

Bilgisayar Kontrollü Yatay Toprak Kaynaklı ve Isı Depolamalı Cam Seralarda Sıcaklık Değişiminin İncelenmesi

Hüseyin BENLİ
Dr., Fırat Üniversitesi T.B.M.Y.O

Aydın DURMUŞ
Doç. Dr., Fırat Üniversitesi T.E.F

ÖZET

Çalışmamızın temel amacı bölgemizde ve ülkemizde alternatif ısıtmalı seracılığın geliştirilmesidir. Bilgisayar destekli Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak sera ısıtılması deneysel olarak araştırılmıştır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) olarak bilinen jeotermal ısı pompaları (JIP) ısıtma, soğutma ve su ısıtma için kullanılmaktadır. Seracılık Türkiye tarım sektörü için önemli bir ekonomik potansiyeldir. Güneş enerjisi kazanımıyla seralar soğuk günler ve gecelerde ısıtılmaktadır. Seralarda ürünün yetiştirilmesinde optimum sıcaklık koşullarını sağlamak için, yenilenebilir enerji kaynaklarının mümkün olduğunca çok kullanılması gerekir.

Deneysel çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompası, 30 m² alan ölçüsüne sahip cam sera, gizli ısı depolama tankı kullanılmıştır. Isı depolama tankı Faz Değiştirici Malzeme ile doldurulmuştur. Gizli ısı depolama tankı soğuk günler ve gecelerde deşarj edilerek enerjisinden faydalanılmıştır. Soğuk kış günlerinde deneylerde, yatay olarak yerleştirilmiş toprak kaynaklı ısı pompası, toprak ısı değiştiricisi, kimyasal madde depolama tankı, sirkülasyon pompası, ölçüm ve diğer yardımcı ekipmanlar kullanılmıştır. Sonuç olarak toprak kaynaklı ısı pompası ve kimyasal madde kullanılarak sera ısıtılması gayet ekonomik olmaktadır. Ayrıca Ülkemiz koşulları için toprak kaynaklı ısı pompası kullanmak gayet uygundur.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, yatay toprak kaynaklı ısı pompası, gizli ısı depolama, faz değiştirici malzemeler, seracılık, bilgisayar destekli sera ısıtılmasının kontrolü

GİRİŞ

Bu çalışmada son 20 yıldır ülkemizde üretici için yeni bir geçim kaynağı olan seracılığın en önemli sorunlarından olan ısıtma problemleri ile ilgili

ABSTRACT

In this study, main aim is improved a new alternative heating systems for greenhouses in our district and country. It has been investigated the heating of greenhouses with ground-source heat pump by using computer aided.

Ground-source heat pump (GSHP), also known as geothermal heat pump (GHPs), are recognized to be outstanding heating, cooling and water heating systems. Greenhouses also have important economical potential in Turkey's agricultural sector.

In addition to solar energy gain, greenhouses should be heated during nights and cold winter days. In order to establish optimum growth conditions in greenhouses, renewable energy sources should be utilized as much as possible.

The experimental set-up consist of a glass greenhouses with dimensions of (6mx5mx2m). A latent heat thermal energy storage tank were used in the experiments. This tank was filled with phase-change material (PCM). A latent heat thermal storage tank (LHTST) were used to heat, and also to charge of PCM during day light and to discharge heat in PCM during nights days. In the cold winter days ground source heat pump, ground heat exchanger, a circulating pump, PCM storage tank, measuring and other axuliary equipment were used. Consequently It was shown that grond source heat pump and PCM using heating in this region is the most economical system. In addition ground source heat pump can be used for Turkey climate conditions.

Keywords: Heat pumps (HP), Horizontal Ground Source Heat Pump (HGSHP), Latent Heat Storage (LHS), Phase Change Material (PCM), Greenhouses, Computer Aided Heating Control of Greenhouse (CAHCG).

çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizin bazı bölgelerinin etkin olduğu Akdeniz ikliminin seracılık yönünden çok büyük atılımlar yaptığı bilinmektedir. Bizim amacımız kısmen Akdeniz ikliminin tipik bazı özelliklerini karşılayan Doğu

Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgesinde seracılığın yaygınlaşması ve yapılmasıdır. Özellikle GAP projesinin tam olarak işlerlik kazanması sayesinde seracılığın bu bölgelerde daha büyük atılımlar yapacağını ummaktayız. Seracılıkta kullanılan klasik ısıtma sistemleri (odun, kömür, petrol türevli yakıtlar) yerine daha alternatif sistemlerin kullanılmasıdır. Bu çalışmamızda daha önce ülkemizde hiç yapılmayan bir uygulama ile sera ısıtılması yapılmıştır. Yapılan çalışmada toprak kaynaklı ısı pompası ve gizli ısı depolama yöntemi kullanılarak deneysel ölçülerde imal edilen bir cam serada ısıtma yapılmıştır. Hava kaynaklı bir ısı pompası kış aylarında tek başına yeterli olmamaktadır ve kullanımını kısıtlayan birçok etken vardır. Isıtma ve soğutmada kullanılan klimaları Hava kaynaklı ve Toprak kaynaklı olarak iki ana grupta kısaca inceleyelim;

Ülkemizde HKIP'ları son 5 yıldır çok sıkça kullanılmaya başlamıştır. Enerji girdilerinin sabit kalması, elektrik fiyatlarının uzun süre değişmemesi ve son yıllarda ucuz Çin malı klimaların rahatça girmesi nedeniyle klima kullanımı artmıştır. Birkaç yıl öncesine kadar sadece lüks yaşam konforu sağlamak için elit kişilerin kullandığı klimalar şimdilerde herkes tarafından rahatlıkla satın alınmakta ve kullanılmaktadır. Çalışmamızda kullanılan TKIP birçok yönden HKIP göre avantajlar ihtiva etmektedir. Öncelikle bunları kısaca açıklarsak;

Hava Kaynaklı Isı pompası (HKIP) bulunduğu mahalli ısıtmak için gerekli enerjiyi dış havadan sağladığı için performansları doğrudan dış hava sıcaklığına bağlıdır. HKIP'larının temin ettiği ısıtma gücü ihtiyaçla ters orantılıdır. Yani dış hava sıcaklığı düşüğe mahalli ısıtmak için daha fazla ısıtma kapasitesine ihtiyaç duyulurken HKIP'sının sağlayabileceği ısıtma gücü azalmaktadır. Ayrıca dış hava sıcaklığının +5 °C altına düştüğü durumlarda HKIP'sının dış ısı değiştirici yüzeyi buzla kaplanmakta ve oluşan buzu çözmeye yarayan defrost mekanizmasının aktive olduğu periyotlarda ısıtılacak alana soğuk hava üflenmektedir. Bu da mahal sıcaklığının dalgalanmasına neden olduğu için ortamdaki konfor şartları bozulmaktadır. Oysa Toprak

Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) kışın ortamı ısıtmak için sağladıkları ısıtma enerjisini toprağın ya da yer altı suyunun hemen hemen sabit denebilecek stabil sıcaklığından aldıkları için, bu sistemlerde HKIP olduğu gibi soğuk üfleme (cold blow effect) ile buz çözme (defrost cycle) olayları yaşanmamaktadır. Dolayısıyla HKIP'larına göre daha konforlu bir ısıtma sağlamaktadır. HKIP'larında 5 °C ile bir sınırlama varken TKIP'larında yatay olarak yerin 1.5-2 metre altında dış hava ortamı -20,-30 °C iken bile toprak sıcaklığı +5, 7 °C arasında değişmektedir. Bu da bize toprağın altının kışın dış ortama göre sıcak, yazın dış ortama göre daha serin olduğunu gösterir. Toprağın altındaki sıcaklık stabil bir sıcaklık karakterine sahipken, havanın sıcaklık değişimi en kararsız karakteri göstermektedir. Elbette toprağın daha derinine inildikçe sıcaklık kararlılığı daha da artacaktır. Fakat dikine inilen derinliklerde belli bir mesafeden sonra sıcaklık değişimi yani artış olmamaktadır. Tavsiye edilen derinlik 80-120 metre arasındadır. Bu sayede en sert iklim koşullarında yatay veya dikey yerleştirilmiş toprak kaynaklı ısı pompaları rahatlıkla kullanılabilir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı değiştiricileri açık veya kapalı sistem olarak kullanılmaktadır. Açık sistemler kuyu, artezyen, göl, nehir gibi açık bir su kaynağından elde edilen suyun, bir hidrofor sistemi ile TKIP pompalanması suretiyle suyun sahip olduğu enerjiden doğrudan faydalanmak esasıyla çalışan sistemlerdir. Kapalı sistemler açık su kaynağının olmadığı yerlerde genellikle polipropilen borulardan toprağa yatay veya dikey daldırılarak toprağın veya yer altı suyunun enerjisinden faydalanmaktadır.

Kapalı sistemlerde genellikle boru içerisinde antifrizli su (salamura su) karışımı geçirilerek donmaya karşı önlem alınmaktadır. Kapalı devrelerin ilk yatırım maliyetleri açık devrelere göre daha yüksek olmaktadır. Ülkemizde henüz araştırma safhasında olan TKIP sistemleri ABD, Kanada, Kuzey Avrupa ülkelerinde yıllardır yüz binlerce ev, işyeri, konut, okul toprağın ve yer altı suyunun sonsuz enerjisinden sonsuz enerji kaynağından faydalanılarak ısıtılmakta ve soğutulmaktadır. ABD'de 1987 den sonra yapılan her üç evden

biri TKIP ile ısıtılmakta ve soğutulmaktadır. Enerji bakımından dışa tamamen bağımlı hale getirilen ülkemiz, maalesef bu sistemle henüz yeni tanışmaktadır. Son 5 yıldır yapılan çalışmalar lüks konut ve işyerlerinin ısıtılması ve soğutulmasından öte gidememiştir. Bunu kısıtlayan en önemli nedenlerden birisi elektrik ücretinin yüksek olması diğeri ise ısı pompalarının yapımında kullanılan malzemelerin % 70-90 oranında ülkemizde imal edilememesidir (Kompresör, Expenşin valfi, sirkülasyon pompası, ısı eşanjörü, kumanda ve kontrol cihazları vb.). TKIP ile donatılmış evler, işyerleri, temiz, güvenli, ekonomik, konforlu bir şekilde iklimlendirilerek, ülkemizin enerji maliyetlerinin azalmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Yapılan çalışma da Toprak kaynaklı ısı pompası ve faz değıştiren malzemeler kullanarak sera ısıtılması yapılmıştır. Yapılan çalışma bu iki sistemin kombine bir uyarlaması olarak oldukça yeni olduğu için bu konuda yapılan çalışmaları iki ayrı grupta toplamak mümkündür. Toprak kaynaklı ısı pompası ile yapılan çalışmalar oldukça eskilere dayanmakla beraber esas atılımlarını 1970' deki enerji krizinden sonra yapmıştır. Kimyasal maddelere ısı depolama ve toprak kaynaklı ısı pompaları üzerine birçok araştırmacı çalışmıştır [1,18].

Demirbay [1], tarafından yapılan bir araştırmada Isı pompaları ve ülkemizin Jeotermal kapasitesi hakkında detaylı bir çalışma yapılmıştır.

Henderson ve arkadaşları [2], 2000 yıllarında kuzey İrlanda'da yaptıkları araştırmada gelişmiş Avrupa birliği ülkelerinde ısı pompalarının geleceği ve gelişimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. İngiltere'de üretilen enerjinin sadece % 50 sinin konutların ısıtılmasında kullanıldığını ve yakıtın diğeri Avrupa ülkelerine göre ucuz olması nedeniyle (İngiltere Avrupa'da en ucuz doğal gaz üreticisi ve kullandırıcısıdır) ısı pompalarının yeterince ilgi görmediğini belirtmişlerdir. Diğeri Avrupa ülkelerinde özellikle ısı pompalarının Almanya'da devlet tarafından teşvik edildiğini belirtmiştir. R22, R 407c, R 410a, kullanarak bunların mukayeselerini ve karşılaştırılmasını yapmışlardır.

Özgener ve arkadaşı [3], 2003-2004 yılında İzmir'de yaptıkları çalışmada Ege Üniversitesi kampüsüne kurulan 48.51 m² alana sahip bir serada güneş kolektörü destekli dikey toprak kaynaklı bir ısı pompası ile seranın ısıtılmasını deneysel olarak incelemişlerdir.

Chou ve arkadaşları [4], 2001 yılında Singapur Bangkok'da yaptıkları deneysel çalışmada 240 m² sera alanına 180 m² kullanım alanına sahip bir cam serada iklim koşullarının nispeten diğeri ülkelere göre ılıman geçtiği yerde üç değışik ürün olan çiçek, yemeklik ot ve limon çiçeğinin yetiştirilmesini araştırmışlardır. Deneyle ilgili yapıldığı yerde en düşük hava sıcaklığı ortalama 15°C civarındadır. Deneyle kullandıkları cihaz 3.0 kW kompresör gücü, 30.0 kW kondenser kapasitesi, 37 kW evaporatör kapasitesidir.

Hyun ve Kap [5], yaptıkları çalışmada Isı pompalarının yeni yeni kullanıma başlanması ile Faz değıştiren maddeler ve Isı pompası destekli sistemle sera ısıtılması üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma Güney Kore'de Cheong kentinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölge ülkenin orta kesimlerinde olup ılıman bir iklime sahiptir. Maksimum sıcaklık -8,-10 °C arasındadır.

Yuehong Bi ve arkadaşları [6], tarafından 2001 yılında Çin'in Tianjin bölgesinde yapılan çalışmada solar ve toprak kaynaklı ısı pompaları üzerine deneysel ve teoriksel bir çalışma yapmışlardır. Solar toprak kaynaklı (STKIP) sisteminde dikey yerleştirilen çift spiral borulu yer kaynaklı ısı değıştiricisi kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada solar toprak kaynaklı ısı pompası, toprak kaynaklı ısı pompası ve solar kaynaklı ısı pompalarını mukayese etmişlerdir.

Katsunori Nagora ve arkadaşları [7], tarafından Japonya'nın Sappora kentinde (430 kuzey enlem 141° doğu boylamı) toprak kaynaklı ısı pompası dizaynı yaparak bunun diğeri alternatif ısıtma tipleri ile mukayeselerini yapmıştır. Toprak kaynaklı ısı değıştiricisi 100 metre derinliğe dikey olarak yerleştirilmiştir. Çalışma sonucunda bu sistem fuel-oil ile doğal gazlı ve hava kaynaklı ısı pompası ile mukayese edilmiştir.

Yamankaradeniz ve Horuz [8], tarafından İstanbul şartlarında açık günler için, güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelenmesi yapılmıştır. Teorik çalışmada İstanbul şartlarında açık günler için anlık, aylık ve mevsimlik ortalama ısıtma tesir katsayıları ve sistemin diğer özellikleri incelenmiştir.

Çomaklı ve arkadaşları [9], güneş destekli ısı pompası yardımıyla faz değiştiren malzeme kullanarak çalışmalarında kullanılan elemanlara değişik parametreler uygulayarak deneysel sonuçlar elde etmişlerdir.

Kürklü ve arkadaşları [10], güneş kolektörleri ile Parafin mumunun kısa süreli termal performansını araştırmışlardır. Antalya yöresinde yapılan bu çalışmada değişik güneş kolektörleri parametreleri ile gün ışığından yararlanarak gece ısıtma yapmışlardır. Güneş kolektörleri ile yapılan termal verimde %22 bir artış bulmuşlardır.

Kürklü [11], farklı ölçülerde dizayn edilmiş cam seralarda Antalya yöresinde değişik miktarlarda Kalsiyum Klorür Hekzahidrat kullanarak seralarda ısıtma çalışması yapmıştır.

Sarı ve Kaygusuz [12], FDM malzemesi olarak myristic asit kullanarak termal performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Bulunan değeri diğer FDM'ler ve literatür ile karşılaştırmışlardır: FDM'nin tank içinde radial ve axial yöndeki erime ve katılma parametreleri ile çalışmışlardır. Tanktaki FDM'nin ısı depolama kapasitelerini ölçmüşlerdir.

Sarı ve Kaygusuz [13], lauric asitin erime ve katılma prosesini deneysel olarak incelemişlerdir. Dikey olarak yerleştirilmiş çift borulu enerji depolama sisteminde sıcaklık dağılımı, sıcaklık değişimi ve faz değişimi esnasında FDM'nin radial ve axial yerleştirme düzeni incelenmiştir.

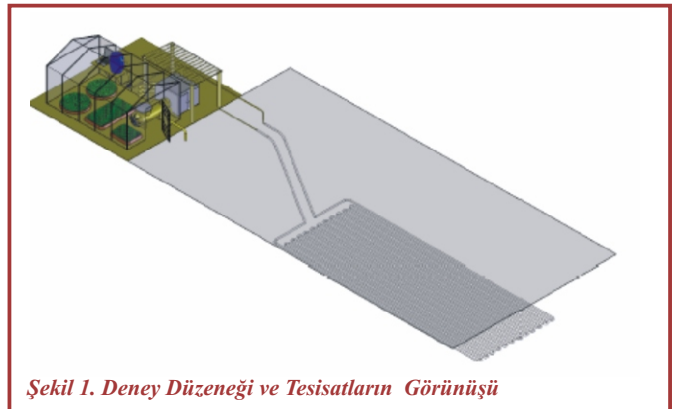
Gizli ısı depolamada en sıkça kullanılan ticari ürünlerin bir tasnifi Abhat [14], ve daha sonra Lorsch ve arkadaşları [15], Farid ve arkadaşları [16], Humphrienad ve Griggs [17], tarafından detaylı bir şekilde depolama kapasiteleri ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

Bu yapılan literatür araştırmalarının neticesinde

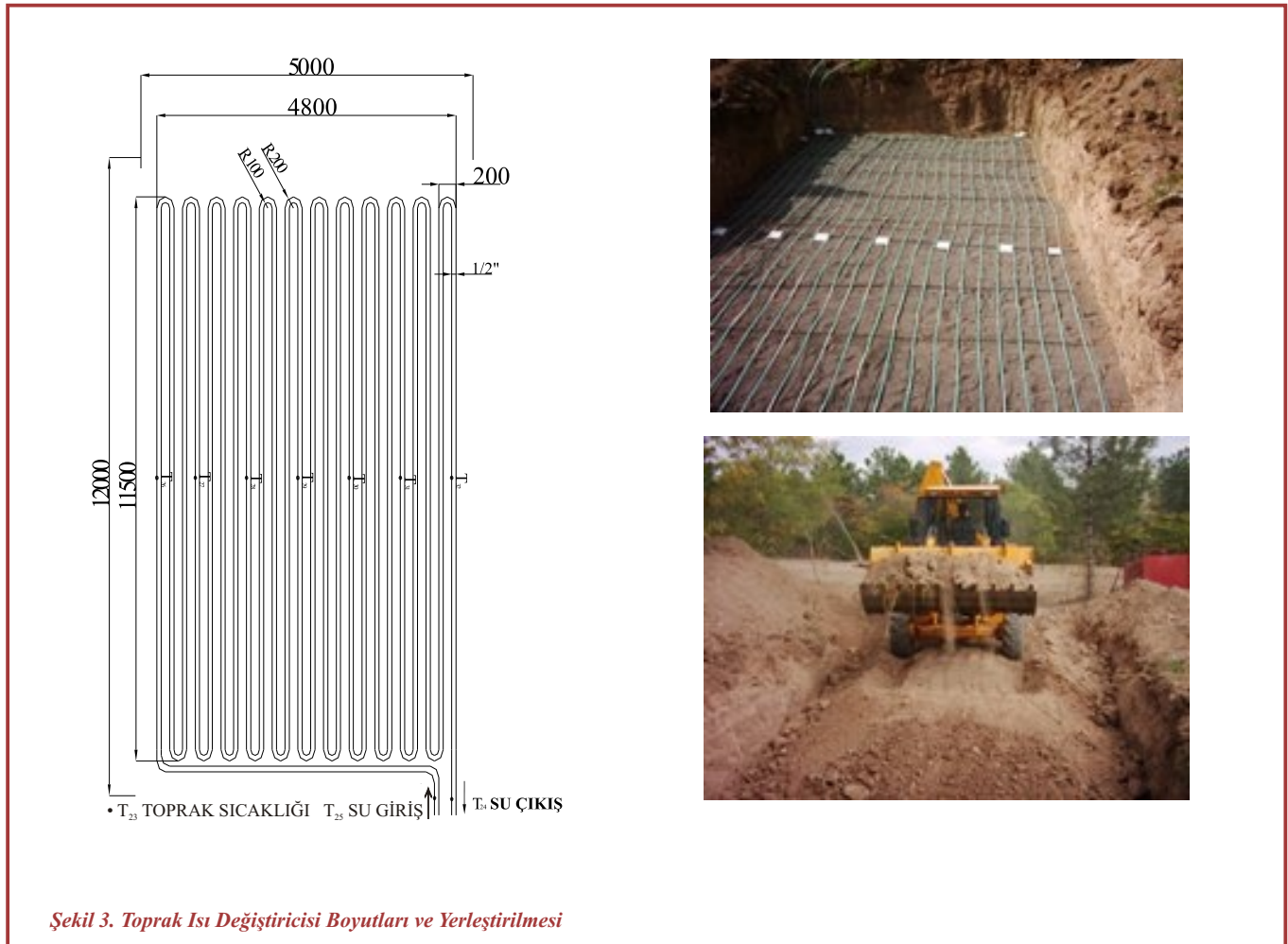
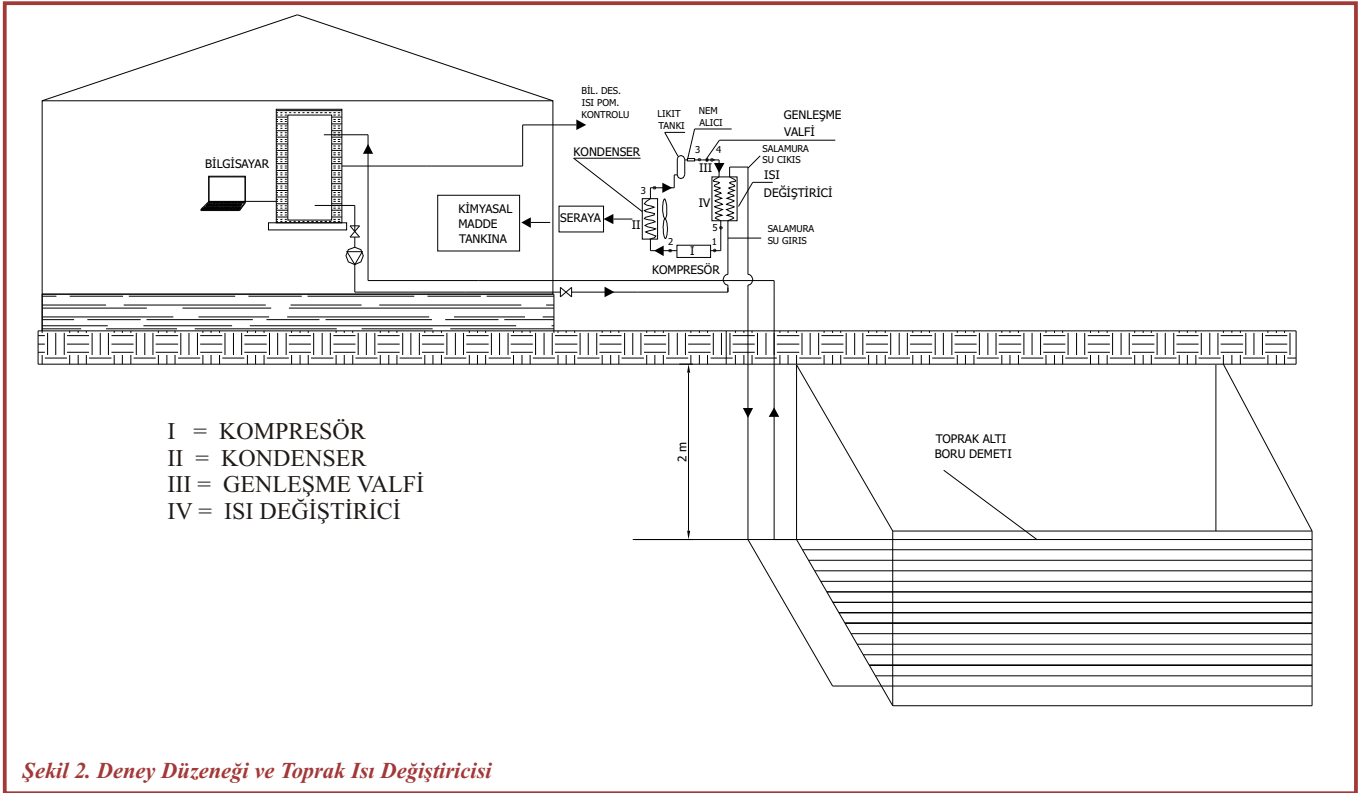
yaptığımız çalışma tamamıyla yeni ve orijinal bir çalışma olmuştur [18]. Çalışmamızda özellikle seracılığın bu bölgede uygulanabilir bir hale getirmek, üretici ve çiftçimiz için alternatif bir geçim kaynağı oluşturulmasını sağlamaktır. Bölgemizde kışın ısıtma masrafının oldukça artması bu konunun yıllarca ihmal edilmesine neden olmuştur. Seracılığın en başarılı bir şekilde uygulandığı Akdeniz bölgesinde bile ısıtma hala klasik odun veya petrol türevlerine dayalı yakıtlarla yapılmaktadır. Alternatif ısıtmalı seralar olarak yapılan bu çalışmada tamamıyla bu sistemlerin dışında yeni ısıtma sistemlerinin denenmesi amaçlanmıştır. Yapılan diğer çalışmada toprak kaynaklı ısı pompaları kullanılarak seraların ısıtılabilirliği araştırılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompaları ile yurdumuzda yapılan çalışmalar oldukça az ve yetersizdir. Isı pompası ile sera ısıtılmasının yanında kimyasal maddenin şarjı sağlanmış bu sayede sera içinde bu kimyasal maddenin deşarjı esnasında verdiği ısı ile ilave bir ısı kazancı elde edilmiştir. Bu yönleri ile çalışma orijinallik oluşturmaktadır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney düzeneği Şekil 1'de şematik olarak verilmiş ve diğer şekillerde tüm elemanların ve sera içinin renkli fotoğrafları ile gösterilmektedir. Bir adet ısı pompası ve toprak ısı değiştiricisi, devridaim su pompası, devridaim su tankı, aşırı soğuklar için acil (emergensi) su ısıtıcısı, kimyasal maddenin bulunduğu tank, sıcak havanın gönderileceği ısıtma kanalları ve kontrol üniteleri, ısıtma ortamı olarak 30 m² (6mx5m) cam sera, bilgisayar ve diğer yardımcı elemanlardan meydana gelmiştir.

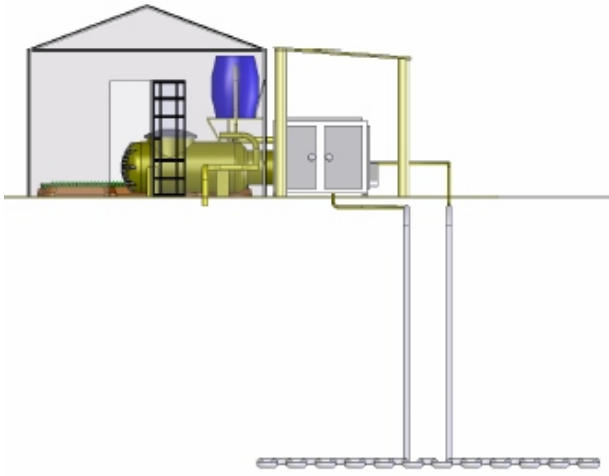


Şekil 1. Deney Düzeneği ve Tesisatların Görünüşü



Kimyasal madde deposu için kullanılan silindirik tank içerisine gizli ısı (latent heat) şeklinde depolamak için tuz hidrat olarak kalsiyum klorür heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) konulmuştur. Plastik depo Şekil 4'de görüldüğü gibi çapı 80 cm, boyu 150 cm ve yüksekliği 80 cm olan silindirik biçimde 5 mm kalınlığında 400 lt. hacminde bir tanktır. Kurulmuş olan deney düzeneğindeki ısı pompasını oluşturmak için bir adet L'UNITE HERMETIQUE TECUMSEH marka TFH 5532F model 3 fazlı 2.5 HP tam hermetik kompresör, bir adet hava soğutmalı kondenser kullanılmıştır. Kondenser kapasitesi 20 kWh ısı verecek şekilde seçilmiştir. Kondenserin hava kanalının emme tarafına yerleştirilmiş

olan 45 cm çapında 180 W'lık bir fan kullanılmıştır soğutucu akışkan deposu, serbest genleşme kutusu, kurutucu (filtre), iki adet termik kısılma vanası, selenoid valf, alçak ve yüksek basınç prosestati, iki adet manometre, elektrik kumanda ve kontrol panosu ve bilgisayardan ibarettir. Yatay borulu toprak kaynaklı ısı değiştiricisinde ise bir adet silindirik iç içe borulu çift geçişli ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Kullanılan ısı eşanjörünün kapasitesi maksimum 5 kWh olarak seçilmiştir. Bir adet DAB marka A 50/180 XM 3 Hızlı salamura su sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Isı pompasında soğutucu akışkan olarak R-22 (klorodifloro metan- CHClF_2) kullanılmıştır.



Şekil 4. Deney Düzeneğinin Yandan Görünüşü ve Kimyasal Madde Depolama Tankı İmalatı



Şekil 5. Seranın Yandan ve Ön Cepheden Görünüşü



Şekil 6. Isı pompası Görünüşü ve Su Giriş ve Çıkış Noktaları



DENEYLERİN YAPILMASI VE DENEYLER ESNASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Bu sistem Şekil 2'de görüldüğü gibi toprak kaynaklı bir ısı pompası, enerji deposu, su sirkülasyon pompası, cam sera, bilgisayar ve diğer yardımcı elemanlardan oluşmuştur.

Deney düzeneğinde Şekil 2'de görüldüğü gibi yatay toprak kaynaklı olarak çalışan bir ısı pompası kullanılmıştır. Toprağa yatay olarak serilen plastik borular içerisinde ısıtıcı akışkan olarak antifrizli su (salamura) dolaştırılmış ve topraktan ısı çekilerek eşanjöre aktarılmıştır. Bu sistem de toprak kaynaklı ısı pompası ile topraktan alınan enerji ısı pompası ile sera içerisine verilmekte gündüz kimyasal maddenin şarjı sağlanmakta, gece ise ısı pompası sürekli çalıştırılmakta sıcaklık sera içerisine yerleştirilen kontrol cihazları ile bilgisayara aktarılmakta ve kontrol altında tutulmaktadır. Deneylerde kullanılan kimyasal madde deposu; 60 cm çapında 150 cm boyunda ve aynı depo üzerinde 30 adet 5 cm çapındaki hava geçiş kanallarından oluşmuştur. Klima sıcak hava girişi ve kimyasal madde girişleri ayrı yönlerden verilmektedir. Kimyasal maddenin şarjı tankın uç kısmına yerleştirilen nispeten soğuk olan sera havasının ağır devirli bir fan ile deşarjından yararlanarak sera içerisi kimyasal madde ile ısıtılmaktadır. Bu sayede hem ısı pompasının enerjisinden hem de kimyasal maddenin

deşarjından elde edilen enerjiden faydalanmıştır. Isı pompası cihazı iklim koşullarına bağlı olarak bazen 24 saat çalıştırılmıştır, kimyasal madde deşarjı için gece vakti hava durumuna göre fan uygun bir saatte çalıştırılmıştır. Bilgisayar kontrolü ile sera içerisindeki sıcaklık minimum +5 °C olacak şekilde kontrol altında tutulmuş sıcaklık bu değerlerin altına düştüğünde ısı pompası sürekli devrede tutularak ürünün donma derecesine düşmesi engellenmiştir. Sera içi sıcaklık kış şartları için maksimum 15 °C ulaşmaktadır. Bu sıcaklığın üst değerlerinde bilgisayar otomatikman ısı pompası devresini kapatmaktadır. Deneylerde, her 10 dakikada bir ölçümler bilgisayar yardımı ile kaydedilerek her yarım saatte bir değerlendirmeye alınmıştır. Deneylerde aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.

- a- Güneş ışınımı ölçümü
- b- Sıcaklık ölçümü
- c- Debi ölçümü
- d- Basınç ölçümü
- e- Güç ölçümü
- f- Bağıl nem ölçümü

Güneş Işınımının Ölçümü 2005 ve 2006 yıllarında sonbahar, kış ve ilkbahar başlangıç mevsimi boyunca Kıpp-Zonen solarimetresi ile ölçülerek solarimetreye bağlı data logger'da kaydedilmiştir. Ölçümlerde Elazığ Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan değerlerle karşılaştırma yapılmıştır.

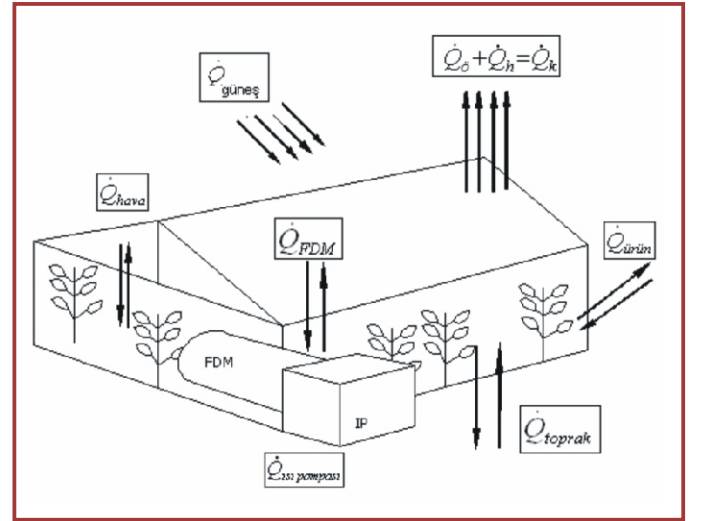
Deney düzeneğinde sıcaklıklar 0.05 mm çapındaki T-tipi bakır-constant (Cu-CuNi) ısı çifti ile ölçülmüştür. Kullanılan ısı çiftleri -200 ila +400 °C arasında, 0.1 K kararlıkta ve % ± 0.1 hata ile sıcaklık ölçümü yapabilmektedir.

Isıl çiftler, ZA9000FST bağlantı elemanı (connector) ile veri toplayıcıya bağlanmıştır. (Ahlborn, 2005, Almemo product Catalog, Germany). Deneylerde hava hızı ölçmek için FVA645TH3 Termoaneometre Akış Sensörü kullanılmıştır. Soğutucu akışkan, sistemde dolaşan salamura su, toprak sıcaklığı, toprakta dolaşan suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları, hava kolektörleri, giriş ve çıkış sıcaklıkları, hava fanı giriş sıcaklığı, sera giriş sıcaklığı, sera iç ve dış ortam sıcaklıkları, kimyasal madde tankı sıcaklıkları, sıcak hava giriş sıcaklığı, kondenser ve evaporatör gaz sıcaklıkları bakır-konstantan termoeleman çifti ile ölçülerek data loger ile kaydedilmiştir. Ayrıca sera iç ve dış ortam sıcaklıkları ve bağıl nem seranın iki ayrı yerine kurulan digital termometreler ile de ölçülmüştür. Deney düzeneğinde ısı pompasının kompresörünün, kondenserin, su kaynaklı evaporatörün giriş ve çıkış noktalarındaki soğutucu akışkanın (R-22) sıcaklıkları yine aynı termoeleman çiftleri ile ölçülmüştür. Deney düzeneğinde, toprak altında dolaşan salamura suyun, su kaynaklı evaporatörün, suyun topraktan çıkış ve toprağa giriş sıcaklıkları yine aynı termoeleman çiftleri ile ölçülerek data loger ile kaydedilmiştir. Deney düzeneğinde, toprak kaynaklı evaporatörün, kondenserin ve toprak ısı değiştiricisinin hava giriş ve çıkış kanallarının belirli yerlerine yerleştirilen termoeleman çiftleri ile bu noktalardaki hava sıcaklıkları ölçülmüştür. Deney düzeneğinde kimyasal maddenin şarj ve deşarj anındaki sıcaklık değerleri hava giriş, hava çıkış, ve tank cidarlarına yerleştirilen termoelemanlar yardımıyla tank sıcaklığı ölçülmüştür. Deney sırasında sistemde dolaşan suyun ve hava kanallarındaki havanın debileri ayrı ayrı ölçülerek kaydedilmiştir. Sistemde dolaşan salamura su (antifrizli su) sera içine yerleştirilen bir tankla açık sisteme dönüştürülmüştür. Suyun dönüş hattına yerleştirilen bir rotametre ile suyun debisi ölçülmüştür. Deney düzeneğinde kondenser çıkışındaki havanın tank giriş sıcaklığı, ısı pompası sisteminde kompresör giriş ve çıkışında soğutucu

akışkanın basınçları manometreler ile ölçülerek kaydedilmiştir. Basınç ölçümünde kullanılan manometreler kalibre edilmiştir, hava giriş ve çıkış arasındaki debisi kızgın tel anometresi ile ölçülerek veri toplayıcıya aktarılmıştır. Deney düzeneğinde ısı pompasında kullanılan fan, su sirkülasyon pompası ve kompresörün çektiği güç sera içine yerleştirilen bir elektrik sayacı ile hesaplanmıştır. Bu da bize sistemin çekmiş olduğu enerjiyi rahatça kontrol etme imkânı sağlamıştır.

SERALARDA ISI KAYBI HESABI

Seralarda ısı akışı enerji ve denge durum denklemleri ile aşağıdaki gibi yazılabilir.



$$\dot{Q}_{\text{güneş}} + \dot{Q}_{\text{ısı pompası}} = \dot{Q}_{\text{ö}} + \dot{Q}_{\text{h}} + \dot{Q}_{\text{toprak}} + \dot{Q}_{\text{ürün}} + \dot{Q}_{\text{hava}} + \dot{Q}_{\text{FDM}} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{\text{FDM}} = \dot{m}_{\text{FDM katı}} \cdot C_p \text{ katı} (T_{s2} - T_{s1}) + LH_{\text{FDM}} \cdot \dot{m}_{\text{FDM}} + \dot{m}_{\text{FDM sıvı}} \cdot C_p \text{ sıvı} (T_{t1} - T_{t2}) \quad (2)$$

Isı pompasından elde edilen ısı kazancı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Isı pompasından elde edilen ısı kazancı} = \text{Giren güç} \cdot \text{COP} \quad (3)$$

$$\text{COP} = \frac{\dot{m}_{\text{gaz}} (H_2 - H_3) \eta_{\text{motor}}}{\dot{m}_{\text{gaz}} (H_2 - H_1)} = \frac{\dot{m}_{\text{su}} C_p \text{ su} (T_{\text{su çıkış}} - T_{\text{su giriş}}) \eta_{\text{motor}}}{\dot{m}_{\text{gaz}} (H_2 - H_1)}$$

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

Toprak kaynaklı ısı pompaları, açık toprak yüzeyi olan her yere kurulabilir. Toprak altı ısı değiştiricisi için gerekli olan alan, yaklaşık ısıtılacak alanına eşit olmalıdır. Daha hassas bir hesap ile toprak altı ısı değiştiricisi için gerekli olan alan şu bağıntı ile verilmektedir.

$$F_{top} = \frac{F_1 \cdot q_1 \cdot (\varepsilon - 1) 0,75}{q_s \cdot \varepsilon} \quad \text{olarak tanımlanmıştır.} \quad (5)$$

Kimyasal Madde Şarj ve Deşarjı Esnasında Oluşan Isı Miktarı

Gizli ısı depolamalı sistemlerde transfer edilen ısı aşağıdaki eşitlikten bulunabilir. Bu hesaplamalarda anlık hesaplamalar yapılmıştır. FDM'nin şarj ve deşarjı esnasındaki ısı transferi zamanın bir fonksiyonudur. FDM'nin şarj ve deşarjı zamana bağlı olarak değerlendirilmelidir.

$$Q_{top.ver.ısı(t)} = \dot{m}_h C_{p_h} (T_{hg(t)} - T_{hc(t)}) \quad \text{olmaktadır.} \quad (6)$$

Bu aynı zamanda şarj esnasında oluşan ısı miktarıdır. Havanın kimyasal madde deposuna verdiği ısı şarj esnasında kimyasal maddenin aldığı ısı kabul edilir. Sistem tamamen izoleli olarak kabul edilirse

$$Q_{top.ver.ısı(t)} = Q_{şarj(t)} = Q_{deşarj(t)} \quad (7)$$

olur. Şarj anında alınan ısı deşarj anında verilen ısıya eşittir. Sistem izoleli olmamış olsaydı depo yüzeyinden taşınım yoluyla kaybolan bir ısı oluşacaktı. Bu kayıp ısıyı $Q_{kayıp(t)}$ olarak tanımlarsak

$$Q_{kayıp(t)} = h A (T_{yüzey\ ort} - T_{\infty\ hava}) \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanabilirdi. Depodan ısı kaybı olması durumunda ise;

$$Q_{top.ver.ısı(t)} - Q_{kayıp(t)} = Q_{şarj(t)} = Q_{deşarj(t)} \quad (9)$$

Eşitliğinden bulunabilir.

Biz hesaplamalarımız da kimyasal madde deposunu tam izoleli olarak kabul ettik.

$$Q_{şarj(t)} = Q_{deşarj(t)} \quad (10)$$

BULGULAR

Yapılan hesaplamalara göre 300 kg kimyasal madde ve 200 kg su konulmuştur. Kimyasal maddeye 3/2 oranında su katılmıştır. Çekirdekleşmeyi ve dönüşümü kolaylaştırmak için içerisine 6 kg Potasyum Nitrat katılmıştır. Karışım daha sonra homojenliği sağlamak için hafifçe ısıtılarak karıştırılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Bu nedenle bulunan deneysel bağıntılar kimyasal maddenin ısıtma yüzey alanına oranının 3 ila 4 kat değerleri için geçerlidir.

$$\frac{V_{kimyasal}}{V_{ısıtma}} = \frac{0.33565}{0.08835} = 3.8 \quad (11)$$

Şekil 7'de kimyasal maddenin şarjı esnasında depoladığı toplam ısının zamana göre değişimi çizilmiştir. Şekil 8'de ise deşarj halinde kimyasal maddenin seraya verdiği ısının zamana göre değişimi verilmiştir.

Kimyasal madde için ampirik bağıntılar aşağıdaki gibi bulunmuştur. Bu bağıntılar, ısı pompası için şarj ve deşarj durumları ayrı ayrı için türetilmiştir.

Isı Pompası için şarj anında

$$Q_{FDM\ şarj} = 0.0276t^2 - 0.4488t + 1.9143 \quad R^2 = 0.9943 \quad (12)$$

Bulunmuştur. Bu değerler;

$t_h > t > t_h$ (Zaman aralığı için geçerlidir.)

$50^\circ C > T_g > 35^\circ C$ (Isı Pompası kimyasal madde hava giriş sıcaklığı)

$$\frac{A_{delik}}{A_{depo}} = 0.21 ; \frac{V_{kimyasal\ madde}}{V_{ısıtma\ yüzey\ alanı}} = \frac{0.33565}{0.08835} = 3.8 \quad (13)$$

$m = 300$ kg kimyasal madde

$\dot{m} = 0.27$ kg/s hava debisi için geçerlidir.

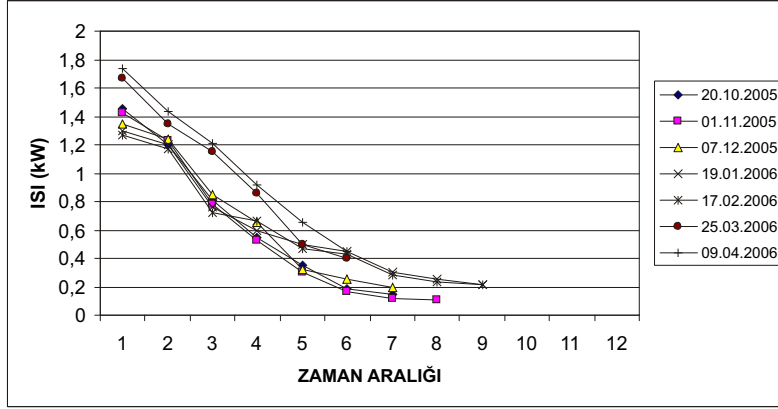
Isı Pompası için deşarj anında

$$Q_{FDM\ deşarj} = 0.050t^2 - 0.6962t + 2.3776 \quad R^2 = 0.947 \quad (14)$$

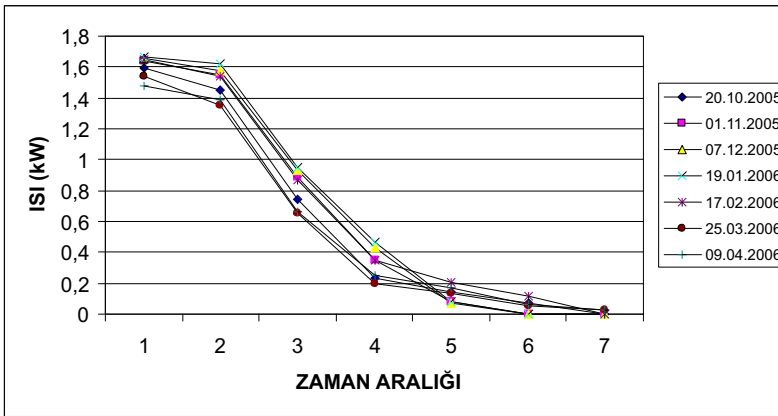
bulunmuştur. Bu değerler;

$t_h > t > t_h$ (Zaman aralığı için geçerlidir.)

$35^\circ C > T_g > 5^\circ C$ (Isı Pompası kimyasal madde hava giriş sıcaklığı)



Şekil 7. Kimyasal Maddenin Şarjı Esnasında Topladığı Toplam Isının Zamana Göre Değişimi



Şekil 8. Kimyasal Maddenin Deşarjı Esnasında Seraya Verilen Toplam Isının Zamana Göre Değişimi

$m=300$ kg kimyasal madde

$\dot{m} = 0.27$ kg / s hava debisi için geçerlidir.

Toprak kaynaklı ısı pompası için; Deneysel olarak elde edilen veriler, tablolar haline dönüştürülmüş ve bu veriler ışığında her sistem için COP değerleri hesaplanarak çeşitli grafikler elde edilmiştir. Şekil 9'da toprak kaynaklı ısı pompasının günün saatlerine göre COP_{sis} değişimleri verilmiştir. Şekil 10'da günün saatlerine göre harcadığı toplam enerjinin değişimi verilmiştir. Şekil 11'de Toprak, Su giriş ve çıkış sıcaklıklarının değişimi, şekil 12'de Isı Değiştirici Gaz giriş ve çıkış sıcaklıkları verilmiştir. Sistemin COP_{sis} değeri ile bir boyutsuz $\theta = \frac{T_{top} + T_{mutlak}}{T_{çevre} + T_{mutlak}}$

sayısı belirlenerek ampirik (deneysel) bağıntılar aşağıdaki gibi bulunmuştur. Bu değerlerin sağlıklı olabilmesi için her zaman $T_{top} > T_{çevre}$ olmalıdır.

EKİM 2005 (20.EKİM.2005)

$$COP_{sis} = -11944 \theta^2 + 23055 \theta - 11122 \quad R^2=0.947$$

KASIM 2005 (01.KASIM.2005)

$$COP_{sis} = 2333.3 \theta^2 - 4488.3 \theta + 2161.3 \quad R^2=0.97$$

ARALIK 2005 (07.ARALIK.2005)

$$COP_{sis} = -10476 \theta^2 + 20866 \theta - 10387 \quad R^2=0.98$$

OCAK 2006 (19.OCAK.2006)

$$COP_{sis} = -10076 \theta^2 + 19376 \theta - 9312.8 \quad R^2=0.965$$

ŞUBAT 2006 (17.ŞUBAT.2006)

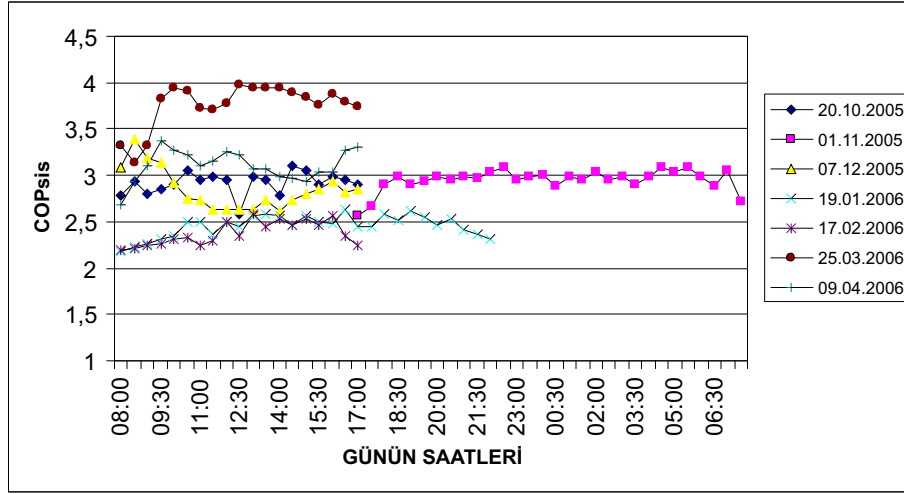
$$COP_{sis} = -16429 \theta^2 + 31491 \theta - 15088 \quad R^2=0.954$$

MART 2006 (25.MART.2006)

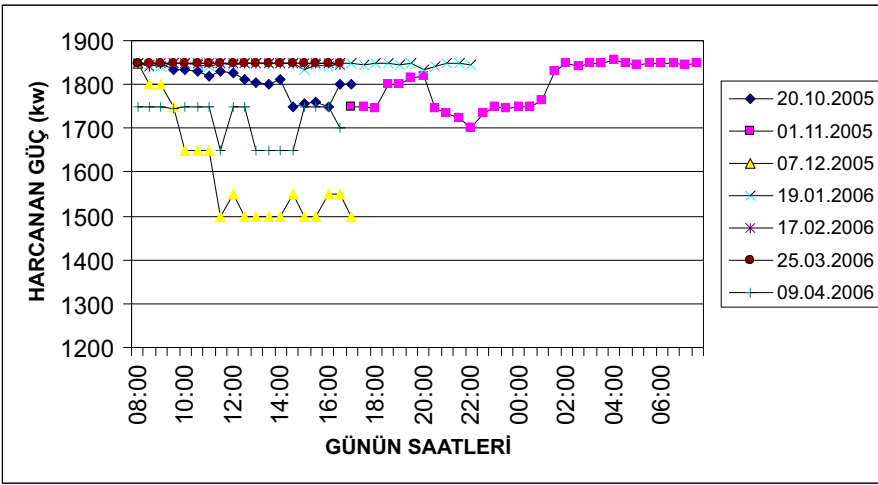
$$COP_{sis} = 43667 \theta^2 - 85935 \theta + 42282 \quad R^2=0.974$$

NİSAN 2006 (09.NİSAN.2006)

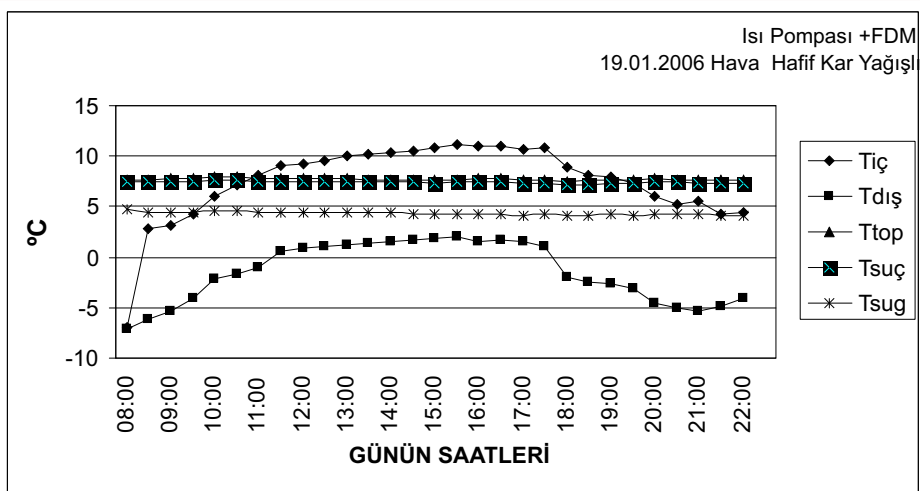
$$COP_{sis} = -857.14 \theta^2 + 1700.3 \theta - 840.14 \quad R^2=0.973$$



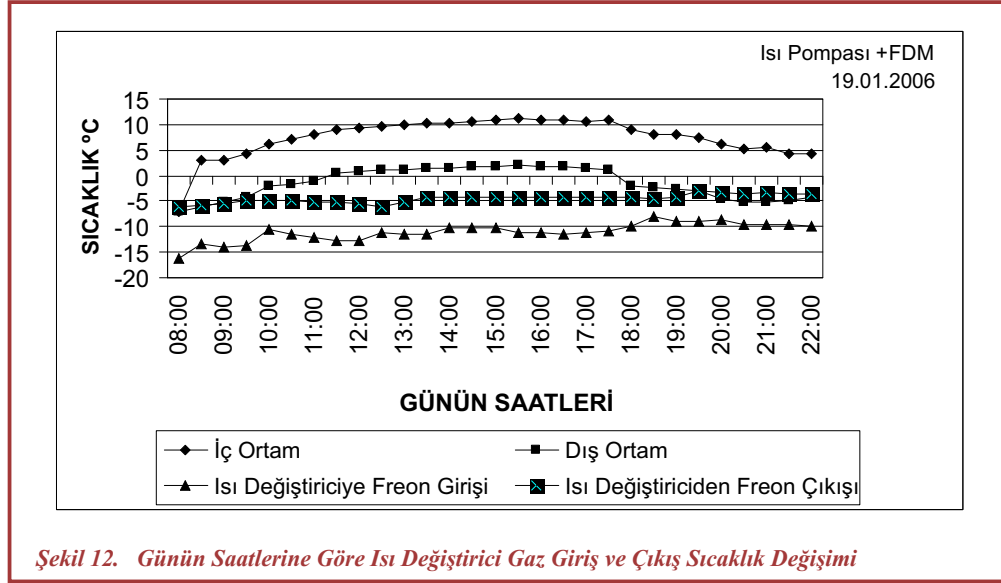
Şekil 9. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Günün Saatlerine Göre COP_{sis} Değişimi



Şekil 10. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Günün Saatlerine Göre Harcadığı Toplam Enerjinin Değişimi



Şekil 11. Günün Saatlerine Toprak, Su Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarının Değişimi



Şekil 12. Günün Saatlerine Göre Isı Değiştirici Gaz Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değişimi

SONUÇLAR

Doğu Anadolu Bölgesi'nde en soğuk geçen ay Ocak ayıdır. Söz konusu bölgede ortalama 20-22 günlük sıcaklıklar 5,-20 °C arasında olmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası için bu aylar çok daha idealdir. Çünkü dış ortam sıcaklığı 0°C çok altında iken toprak sıcaklığı daima + °C olmaktadır. Toprak sıcaklıkları daha stabil kalmaktadır. Bu nedenle Isı pompası daha kararlı bir çalışma sergileyebilmektedir. Isı pompasına salamura su girişi sıcaklıklarında donma problemleri için ek tedbirler almak gerekmektedir.

Ocak ayında ortalama toprak sıcaklığı 5-7 °C arasındadır. Salamura suyun silindirik iç içe borulu ısı eşanjörüne girişte ortamın ısı ve F-22 gazının ısı alışverişinde sistemde ısının aniden düşmesine neden olmakta, sonucunda donma problemi ortaya çıkmaktadır. Bunun için ani ısı düşmelerinde ilave bir ısıtıcıya gerek duyulabilir. Netice itibarıyla ısı pompasının direkt sera içerisine veya dışarıda kapalı bir yere yerleştirilmesi daha uygun bir çözüm olacaktır. Toprak kaynaklı ısı pompası, çevre sıcaklığının toprak sıcaklığından düşük olduğu zamanlar kullanılabilir. Düşük çevre sıcaklıklarında klasik hava kaynaklı, ısıtma sistemlerine göre daha performanslıdır.

Cam seraların ısıtılmasında, bilgisayar kontrolü bizlere

birçok konuda avantaj sağlamaktadır. Bunlardan en önemlisi soğuk kış gecelerinde sera ısıtması için insanların nöbet tutmasına gereksinim olmamasıdır. Böylece bilgisayar kontrolü iş gücünü azaltıcı bir faktör oynamaktadır. Ayrıca sera içi sıcaklığı daha hassas ve düzenli kontrol edilebilmekte, bunun neticesinde hem aşırı enerji tüketiminin önüne geçilmekte hem de seradan daha kaliteli ürün elde edilmektedir. Bilgisayar soğuk kış gecelerinde; sera içi sıcaklığı +5 °C'nin altına düşünce, toprak kaynaklı ısı pompası devresini açmakta böylece ürün kalitesine fayda sağlamakta, sera içi sıcaklığı +15 °C'nin üstüne çıkınca ise toprak kaynaklı ısı pompası devresini keserek enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Sonuç olarak;

1. Toprak kaynaklı ısı pompasının COP değerleri yüksektir.
2. Kimyasal madde depo sıcaklığı hemen hemen sabit olduğundan sera içerisinde ısının rasyonel bir şekilde dağılımını sağlamıştır.
3. Kompresörün çalışma düzeni oldukça karardır. Kompresör uzun süreli çalıştırmalar için gayet uygundur. Kompresörün arıza yapma ihtimali çok azdır.
4. Salamura suyun debisi artırıldığında ısı transferi dolayısıyla sistemin COP'u artış göstermektedir.
5. Salamura suyun donma riski hemen hemen yoktur.

Salamura su sıcaklığı -20 °C kadar donmama özelliğine sahiptir. Bu risk çevre sıcaklığının düşük olmasına karşı bir tedbirdir olarak düşünülmüştür. Sistemde bu risk için ilave olarak bir emercensi ısıtma ve otomatik stop donanımları mevcuttur.

6. Isı pompasının bu tür sistemlerde çalışabilmesi için yalıtımı yapılmalı, mümkünse sera içerisine yerleştirilmeli veya ısı pompasının muhafazalı bir şekilde çalıştırılmasına dikkat edilmelidir.
7. Toprakta alınan salamura suyun sıcaklığı çevreye göre daha yüksek olduğundan kompresörün sıkıştırma oranı oldukça azdır ve bundan dolayı iş için dışarıdan daha az enerjiye gereksinim duyar.
8. Depo kullanıldığı için kimyasal maddenin kararlılığı ve değişimi rahatlıkla görülebilmektedir.
9. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığı için cihaz -20°C sıcaklıkta bile rahatlıkla çalışmaktadır. Sistemde donma (defrost) problemi görülmemiştir.
10. Sistemde yardımcı ısı kaynağına gerek duyulmamıştır.
11. Toprak ısı değiştiricisinden kullanılan PEX borularının çapı 1" ve üstünde seçilmelidir. Dikine yerleştirilen salamura su düzeneği ile karşılaştırılarak mukayesesi yapılmalıdır.
12. Kimyasal maddenin sıcak günlerde şarjı kısa, deşarjı ise daha uzun zaman aralığında gerçekleşmektedir. Soğuk günlerde ise bunun tam tersi şarjı uzun, deşarjı ise daha kısa sürede gerçekleşmektedir.
13. Toprak kaynaklı ısı pompasının performansı 2-3.5 arasında çıkmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası bize sera içerisinde çevre sıcaklığına bağlı olmakla birlikte 5-12 °C'lik bir ek kazanç sağlamakta, kimyasal madde ise ortalama olarak, 1-3°C'lik ek kazanç sağlamaktadır.

ÖNERİLER

1. Isı kayıplarının en az düzeye indirmek için ısının aktarıldığı boru ve kanalların iyi bir şekilde standartlara göre (TSE ve ASHRAE) iyice yalıtılmalıdır.

2. Sera inşa şekilleri ve yeni dizaynlar takip edilerek yeni teknolojiler uygulanmalı (çift cam, polikarbon vb.)
3. Seranın mümkünse kuzey tarafları korumalı bir şekilde yapılmalı.
4. Bu tür sistemlerin kurulması ve yaygınlaştırılması teknik ve ekonomik yönden devlet tarafından desteklenmelidir.
5. Enerji depolayıcı çeşitli maddeler üzerinde daha fazla araştırma yapılarak, daha uygun daha ucuz maddeler bulunarak hizmete sunulmalıdır.
6. Isı pompasındaki yeni teknolojileri yakından takip edilerek, özellikle yeni kullanıma sunulan R-123, R-134a, R-407c, R-410a, vb. (ozon yok etme katsayısı sıfır)gazlar ile çalışan sistemler denenmelidir.
7. İleriki çalışmamızda dikey borulu kuyu tipi toprak kaynaklı ısı pompası için çalışmalar yürütülecektir.

SEMBOLLER

A_{sera} = Seranın taban alanı (6 m x 5 m = 30 m ²)	(m ²)
$A_{ürün}$ = Ürünün kapladığı alan	(m ²)
A_{depo} = Depo alanı ($= \frac{\pi D_{depo}^2}{4} = \frac{\pi 0.6^2}{4} = 0.28 \text{ m}^2$)	(m ²)
$A_{ısıtma}$ = Isıtma boruları yüzey alanı	
$(= n \frac{\pi d_{ısı borusu}^2}{4} = 30 \frac{\pi 0.05^2}{4} = 0.058) \text{ (m}^2)$	(m ²)
A_{oran} = Alanlar oranı ($= A_{ısıtma} / A_{depo} = 0.21$)	(-)
a_{toprak} = Toprağın ısı emme katsayısı	(-)
$a_{ürün}$ = Ürünün ısı emme katsayısı	(-)
COP = Isı pompasının performans katsayısı	(-)
COM _{elektrik} = Elektrik enerjisi tüketimi	(Watt)
CP _{FDM Sıvı} , CP _{FDM Katı} = Kimyasal madde özgül ısıları	(J/kg K)
D _{depo} = Kimyasal madde depo çapı	(m)
d _{ısı borusu} = Kimyasal madde ısıtma boru çapı	(m)
F ₁ = Isıtılacak alan	(m ²)

f_r = Termal perdeleme ile enerji kazanım katsayısı	(-)	q_s = Toprağın özgül ısı verme miktarı	(W/m ²)
H = Kimyasal madde depo boyu	(m)	R_{sera} = Sera alanının, ürünsüz alana oranı (= $A_{sera} A_{ürün} / A_{ser}$)	(m ²)
H_{hava} = Kuru hava entalpisi	(J/kg)	$R_{ürün}$ = Sera alanının ürünün kapladığı alana oranı (= $A_{ürün} / A_{sera}$)	(m ²)
H_{buhar} = Hava içerisindeki rutubet entalpisi	(J/kg)	$T_{iç}$ = Sera iç sıcaklığı	(K)
H_1 = Akışkanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpisi	(J/kg)	$T_{çevre}$ = Çevre sıcaklığı	(K)
H_2 = Akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi	(J/kg)	$T_{hg}, T_{hç}$ = Kimyasal madde deposuna giren ve çıkan hava sıcaklığı (= $\dot{m}_{gaz} (H_1 - H_5)$)	(K)
H_3 = Akışkanın yoğunlaştırıcı çıkışındaki entalpisi	(J/kg)	$T_{yüzey ort.}$ = Ortalama kimyasal madde deposu dış yüzey sıcaklığı	(K)
H_5 = Akışkanın buharlaştırıcı girişindeki entalpisi	(J/kg)	$T_{su-giriş}, T_{su-çıkış}$ = Eşanjöre giren ve çıkan su sıcaklığı	(K)
h_t = Sera örtüsünün toplam ısı transfer katsayısı	(W/m ² K)	T_{s1}, T_{s2} = Katı fazdaki kimyasal maddenin ilk ve son durumdaki sıcaklıkları	(K)
h_v = Sera havalandırmasında toplam ısı transfer katsayısı	(W/m ² K)	T_{L1}, T_{L2} = Sıvı fazdaki kimyasal maddenin ilk ve son durumdaki sıcaklıkları	(K)
$h_{iç}$ = Sera İçi Isı taşınım Katsayısı	(W/m ² K)	V_{depo} = Depo hacmi (= $\frac{\pi D_{depo}^2}{4} H = \frac{0.6^2}{4} \pi 1.5 = 0.424 \text{ m}^3$)	(m ³)
$Q_{güneş}$ = Işınım ile ısıl kazanç (= $\tau \alpha I$)	(Watt)	$V_{ısıtma}$ = Isıtma boruları hacmi (= $n \frac{\pi d_{ısıtma}^2}{4} H = 30 \frac{(0.05)^2}{4} \pi 1.5 = 0.08835 \text{ (m}^3)$)	(m ³)
$Q_{ısı pompası}$ = Isı pompasının ısıl kazancı (= COP _x COM _{elektrik})	(Watt)	V_{PCM} = Kimyasal madde hacmi (= $V_{depo} - V_{ısıtma} = 0.33565 \text{ m}^3$)	(m ³)
$Q_o, Q_{örtü}$ = Seranın tüm çevresinden olan ısıl kayıp = $A_{sera} \cdot h_t \cdot (1-f_r) (T_{iç} - T_{çevre})$	(Watt)	\dot{W}_{sis} = Sisteme verilen toplam güç	(Watt)
$Q_h, Q_{havalandırma}$ = Sera havalandırması ile oluşan kayıp = $A_{sera} \cdot h_v \cdot (T_{iç} - T_{çevre})$	(Watt)	\dot{W}_{komp} = Kompresöre verilen güç	(Watt)
Q_{toprak} = Toprak tarafından emilen ısı = $a_{toprak} \cdot R_{sera} \cdot Q_{güneş}$	(Watt)	\dot{W}_{fan} = Kondenser fanına verilen güç	(Watt)
$Q_{ürün}$ = Sera içi ürün tarafından emilen ısı = $a_{ürün} \cdot R_{ürün} \cdot Q_{güneş}$	(Watt)	\dot{W}_{sp} = Sirkülasyon pompasına verilen güç	(Watt)
Q_{buhar} = Sera içi buharlaşma gizli ısısı = $(H_{hava} + X \cdot H_{buhar}) \dot{m}_{hava}$	(Watt)	X = Sera içi hava kuruluk katsayısı	(-)
Q_{FDM} = Kimyasal madde şarjında kim. Madde tarafından emilen ısı	(Watt)	\dot{m}_{hava} = Hava debisi	(kg/s)
Q_c = Yoğuşturucunun verdiği ısı (= $\dot{m}_{gaz} (H_2 - H_3)$)	(Watt)	\dot{m}_{gaz} = Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi	(kg/s)
Q_{eve} = Buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı (= $\dot{m}_{gaz} (H_1 - H_5)$)	(Watt)	η_m = Kompresörün mekanik verimi	(-)
q_i = Isıtılacak ortamın özgül ısı ihtiyacı	(W/m ²)	ϵ = Isı pompasının tesir katsayısı	(-)
		τ = Cam seranın geçirgenlik katsayısı	(-)

KAYNAKÇA

1. **Demirbay, A.**, (2002). Turkey's Geothermal Energy Potential, Energy Sources, Vol: 24, No:12, pp:1107-1115.
2. **Henderson P.C., Hewitt, N.J., Mongey, B.**, (2000). An Economic and Technical Case For A Compressor/expander Unit for heat pumps, International Journal of Energy Research.,24, 831-842.
3. **Özgener, Ö., Hepbasli A.**, (2005). Experimental Performance Analysis of a Solar Assisted Ground-source Heat Pump Greenhouse Heating System, Energy Conv. and Mgmt.,37, 101-110.
4. **Chou, S.K., Chua, K.J., Ho, J.C., Ooi, C.L.**, (2004). On the Study of an Energy-Efficient Greenhouse for Heating, Cooling and Dehumidification Applications, Renewable Energy, pp:355-373.
5. **Hyun, Song.,-Kap.**, (1997). Development of Heat Pump-pcm Latent Heat Storage System for the Greenhouse Heating (1) Journal of Korean Society for Agriculture Machinery, 19,(3).
6. **Yuehong, B., Tingwei, G., Liang, Z., Lingen, C.**, (2004). Solar and Ground Source Heat-pump System, Applied Thermal Energy, 78, pp.231-245.
7. **Katsunori, N., Takao, K., Sayaka, T.**, (2006). Development of a Design and Performance Prediction Tool For the ground source heat pump system, Applied Thermal Energy, Article in Press.
8. **Yamankaradeniz, R., Horuz, I.**, 1998, The Theoretical and Experimental Investigation of the Characteristics of Solar-Assisted Heat Pump, Solar Energy, Vol 25, 6, 885-898.
9. **Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K., Ayhan, T.**, (1993). Solar-Assisted Heat Pump and Energy Storage For Residential Heating, Solar Energy Vol:51, (5) pp:357-366.
10. **Kürklü, A.**, 1998, Energy Storage Applications in Greenhouse by Means of Phase Change Materials, Renewable Energy Vol 13., 89-103.
11. **Kürklü, A., Özmerzi, A., Wheldon, A. E., and Hadley, P.**, 1996 Utilization of a Phase Change Material (pcm) for the Reduction of Peak Temperatures in a Model Greenhouse. Paper Presented at Agritech 96, International Workshop on Greenhouse Technologies for Mild Climates, 12-15 May, Bet-Dagan.
12. **Sarı, A., Kaygusuz, K.**, (2001). Thermal energy storage system using some fatty acid as latent heat energy storage materials. Energy Sources. 23, (1), pp 275-85.
13. **Sarı, A., Kaygusuz, K.**, (2002). Thermal and Heat Transfer Characteristics in a Latent Heat Storage System Using Lauric Acid. Energy Convers Mgmt.,43, (18), pp:1605-24.
14. **Abhat, A.**, (1983). Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage: Heat Storage Materials. Solar Energy, 30, pp:313-320.
15. **Lorsch, H.G., Kauffman K.W, Denton, J.C.** (1976). Thermal energy storage for heating and air conditioning, future energy production system. Heat Mass Transfer Processes 1: 69-85.
16. **Farid, M.M., Khudhair, M.A.**, (2003). A Review on Phase Change Energy Storage: material and Applications, Energy Conversion and Management. Article in Press.
17. **Humphries W.R.**, (1977). Griggs El. A Designing Handbook for Phase Change Thermal Control and Energy Storage Devices. NASA Technical Paper, pp:1074.
18. **Benli H.**, 2006 Isı Depolamalı Cam Seralarda Sıcaklık Değişiminin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Elazığ, 330 sayfa.

Bu çalışma; Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Proje Birimi FÜBAP Proje No:839, DPT Proje No:2003K120440 ve Tübitak Mühendislik Araştırma Gurubu Proje No:106M146 tarafından desteklenmiştir.