önemli oranda kullanılmaktadır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli yaklaşık 38 MW'dır (Demirbay, 2002). Şuan ki uygulamalar göstermektedir ki Türkiye'de, diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla jeotermal enerji kaynakları daha temiz ve ucuzdur (Kaygusuz vd., 2002).

Jeotermal ısı pompaları 1998'den beri Türkiye pazarında bulunmaktadır ancak henüz yerli üretici bulunmamaktadır. İleriye dönük olarak Türkiye'nin enerji stratejilerinin belirlenmesinde, jeotermal ısı pompaları önemli oranda yerini alacaktır (Hepbaşlı, 2003).

Bugüne kadar binaları ısıtmak için çok sayıda güneş destekli ısı pompası sistemi geliştirilmiş ve literatürde bu konu ile ilgili pek çok makale yayınlanmıştır. Çalışmamızın konusu olan alternatif enerji kaynaklarından Toprak, Hava ve Güneş kaynaklı ısı pompalarının alan ısıtmada kullanımının birbirleriyle olan avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Isı çekilen ortam; nehir suyu, hava, güneş enerjisi, toprak, endüstriyel süreçlerde açığa çıkan atık ısı olabilir. Çalışmamızın konusu kapsamında güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin Elazığ İli iklim şartlarında konut ısıtılmasında kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmak amacıyla bir deney seti kurulmuştur. 2002 yılı Aralık ayından başlayarak 2003 Mart ayı dönemine kadar olan süre içerisinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen verilere dayanarak her bir sistemin performans katsayıları çıkartılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sistemlerin ekonomi ve ekserji kaybı analizi yapılmıştır.

DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI

Deney Seti

Deney seti esas olarak üç ayrı devrenin birleşiminden meydana gelmektedir. Bunlar ısı çekilen ortamlara göre; toprak ısı değiştirgeci devresi, hava kaynaklı buharlaştırıcı devresi ve güneş enerjisiyle hazırlanan sıcak suyu enerji kaynağı olarak kullanan devredir (Şekil 1).

Deney setini bina içi ve bina dışı üniteler olmak üzere iki kısma da ayırmak mümkündür.

Bina dışı üniteler;

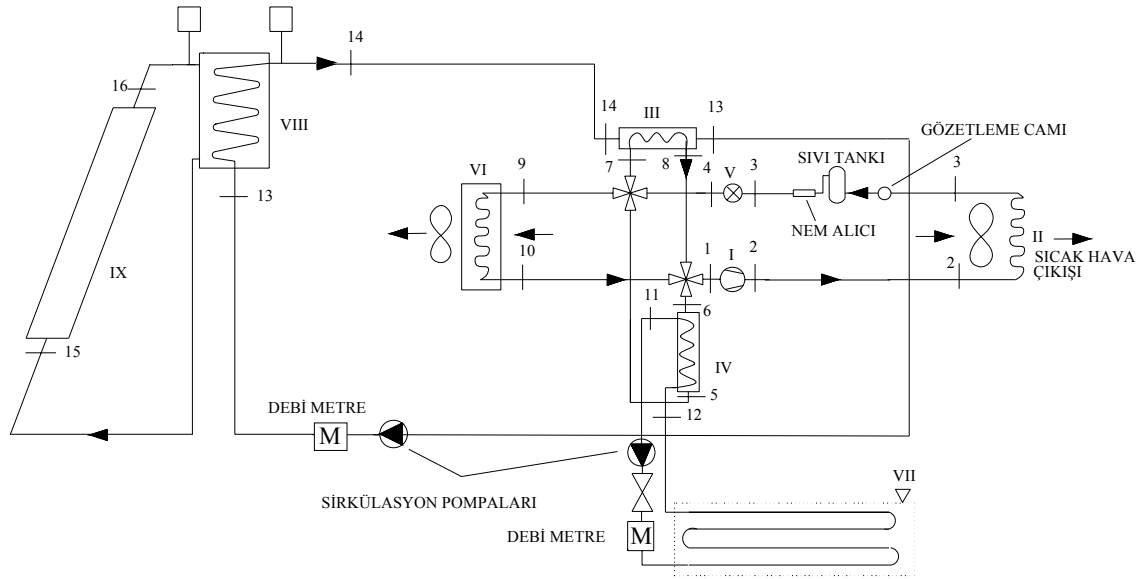
- Toprak kaynaklı ısı değiştirgeci,
- Güneş kolektörü ve güneş kaynaklı ısı değiştirgeci,
- Hava kaynaklı buharlaştırıcı,

Bina içi üniteler;

- Toprak kaynaklı buharlaştırıcı,
- Güneş kaynaklı buharlaştırıcı,
- Yoğuşturucu ve fan devresi

Bina içi üniteler, kontrol ve ölçme kolaylığı sağlaması amacıyla bir kasa içerisinde toplanmıştır. Kasa içerisinde; 1,5 HP gücünde bir kompresör, biri toprak

ısı değiştirgeci salamura devresi üzerinde diğeri ise güneş enerjili sıcak su hazırlama devresi üzerinde olmak üzere iki adet plakalı ısı değiştirgeci, plakalı ısı değiştirgecinden sirküle edilen su debilerini ölçmek için iki adet su sayacı, kompresör Freon-22 çıkış hattı üzerinde sıvı tüpü, gaz devresindeki nemi almak için kurutucu, kasanın üst ön kapağı arkasında yoğuşturucu ve vantilatör bulunmaktadır. Kasanın yan tarafında bulunan cep içerisinde Freon-22 devresinin çeşitli noktalarındaki basınçları ölçmek için manometreler, vantilatörün devrini ayarlayabilmek için Dimmer (voltaj ayarlayıcı) bulunmaktadır.



Şekil 1. Güneş, toprak ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi deney seti. (I) kompresör; (II) yoğuşturucu; (III) güneş kaynaklı buharlaştırıcı; (IV) toprak kaynaklı buharlaştırıcı; (V) kılcal boru; (VI) hava kaynaklı buharlaştırıcı; (VII) toprak kaynaklı ısı değiştirgeci; (VIII) sıcak su deposu; (IX) güneş kolektörü.

Ayrıca deney setinin çeşitli sıcaklık ölçüm noktalarından gelen ısı çiftlerinin toplandığı terminal bulunmaktadır. Sistemin harcadığı gücü ölçebilmek için Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Laboratuvarından temin edilen bir adet Wattmetre kasa üzerine yerleştirilmiştir.

Deney setinde, Tecumseh CAJ4519T Hermetik tip 1,5 HP, R22, monofaze, 2900 d/dak kompresör kullanılmıştır.

Alçak ve Yüksek Basınç Presostatı (Kombine Otomatik), Kompresörün giriş ve çıkış hattındaki basınçlara göre kompresörü devreye alıp devreden çıkararak emmandır. Kompresörün maksimum çıkış basıncı emniyet açısından 2000 kPa' a ve minimum emme basıncı ise 50 kPa olacak şekilde ayarlanmıştır.

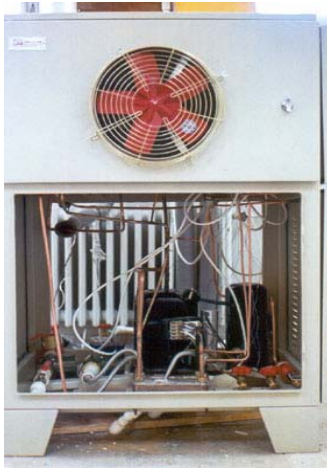
Hava kaynaklı buharlaştırıcı, dış ortam havasından ısı çekmek amacıyla ayrı bir koruyucu kasa içerisinde laboratuvar penceresinin dış tarafına yerleştirilmiştir. Buharlaştırıcının içinde bulunduğu kasa, zemine, duvara veya tavana monte edilebilecek şekilde yapılmıştır. Kasanın üzerinde bulunan kapak açılıp kapanabilmekte

ve 50 W, 1400 d/dak ve 1000 m³/h kapasiteli bir vantilatörü üzerinde taşımaktadır. Piyasada standart olarak bulunabilen buharlaştırıcı, 0,12 mm kalınlığında alüminyum kanatlı ve 3/8" çapındaki dikişsiz bakır borudan imal edilmiş ve 5,5 m² ısı transfer yüzey alanına sahiptir. Yoğuşturucu, iç ortamda bulunan kasa içerisinde kendisine ayrılan yerinde bulunmaktadır. Yoğuşturucunun ön kapağı üzerinde 1000 m³/h kapasiteli 50 W gücünde bir fan bulunmakta ve yoğuşturucu üzerinden iç ortam havasını emerek ısıtıp yine iç ortama göndermektedir. Bu fanın devir sayısı bir dimmer (voltaj ayarlayıcı) vasıtasıyla ayarlanabilmektedir. Voltaj ayarlayıcı yardımıyla fanın devir sayısı değiştirilerek iç ortama gönderilen havanın debisi ve sıcaklığı değiştirilebilmektedir. Yoğuşturucu da yine hava kaynaklı buharlaştırıcı ile aynı ölçülerdedir.

Plakalı Isı Değiştirgeçleri, bir güneş enerjisi devresinden gelen sıcak su hattı üzerinde, diğeri de toprak altı ısı değiştirgeci devresinden gelen salamura hattı üzerinde olmak üzere iki adet plakalı ısı değiştirgeci kullanılmıştır.

Kasa; kompresörü, plakalı ısı değiştirgeci, iki adet devir daim pompasını, yoğuşturucu fanını, iki adet su sayacını, sıvı t¼p¼n¼, nem alıcı, g¼zetleme camını, manometreleri ve plakalı ısı değiştirgeçlerini içerisine alacak şekilde sanayide imal edildi. Kasa, içerisinde ısı pompası elemanlarının rahatlıkla s¼k¼l¼p takılabilmesi için yeteri kadar b¼y¼k imal edilmiştir. şekil 2' de kasa ¼nden g¼r¼lmektedir.

Piyasada standart olarak bulunabilen d¼zlem g¼neř kolekt¼rlerinin y¼zey alanı 90x190 cm ¼llerinde olup 12 boru geçişli ve al¼miyumu plakalıdır. Sistemde altı adet kolekt¼r kullanılmıştır. Kapalı devre kolekt¼rlerden ısınarak çıkan ve hacimsel olarak % 50 antifrizli sıcak su 180 litre hacminde ve içerisinde 13,5 m uzunluğunda, 3/4" apında bakır borudan yapılmış ısı değiştirgecinde geçerek ısısını depodaki suya bırakmaktadır. Depoda ısınan su, kapalı bir devrede plakalı bir ısı değiştirgeci ¼zerinden geçirilerek ısısını ısı pompasının buharlaştırıcısındaki Freon-22'ye bırakmaktadır. Kapalı devre içerisinde dolaşan suyun debisi su sayacı ile ¼ll¼p devre ¼zerindeki vanalar yardımıyla değiştirilebilmektedir. şekil 3'de g¼neř kolekt¼rlerinin yandan g¼r¼n¼ř¼ verilmiştir.



şekil 2. Kasanın ¼nden g¼r¼n¼ř¼.



şekil 3. G¼neř kolekt¼rlerinin yandan g¼r¼n¼ř¼.

Sıcak su deposu, bakır borudan yapılmış bir serpantini içinde bulunduran 180 litre hacminde olup 5 cm kalınlığında cam y¼n¼yle izole edilmiştir. Bakır boru

3/4" apında 13,5 m uzunluğunda sarmal boru (serpantin) şeklinde depo içerisine yerleştirilmiştir.

Toprak altı ısı değiştirgeci, yer y¼zeyinden 1 m derinlikte, toplam boru uzunluğu 200 m olacak şekilde tek devre olarak d¼řenmiřtir. İki boru arası mesafe 37 cm olup, kullanılan boru y¼ksek ısı iletim katsayısına sahip ısıtma tesisatlarında kullanılan d¼řeme altı borusudur. şekil. 4'de açılan çukur içerisindeki toprak altı ısı değiştirgecinin resmi g¼r¼lmektedir.



şekil 4. Boruların toprak altına yerleşim planı.

DENEYLERİN YAPILMASI VE DENEYLER ESNASINDA YAPILAN ¼L¼MLER

G¼neř Kaynaklı ısı Pompası Sistemi

Bu sistemle yapılan deneyler, sabah saat 9.00' da başlayıp g¼neř batıncaya kadar devam etmiştir. Bazen g¼neř battıktan sonra deneylere 1 – 2 saat daha devam edilmiştir. G¼neř kolekt¼rleriyle elde edilen sıcak su sadece ısı pompası için ısı kaynağı olarak kullanılmış ve herhangi bir radyat¼r vb. ısıtıcıda kullanılmamıştır.

Toprak Kaynaklı ısı Pompası Sistemi

Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde deneyler m¼mk¼n olduğunca g¼n boyu s¼recek şekilde yapılmıştır. Bazen duruma g¼re ¼ęle saatlerinde deneylere başlanmış bazen de akşam ¼zeri saatlerde deneylere başlanmıştır.

Hava Kaynaklı ısı Pompası Sistemi

Dış ortam havasından ısının çekildiği bu sistemde deneyler esnasında buharlaştırıcı fanı s¼rekli olarak çalıştırılmış ve m¼mk¼n olduğunca buharlaştırıcı y¼zeylerinin karlanması ¼nlenmeye çalışılmıştır. Her g¼n sadece bir deneyin yapılmasına ve deneylere sabah saatlerinde başlanmasına ¼zen g¼sterilmiř ancak ¼ęlen ve akşam saatlerinde de deneylere başlandığı olmuştur. Deneysel veriler 30'ar dakikalık aralıklarla alınmıştır. Deneylerde aşağıdaki ¼l¼mler yapılmıştır.

- G¼neř ışınlamının ¼l¼m¼
- Sıcaklık ¼l¼m¼
- Debi ¼l¼m¼

- Basınç ölçümü
- Güç ölçümü

Güneş Işınımının Ölçümü

2002–2003 ısıtma sezonu boyunca yatayla 38° açı yapacak şekilde yerleştirilen Kipp-Zonen Solarimetresi ile günlük güneş ışınımı ölçülmüştür.

Sıcaklık Ölçümü

Deney setinin çeşitli noktalarına yerleştirilen T tipi (Cu-Co) ısı çiftleri yardımıyla her 30'ar dakikalık zaman aralıklarıyla sıcaklıklar ölçülmüştür. Sistemde dolaşan soğutucu akışkan, salamura ve sıcak su sıcaklıkları ile birlikte dış ortam ve iç ortam sıcaklıkları da ölçülmüştür. Isıl çiftler, korozyon nedeniyle hatalı ölçüm yapma ihtimaline karşı vernik ile izole edilmiştir.

Dış Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü

Dış ortam hava sıcaklığını ölçmek amacıyla bir ısı çifti, laboratuvar binasının dış duvarından 1,5 m uzaklıkta güneş ışınımını direkt görmeyecek şekilde yerleştirilmiş ve dış ortam hava sıcaklığındaki değişimler yarımşar saatlik aralıklarla ölçülmüştür.

İç Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü

Laboratuvar binasının iç ortam sıcaklıkları, dış pencereden 1,5 m içeride ve yoğuşturucudan çıkan ısıtılmış hava akımının direk temas etmediği bir noktaya yerleştirilmiş olan ısı çifti yardımıyla ölçülmüştür.

Yoğuşturucu Çıkış Havası Sıcaklığının Ölçümü

Kasanın ön kısmında bulunan yoğuşturucu fanından çıkan havanın direkt temas ettiği bir noktaya yerleştirilen ısı çifti yardımıyla sıcaklıklar ölçülmüştür.

Soğutucu Akışkanın Sıcaklık Ölçümleri

Kompresörün çıkış ve emme borusuna, toprak hattı devresinin bağlandığı plakalı ısı değiştirgeci Freon–22 giriş borusuna, güneş enerjisi sisteminden gelen hattın bağlandığı plakalı ısı değiştirgeci Freon–22 giriş ve çıkış borusu üzerine, hava kaynaklı buharlaştırıcının Freon–22 giriş ve çıkış borusu üzerine yerleştirilen ısı çiftleri yardımıyla sıcaklıklar ölçülerek kaydedilmiştir.

Sistemde Dolaşan Su ve Salamuranın Sıcaklık Ölçümleri

Güneş ve toprak hattından gelen sıcak su ve salamuranın plakalı ısı değiştirgeçlerine giriş ve çıkış sıcaklıkları, kolektörlerin giriş ve çıkış su sıcaklıkları yerleştirilen ısı çiftleri yardımıyla ölçülmüştür.

Hava Kaynaklı Buharlaştırıcıdan Geçen Hava Debisinin Ölçümü

Hava kaynaklı buharlaştırıcının içine yerleştirildiği kasanın üst kapağı üzerine yerleştirilen fanın maksimum kapasitesi esas alınarak (1000 m³/h) ayrı bir ölçüm yapılmamıştır.

Yoğuşturucudan Geçen Hava Debisinin Ölçümü

Yoğuşturucu üst kapağı üzerinde bulunan 1000 m³/h kapasiteli bir fan, yoğuşturucu üzerinden iç ortam havasını geçirerek tekrar iç ortama göndermekte ve hava debisi dimmer (voltaj ayarlayıcı) yardımıyla istenilen debi değerine ayarlanmaktadır. Yoğuşturucu üzerinden geçen havanın hacimsel debisi rüzgârgülü vasıtasıyla ölçülmüştür ve daha sonra o sıcaklıktaki havanın yoğunluğu ile çarpılarak havanın kütleli debisi bulunmuştur.

Hata Analizi

Deneylerdeki hatalar ölçüm yapılacak cihazın seçiminden, kalibrasyonundan, çevresel etkilerden, okuma hatalarından kaynaklanmaktadır. Hata analizi (Holman, 2000) sonucunda ölçümlerdeki belirsizlikler aşağıdaki gibi tahmin edilmiştir.

Ölçümler sonucunda oluşabilecek belirsizlik; kütleli debi için \pm % 3.43, su ve salamura sıcaklıkları için \pm % 1.65, basınç ölçümleri için \pm % 2.95, kompresör girişindeki güç için \pm % 2.75, solarimetre ile ölçülen ışınım değeri için \pm 1.75, soğutucu akışkan sıcaklık ölçümleri için \pm 3.35 dir.

ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden tersinir bir hal değişimiyle çevrenin bulunduğu hale (ölü hale) getirilirse elde edilir. Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve kullanılabilirlik (ekserji) diye adlandırılır. Kullanılabilirliğin bir ısı makinesinin gerçek bir uygulamada yapabileceği iş olarak düşünülmemesi gerekir. Bu tanım, bir makinenin termodinamiğin yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırını göstermektedir.

Ekserji analizinde; Freon–22 soğutucu akışkanın, suyun, antifrizli suyun ve havanın termodinamik özellikleri, tablolar kullanılarak çıkarılmıştır. Sürekli akışlı açık sistemlerde en genel halde enerji ve ekserji eşitlikleri aşağıda gösterildiği gibidir (Özgener vd., 2004); Genel enerji eşitliği;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c \quad (1)$$

veya

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_c h_c \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. akışkanın en genel halde ekserji analizi dört bileşenin toplamına eşittir. Genel ekserji eşitliği (Koroneos vd., 2003);

$$Ex = Ex_{km} + Ex_{fz} + Ex_{kn} + Ex_{pot} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu çalışmada kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilmiştir. En genel halde ekserji kaybı eşitliği;

$$\dot{Ex}_g - \dot{Ex}_ç = \dot{Ex}_k \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Ekserji kaybı eşitliği başka bir ifadeyle;

$$\dot{Ex}_{ısı} - \dot{Ex}_{ış} + \dot{Ex}_{g,kütle} - \dot{Ex}_{ç,kütle} = \dot{Ex}_k \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir. En genel halde (Cervantes vd., 2002)

$$Ex_k = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_i} \right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_u \left[(h_{u,g} - h_{u,ç}) - T_o (s_{a,g} - s_{a,ç}) \right] \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir.

Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi

Güneş enerjisi destekli ısı pompası bileşenleri tek tek ele alınarak enerji ve ekserji kaybı analizi yapılmıştır. Güneş kolektörlerinin enerji ve ekserji kaybı analizleri sırasıyla aşağıdaki bağıntılardan yararlanılarak elde edilmiştir (Özgener vd., 2004);

$$Q_{kol} = \dot{m}_{sal} C_{p,sal} (T_{16} - T_{15}) \quad (7)$$

$$\dot{Ex}_k = \dot{m}_{sal} [(h_{15} - h_{16}) - T_o (s_{15} - s_{16})] + \dot{Q}_u \left(1 - \frac{T_o}{T_{gns}} \right) \quad (8)$$

burada T_{gns} güneş sıcaklığı olup 5700 K alınmıştır ve Q_u faydalı ısı yanı sistemde dolaşan akışkanın taşıdığı ısı olup aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir (Hepbaşlı vd., 2004,)

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_s C_{p,s} (T_{14} - T_{13}) \quad (9)$$

Kompresör işi ve Ekserji Kaybı;

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (10)$$

$$\dot{Ex}_k = \dot{m}_r [(h_1 - h_2) - T_o (s_1 - s_2)] + \dot{W} \quad (11)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilir.

Yoğuşturucunun Enerji ve Ekserji Kaybı analizi;

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{Q}_{fan} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (12)$$

$$\dot{Ex}_k = \dot{m}_r [(h_2 - h_3) - T_o (s_2 - s_3)] - \dot{Q}_{fan} \left(1 - \frac{T_o}{T_{ç,hava}} \right) \quad (13)$$

bağıntısı ile açıklanır.

Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı;

Buharlaştırıcıya giren su, enerjisini soğutucu akışkana vermekte ve bu enerji de yoğuşturucudan iç ortama verilmektedir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_r (h_8 - h_7) \quad (14)$$

Ekserji kaybı ise;

$$\dot{Ex}_k = \dot{m}_r [(h_8 - h_4) - T_o (s_8 - s_4)] + \dot{m}_s [(h_{14} - h_{13}) - T_o (s_{14} - s_{13})] \quad (15)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı analizi;

$$\dot{Ex}_k = \dot{m}_r [(h_3 - h_4) - T_o (s_3 - s_4)] \quad (16)$$

şeklinde yazılabilir. Kontrol hacminin giriş ve çıkış debileri birbirine eşit olduğu için;

$$h_3 = h_4 \quad \text{olur.} \quad (17)$$

Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı

Kompresörün enerji ve ekserji analizinde Eş. (10) ve Eş. (11) kullanılmıştır. Yoğuşturucunun enerji ve ekserji analizinde Eş. (12) ve Eş. (13) kullanılmıştır.

Buharlaştırıcıdan çekilen ısı enerjisi soğutucu akışkan vasıtasıyla taşınarak yoğuşturucudan iç ortama verilmektedir. Buharlaştırıcı ısı yükü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_r (h_6 - h_5) \quad (18)$$

Ekserji kaybı ise;

$$\dot{Ex}_k = \dot{m}_r [(h_5 - h_6) - T_o (s_5 - s_6)] + \dot{m}_{s,a} [(h_{11} - h_{12}) - T_o (s_{11} - s_{12})] \quad (19)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Genleşme valfinin ekserji analizi, Eş. (16) ve Eş. (17) yardımıyla yapılmıştır.

Toprak Altı Isı Değiştirgecinin Ekserji Kaybı

Toprak altı ısı değiştirgecinde ısı transferi;

$$\dot{Q}_{tu} = \dot{m}_{s,a} C_{p,s,a} (T_{12} - T_{11}) \quad (20)$$

Ekserji kaybı ise;

$$\dot{E}x_k = \dot{m}_{s,a} [(h_{11} - h_{12}) - T_o (s_{11} - s_{12})] + \dot{Q}_{tid} \left(1 - \frac{T_o}{T_t} \right) \quad (21)$$

bağıntıları yardımıyla hesaplanabilir. Burada; T_t toprak sıcaklığı olup deney yapılan günler için ölçülmüştür.

Hava Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi

Kompresörün enerji ve ekserjisi analizinde Eş. (10) ve Eş. (11) kullanılmıştır. Yoğuşturucunun enerji ve ekserjisi analizinde Eş. (12) ve Eş. (13) kullanılmıştır.

Hava Kaynaklı Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı

Hava kaynaklı buharlaştırıcısında ısı transferi;

$$\dot{Q}_{buğ} = \dot{Q}_{fan} = \dot{m}_r (h_{10} - h_9) \quad (22)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir. Ekserji kaybı ise;

$$\dot{E}x_k = \dot{m}_r [(h_9 - h_{10}) - T_o (s_9 - s_{10})] + \dot{Q}_{fan} \left(1 - \frac{T_o}{T_{ç,hava}} \right) \quad (23)$$

eşitliği ile bulunabilir. Genleşme valfinin ekserji analizi, Eş. (16) ve Eş. (17) yardımıyla yapılmıştır.

Sistemin Performans Katsayısı Hesabı;

$$COP_{sis} = \frac{\dot{Q}_{yoğ}}{\dot{W}_{sis}} \quad (24)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Burada

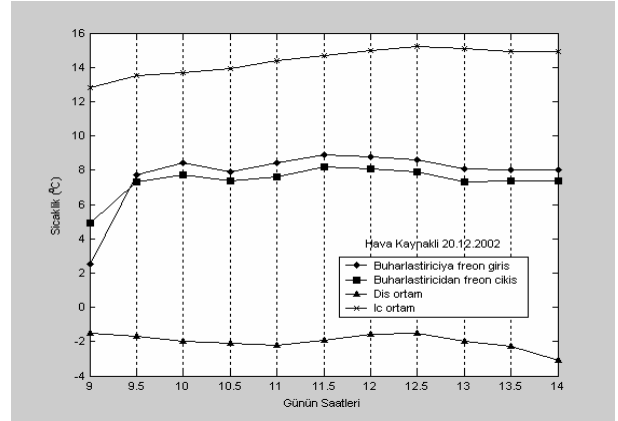
$$\dot{W}_{sis} = \dot{W}_{komp} + \dot{W}_{fanlar} + \dot{W}_{sp} \quad (25)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

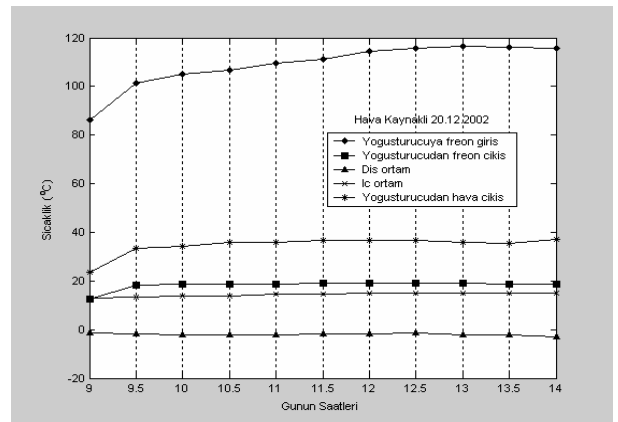
SONUÇ VE ÖNERİLER

Elazığ İli bölgesinde güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompaları ile konutların ısıtılabilirliğini incelemek amacıyla bir model ısıtma ortamı olarak Teknik Eğitim Fakültesinde kullanılmayan bir sınıf seçilmiştir. Bu ortamın ısıtılabilirliğini deneysel olarak araştırmak amacıyla güneş, hava, toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurulmuştur. Bu sistem; güneş, hava ve toprak kaynaklı olmak üzere üç değişik şekilde çalıştırılarak ölçümler yapılmıştır.

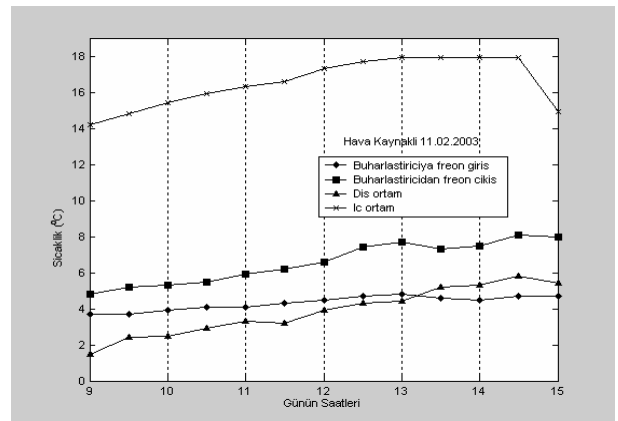
Hava kaynaklı ısı pompası için Aralık 2002 tarihine ait yoğuşturucuya ve buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklığı, iç ve dış ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişiminin grafikleri Şekil 5 ve 6' da verilmiştir.



Şekil 5. Hava kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (20.12.2002).



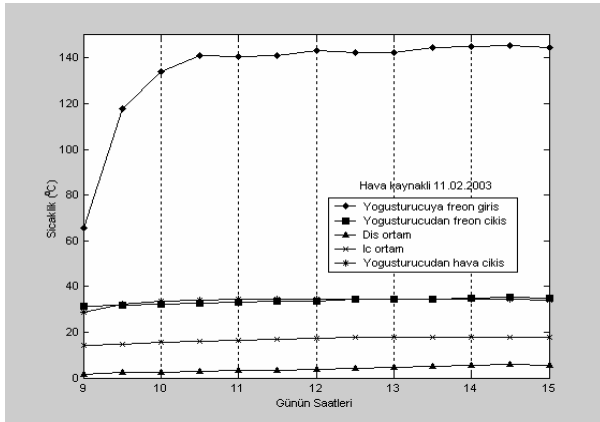
Şekil 6. Hava kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (20.12.2002).



Şekil 7. Hava kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (11.02.2003).

Görüldüğü üzere dış ortam sıcaklığı saat 09.00 'da -1.5 °C olurken, 14.00'de -3.1 °C 'ye düşmüştür. İç ortam sıcaklığı ise 12.8 °C ile 14.9 °C arasında değişmektedir. Buharlaştırıcıya Freon-22 giriş sıcaklığı günün saatlerine göre 12.5 °C ile 18.9 °C arasında değişmektedir (Şekil 5). Bununla birlikte Freon-22'nin yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 5.9 °C ile 8.7 °C ve 86.2 °C ile 116.5 °C arasında değişmektedir (Şekil 6). Ocak 2003 tarihine ait hava kaynaklı ısı

pompası için yoğuşturucuya ve buharlaştırıcıya giren Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklığı, iç ve dış ortam sıcaklıkları ile yoğuşturucudan iç ortama verilen hava sıcaklığına ait grafikler Şekil 9 ve 10'da verilmiştir.



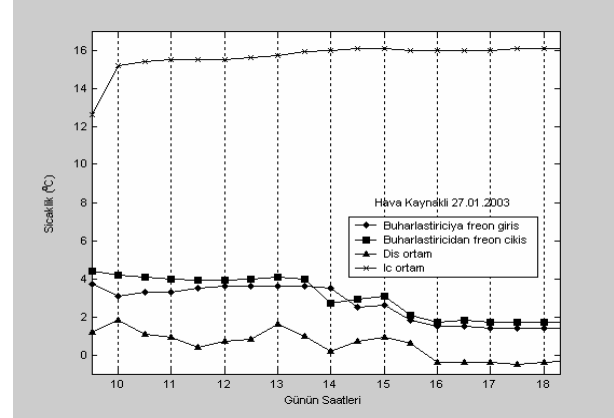
Şekil 8. Hava kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (11.02.2003).

Görüldüğü gibi dış ortam sıcaklığı -0.4°C ile 1.8°C arasında, iç ortam sıcaklığı ise 12.6°C ile 161°C arasında değişmektedir. Buharlaştırıcıya Freon giriş sıcaklığı günün saatlerine göre 1.4°C ile 4.4°C arasında değişmektedir (Şekil 7). Bununla birlikte Freon-22, yoğuşturucuya saat 09.00'da 9.4°C 'de girerken 13.00'de 13.7°C ile en yüksek giriş sıcaklığına sahip olmuştur. yoğuşturucudan Freon -22 çıkış sıcaklığı 1.7°C ile 4.4°C arasında değişmektedir (Şekil 8). Şubat 2003 tarihinde hava kaynaklı ısı pompası için yapılan deneylerde dış ortam havası sıcaklığının 1.5°C ile 5.8°C arasında ve iç ortam havasının ise 12.2°C ile 14.9°C arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9 ve 10).

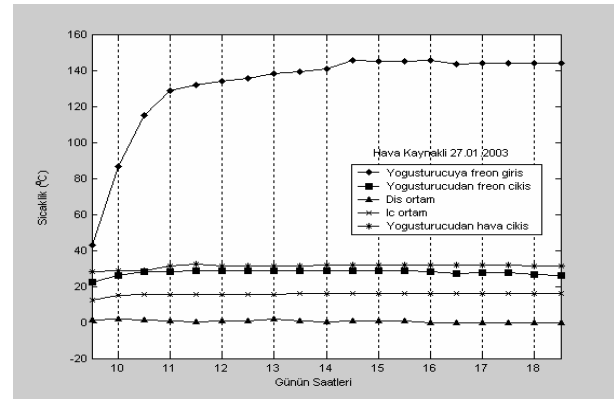
Buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 3.7°C ile 4.8°C arasında ve 4.8°C ile 8.1°C arasında değişmektedir (Şekil 9). Yoğuşturucuya Freon-22 giriş sıcaklığı günün saatlerine göre 9.5°C ile 15.4°C arasında ve çıkış sıcaklığı ise 65.7°C ile 145.3°C arasında değişmektedir (Şekil 10). Aralık ayında yapılan deneylerde ortalama dış ortam sıcaklığı -2°C , sistemin ortalama performans katsayısı $\text{COP}_{\text{sis}} 1.51$ ve ortalama iç ortam sıcaklığının $14,4^{\circ}\text{C}$ olduğu, ocak ayında ortalama dış ortam sıcaklığı $0,5^{\circ}\text{C}$, $\text{COP}_{\text{sis}} 1.31$ ve ortalama iç ortam sıcaklığının $15,7^{\circ}\text{C}$ olduğu ve şubat ayında ise ortalama dış ortam sıcaklığı $3,85^{\circ}\text{C}$, $\text{COP}_{\text{sis}} 1,62$, ortalama iç ortam sıcaklığının $16,8^{\circ}\text{C}$ olduğu belirlenmiştir. Ocak ayında sistemin performans katsayısının diğer aylara göre daha düşük olmasının nedeni deneylerin yapıldığı gün yoğun kar yağışı nedeniyle buharlaştırıcı yüzeyinin aşırı karlanmasıdır. Hava kaynaklı ısı pompası için sonuçlara bakıldığında dış ortam sıcaklığının artmasıyla iç ortam sıcaklığı ve sistemin performans katsayısı artmaktadır.

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi için Aralık 2002 tarihine ait yapılan deneylerde Yoğuşturucuya Freon giriş ve çıkış sıcaklıkları ile dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri Şekil 11 ve 12'de verilmiştir. Görüldüğü üzere Freon-22

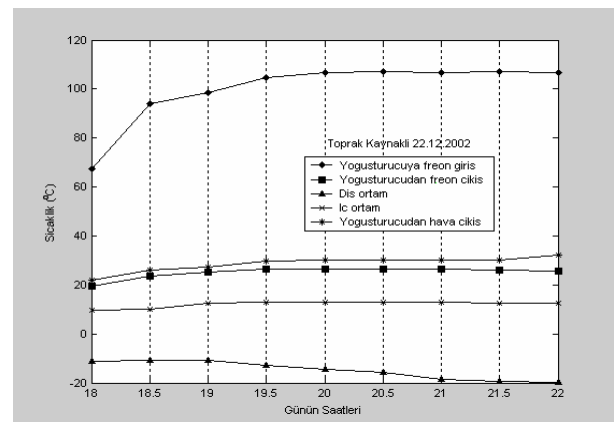
yoğuşturucuya 67.6°C ile 107.1°C arasında girmekte ve 19.3°C ile 26.6°C arasında çıkmaktadır. Dış ortam sıcaklığı saat 18.00'de -11.2°C olurken saat 22.00'de -19.7°C 'ye düşmüştür. İç ortam sıcaklığı ise deneylerin yapıldığı saatler arasında 9.8°C ile 13°C arasında değişmektedir (Şekil 11).



Şekil 9. Hava kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (27.01.2003).



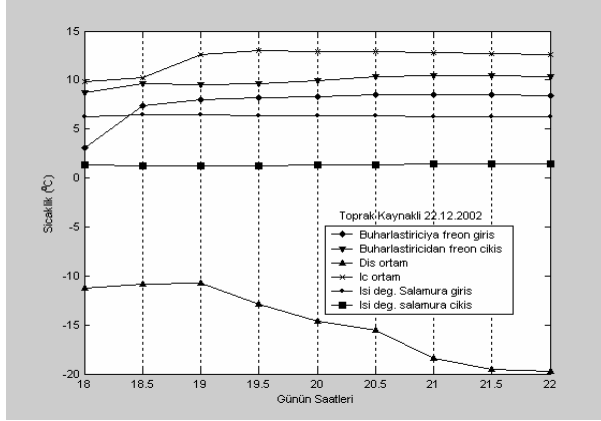
Şekil 10. Hava kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (27.01.2003).



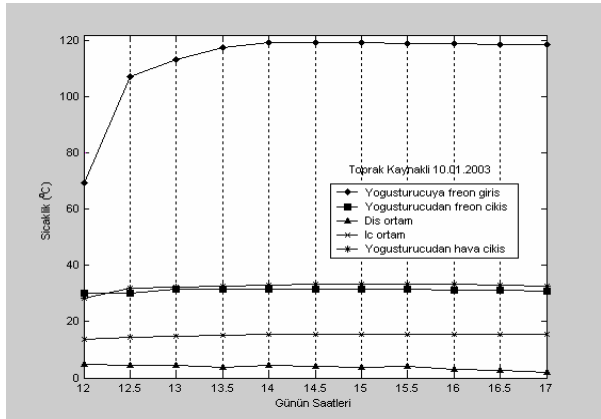
Şekil 11. Toprak kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (22.12.2002).

Buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 3.1°C ile 8.5°C arasında ve 8.7°C ile 10.4°C arasında değişmektedir. Isı değiştirgecine salamura giriş

sıcaklığının 6.3 °C ile 6.5 °C arasında ve salamura çıkış sıcaklığının 1.4 °C ile 1.2 °C arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 12). Ocak 2003 tarihine ait toprak kaynaklı ısı pompası için yoğuşturucuya Freon giriş ve çıkış sıcaklıkları, dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri Şekil 13 ve 14’de verilmiştir.



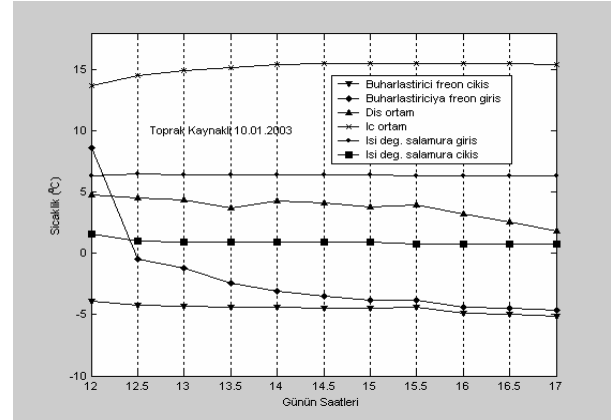
Şekil 12. Toprak kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (22.12.2002).



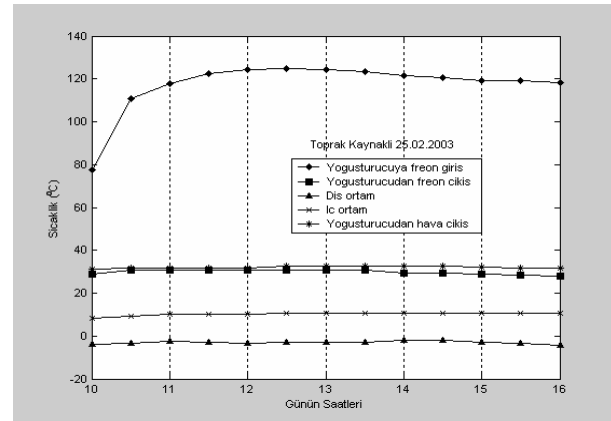
Şekil 13. Toprak kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (10.01.2003).

Görüldüğü gibi Freon-22'nin yoğuşturucuya giriş sıcaklığı saat 12.00'de 69.4 °C iken ölçüm alınan diğer saatlerde giriş sıcaklığında ciddi bir artış olduğu gözlenmiş ve 107 °C ile 119 °C arasında değişmektedir. Dış ortam sıcaklığı 1.8 °C ile 4.8 °C arasında, iç ortam sıcaklığı ise deneylerin yapıldığı saatler arasında 13.7 °C ile 15.5 °C arasında değişmektedir (Şekil 13). Buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla - 3.9 °C ile -5.1 °C arasında ve -4.6 °C ile 8.6 °C arasında değişmektedir. Isı değiştirgecinin salamura giriş sıcaklığının 6.3 C ile 6.5 °C arasında ve salamura çıkış sıcaklığının 0.8 °C ile 1.6 °C arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 14). Şubat 2003 tarihinde toprak kaynaklı ısı pompası için yapılan deneylerde yoğuşturucuya Freon-22 giriş sıcaklığı 77.4 °C ile 124.8 arasında değişmektedir. Yoğuşturucudan çıkış sıcaklığı ise 28.8 °C ile 30.6 °C arasında fazla değişim göstermemektedir. Dış ortam havası sıcaklığı -3.7 °C ile

-1.8 °C arasında ve iç ortam sıcaklığı ise 8.4 °C ile 10.7 °C arasında değişmektedir (Şekil 15).



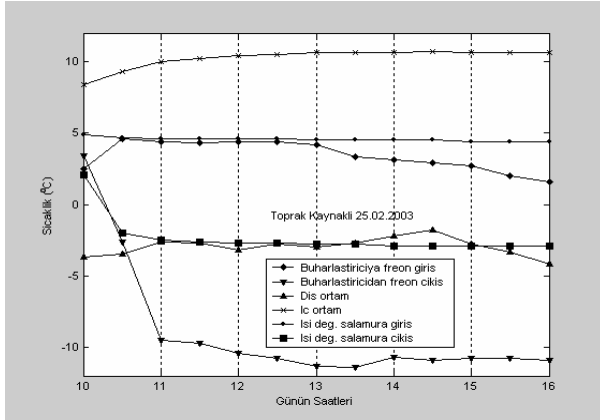
Şekil 14. Toprak kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (10.01.2003).



Şekil 15. Toprak kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (25.02.2003).

Buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 1.6 °C ile 4.6 °C arasında ve -11.3 °C ile 3.4 °C arasında değişmektedir. Isı değiştirgecinin salamura giriş sıcaklığının 4.4 C ile 4.9 °C arasında ve salamura çıkış sıcaklığının -2.9 °C ile 2.1 °C arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 16). Aralık ayında yapılan deneylerde ortalama toprak sıcaklığı 6.7 °C, ortalama dış ortam sıcaklığı -14.8 °C iken yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığının 28.5 °C, deney odasının iç ortam sıcaklığının 12.2 °C ve sistemin ortalama performans katsayısı COP_{sis}'in 1.63 olduğu belirlenmiştir. Ocak ayında yapılan deneylerde ortalama toprak sıcaklığı 6.1 °C, ortalama dış ortam sıcaklığı 3.7 °C iken yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığının 32.4 °C, deney odasının iç ortam sıcaklığının 15.1 °C ve sistemin ortalama performans katsayısı COP_{sis}'in 1.66 olduğu belirlenmiştir. Şubat ayında yapılan deneylerde ortalama toprak sıcaklığı 4.2 °C, ortalama dış ortam sıcaklığı -2.9 °C iken yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığının 32 °C, deney odasının iç ortam sıcaklığının 10.2 °C ve sistemin ortalama performans katsayısı COP_{sis}'in 2.7 olduğu belirlenmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında sonuçlara bakıldığında sistemin performans katsayısı

COP_{sis} , yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır.



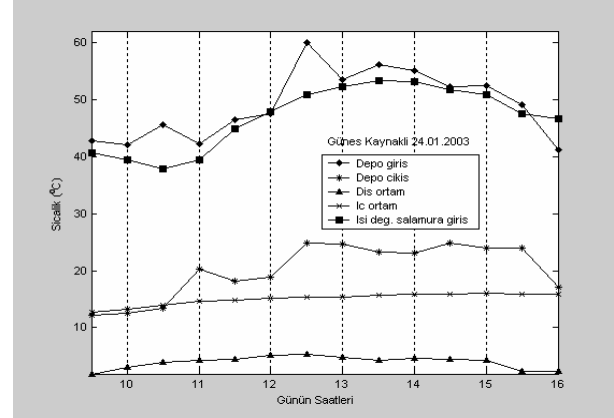
Şekil 16. Toprak kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (25.02.2003).

Güneş kaynaklı ısı pompası sistemi için kollektör giriş ve çıkış suyu sıcaklığı, plakalı ısı değiştirgeci giriş suyu sıcaklığı, depo giriş ve çıkış sıcaklığı, iç ortam ve dış ortam sıcaklığının günün saatlerine göre değişiminin grafikleri Ocak ayı için Şekil 17, 18 ve 19, Şubat ayı için Şekil 20, 21 ve 22'de verilmiştir. Aralık ayında, havaların genellikle kapalı olmasından dolayı güneş kaynaklı ısı pompasının deneyleri yapılmamıştır.

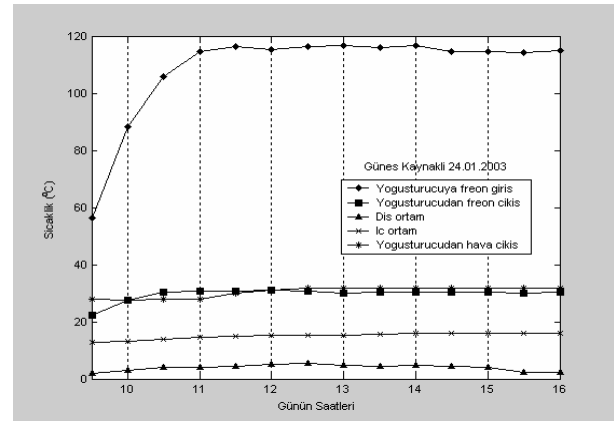
Ocak 2003 tarihinde güneş kaynaklı ısı pompası için yapılan deneylerde depo giriş sıcaklığının 42.1 °C ile 60.2 °C arasında, depo çıkış sıcaklığının ise 12.1 °C ile 24.8 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Isı değiştirgecine su giriş sıcaklığı 37.8 °C ile 53.2 °C arasında değişmektedir (Şekil 17).

Buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 18.2 °C ile 27.2 °C ve 18.7 °C ile 27.3 °C arasında değişmektedir. Dış ortam sıcaklığı 1.9 °C ile 5.3 °C arasında ve iç ortam sıcaklığı ise 12.7 °C ile 15.4 °C arasında değişmektedir (Şekil 17). Yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 54.4 °C ile 114.7 °C ve 29.2 °C ile 37.8 °C arasında değişmektedir (Şekil 18). Şubat 2003 tarihine ait güneş kaynaklı ısı pompası için yapılan deneylerde depo giriş sıcaklığının 22.4 °C ile 68.2 °C arasında, depo çıkış sıcaklığının ise 5.8 °C ile 13.5 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Isı değiştirgecine su giriş sıcaklığı 32.4 °C ile 67.9 °C arasında değişmektedir (Şekil 19). Buharlaştırıcıya Freon giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 20 °C ile 21.8 °C ve 18.8 °C ile 48.1 °C arasında değişmektedir. Dış ortam sıcaklığı -6.8 °C ile -1.2 °C arasında ve iç ortam sıcaklığı ise 9.6 °C ile 12.5 °C arasında değişmektedir (Şekil 20). Yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 66.4 °C ile 142.9 °C ve 26.1 °C ile 27.8 °C arasında değişmektedir (Şekil 21). Ocak ayında yapılan deneylerde ortalama dış ortam sıcaklığı 3.95°C, ortalama iç ortam sıcaklığının 15 °C, Yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığının 28.5 °C, sistemin ortalama performans katsayısı COP_{sis} 'in 1.82 ve ortalama ısıtım değerinin 780 W/m² olduğu belirlenmiştir. Şubat ayında

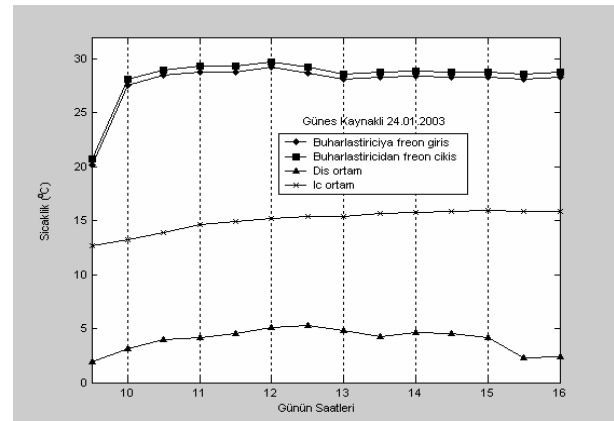
yapılan deneylerde ortalama dış ortam sıcaklığı -3.4 °C, ortalama iç ortam sıcaklığının 12 °C, Yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığının 29.2 °C, sistemin ortalama performans katsayısı COP_{sis} 'in 2.51 ve ortalama ısıtım değerinin 819 W/m² olduğu belirlenmiştir. Güneş kaynaklı ısı pompasının sonuçlarına bakıldığında, ısıtım değerlerinin ve Yoğuşturucudan hava çıkış sıcaklığının artmasıyla sistemin ortalama performans katsayısı COP_{sis} artmaktadır.



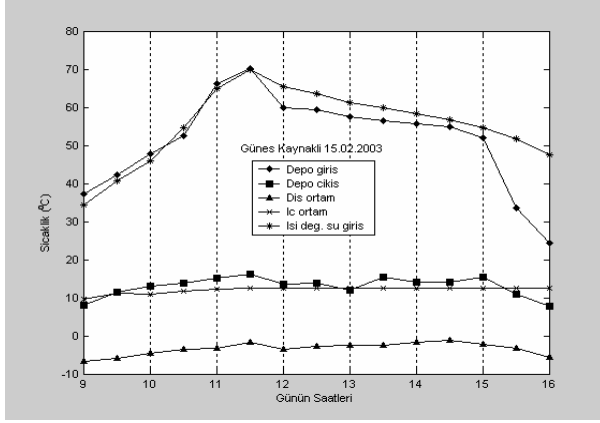
Şekil 17. Güneş kaynaklı ısı pompasında, depo giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (24.01.2003).



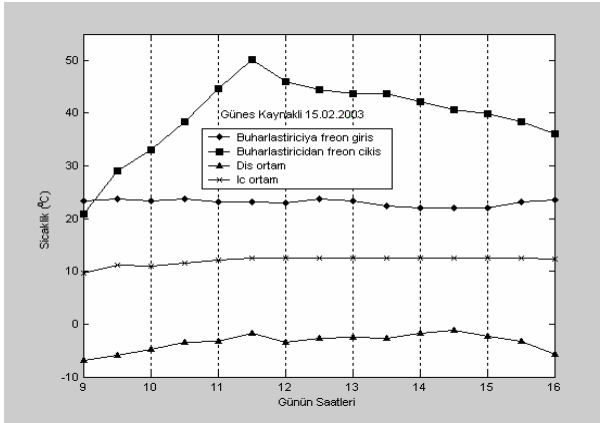
Şekil 18. Güneş kaynaklı ısı pompasında, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (24.01.2003).



Şekil 19. Güneş kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (24.01.2003).



Şekil 20. Güneş kaynaklı ısı pompasında, depo giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (15.02.2003).



Şekil 21. Güneş kaynaklı ısı pompasında, buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (15.02.2003).

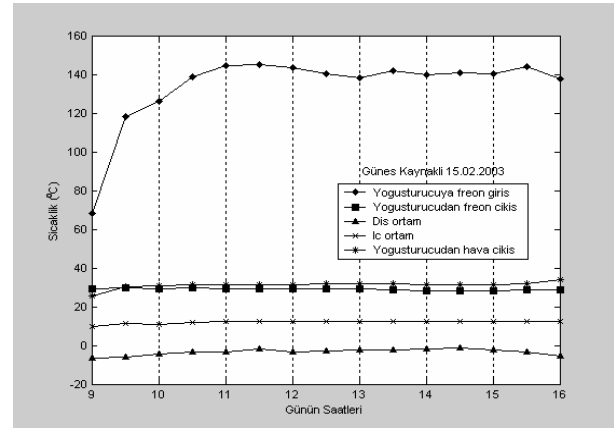
Bölgemizin meteorolojik verilerinden anlaşıldığı gibi konutların ısıtılmasında kullandığımız güneş kaynaklı ısı pompası sistemlerinin yeterli olmadığı görülmektedir. Elazığ İli'nde Aralık ve Mart ayları arasında kapsayan yoğun ısıtma sezonu boyunca bölgenin ortalama güneşlenme gün sayısının ortalama 35 gün civarında olması güneş kaynaklı ısı pompasının tek başına yeterli olmayacağı anlamına gelir.

Hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma yükünün arttığı akşam saatlerinde dış ortam sıcaklıklarının 0 °C'nin çok altına düşmesi buharlaştırıcı yüzeyinde karlanmaya neden olmakta ve sistem durmaktadır. Genel performans değerlerinin vasatın altında olması, hava kaynaklı ısı pompalarının sezon boyunca kullanımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır.

Bu çalışmada; güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin 2002-2003 yıllarındaki aralıktan mart ayına kadar olan ısıtma sezonu için enerji ve ekserji analizleri sunulmuştur. Tablo 2'de verilen termodinamik özellik tablosu değerlerine bağlı olarak güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin her bir bileşeni için enerji ve ekserji analizleri sonuçları Tablo 1'de özetlenmiştir. Tablo 2 de verilen sıcaklık ve basınç değerleri, her bir ısı pompası sistemi için deneylerin yapıldığı bütün günlerin ortalama

değerleridir. Bu ortalama değerlere bağlı olarak özgül entalpi ve entropi değerleri termodinamik tablolardan faydalanılarak bulunmuştur. Tablo 1'den de anlaşıldığı üzere; COP_{sis} değeri sırasıyla güneş kaynaklı ısı pompası için 2.90, toprak kaynaklı ısı pompası için 2.37 ve hava kaynaklı ısı pompası için 2.12 olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de ekserji kaybı analiz sonuçlarına bakıldığında, toprak ısı değiştirgecinin ekserji kaybının çok düşük olduğu gözlenmiştir.

Yoğusturucu ısıtma yükünün en fazla ve kompresörün ekserji kaybının en az olduğu sistem, güneş kaynaklı ısı pompası sistemidir. Bunu sırasıyla toprak kaynaklı ısı pompası ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi izlemektedir. Buharlaştırıcıda meydana gelen ekserji kaybı değeri ile COP_{sis} değeri arasında paralellik belirlenmiştir. Güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde buharlaştırıcıdaki ekserji kaybı sırasıyla 1.0185, 1.1022 ve 1.2999 olarak belirlenmiştir.



Şekil 22. Güneş kaynaklı ısı pompasında, yoğusturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişimi (15.02.2003).

Öneriler

a) Güneş kaynaklı ısı pompası sistemleri için, yazın bol güneş alan bölgemizde güneş enerjisi yeraltında depolanarak kışın toprak kaynaklı ısı pompasına kaynak olarak kullanılırsa ısıtılacak ortamın istenilen değere ulaşacağı kanısına varılmıştır.

b) Hava kaynaklı ısı pompaları, Tablo 1'den de görüleceği üzere düşük performans katsayısı ve yüksek ekserji kaybı nedeniyle toprak ve güneş kaynaklı ısı pompalarına nazaran daha az tercih edilmelidir.

c) Eğer toprak kaynaklı ısı pompası sistemi için konutun yeterli toprak alanı mevcut ise, duruma göre dikey yada yatay toprak ısı değiştirgeci tipine sahip bir ısı pompasının kurulması mantıklı bir yatırım olarak görülmektedir. Toprak ısı değiştirgecinin ekserji kaybının çok düşük olması ve fazla bakım gerektirmemesi gibi nedenler de bu görüşü desteklemektedir.

d) Tek başına bir ısı kaynağının (güneş, toprak veya hava) ısıtmada yeterli olmadığı durumlarda, ikinci bir ısı kaynağının da beraberinde devreye alınarak kullanılması, maliyeti artırsa da daha etkin bir ısı yükü sağlayacağı deneyler sonucunda gözlenmiştir. Bu çalışmada bu konuya değinmedik ancak yaptığımız deneyler sonucunda güneş ve toprak kaynaklı çoklu ısı

pompası sisteminin performans katsayısı, hem güneş hem de toprak kaynaklı ısı pompasına göre çok daha yüksek çıkmıştır. Güneş ışınımının yeterli olmadığı saatlerde ısıtma yükünün toprak kaynaklı ısı pompasından sağlanabileceği, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin daha kararlı olması bu görüşümüzü desteklemektedir.

Tablo 1. Güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri için enerji ve ekserji analizi sonuçları.

Isı pompası sistemleri	Isı Pompası Sistemindeki Bileşenlerin Enerji Analizi					
	Kompresör (kW)	Yoğuşturucu (kW)	Buharlaştırıcı (kW)	Toprak ısı değiştirgeci (kW)	Güneş Isı Değiştirgeci (kW)	Güneş kolektörü (kW)
Güneş kaynaklı	-1,53	-4,815	3,285	---	1,4466	3,48
Toprak kaynaklı	-1,5267	-3,934	2,48	2,688	---	---
Hava kaynaklı	-1,64	-3,69	2,05	---	---	---

Isı pompası sistemleri	Isı Pompası Sistemindeki Bileşenlerin Ekserji Kaybı Analizi						
	Kompresör (kW)	Yoğuşturucu (kW)	Buharlaştırıcı (kW)	Toprak ısı değiştirgeci (kW)	Güneş Isı Değiştirgeci (kW)	Güneş kolektörü (kW)	COPsis
Güneş kaynaklı	0,007	0,273	1,0185	---	0,65	2,034	2,90
Toprak kaynaklı	0,69	0,189	1,1022	0,004424	---	---	2,37
Hava kaynaklı	0,727	0,238	1,2999	---	---	---	2,12

Tablo 2. Güneş kaynaklı, hava kaynaklı, toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri için termodinamik özellik değerleri.

Refn o	Bileşen No	Akışkan	Kütleli Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık, T (°C)			Basınç, P (kPa)			Özgül Entalpi, h (kJ/kg)			Özgül Entropi, s (kJ/kg K)		
				Güneş kaynaklı	Toprak kaynaklı	Hava kaynaklı	Güneş kaynaklı	Toprak kaynaklı	Hava kaynaklı	Güneş kaynaklı	Toprak kaynaklı	Hava kaynaklı	Güneş kaynaklı	Toprak kaynaklı	Hava kaynaklı
0		R-22	---	25	25	25	100	100	100	274	274	274	0,16	0,16	0,16
0		Su	---	25	25	25	100	100	100	104	104	104	0,36	0,36	0,36
1	I (giriş)	R-22	0,025	12	3,1	0,14	400	550	500	260,4	258,4	258,4	0,984	1,113	1,113
2	I (çıkış)	R-22	0,025	105	117	128,5	1098	1110	1107	321,6	331,1	340,4	1,078	1,102	1,127
2	II (giriş)	R-22	0,025	105	117	128,5	1098	1110	1107	321,6	331,1	340,4	1,078	1,102	1,127
3	II (çıkış)	R-22	0,025	21,3	24,7	28,3	950	970	1070	129	134,4	155,9	0,463	0,481	0,55
3	V (giriş)	R-22	0,025	21,3	24,7	28,3	950	970	1070	129	134,4	155,9	0,463	0,481	0,55
4	V (çıkış)	R-22	0,025	3,11	-0,47	-1,4	550	490	475	129	134,4	155,9	0,474	0,485	0,578
5	IV (giriş)	R-22	0,025	---	-0,47	---	---	490	---	---	134,4	---	---	0,503	---
6	IV (çıkış)	R-22	0,025	---	3,1	---	---	550	---	---	258,4	---	---	1,113	---
7	III (giriş)	R-22	0,025	3,11	---	---	550	---	---	129	---	---	0,474	---	---
8	III (çıkış)	R-22	0,025	12	---	---	400	---	---	260,4	---	---	0,984	---	---
9	VI (giriş)	R-22	0,025	---	---	-1,4	---	---	475	---	---	155,9	---	---	0,53
10	VI (çıkış)	R-22	0,025	---	---	0,14	---	---	500	---	---	258,4	---	---	1,113
11	VII (giriş)	Su, antifriz	0,35	---	1,3	---	---	150	---	---	5,571	---	---	0,019	---
12	VII (çıkış)	Su, antifriz	0,35	---	3,4	---	---	200	---	---	14,45	---	---	0,051	---
13	VIII (giriş)	Su	0,1	43	---	---	100	---	---	180,1	---	---	0,61	---	---
14	VIII (çıkış)	Su	0,1	46,7	---	---	200	---	---	195,7	---	---	0,66	---	---
15	IX (giriş)	Salamura	0,033	21	---	---	100	---	---	88,22	---	---	0,31	---	---
16	IX (çıkış)	Salamura	0,033	54	---	---	200	---	---	226,2	---	---	0,75	---	---

KAYNAKLAR

- Cervantes, J. G., Torres-Reyes E., Experiment on a Solar Assisted Heat Pump and an Exergy Analysis, *Applied Thermal Engineering*, 22, 1289-1297, 2002.
- Demirbay, A., Turkey's Geothermal Energy Potential, *Energy Sources*, 24, 12, 1107-1115, 2002.
- Hepbaşı, A., Akdemir, O., Energy and Exergy Analysis of a Ground Source (Geothermal) Heat Pump System, *Energy Conv. & Management*, 45, 737-753, 2004.
- Hepbaşı, A., Current Status of Geothermal Energy Applications in Turkey, *Energy Sources*, 25, 7, 667-677, 2003.
- Holman J.P., *Experimental Methods for Engineers* (7th ed.) McGraw-Hill, New York, 2000.
- Kaygusuz, K., Investigation of a Combined Solar-Heat Pump System for Residential Heating. Part 1: Experimental Results, *Int. Journal of Energy Research*, 23, 1213-1223, 1999.
- Kaygusuz, K., and Kaygusuz, A., Geothermal Energy: Power for a Sustainable Future, *Energy Sources*, 24, 10, 937-947, 2002.
- Koroneos, C., Spachos, T., Moussipoulos, N., Exergy Analysis of Renewable Energy Sources, *Renewable Energy*, 28, 295-310, 2003.
- Ozgener, O., Hepbasli, A., Experimental Performance of a Solar Assisted Ground-source Heat Pump Greenhouse Heating System, *Energy and Buildings*, 37, 101-110, 2005.
- Reay, D. A., Mac Michael, D. B. A., *Heat Pumps*, June, 1988.
- Sanner, B., Karytsas C., Mendrinis, D., Rybach, L., Current Status Ground Source Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage in Europe, *Geothermics*, 32, 579-588, 2003.
- Singh, N., Kaushik, S. C., Misra, R. D., Exergetic Analysis of a Solar Thermal Power System, *Renewable Energy* 19, 135-143, 2000.
- Yamankaradeniz, R., Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Teorik ve Deneysel İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ, İstanbul, 1982.