

Havalı Güneş Kolektörleri ve Gizli Isı Depolama Yöntemi Kullanılarak Sera Isıtılması

Hüseyin BENLİ
Dr., F.Ü. T.B.M.Y.O

Aydın DURMUŞ
Doç. Dr., F.Ü. T.E.F

ÖZET

Havalı güneş kolektörleri seralarda güneş enerjisinden faydalanımında önemli bir bileşendir. Seralarda ısı transfer proseslerine dayanan bir deneysel çalışma yapılmıştır. Çalışmada, bir serada ısıtma gereksinimleri karşılayacak güneş hava kolektörlerinin ve Faz Değiştirici Malzemelerin performansları araştırılmıştır. Sera içerisinde bulunan gizli ısı depolama tankı, faz değiştirici malzeme ile doldurulmuş, gün ışınının olduğu saatlerde havalı güneş kolektörleri yardımıyla sera ısıtılması ve kimyasal madde şarj edilmiştir. Isı gereksiniminin daha çok olduğu gece saatlerinde ve soğuk hava durumlarında kimyasal madde deşarj edilerek depolanan ısıdan faydalanılmıştır. Çalışmada; 5 değişik yüzey geometrilerinde inşa edilmiş 10 adet havalı güneş kolektörü, hava fanı, hava akış kanalları, gizli ısı depolama tankı, kimyasal madde, ölçüm ve diğer yardımcı ekipmanlar kullanılmıştır. Deneyler, seraların ısıtma ihtiyacının olduğu Eylül ve Kasım ayları boyunca yapılmıştır. Isı depolama verimi ve kolektör verimi, kolektör basınç kaybı, kimyasal madde erime ve donma ısı yükleri bulunmuştur. Bu bölgede sera ısıtılmasında gündüz havalı güneş kolektörleri kullanımıyla sera ısıtılması gayet elverişli ve uygundur.

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş kolektörleri (HGK), gizli ısı depolama (GID), faz değiştirici malzemeler (FDM), seralar

GİRİŞ

Bir binada veya ısıtılacak bir iç ortamda konforlu bir sıcaklık elde edebilmek için belirli bir miktarda enerji gereklidir. Isıtma ve soğutma için gerekli olan enerji genelde elektrik, fosil yakıtlar ve biyogazdan elde edilir. Yeryüzüne gelen güneş enerjisinin % 46'sı sadece toprak tarafından absorbe edildiğine göre güneş enerjisini kullanarak ısıtma yapabilmek oldukça kazançlı bir kullanımdır. Bu nedenle havalı güneş kolektörleri seralarda ısıtma için önemli elemanlardan birisidir. İnsanoğlu için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak ısınmak her

ABSTRACT

Solar air collectors are important components for solar energy utilization in greenhouse. An experimental study based on basic-heat transfer processes with in greenhouses was performed. In this study performance of solar air collectors and Phase Change Material (PCM), to meet the heating requirement in a greenhouse were investigated. Latent heat storage tank inside the greenhouse was filled with the PCM. The solar air collectors were used to heat and charging of PCM in the greenhouse when the solar energy was risen up and clear days. The phase change materials were discharged to profit from its energy when the heating load high cold nights in the cold weather conditions In the study solar air collectors consist of 10 numbers which have five different surface profiles, air blower, air flow ducts, latent heat storage tank, PCM, measuring devices and other auxiliary equipment were used. The experiments were carried out during the heating seasons from September to December. As a result, the heat storing efficiency, collector efficiency, collector pressure drop, PCM charge and discharge heat loads were found. It is also determined that it is convenient and useful to use solar air collectors in heating greenhouses in this region.

Keywords: Solar air collectors (SAC), latent heat storage (LHS), phase changing materials (PCM), greenhouses.

zaman arzu edilmiştir. Bu amaç sadece fosil yakıt kullanımını azaltmamakla kalmayacak yeşil bir ortamın korunmasına da yardımcı olacaktır.

Seralar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilceği en etkili alanlardan birisidir. Bu sayede tarımsal ürünlerin kalitesi artacak ve tarım ürünü maliyeti de azaltılacaktır Seralarda günümüzde ısıtma ve soğutmada karşılaşılan gereksinimleri temin etmek için çok çeşitli ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Seralarda özellikle ısıtma sistemleri daha büyük önem arz etmektedir. Bu ısıtma sistemleri buhar veya sıcak sulu radyatörlü sistemler, fosil yakıt kullanılan ısıtma

sistemleri veya elektrikli ısıtıcılar ve benzerleridir. Bu sistemler genelde seralarda ısıtma yükü ihtiyacını karşılamaktadır. Fakat bu tür sistemlerde sıcaklık dağılımı, dış ortam hava koşullarından oldukça çok etkilenir. Ayrıca bu tür sistemlerde istenilen rutubet seviyesini sağlamak zordur.

Türkiye gibi, enerjinin büyük bir kısmını dışarıdan ithalat ile karşılayan ülkelerde enerjinin ekonomik kullanımı oldukça önemlidir. Türkiye'de toplam enerji tüketiminin %65'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Buna karşın bunların kullanımı çevreye dost olmayan ve ülkemizin mali bütçesini oldukça zorlayan bir etmendir. Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak oldukça büyük önem arz etmektedir. Bunlar özellikle güneş, rüzgar, hidrogüç, biyogaz ve jeotermal enerji. Özellikle ülkemiz güneş ışınımı bakımından oldukça şanslı bir coğrafyada bulunmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de son yıllarda Havalı güneş kolektörlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Aşağıda sayacağımız nedenlerden kullanımı oldukça ekonomik olmaktadır.

1. Havalı güneş kolektörlerinde havanın ön ısıtılması oldukça ucuz ve kolay bir teknoloji gerektirir.
2. Bakımları ve işletilmeleri oldukça kolaydır.
3. Belirli bir güç gerektirmezler.
4. Ucuz malzemelerden ve kolayca bulunan malzemelerden imal edilebilirler.
5. Çevreye dosturlar.
6. Yakıt gerektirmezler. Bu avantajlarına karşın düşük yoğunluklarından ve küçük hacimsel ısı kapasitelerinden dolayı performanslarında sınırlı bir kullanım vardır.
7. Temiz hava kullanıldığında rahatlıkla gıda kurutulmasında kullanılır.
8. Kapalı hacimlerin ve ortam ısıtılması için oldukça elverişlidir.
9. Temiz ve kullanılabilir ısı üretirler.

Bu yüzden pek çok araştırmacı tarafından değişik tipte ve değişik malzemeler kullanılarak güneş kolektörlerinin imalatı sürekli artan bir biçimde araştırılmaktadır. Güneş hava kolektörlerinin ısı performansı kullanılan malzemeye, şekline, ölçüsüne, boyutlara ve kolektörün dizaynına bağlıdır.

Havalı güneş kolektörleri oldukça farklı tasarımlarda üretilmektedir. Yutucu yüzey olarak kanatçıklı veya çeşitli yüzey profillerine sahip metal levhalar, aralarında boşluk

kalacak şekilde üst üste yerleştirilir ve yutucu yüzeye havanın tam temas etmesi sağlanır. Güneş enerjisine dayalı olarak kapalı mahallerin ısıtılması aktif ve pasif yöntemler kullanılarak olmaktadır. Aktif yöntemde sisteme ek enerji verilmekte, pasif sistemde ise ek enerji ihtiyacı olmadan sadece yüzey şekilleri ısı geçişi sağlanmaktadır. Pasif sisteme en iyi örnek seranın sadece konumu ve şekli yapısı ile güneş enerjisi yardımıyla ısıtılmasıdır. Aktif yöntem ise ek bir düzenek kullanarak ve sisteme ek enerji vererek seraların ısıtılmasıdır. Her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajları vardır. Isı depolama yöntemi duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama olmak üzere iki ana grup altında incelenebilir. Duyulur ısı depolaması hal değişimi, yani ergime veya buharlaşmanın olmadığı zamanda güneş enerjisi depolanmasıdır. Sıcaklığın artışı depo edilecek malzemede hissedilebilir veya çeşitli ölçümlerle tespit edilebilir. En iyi örneğini kaya yataklarına ısının depolanmasıdır. Gizli ısı depolaması ise; maddelerin faz değişimleri ile ısı depolama yöntemidir.

Herhangi bir maddenin ısıtılması veya soğutulması esnasında faz değiştirirken sıcaklığın sabit kaldığı andaki ısıyı Gizli Isı olarak adlandırılır. Bir sıvı soğutulmaya başladığı zaman molekülleri gitgide daha yavaş hareket etmeye başlar.

Soğutma sırasında öyle bir sıcaklığa gelinir ki, moleküller olabildiğince düşük kinetik enerjiye sahip olurlar ve moleküller arası çekim kuvveti onları bir kristal içinde istiflemeye başlar. Bu durumda sıvı donmaya başlıyor olarak tanımlanmaktadır. Kristal içinde belli noktalarda yerlerini alan moleküllerin kinetik enerjileri sıvı fazda kalanlara oranla daha düşüktür. Bu nedenle sıvı fazdaki moleküllerin sıcaklığı ve dolayısıyla ortalama kinetik enerjileri yükselecektir. Bütün maddeler faz değiştirebilir, fakat birçok maddenin faz değişimi arzulanan sıcaklıkta değildir. Gizli ısı depolamasında, sıvı-buhar faz değişiminde enerji depolanabileceği gibi, katı-sıvı fazında da depolanabilir. Sıvı-buhar faz değişiminde, sabit basınçta hacim çok arttığından veya sabit hacimde basınç çok arttığından, ısı depolamasında fazla tercih edilmez. Bu tür faz değişimdeki ısı depolamasına daha çok soğutma sistemlerinde rastlanmaktadır. Gizli ısı depolamasında, daha çok katı-sıvı faz değişiminden yararlanır. Bir katı cismin birim kütesini sıcaklık değişimi olmadan sıvı hale geçirmek için, verilmesi

gereken ısı miktarına Erime Gizli Isısı denir. Biz çalışmamızda FDM olarak Kalsiyum klorür heksahidrat kullandık. Çalışmada literatür araştırması iki ana başlık altında yapılmıştır. Bunlardan birincisi havalı güneş kolektörleri ve alternatif ısıtmalı seralar, ikincisi ise ısı depolamasında kullanılan faz değiştiren malzemeler ve tuz hidratlardır. Karlı [1] dört değişik yüzey profiline sahip (75° açılı kanatçıklı, 70° açılı kanatçıklı, tüplü ve düz havalı güneş kolektörü kullanarak ürün kurutulmasını deneysel olarak araştırmıştır. En yüksek kolektör verimi ve hava sıcaklığı artışını 75° açılı kanatçıklı kolektörde en düşük ise düz kolektörde oluştuğunu göstermiştir. Yeh ve Chou [2], hava ısıtmalı güneş kolektörlerine kanatlar ilave ederek, kolektör verimini artırmayı hedeflemişlerdir. Kanat sayısının artışıyla kolektör veriminin %12 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Yeh ve Lin [3], düz plakalı hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin kolektör verimleri üzerinde birbirine paralel olan engellerin etkisini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Engelleri üniform aralıklarla yerleştirerek, deneysel çalışmaları engellerin farklı bölgelerinde yapmışlardır. Maksimum kolektör verimi için, optimal engel yerinin kolektörün merkezi olduğu ve engel sayısının artışıyla kolektör veriminin arttığı gözlenmiştir. Ertekin ve Bilgili [4], çalışmalarında, hava ısıtmalı güneş kolektörlerini tanıtarak bunların yapımında kullanılan yutucu yüzeyler, geçirgen örtüler, yalıtım malzemeleri ve kasalar hakkında bilgiler vererek, ısı veriminin belirlenmesinde kullanılan ısı kazanç faktörü, verimlilik faktörü ve toplam ısı katsayıları hakkında bilgiler vermişlerdir. Kurtbaş ve Durmuş [5], çeşitli yüzey geometrilerine sahip havalı kolektörlerde deneyler yapmış ve beş farklı havalı kolektörlerin ısı transferi, basınç kaybı ve ekserji kaybı yönünden incelemiştir. Araştırmanın sonucunda basınç kaybı, ekserji ve ısı transferi için ampirik bağıntılar verilmiştir. Metwally ve arkadaşları [6], Mısır Kahire'de yaptıkları çalışmada 5x1x0.12 m boyutlarında akış oranları 0.01-0.1kg/sm² olan güneş radyasyon oranları 650-950 W/m² olduğu anlarda oluklu kanallı havalı güneş kolektörü ve 5 değişik geometriye sahip kolektör tiplerini performans yönünden karşılaştırmıştır. Zhai ve arkadaşları [7], yaptıkları çalışmada 1.5x0.5 boyutlarındaki havalı güneş kolektörlerinde üç elektrikli ısıtma plakası ile güneş ışınımı oluşturarak doğal bir havalandırma gerçekleştirip

sıcaklık dağılımı ve uygun kanal uzunluğunu hesaplamışlardır. Ben Slama [8], yaptığı çalışmada havalı güneş kolektörlerinde küçük kanatlar ve uygun akış yolları oluşturarak türbülanslı akış şartlarında kolektör içi sıcaklığı 70°C ve verimi % 80 bulmuştur. Basınç düşümü ve ekserji analizini hesaplamıştır. Ahmad [9], yaptığı çalışmada tekli silindirik kolektör ve diğer katmanda da hava kabarcıklı ince naylon kullanılarak taşınım ısı kaybını azaltmayı amaçlamıştır. Tekli düz kolektör ile bunu performans açısından değerlendirmiştir. Karim ve Hawlader [10], düz plakalı, kanatçıklı ve oyuklu havalı güneş kolektörlerini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Güneş kolektörlerinin performansını iyileştirecek çalışmalar yapmıştır. Moummi ve arkadaşları [11], yaptıkları çalışmada kanatçıklı bir havalı güneş kolektörlerinde türbülanslı akış oluşturarak enerji analizi yapmışlardır.

Çomaklı ve arkadaşı [12], dört değişik yüzey profilli güneş kolektörde yaptıkları deneysel çalışma ile sistemin ekserji verimini hesaplamışlardır. Bu çalışmada; güneş enerjili ısıtma sistemi ve enerji depolamalı ısıtma sistemi deneysel olarak incelenmiştir. Benli [13] yaptığı çalışmada değişik yüzey profillerine sahip (5 değişik yüzey profilli 10 adet) havalı güneş kolektörü ile gündüz sera ısıtılması ve kimyasal maddenin şarjını sağlayarak sera ısıtmasını deneysel olarak incelemiştir. Deneyler neticesinde kolektör verimleri, basınç kayıpları ve kimyasal maddenin şarjı ve deşarjı ile depolanan ve salınan enerji miktarlarını hesaplamışlardır. Bölge için havalı güneş kolektörleri kullanımının gayet verimli olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada, fan destekli havalı kolektörlerin kullanılması aktif yöntem girmektedir. Kimyasal maddenin şarj edilerek serbest olarak soğumaya bırakılması ise pasif yöntemle ısıtmaya örnek teşkil etmektedir. Rabin ve arkadaşları [14], suyun düşük sıcaklıkta güneş enerjisi ile ısıtılması için güneş enerjisinin depolanması ve toplanmasını aynı yerde yapan düzlemsel bir güneş kolektörü tasarlamıştır. CaCl₂, KCl ve NaCl'nin yüzde olarak sırasıyla % 48, 4.5 ve % 47.1 oranlarında karışımına % 47.1 H₂O ekleyerek FDM olarak kullanmışlardır.

Çalışmada kullanılan sistemlerin ekonomiklik analizi yapılarak birbiriyle mukayese edilmiştir. Amacımız ülkemizde ve dünyada seracılıkta yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımında alternatif çözümler sunmak,

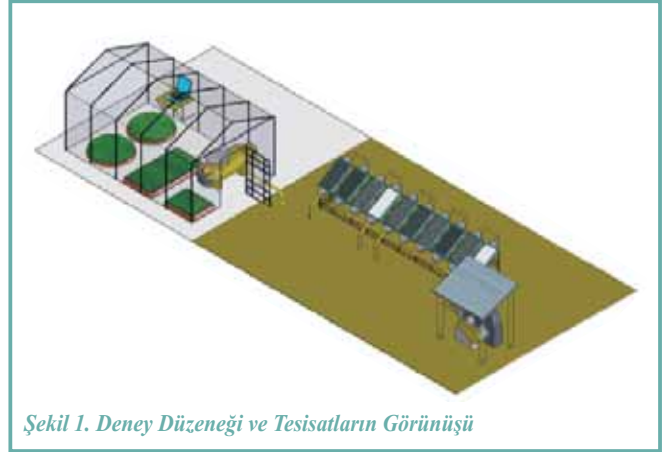
güneş ışığından daha fazla ve verimli şekilde yararlanmaktadır. Deneyler 2005-2006 ısıtma sezonunda yapılmıştır.

ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Gelişen ve nüfusu gittikçe artan dünyada ülkelerin gelecekteki en büyük sorunu tarım ve tarımcılığını ülke nüfusuna yeterli hale getirmektir. Gelişen teknolojiye paralel olarak minimum alandan en yüksek oranda ürün almak son yılların en geçerli uğraşlarından biri olmuştur. Gelişmiş ülkelerde tohum üreticileri ürünlerin genleri ile oynayarak bunu bir ölçüde başarmışlardır. Günümüzde hemen hemen her ülkede bu tür tarım ve tarım ürünleri oldukça rağbet görmektedir. Fakat gelecekte insanoğlu daha büyük sorunlarla uğraşmak zorunda kalacaktır. Bu da toplu ölümler ve kalıtsal hastalıklar olacaktır. Gelişmiş ülkeler organik tarım ve tarımcılığı teşvik için oldukça büyük uğraşlar vermekte, yatırımlar yapmaktadır. Buna paralel olarak her mevsimde istenilen ürünün yetiştirilmesi için seralar ve sera ısıtması konusunda özellikle Akdeniz iklim kuşağında bulunan ülkelerde ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Yirmi yıl öncesine kadar oldukça az sayıdaki seracılık ve sera yetiştiriciliği yapılırken, bugün ülkemiz insanları için oldukça geçerli bir geçim kaynağı olmuştur. Seracılıkta dün olduğu kadar bugünde karşılaşılan en büyük sorun ısıtma olmaktadır. Isıtma için yapılan harcamalar toplam ürün maliyetinin %60-70'ini oluşturmaktadır [II. Tarım Şurası 2004]. Seracılığı geliştirmek için yapılacak en önemli çalışmalar ısıtma maliyetlerini düşürmek üzerine olmaktadır. Fosil kökenli yakıtların maliyetlerinin oldukça artması araştırmacıları alternatif enerji kaynakları bulmaya yönlendirmektedir. Güneş ışınımı bakımından oldukça şanslı bir kuşakta bulunan ülkemiz, güneş gibi çevre kirliliği yaratmayan ucuz enerjileri daha çok kullanmak zorundadır. Bu yapılan çalışmalar ülkemizin enerji de dışa olan bağımlılığımızı azaltacağı gibi yeni kuşaklara daha yaşanılır bir ülke bırakmamızı sağlayacaktır.

DENEY DÜZENEGİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneyleri yapabilmek için Şekil 1'de Şematik resmi verilen deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği; 10 adet 5



Şekil 1. Deney Düzeneği ve Tesisatların Görünüşü

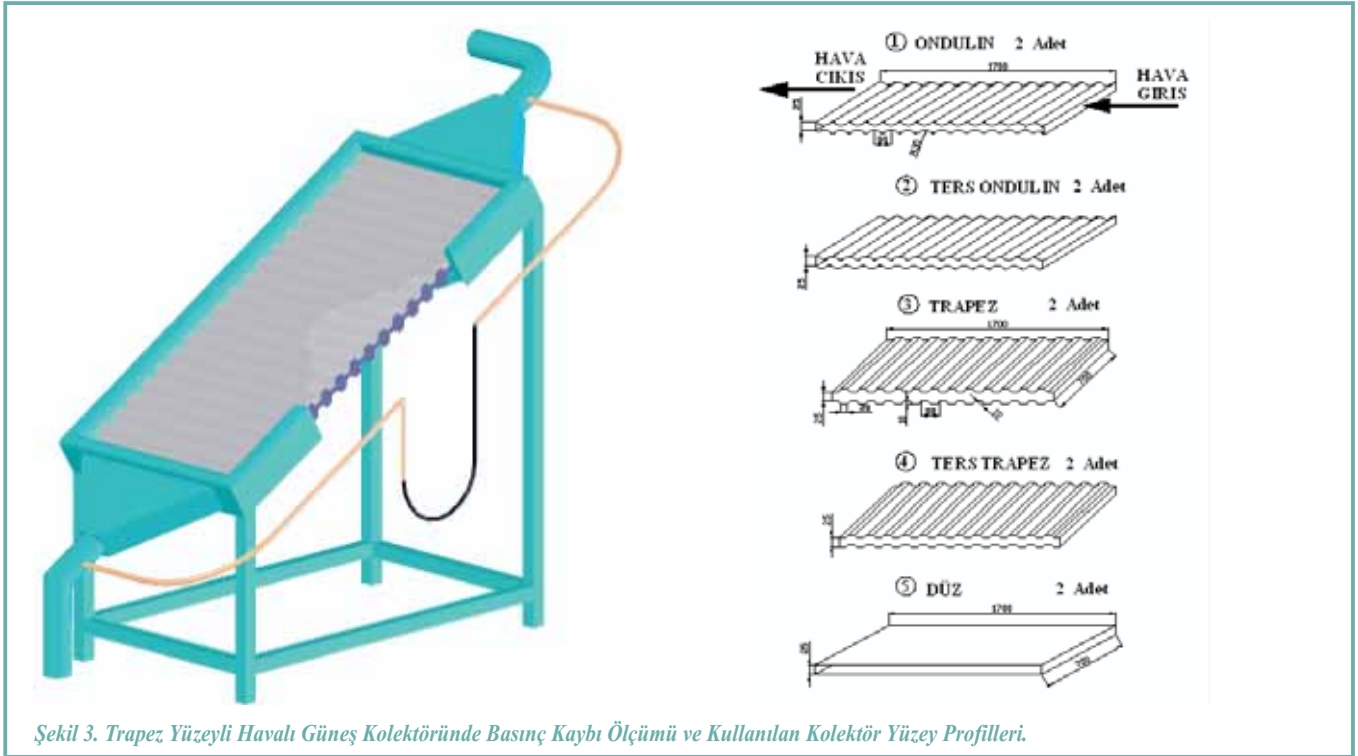


Şekil 2. Deneyde Kullanılan Havalı Güneş Kolektörleri ve Yerleştirilmesi

farklı yüzey geometrisine sahip havalı güneş kolektörleri, hava fanı, hava akış kanalları, gizli ısı depolama tankı ve kimyasal madde, ölçüm ve diğer yardımcı ekipmanlardan oluşmaktadır.

Isıtma ortamı olarak 30 m² (6m x 5m) cam sera kullanılmıştır. Deney düzeneğinde her bir kolektörden 2 adet yapılmıştır, bunlar (düz, trapez, oluklu, ters trapez, ters ondülin) olup toplam 10 adet kolektör seri şekilde bağlanmıştır. Kolektörler iki ayrı grupta toplanmıştır. Bunun nedeni kolektörlerden hava geçiş kolaylığı sağlamak ve maksimum verim elde etmek üzerine olmuştur. I. Grup ilk 6 adet sırasıyla (düz, ondulin, ters ondulin, trapez, ters trapez, ondulin), II. Grup 4 adet kolektörden (düz, ters ondulin, trapez, ters trapez) oluşmuştur. Şekil 2'de Deneyde kullanılan havalı güneş kolektörleri ve yerleştirilmesi görülmektedir. Şekil 3'de deneyde trapez yüzeye sahip havalı güneş kolektöründe basınç kaybı ölçüm düzeneği ve kullanılan kolektör yüzey profilleri verilmiştir. Kolektör hava geçiş kanalları ve borular 3 kat izole edilereken optimum verim alınmaya çalışılmıştır.

Deneylerimizde kullandığımız kimyasal madde deposu; 60 cm çapında 150 cm boyunda ve aynı depo üzerinde 30 adet 5 cm çapındaki hava geçiş kanallarından oluşmaktadır.



Şekil 3. Trapez Yüzeyle Havahız Güneş Kolektöründe Basınç Kaybı Ölçümü ve Kullanılan Kolektör Yüzey Profilleri.

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. Çalışmamızda, ısı pompası vasıtasıyla üretilen enerjiyi depolamak için gizli ısı enerji depolama metodu seçilmiştir. Enerji depolayıcı madde olarak da düşük sıcaklıkta faz değiştiren ticari saflıkta Kalsiyum klorür heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Daha öncede ifade edildiği gibi kalsiyum klorür heksahidrat hem ekonomik hem de ısısal ve kimyasal kararlılık bakımından diğer faz değiştiren maddelerden daha iyi sonuç vermektedir. İnsan sağlığına zararlı olmayan bu maddenin zehirleyici özelliği yoktur. Bilindiği gibi kalsiyum klorür soda fabrikalarında

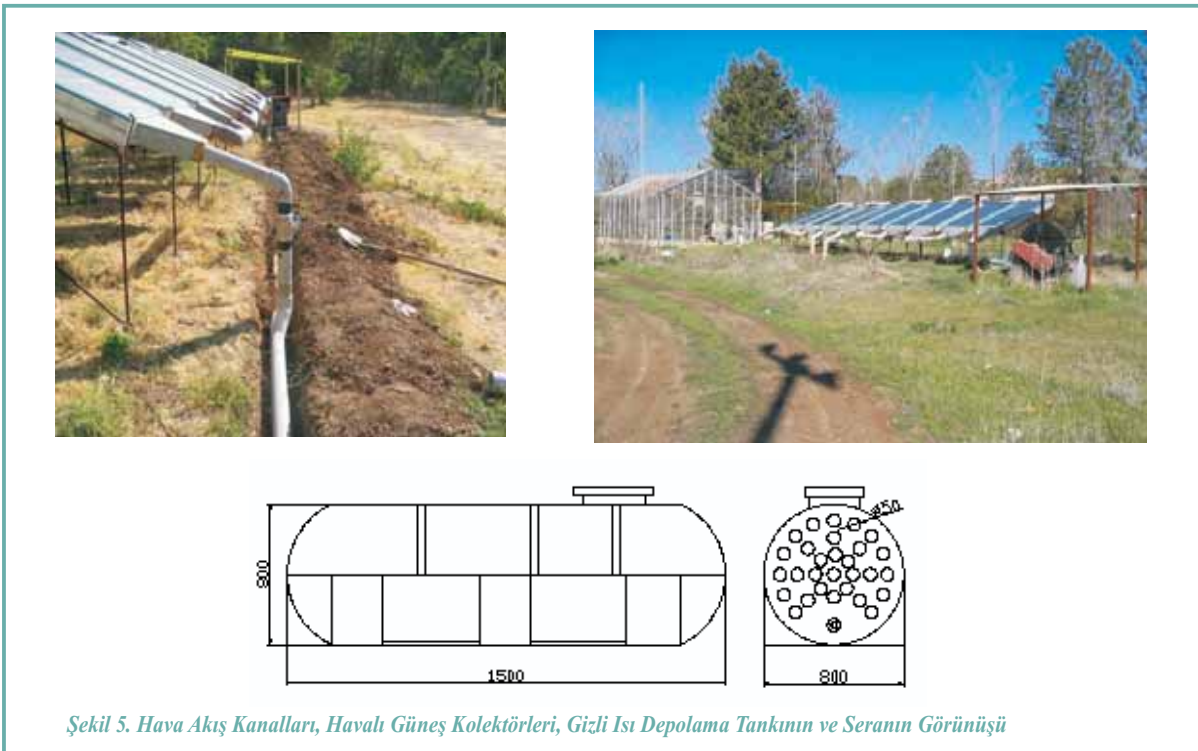
yan ürün olarak elde edildiğinden daha ekonomik olmaktadır. Susuz olarak satın alınan bu maddeye

Tablo 1. Kalsiyum Klorür Heksahidratın Teknik Özellikleri

| | |
|-------------------------------|--|
| Erieme noktası | 28-35 °C |
| Yoğunluk | 1500 kg/m ³ |
| Depoladığı gizli ısı | 188.406 kJ/kg |
| Aşırı soğuma derecesi | 1°C (çekirdekleştirici ilaveli) |
| Isı depolama kapasitesi | 31.84. 10 ⁴ kJ/m ³ |
| Isı çevrim sayısı | Literatüre göre 3500-5000 |
| Fiyat | 2.5 YTL/kg |
| Yanıcılık ve zehirleyicilik | Yok |
| C _p k (Özgül ısı) | 1.42 kJ/kg °C |
| C _p s (özümlü ısı) | 2.09 kJ/kg °C |



Şekil 4. Cam Sera, Havahız Güneş Kolektörleri, Kimyasal Madde Deposu, Görünüşü



Şekil 5. Hava Akış Kanalları, Havalı Güneş Kolektörleri, Gizli Isı Depolama Tankının ve Seranın Görünüşü

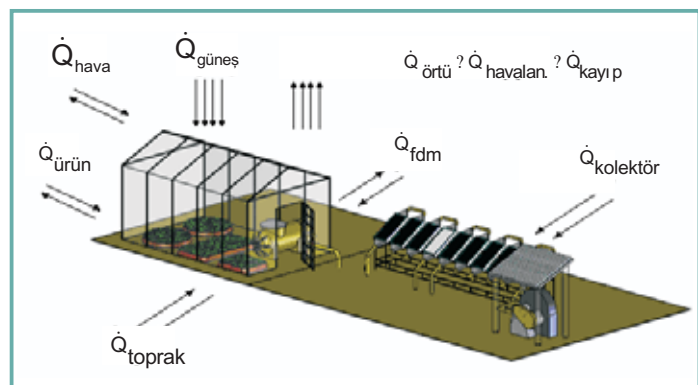
laboratuvarda teorik miktarın (ağırlıkça %51 CaCl₂ ve %49 H₂O) biraz fazlası su ilave edilerek çözülüp içine kristalleşmeyi sağlamak için çekirdekleştirici olarak kimyasal maddenin ağırlığının %2-4 oranında merk KNO₃ (%99.8 saflıkta) ilave edilerek kalsiyum klorür heksahidrat hazırlanmış tam karışımı sağlamak ve malzeme içinde katılma olmaması için tank içinde karıştırılarak eritilmiştir. Tuz hidratların en cazip özellikleri hacimde sadece az bir değişiklikle yüksek füzyon gizli ısısına ve oldukça yüksek ısıl iletkenliğe (organik maddeler ile karşılaştırıldığında) sahip olmalarıdır. Malzeme soğutulmaya bırakılmış ve enerji deposuna yerleştirilmiştir. Tablo 1'de de, kalsiyum klorür heksahidratın bazı teknik özellikleri verilmiştir. Kurulmuş olan deney düzeneğinde 10 adet havalı güneş kolektörleri, hava geçiş ve dağıtım kanalları, hava fanı, ölçüm ve kontrol cihazları, kimyasal madde depolama tankı, kimyasal madde ve cam seradan oluşmuştur.

SERA İÇİN TERMAL ENERJİ DENGESİ

Gün ışığının olduğu saatlerde termal enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu denklemde;

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

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{FDM}} &= \dot{m}_{\text{FDMkati}} \cdot C_{p\text{FDMkati}} (T_{S2} - T_{S1}) + LH_{\text{FDM}} \\ \dot{m}_{\text{FDM}} &= \dot{m}_{\text{FDMsivi}} C_{p\text{FDMsivi}} (T_{L2} - T_{L1}) \end{aligned} \quad (2)$$



$$\dot{Q}_{\text{kolektör}} = \dot{m} C_p (T_{\text{kol}_{hg}} - T_{\text{kol}_{hc}}) \quad (3)$$

$$\eta_{\text{kol}} = \frac{\dot{Q}_{\text{kolektör}}}{A_{\text{kolektör}} I} \quad (4)$$

$$\dot{W}_{\text{sistem}} = \dot{W}_{\text{kimyasal madde fanı}} + \dot{W}_{\text{kolektör fanı}} \quad (5)$$

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.

$$Q_{\text{top.ver.ısı}} = \dot{m}_h C_{p_h} (T_{hg_{\lambda}} - T_{hc_{\lambda}}) \quad (6)$$

Bu aynı zamanda şarj esnasında oluşan ısı miktarıdır. Havanın

kimyasal madde deposuna verdiği ısı şarj esnasında kimyasal maddenin aldığı ısı kabul edilir.

$$Q_{\text{top.ver.ısı}} = Q_{\text{FDMşarj}} = Q_{\text{FDMdeşarj}} \quad \text{olur.} \quad (7)$$

Hava fanı çalıştırılmadığı ve kimyasal madde deposu serbest soğumaya bırakıldığı zamanlarda depo yüzeyinden kimyasal maddenin taşınım yoluyla verdiği ısı deşarj ısısına eşit olacaktır.

$$Q_{\text{kayıp}} = h_{\text{iç}} A_{\text{yüzey ort.}} (T_{\text{iç}} - T_{\text{ort}}) \quad (8)$$

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.

$$\frac{V_{\text{kimyasal}}}{V_{\text{ısıtma}}} = \frac{0.33565}{0.08835} = 3.8 \quad (8)$$

Bu nedenle bulunan deneysel bağıntılar kimyasal maddenin ısıtma yüzey alanına oranının 3 ila 4 kat değerleri için geçerlidir. Şekil 6'da kimyasal maddenin şarjı esnasında depoladığı toplam ısının zamana göre değişimi çizilmiştir.

Şekil 7'de deşarj halindeki kimyasal maddenin seraya verdiği ısının zamana göre değişimi verilmiştir.

Kimyasal madde için ampirik bağıntılar aşağıdaki gibi bulunmuştur. Bu bağıntılar, havalı güneş kolektörleri için şarj ve deşarj durumları ayrı ayrı türetilmiştir.

Güneş kolektörleri için şarj anında

$$Q = 0.0158t^2 + 0.3112t + 1.558 \quad R^2 = 0.9904 \quad (10)$$

bulunmuştur.

Bu değerler;

$$8_h > t > 1_h \quad (\text{Zaman aralığı için geçerlidir})$$

$$45^\circ\text{C} > T_g > 25^\circ\text{C} \quad (\text{Güneş kolektörleri hava girişi sıcaklığı})$$

$$\frac{A_{\text{delik}}}{A_{\text{depo}}} = 0.21; \quad \frac{V_{\text{kimyasal madde}}}{V_{\text{ısıtma yüzeyi}}} = \frac{0.33565}{0.08835} = 3.8$$

$m = 300$ kg kimyasal madde

$$\dot{m} = 0.036 \text{ kg/s} \quad \text{hava debisi için geçerlidir.}$$

Güneş kolektörleri için deşarj anında

$$Q = 0.0256t^2 + 0.4427t + 1.7925 \quad R^2 = 0.982 \quad (11)$$

bulunmuştur.

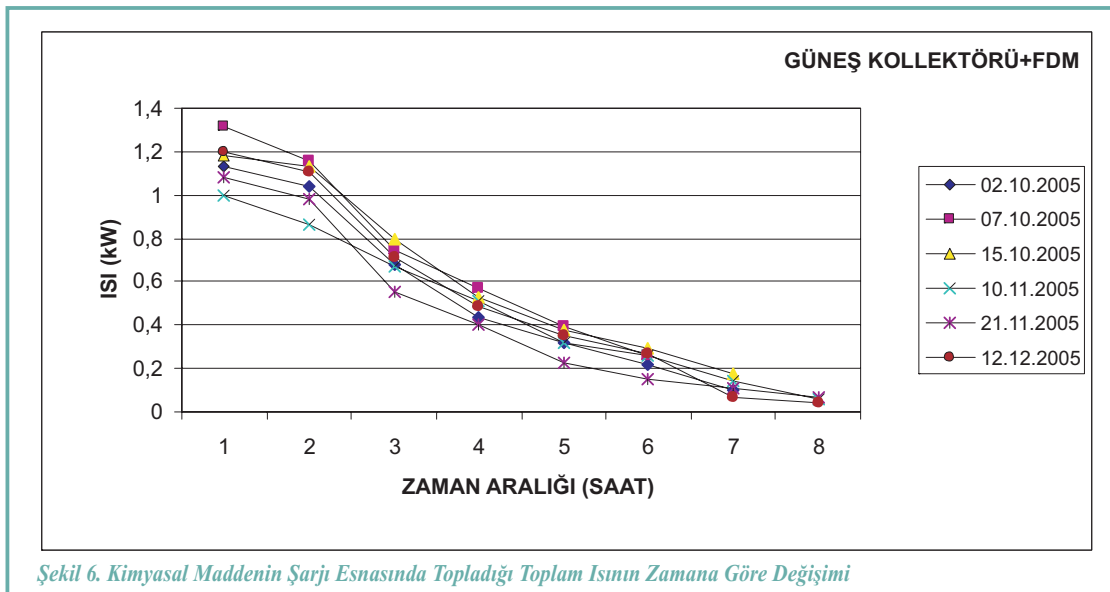
Bu değerler;

$$4_h > t > 1_h \quad (\text{Zaman aralığı için geçerlidir})$$

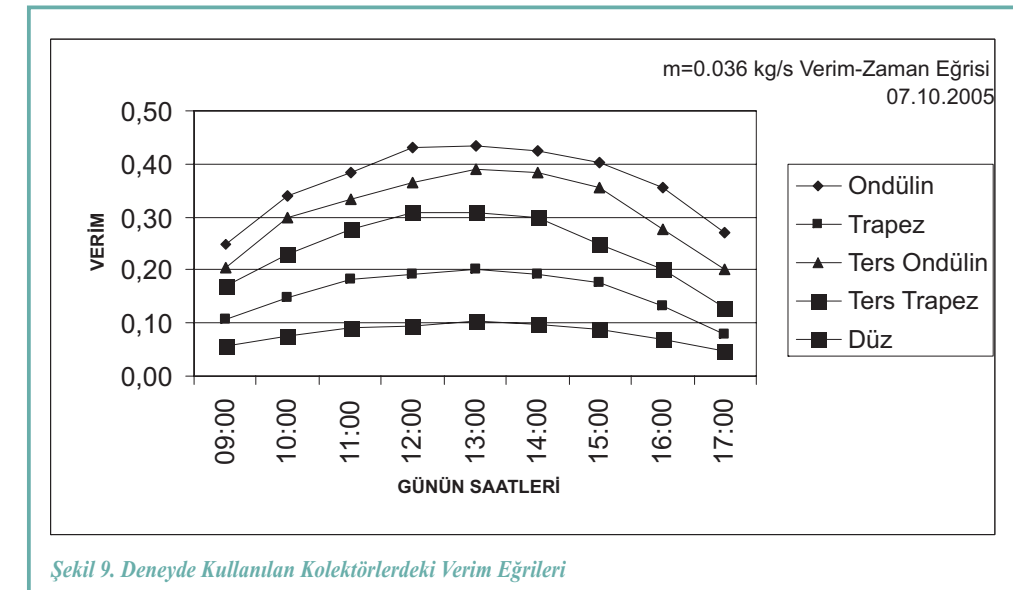
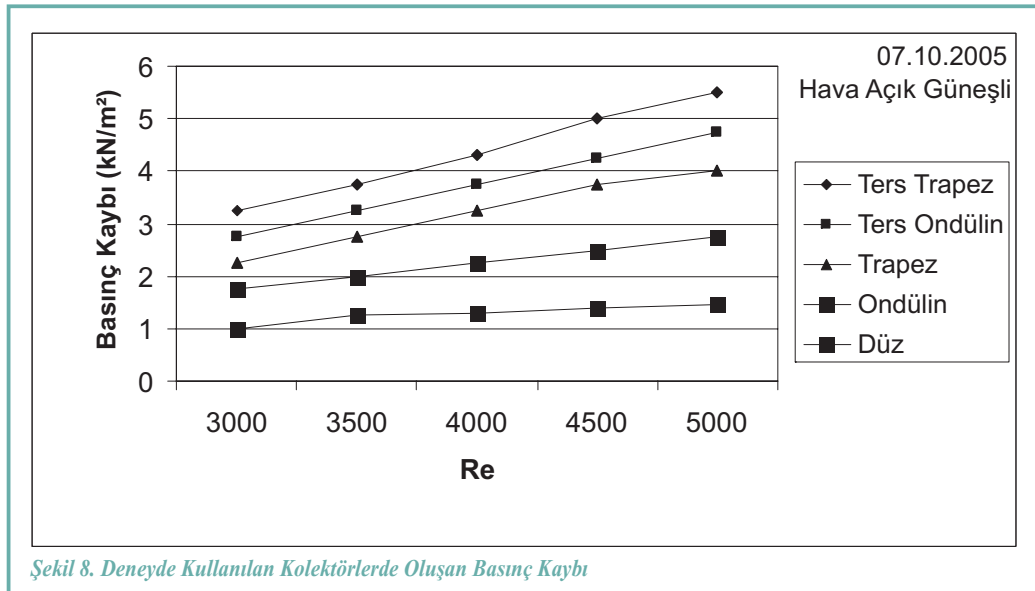
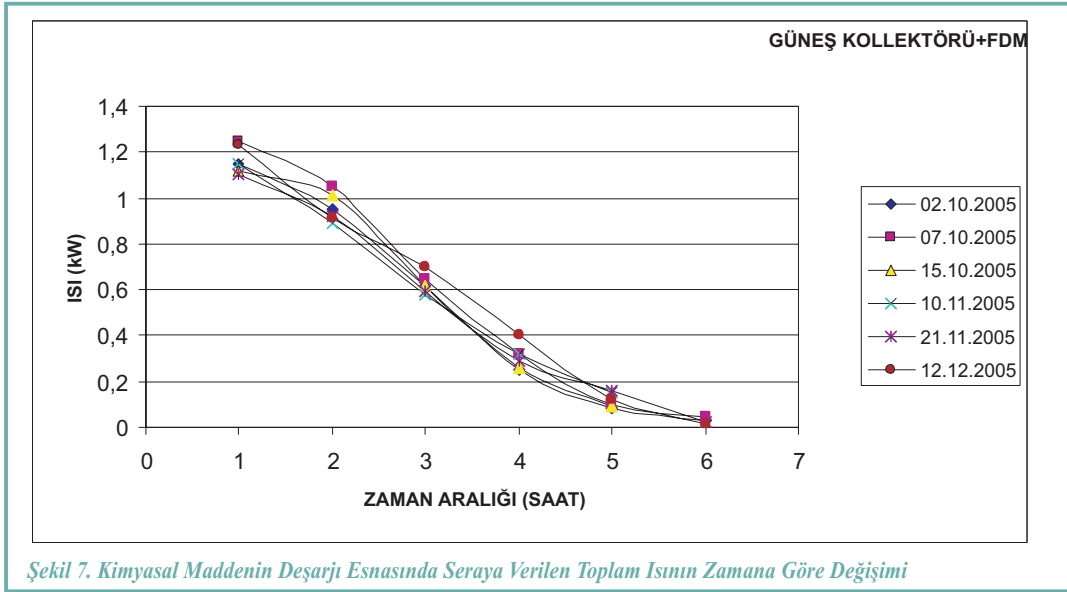
$$35^\circ\text{C} > T_g > 5^\circ\text{C} \quad (\text{deşarj hava çıkışı sıcaklığı})$$

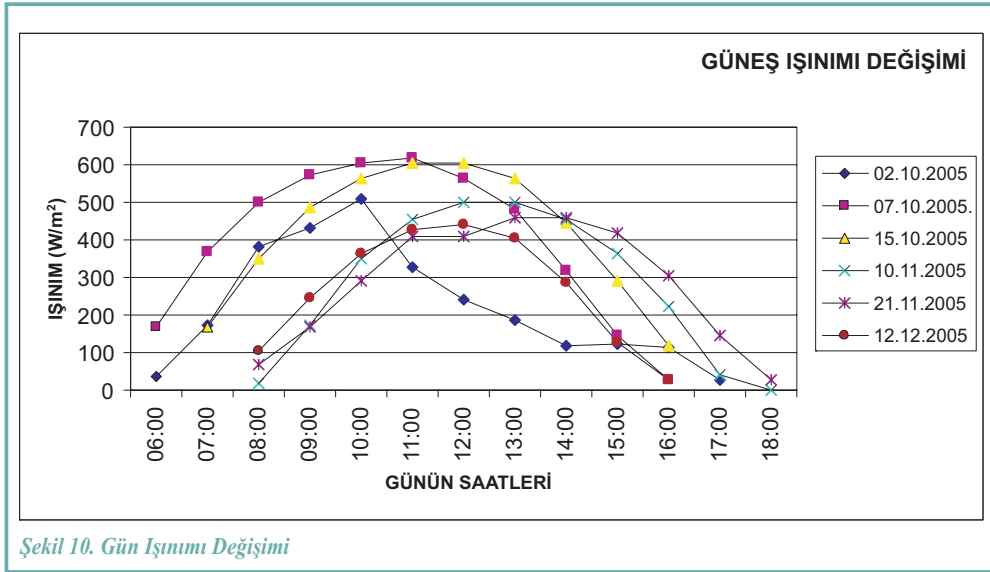
$m = 300$ kg kimyasal madde

$$\dot{m} = 0.036 \text{ kg/s} \quad \text{hava debisi için geçerlidir.}$$



Şekil 6. Kimyasal Maddenin Şarjı Esnasında Topladığı Toplam Isının Zamana Göre Değişimi





Şekil 10. Gün Işınımı Değişimi

SONUÇLAR

Havalı güneş kolektörleri ile yapılan deneysel çalışmada, kolektör verimleri, basınç kayıpları, kimyasal maddenin şarj ve deşarjı esnasında oluşan ısı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular ve grafikler neticesinde en yüksek basınç kaybının maksimum Reynolds sayısında ($Re=5000$), değişik günlerde ters trapez şeklinde geometriye sahip kolektörde 4.5-5.5 kPa elde edilmiştir. Çalışılan debide, verim-zaman eğrilerinde, 07.10.2005 tarihinde maksimum verim % 43 ile ondülin tip kolektörlerde bulunmuştur. Havalı güneş kolektörleri Eylül-Aralık ve Mart-Mayıs aylarında rahatlıkla kullanılabilir. Dış hava sıcaklığı 0°C 'den daha düşük değerlerinde iç ortam sıcaklığı, dış ortama göre daha yüksek olmaktadır. Örneğin; dış hava sıcaklığı 8°C olduğunda sera içerisinde 21°C elde edilebilmektedir. Gündüz saatlerinde kimyasal maddenin şarjı sağlanmakta, gece saatlerinde Kimyasal maddenin deşarjı sağlanarak iç ortamda $2-4^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışı elde edilmektedir. Havanın kapalı ve güneş olmadığı zamanlarda ise alternatif olarak kurulan yatay toprak kaynaklı ısı pompası devreye alınmaktadır. Bu bilgilerin ışığında;

- Kolektör sayısı artırılınca, içerdeki sıcaklık buna paralel olarak artmaktadır. Kolektör sayısı ısıtılacak sera hacmi için yeterli olacak şekilde tespit edilmelidir.
- Kolektör çeşidi olarak en yüksek verim ondülin tip olan kolektörde elde edilmiştir. En düşük verim ise düz plakalı kolektörde bulunmuştur.
- Kolektör hava giriş ve kanal giriş ebatları artırılınca basınç kaybı daha az olmaktadır.

- Yağmurlu, kapalı ve bulutlu günlerde kolektör kullanılmamaktadır. Bu durumlarda toprak kaynaklı ısı pompası devreye sokulabilir.
- Çok soğuk günlerde kolektörlerle ısıtma tek başına yeterli olmamaktadır. Alternatif enerji kullanımı gereklidir.
- Kimyasal madde deposu sera içerisinde olduğundan, kimyasal madde şarjı sırasında verilen ısı seraya homojen olarak dağıtılabilir.
- Plastik depo kullanıldığı için kimyasal maddenin kararlılığı ve değişimi rahatlıkla görülebilmektedir.
- Kimyasal maddenin sıcak günlerde şarjı kısa, deşarjı ise daha uzun zaman aralığında gerçekleşmektedir. Soğuk günlerde ise bunun tam tersi şarjı daha uzun, deşarjı ise daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

SEMBOLLER

- A_{sera} = Seranın taban alanı ($6\text{m} \times 5\text{m} = 30\text{m}^2$) (m^2)
- $A_{\text{ürün}}$ = Ürünün kapladığı alan (m^2)
- A_{depo} = Depo alanı $\left(\frac{D_{\text{depo}}^2}{4} \right) \left(\frac{0.6^2}{4} \right) \left(0.28\text{m}^2 \right)$ (m^2)
- $A_{\text{ısıtma}}$ = Isıtma boruları yüzey alanı $\left(n \frac{d_{\text{ısıtma}}^2}{4} \right) \left(30 \frac{0.05^2}{4} \right) \left(0.058\text{m}^2 \right)$ (m^2)
- A_{oran} = Alanlar oranı ($= A_{\text{ısıtma}} / A_{\text{depo}} = 0.21$) (-)
- a_{toprak} = Toprağın ısı emme katsayısı (-)
- $a_{\text{ürün}}$ = Ürünün ısı emme katsayısı (-)
- $C_{p_{\text{FDM Sıvı}}}, C_{p_{\text{FDM Katı}}}$ = Kimyasal Madde Özgül ısıları (J/kg K)
- D_{depo} = Kimyasal madde depo çapı (m)
- $d_{\text{ısıtma}}$ = Kimyasal madde ısıtma boru çapı (m)

| | | | |
|--|--------------|--|-----------|
| F_1 = Isıtılacak alan | (m^2) | $(\frac{d_{ısı\ borusu}^2}{4} H \frac{0.05^2}{4} 1.5 \ 0.08835 \ m^3)$ | (m^3) |
| f_t = Termal perdeleme ile enerji kazanım katsayısı | (-) | $V_{PCM} = \text{Kimyasal madde hacmi} (=V_{depo} - V_{ısıtma} = 0.33565 \ m^3)$ | (m^3) |
| H = Kimyasal madde depo boyu | (m) | $X = \text{Sera içi hava kuruluk katsayısı}$ | (-) |
| H_{hava} = Kuru hava entalpisi | (J/kg) | $\dot{m}_{hava} = \text{Hava debisi}$ | (kg/s) |
| H_{buhar} = Hava içerisindeki rutubet entalpisi | (J/kg) | $\eta_k = \text{Kolektör ısı verimi}$ | (-) |
| h_t = Sera örtüsünün toplam ısı transfer katsayısı | (W/m^2K) | $\tau = \text{Cam seranın geçirgenlik katsayısı}$ | (-) |
| h_v = Sera havalandırmasında toplam ısı transfer katsayısı | (W/m^2K) | | |
| $h_{iç}$ = Sera İçi Isı taşınım Katsayısı | (W/m^2K) | | |
| $Q_{güneş}$ = Işınlam ile ısı kazanım | (Watt) | | |
| $Q_{kolektör}$ = Kolektör ile elde edilen ısı kazanım | (Watt) | | |
| $Q_{ö}, Q_{örtü}$ = Seranın tüm çevresinden olan ısı kayıp ($=A_{sera} \cdot h_t \cdot (T_{iç} - T_{çevre})$) | (Watt) | | |
| $Q_{h}, Q_{havalandırma}$ = Sera havalandırması ile oluşan kayıp ($=A_{sera} \cdot h_v \cdot (T_{iç} - T_{çevre})$) | (Watt) | | |
| Q_{toprak} = Toprak tarafından emilen ısı ($=a_{toprak} \cdot R_{sera} \cdot Q_{güneş}$) | (Watt) | | |
| $Q_{ürün}$ = Sera içi ürün tarafından emilen ısı ($=a_{ürün} \cdot R_{ürün} \cdot Q_{güneş}$) | (Watt) | | |
| Q_{buhar} = Sera içi buharlaşma gizli ısı $= (H_{hava} + X \cdot H_{buhar}) \dot{m}_{hava}$ | (Watt) | | |
| Q_{FDM} = Kimyasal madde şarjında kimyasal madde tarafından emilen ısı | (Watt) | | |
| q_1 = Isıtılacak ortamın özgül ısı ihtiyacı | (W/m^2) | | |
| q_s = Toprağın özgül ısı verme miktarı | (W/m^2) | | |
| R_{sera} = Sera alanının, ürünsüz alana oranı ($=A_{sera} - A_{ürün} / A_{sera}$) | (-) | | |
| $R_{ürün}$ = Sera alanının ürünün kapladığı alan oranı ($=A_{ürün} / A_{sera}$) | (-) | | |
| $T_{iç}$ = Sera iç Sıcaklığı | (K) | | |
| $T_{çevre}$ = Çevre sıcaklığı | (K) | | |
| $T_{hg}, T_{hç}$ = Kimyasal madde deposuna giren ve çıkan Hava Sıcaklığı | (K) | | |
| $T_{yüzey\ ort.}$ = Ortalama kimyasal madde deposu dış yüzey sıcaklığı | (K) | | |
| T_{S1}, T_{S2} = Katı fazdaki kimyasal maddenin ilk ve son durumdaki sıcaklıkları | (K) | | |
| T_{L1}, T_{L2} = Sıvı fazdaki kimyasal maddenin ilk ve son durumdaki sıcaklıkları | (K) | | |
| $T_{(kol)hg}, T_{(kol)hç}$ = Kolektöre giren ve çıkan hava sıcaklıkları | (K) | | |
| \dot{W}_{sistem} = Sisteme verilen toplam iş | (W) | | |
| V_{depo} = Depo hacmi ($\frac{D_{depo}^2}{4} H \frac{0.6^2}{4} 1.5 \ 0.425 \ m^3$) | (m^3) | | |
| $V_{ısıtma}$ = Isıtma boruları hacmi | | | |

KAYNAKÇA

1. Karlı, K., (2006). Performance Analysis of New-Design Solar Air Collectors for Drying Applications. Renewable Energy, Article in Press.
2. Yeh, H., and Tin, C., (1996). Efficiency of Solar Air Heaters With Baffles. Energy Vol:16, (7), 983-987.
3. Yeh, H., and Lin T., (1996). The Effect of Collector Aspect Ratio on the Collector Efficiency of Upward-Type Flat Plate Solar Air Heaters. Energy, Vol:21, (10), 843-850.
4. Ertekin, C., ve Bilgili, E., (1998). Güneş Enerjili Hava Isıtıcılarında Isıl Verim, 5. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, Adana, 237-248.
5. Kurtbaş, İ., and Durmuş, A., (2004). Efficiency and Exergy Analysis of a New Solar Air Heater. Renewable Energy, (29), 1489-1501.
6. Metwally, M.N., Abou-Ziyan, H.Z., and El-Leathy, M., (1997). Performance of Advanced Corrugated-Duct Solar Air Collector Compared With Five Conventional Designs. Renewable Energy, Vol:10. No.4, pp.519-537.
7. Zhai, X.Q., Dai, Y.J., and Wang, R.Z., (2005). Experimental Investigation on Air Heating and Natural Ventilation of a Solar Air Collector. Energy and Buildings, (37), 373-381.
8. Ben Slama, R., (2006). The Air Collectors: Comparative Study, Introduction of Baffles to Favor the Heat Transfer. Solar Energy Article in Pres.
9. Ahmad, N.T., (2001). Agricultural Solar Air Collector Made From Low-Cost Plastic Packing Film. Renewable Energy, (23), 663-671.
10. Karim, Md.A., Hawlader, M.N.A., (2006). Performance Investigation of Flat Plate, V-corrugated and Finned Air Collectors. Energy, (31), 452-470.
11. Moumni, N., Youcef-Ali, S., Moumni, A., and Desmons, J.Y., (2004). Renewable Energy, (29), 2053-2064.
12. Çomaklı, Ö., Yüksel, F., (1999). Experimental Investigations of the Exergetic Efficiency of Air Heating Flat Plate Solar Collector With Distorted Plates. Energy Conversion Manage., Vol 35, (2), 11-6.
13. Benli, H., (2006). Isı Depolamalı Cam Seralarda Sıcaklık Değişiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
14. Rabin, Y., Bar-Niv, I., Korin, E., Mikic, B., (1995) Integrated Solar Collector Storage System Based on a Salt Hydrate Phase-Change Material, Solar Energy., 55, 425-444.
15. II. Tarım Şurası, III. Komisyon Bitki Yetiştiriciliği Bitki Koruma ve Çevre Sağlığı, Ankara, 29 Kasım-01 Aralık, 2004.

TEŞEKKÜR

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