



Güneş Enerjisinin Isıtma Amaçlı Mevsimlik Depolanması ve Isı Pompası Destekli Kullanımı

Ahmet ÖZSOY*¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 32200, Isparta

(Alınış Tarihi: 09.03.2015, Kabul Tarihi: 02.05.2015)

Anahtar Kelimeler

Güneş enerjisi
Mevsimlik depolama
Enerji depolama
Isı pompası

Özet: Bu çalışmada, müstakil tek katlı bir konutun Isparta şartlarında ısınma ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç 12 adet düzlemsel güneş kollektörü ile güneşten alınan enerji 60 m³ kapasiteli bir depoda, propilen glikol - su üzerinde duyulur ısı olarak depolanmıştır. Isıtma ihtiyacı olduğunda depolanan su sıcaklığının 50 °C'nin üzerinde olduğu zamanlarda konutun ısıtılmasında doğrudan kullanılmıştır. Depodaki su sıcaklığının bu değerin altına düştüğü zamanlarda ısı pompası ile bu sıcaklığa getirilerek kullanıldığı kabul edilmiştir. Yapılan sayısal çalışmada ısıtma ihtiyacı TS 825 standardına göre aylık olarak hesaplanarak, aylık ortalama değerlerden günlük değerler tahmin edilmiştir. En fazla ısıtma ihtiyacının 19 Ocak günü 346.12 MJ olduğu görülmüştür. Depodaki su sıcaklığı 16.5-96.1 °C arasında değişmekte olup, en düşük depo sıcaklığına 6 Mart, en yüksek depo sıcaklığına ise 20 Ağustos'da ulaşılmıştır. Haziran - Ağustos ayları arasında ısıtma ihtiyacının olmadığı, Eylül - Aralık ayları arasında ısıtma ihtiyacının doğrudan depodan sağlandığı, Ocak - Mayıs ayları arasında ısı pompasının devreye girerek ısıtma sağlandığı belirlenmiştir. Isı pompasının çalıştığı durumlarda, COP 3.78 ile 5.54 arasında değişmektedir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, depolanan enerjinin konut ısıtmasında çoğunlukla doğrudan, kısmen de ısı pompası desteği ile kullanılabilceği ortaya konulmuştur.

Seasonal Heat Storage of Solar Energy for Heating and The Use of Heat Pump Assisted

Keywords

Solar energy
Seasonal storage
Energy storage
Heat pump

Abstract: In this study, the aim was to provide the heating need of a detached house from the solar energy in Isparta. For this purpose, solar energy is stored as sensible heat on the water-glycol with 12 flat plate solar collectors. When the temperature of stored water is over 50 °C, it is directly used for heating the house. When the water temperature in the tank falls below this value it is considered that the temperature increased by a heat pump. Heating needs in the numerical study is calculated monthly based on the standard TS 825. Daily values were estimated from monthly mean values. Heating energy requirement was calculated as 346.12MJ at 19 January. It was the highest value of the year. Water temperature in the tank ranged from 16.5 to 96.1 °C, minimum storage temperature occurred at 6 March while the highest was 20 August. It was seen that June to August there is no need for heating, September to December the heating need provided directly from the storage tank, January to May the heating need is provided with heat pump. It is calculated that COP of the heat pump was vary between 3.78 and 5.54. It was shown with calculations that stored energy is mostly used for heating directly, partly used with the heat pump.

1. Giriş

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle güneş kuşağı olarak tanımlanan 45° kuzey ve güney enlemleri

arasında bulunduğundan güneş enerjisi açısından zengin ülkelerdendir. Yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama yatay düzleme gelen toplam ışınım da 1311 kWh/m²yıl'dır

* İlgili yazar: ahmetozsoy@sdu.edu.tr

(ETKB, 2015). Ülkemizdeki konutların %20'sinde güneşli sıcak su hazırlama sistemi bulunmaktadır. Türkiye güneş kolektörü üretiminde dünyada ikinci kullanımında ise üçüncü durumdadır (Altuntop ve Erdemir, 2013). Ancak Türkiye'de güneş enerjisi sadece sıcak su üretimi için kullanılmakta, konutların ısıtılması veya soğutulması yada elektrik üretimi henüz yaygınlaşmamıştır.

Güneş enerjisinin diğer alanlarda kullanımının yaygınlaşmamasının en büyük nedeni kesikli olması, enerji yoğunluğunun çok az olması, en fazla ihtiyaç duyulduğu zamanlarda ya hiç yada az olmasıdır. Güneş enerjisi kullanımında bu olumsuzlukların kısmen de olsa giderilebilmesi için depolanması gerekmektedir. Güneş enerjisinin yeraltındaki büyük depolarda duyulur ısı olarak (Chung vd., 1998; Melib ve Spate 2000; Yumrutaş ve Ünsal 2000; Schmidt vd., 2004; Uçar ve İnallı, 2007), faz değiştiren malzemelerin üzerinde (Kaygusuz ve Ayhan, 1999), çakıl taşlarında (Kürklü vd., 2003; Öztürk, 2004) veya toprakta (Gauthier vd., 1997) depolanması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Duyulur ısı depolamada çevrimin sınırsız sayıda gerçekleşmesi bir avantaj, gereksinim duyulan depo hacminin büyük olması ise dezavantajdır. Faz değiştiren malzemelerin ısı depolanmasında ihtiyaç duyulan depolama hacmi duyulur ısı depolamaya göre daha az, ancak bu malzemelerin kullanım ömürleri ise sınırlıdır.

Bu çalışmada ise güneş enerjisinin bir konutun ısıtma enerjisini karşılamak amacıyla mevsimlik olarak bir depoda duyulur ısı olarak depolanması ve ısıtma ihtiyacı olduğunda doğrudan yada ısı pompası yardımıyla kullanılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Konutun ısı ihtiyacı TS 825 "Binalarda ısı yalıtım kuralları" standardına göre yapılmıştır. Bu standartta bina tek bölüm olarak kabul edilip yıllık ısı enerjisi ihtiyacı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (TS825, 2008).

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} \quad (1)$$

Burada, $Q_{yıl}$ yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını göstermek üzere aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplamına karşılık gelmektedir. Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$Q_{ay} = [H (T_{i,ay} - T_{d,ay}) - \eta_{ay} (\varphi_{i,ay} + \varphi_{g,ay})] t \quad (2)$$

Burada, H binanın özgül ısı kaybını, $T_{i,ay}$ aylık iç sıcaklık değeri ve $T_{d,ay}$ aylık ortalama dış sıcaklık değerini göstermektedir. İç sıcaklık değeri ısıtma durumu için 19 °C olarak alınmalıdır. Dış sıcaklık değerleri ise binanın bulunduğu bölgeye göre standartta verilmektedir. η_{ay} kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörünü, $\varphi_{i,ay}$ Aylık ortalama iç kazançları, $\varphi_{g,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi

kazancını, t zamanı (saniye) bir aylık süreyi ifade etmektedir.

Bina için özgül ısı kaybı;

$$H = H_i + H_h \quad (3)$$

eşitliğinden bulunur. Burada, H_i iletimle olan, H_h ise havalandırma ile olan ısı kayıplarını ifade etmektedir. İletimle olan ısı kaybı, Eşitlik 4'ten bulunur.

$$H_i = \Sigma AU + IU_1 \quad (4)$$

Buradaki, IU_1 terimi binadaki ısı köprülerinden olan ısı kaybına karşılık gelir. Bina dıştan giydirmeye olarak yalıtılırsa ısı köprüleri ihmal edilir. ΣAU terimi ise Eşitlik 5'ten bulunur.

$$\Sigma AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad (5)$$

Eşitlikteki, terimlerin her birisi sırasıyla dış duvarlardan, pencerelerden, dış kapıdan, tavandan, döşemeden, dış ortam havası ile temas halindeki yerlerden ve düşük sıcaklıklardaki ortamlardan olan ısı kayıplarını ifade etmektedir.

Havalandırma ile olan ısı kaybı ise Eşitlik 6'dan hesaplanmıştır.

$$H_h = \rho C V_1 \quad (6)$$

Burada ρ ve C sırasıyla havanın yoğunluğu ve özgül ısısını, V_1 ise hacimsel hava değişimini ifade etmektedir. Havalandırmanın doğal veya zorlanmış olması durumlarında hacimsel hava değişimi için farklı katsayılar kullanılır.

Aylık ortalama iç kazançlar bina içinde bulunan insanlar ve ısı üreten cihazlardan ortama kazanılan ısı enerjisini ifade etmekte olup konutlar için 5 W/m² olarak alınabilir. Güneş enerjisi kazançları ise binanın güneş ışığını geçiren pencere büyüklükleri, cam geçirgenlikleri ve yönlerine göre ay ay ilgili standarda verilen değerlere göre hesaplanır. Kazanç kullanım faktörü (η) ısı kazançlarının ısıtma ihtiyacının olmadığı zamanları da dikkate almak amacıyla her ay için Eşitlik 7'den hesaplanır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (7)$$

$$KKO_{ay} = (\varphi_{i,ay} + \varphi_{g,ay}) / H(T_{i,ay} - T_{d,ay}) \quad (8)$$

Isı kayıplarının bulunmasında her ay için kayıp kazanç oranı (KKO) ayrı ayrı hesaplanmakta (Eşitlik 8), KKO değerinin 2.5 ve üzerinde olması durumunda binanın ısıtılmasına ihtiyaç olmadığı kabul edilmektedir. Eğer dış ortam sıcaklığı konutlar için istenilen iç ortam sıcaklığı olarak kabul edilen 19 °C'den yüksek ise yine ısıtma ihtiyacı yok kabul edilir.

Diğer tüm durumlar için ısı kayıpları hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

Binanın TS 825 standardına uyabilmesi için, bir yıl için bulunan toplam ısı kayıpları birim alan veya hacim başına düşen miktarının standartta verilen sınır değerini geçmemesi gerekir.

Bu çalışma kapsamında 3. bölgede bulunan Isparta (37°45'K, 30°33'D) için bir konutun ısı ihtiyacı TS 825 standardına göre hesaplanmıştır. Konutların ısıtma projelerinin hazırlanmasında bu standardın kullanılması uygun değildir. Bu amaçla TS 2164 standardı kullanılır. Ancak bir yıllık ısıtma enerjisinin tahmin edilmesinde TS 825 standardı kullanılabilir. Çalışma kapsamında Isparta'da bulunan ayırık nizam, tek katlı 156 m² bürüt alana sahip bir bina üzerinde çalışıldı. Bu konutun toplam 18.27 m² penceresi, 2.2 m² dış kapısı, toplam 130 m² dış duvarları, 156 m² çatı ve döşeme alanı vardır. Duvarlar iç ve dış sıva, yatay delikli tuğla ve 10 cm XPX yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Tavan ve döşemede de

aynı kalınlıkta yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Yapılan bu kabullere göre konutun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır.

Konutun ısıtma enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere 12 adet 90*190 cm ölçülerinde 1.66 m² seçici yüzeyli, bakır düzlemsel güneş kollektörü kullanılmıştır. Kollektörlerden elde edilen ısı enerjisi bina bodrumunda 60 m³ kapasiteli (20 m³ kapasiteli 3 adet) depoda duyulur ısı olarak depolanmaktadır. Isıtma ihtiyacı olduğunda, depodaki su sıcaklığı 50 °C ve üzerinde ise doğrudan, 50 °C'nin altında ise depo bir ısı kaynağı olarak kullanılıp ısı pompası yardımıyla sıcaklığı artırılıp ısıtma sağlanmıştır.

Yeryüzüne gelen güneş radyasyonunun eğik düzlem üzerine gelen kısmı aylık bazında değerleri Isparta için kollektör eğim açısının enlem ile aynı olduğu durum için TS 3817 standardından alınmış olup Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 2'de ise Isparta için güneşlenme süreleri verilmiştir.

Tablo 1. Isparta aylık ortalama yatay, enlem derecesi ile aynı ve Enlem-15 derece eğimli yüzeye gelen güneş radyasyonu ve dış ortam sıcaklığının değişimi (TS 3817, 1994)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Yatay düzleme gelen güneş radyasyonu (kJ/m ² gün)	6405	9000	12058	14567	18377	19590	19925	18418	14902	10591	7691	5567
Enlem ile aynı eğik düzleme gelen güneş radyasyonu (kJ/m ² gün)	10134	12198	13831	14408	16835	17071	17627	17594	16271	13705	11754	9197
Enlem-15 derece eğimli yüzeye gelen güneş radyasyonu (kJ/m ² gün)	8992	11348	13609	14961	17862	18594	19101	18536	16317	12951	10515	8062
Dış ortam sıcaklığı (°C)	1.8	2.8	5.6	10.7	15.4	19.7	23.1	23.2	18.5	13.2	8.2	4.0

Tablo 2. Isparta aylık ortalama güneşlenme süresi (EİEİ, 2001)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Güneşlenme süresi (saat)	4.2	5.5	6.5	7.4	8.4	11.1	11.4	11.5	10.0	7.4	5.4	4.1

Aylık ortalama güneş radyasyonu değerlerinden günlük değerler bulunmuştur. Yılın herhangi bir gününde Isparta için enlem derecesi ile aynı eğime sahip birim alana gelen toplam güneş radyasyonu Eşitlik 9'dan hesaplanmıştır.

$$G = -3E-11d^6 + 7E-08d^5 - 5E-05d^4 + 0.013d^3 - 1.6238d^2 + 138.68d + 7447.1 \quad (9)$$

Burada, G (kJ/m²gün) toplam güneş radyasyonunu, d ise gün sayısını 1 Ocak günü 1'den başlamak ve 31 Aralık günü için 365 olmak üzere yılın kaçınıcı günü olduğunu ifade etmektedir.

Güneş kollektörüne gelen radyasyonu suya aktararak mevsimlik ısı deposuna gönderilmek suretiyle duyulur ısı olarak propilen glikol-su üzerinde depolanmıştır. Sistemde kullanılan güneş kollektörü seçici yüzeyli, net kollektör alanı 1.66 m² olup kollektör verimi Eşitlik 10'da verildiği gibi değişmektedir.

$$\eta_{kol} = -52.3 X^2 + 0.044 X + 0.80 \quad (10)$$

$$X = (T_{kol} - T_{\text{cev}})/I \quad (11)$$

Burada η_{kol} kollektör verimini, T_{kol} ortalama kollektör sıcaklığını, T_{cev} çevre sıcaklığını ve I ise ışınım şiddetini (W/m²) göstermektedir. Kollektörler

güneşin olduğu zamanlarda ısı enerjisi alacağında çevre sıcaklığı olarak gündüz sıcaklığı kullanılmalıdır. Bu sıcaklık bilinmediğinden, bir yaklaşım olarak, meteorolojik verilerden saat 7, 14 ve 21'deki sıcaklıklar (T_{07} , T_{14} ve T_{21}) kullanılarak gündüz ortalama sıcaklığı (T_{cev}) Eşitlik 12'den hesaplanmıştır.

$$T_{\text{cev}} = [(4T_{07}) + (7T_{14}) + (3T_{21})] / 14 \quad (12)$$

Isparta için aylık ışıınım şiddeti, günlük güneş radyasyonunun, güneşlenme süresine oranından hesaplanmış, aylık ışıınım şiddeti ortalamalarından günlük değerlere geçilmiştir. Isparta için ışıınım şiddetinin yıl boyunca günlük ortalama değeri Eşitlik 13 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I = -2E-13d^6 + 3E-10d^5 - 1E-07d^4 + 2E-05d^3 + 0.0004d^2 - 0.0387d + 3.6709 \quad (13)$$

Güneşten alınan enerjinin ($Q_{\text{gün}}$) depo sıcaklığında sağladığı artış Eşitlik 14'den bulunmuştur.

$$\Delta T = Q_{\text{gün}} / (mC) \quad (14)$$

Burada, ΔT depodaki sıcaklık artışı, m depodaki akışkan miktarı ve C akışkanın özgül ısı kapasitesidir. Depoda akışkan olarak % 30 oranında propilen glikol ihtiva eden antifirizli su karışımı kullanılmıştır. Sistemin ilk olarak mayıs ayında çalışmaya başladığı, başlangıçta depo sıcaklığı bu tarihteki toprak

sıcaklığına ($16 \text{ }^\circ\text{C}$) eşit olduğu kabul edilmiştir. Depodan dış ortama olan ısı kayıpları deponun bodrumda olduğu, ortam sıcaklığının dış ortam ile aynı sıcaklıkta olduğu, depo üzerinin 5 cm kalınlığında cam yünü ile yalıtıldığı kabul edilmiştir.

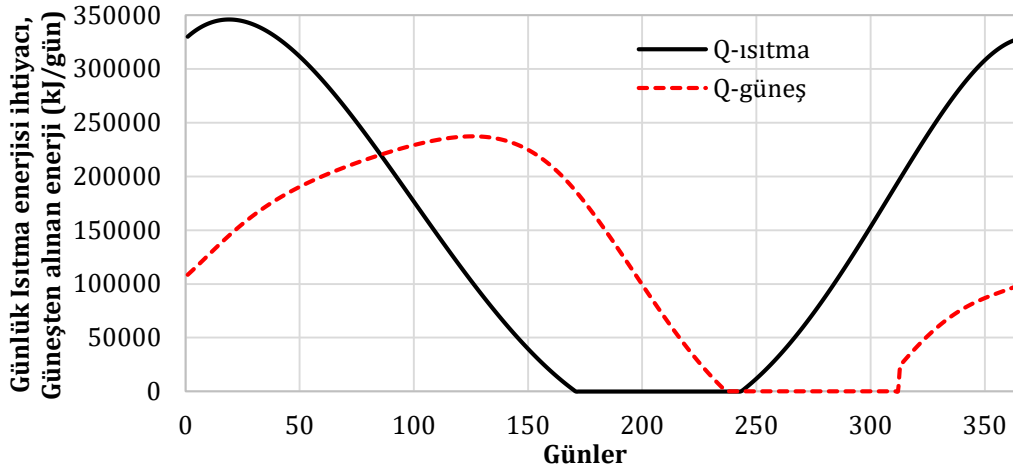
Konutun ısı ihtiyacını sağlayacak 8.4 kW gücünde, $55 \text{ }^\circ\text{C}$ çıkış sıcaklığı verebilen bir ısı pompası seçilmiştir (Viessmann, 2015). Isı pompasının sıcaklıkla COP değişimi Eşitlik 15'de verildiği gibi değişmektedir. Burada T_k kaynak (depo) sıcaklığını ifade etmektedir.

$$\text{COP} = 0.0531T_k + 2.9027 \quad (15)$$

3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların analizinde, güneşten alınan enerji, ısıtma enerjisi ihtiyacı, kolektör verimi, depolama verimi ve ısı pompası ısıtma tesir katsayısı gibi parametrelerin yıl boyunca değişimi değerlendirilmiştir.

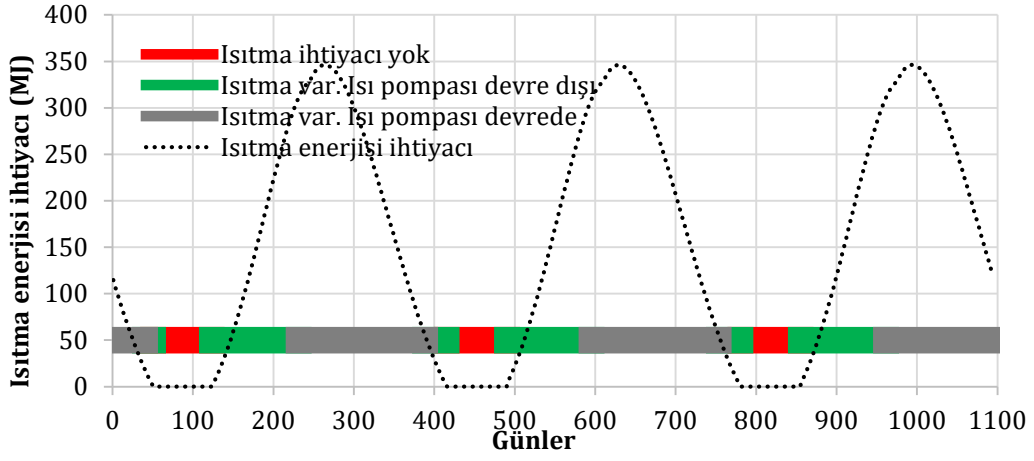
Güneşten alınan enerji ile ısıtma enerjisi ihtiyacının yıl boyunca değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi ısıtma ihtiyacı ile güneşten alınan enerji ters orantılıdır. Güneş enerjisinin fazla olduğu zamanlarda ısıtma ihtiyacı ya yok, yada daha azdır. Güneş enerjisinin az olduğu zamanlarda ısıtma ihtiyacı daha fazladır.



Şekil 1. Günlük ısıtma enerjisi ihtiyacı ile güneşten alınan enerjinin yıl boyunca değişimi

Şekil 2'de sistemin ilk çalışmaya başladığı kabul edilen 1 Mayıs'tan itibaren hem ısıtma için enerji sağlanmış, hem de enerji depolaması yapılmıştır. Enerji ihtiyacının en fazla olduğu gün 19 Ocak olup, bu gün için toplam 346.1 MJ ısıtma enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Isıtmanın gerekmediği durumlarda güneşten alınan enerjinin tamamı depolamaya aktarılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi sistem ikinci yıldan itibaren yaklaşık rejime girmektedir. İkinci yılda 12 Haziran ile 2 Eylül arasında ısıtma ihtiyacı yoktur. 3 Eylül ile 16 Aralık arasında konutun ısıtma ihtiyacı depo sıcaklığı $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde olduğu için

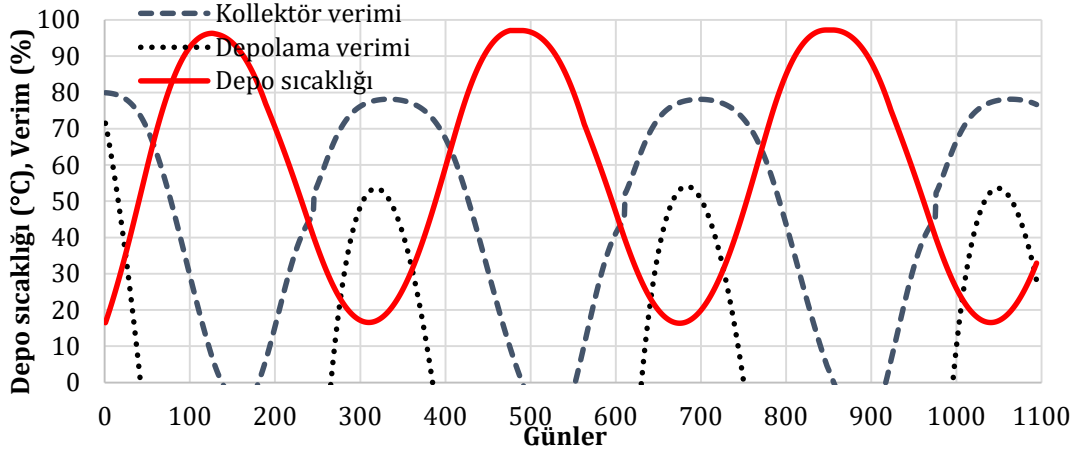
doğrudan depodan sağlanmaktadır. 17 Aralık ile 23 Mayıs arasında ısıtma ihtiyacı ısı pompası destekli olarak sağlanmaktadır. Yine 24 Mayıs ile 19 Haziran arasında az miktarda olan ısı ihtiyacı depodan sağlanmaktadır. İkinci yılda 1 Mayıs'tan itibaren bir yıl içinde 75 gün ısıtma ihtiyacına gerek duyulmamakta, 138 gün ısı pompası depoyu ısı kaynağı olarak kullanıp su sıcaklığını $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkarmakta, yılın 152 günü depo sıcaklığı $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde olduğundan ısı pompası devreye girmeden doğrudan ısıtma yapılmaktadır.



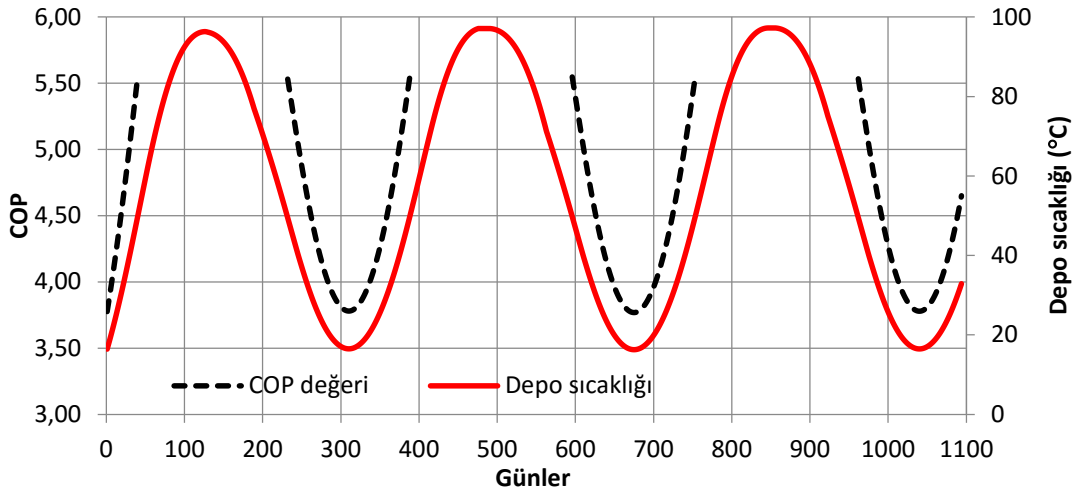
Şekil 2. Üç yıllık çalışma boyunca depodan çekilen enerjinin günlük değişimi

Şekil 3'te sistemde kullanılan güneş kolektörlerinin günlük ortalama verimleri ile depolama veriminin değişimi görülmektedir. Depo sıcaklığı arttıkça kolektör verimi ısıl kayıpların artması nedeniyle azalmaktadır. Güneş kolektörlerinin ortalama verimi % 41.7 ve depolama verimi de % 11.8 olarak hesaplanmıştır. Depodan dış ortama olan ısıl kayıplar yalıtımın artırılması ile kısmen azaltılabilir. Depo

sıcaklığı maksimum 96.1 °C'ye minimum da 16.5 °C ulaşmaktadır. Depo kapasitesi ve kolektör sayısı seçilirken, suyun kaynama sıcaklığına ulaşmaması, depodaki suyun donmaması gerekir. Şekil 3'teki grafikten görüldüğü gibi sistem ikinci yılında kararlı hale gelmiştir.



Şekil 3. Depo sıcaklığı ile kolektör veriminin üç yıllık çalışma boyunca değişimi



Şekil 4. Isı pompasının devrede olduğu zamanlarda COP'nin değişimi

Şekil 4'te ısı pompasının çalıştığı zamanlarda, depo sıcaklığına bağlı olarak değişen COP değerlerinin üç yıllık süreçteki değişimi görülmektedir. Minimum COP değeri depo sıcaklığının en az olduğu (16.5 °C) 6 Mart günü, maksimum COP ise 18 Aralık ve 23 Mayıs günleri görülmektedir. Bu günler ısı pompasının devreye gireceği, depo sıcaklığının 50 °C'nin altında olduğu en yüksek sıcaklıktadır. Isı pompasının devrede olduğu zamanlar için COP değeri en fazla 5.54 ve en az 3.78 olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Isparta şartlarında müstakil tek katlı bir konutun ısıtılması amacıyla 12 adet güneş kolektörü ile sağlanacak enerjinin toplam 60 m³ kapasiteli bir depoda mevsimlik depolanması teorik olarak çalışılmıştır. Depodaki sıcaklık 16.5 ile 96.1 °C arasında değişmektedir. 8.4 kW'lık ısı pompası kullanıldığı durumda COP değerinin 3.78-5.54 arasında hesaplanmıştır. Konutun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının % 84'lük kısmının güneş enerjisinden sağlanabileceği belirlenmiştir. Güneş kolektörlerinin ortalama verimi % 41.7 ve depolama verimi ise % 11.8 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak güneş enerjisinin mevsimlik olarak depolanıp, konut ısıtmasında çoğunlukla doğrudan, kısmen de ısı pompası desteği ile kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Isı pompasının bu enerjiyi sağlaması için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının % 16'lık bir kısmına karşılık elektrik sarfıyatı olacağı belirlenmiştir.

Kaynaklar

Altıntop, N., Erdemir, D., 2013. Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile ilgili Gelişmeler. Mühendis ve Makine, 54, 639, 69-77.

Chung, M., Park J., Yoon, H.K., 1998. Simulation of a central solar heating system with seasonal storage in Korea. Solar Energy. 64, 4-6, 163-178.

EİEİ, 2001. Türkiye güneş ışıması ve güneşlenme süresi değerleri. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.

ETKB, 2015. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi Potansiyeli. <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html> (Erişim Tarihi: 4.03.2015)

Gauthier, C., Lacroix, M., Bernier, H., 1997. Numerical simulation of soil heat exchanger-storage systems for greenhouses. Solar Energy, 60, 333-346.

Kaygusuz, K., Ayhan, T., 1999. Experimental and theoretical investigation of combined solar heat pump system for residential heating. Energy Conversion & Management 40, 1377-1396.

Kürklü, A., Bilgin, S., Özkan, B., 2003. A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse. Renewable Energy, 28, 683-697.

Melib, M., Spate, F., 2000. The solar heating system with seasonal storage at the solar-campus Julich. Solar Energy. 69, 6, 525-533.

Öztürk, H. H., 2004. Comparison of energy and exergy efficiencies of an underground solar thermal storage system. Int. J. Energy Res. 2004; 28:341-353.

Schmidt, T., Mangold, D., Muller-Steinhagen, H., 2004. Central solar heating plants with seasonal storage in Germany. Solar Energy, 76, 165-174.

TS 825, 2008. Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı.

TS 3817, 1994. Güneş enerjisi-Su ısıtma sistemlerinin yapım tesis ve işletme kuralları.

Uçar, A., İnallı, M., 2007. A thermo-economical optimization of a domestic solar heating plant with seasonal storage. Applied Thermal Engineering, 27, 450-456.

Viessmann, 2015. Vitocal 300/350, Teknik Bilgi Föyü. <http://www.viessmann.com.tr/content/dam/interne-t-tr/datenblatt/vitocal300-350.pdf> (Erişim Tarihi: 4.03.2015).

Yumrutaş, R., Ünsal, M., 2000. Analysis of solar aided heat pump systems with seasonal thermal energy storage in surface tanks. Energy, 25, 1231-1243.