



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

GÜNEŞ ENERJİSİ VE ISI POMPASI DESTEKLİ BİR SU ISITMA SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU

**GAMZE KANDIRMIŞ
SALİH COŞKUN
NURETTİN YAMANKARADENİZ
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

GÜNEŞ ENERJİSİ VE ISI POMPASI DESTEKLİ BİR SU ISITMA SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU

Simulation of a Water Heating System Supplying Hot Water with Solar Energy and Heat Pump System

Gamze KANDIRMIŞ
Salih COŞKUN
Nurettin YAMANKARADENİZ

ÖZET

Uygulamada bir sistemin enerji analizini gerçekleştirmek oldukça zaman gerektiren ve maliyetli işlemlerdir. Sistemin tasarımı, testleri, üzerinde yapılan değişiklikler ve bu değişimlerin her defasında sisteme uyarlanması, maliyetli ve zaman açısından elverişsizdir. Zaman kaybını önlemek ve maliyeti düşürmek amacıyla çoğu zaman simülasyon programlarından yararlanılır. Bu çalışmada İzmir şartları için geleneksel bir güneş enerjili su ısıtma sistemine (SDHW) ısı pompası ilave edilerek geliştirilen güneş enerjisi ve ısı pompası destekli (HP_SDHW) bir su ısıtma sistemi TRNSYS (Zaman bağlı simülasyon programı) kullanılarak modellenmiştir. Yıl boyunca, her iki sisteme ait sıcaklık değişimleri, güneşten sağlanan enerji miktarları, toplam yükteki güneşin etkisi (güneş fraksiyonu), tank içerisinde mevcut yardımcı ısıtıcıların harcadığı enerjiler, yıl boyunca toplam harcanan enerji tüketim miktarları hesaplanmış ve her iki sistemin performansları karşılaştırılmıştır. Yıllık analiz sonucunda, HP_SDHW sisteminin, geleneksel SDHW sistemine göre %38 daha az elektrik tükettiği tespit edilmiştir. Suyu ısıtmak için harcanan toplam enerjiye güneş enerjisinin katkısının (güneş fraksiyonu) HP_SDHW sistemi için %75, SDHW sistemi için ise daha düşük (%60) olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, güneş enerjisi, su ısıtıcı, TRNSYS

ABSTRACT

Performing an energy analysis of a system in practice is a time consuming and costly process. The system's design, testing, modification and adaptation are costly and time-unfit every time. Simulation programs are often used to prevent time loss and reduce costs. In this study, a solar water heating system (HP_SDHW) with solar energy and heat pump developed by adding a heat pump to a traditional solar water heating system (SDHW) for İzmir conditions is modeled using TRNSYS (Time dependent simulation program). Throughout the year, the amount of energy consumed during the year was calculated and the performances of both systems were compared, including the temperature changes of both systems, the amount of solar energy, the total solar energy effect (solar fraction), the energy consumed by auxiliary heaters in the tank. As a result of the annual analysis, it was found that the HP_SDHW system consumes 38% less electricity than the conventional SDHW system. The solar fraction of the HP_SDHW (%75) was found higher than the SDHW system (%60).

Key words: Simulation, solar energy, water heater, TRNSYS

1. GİRİŞ

Binaların birçoğunda iki ana termal yük oluşur. Bunlar konut ısıtma ve kullanım sıcak suyu ısıtma yükleridir. Kullanım sıcak su sistemleri için harcanan termal enerji, binadaki toplam enerji ihtiyacına oranla az olmasına karşın, sistemin sebep olduğu enerji kayıpları bu oranı yükseltir. Binalardaki termal enerjinin yaklaşık %15-20'si kullanım sıcak suyu elde etmek için kullanırken son yıllarda özellikle kent

hayatındaki insanların yaşam standartları ve buna bağlı olarak hijyen ihtiyaçlarının artması bu oranı biraz yükseltmiştir. Hatta binalardaki dış yalıtım metotlarının yaygınlaşması ile konut ısıtma için harcanan enerji miktarı azalınca bu oran yaklaşık %25 olmuştur [1].

Günümüzde kullanım suyu ısıtmak için dünyada ve ülkemizde birçok farklı tasarım ve uygulamaya sahip sistemler giderek artmaktadır. Bunun en önemli sebebi, artan konfor ve hijyen ihtiyaçları dışında enerji ve su tasarrufu sağlamaktır. Türkiye’de de son dönemlerde enerji tasarrufu konusunda yapılan düzenlemeler doğrultusunda, geleneksel sistemlerin yerini birçok yeni teknolojik sistem ve cihazlar almıştır. Enerji verimliliği açısından daha verimli enerji sistem tasarımları üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu yönde yapılan çalışmalar ya deneysel test sistemleri ya da enerji sistemleri ile ilgili yazılım programları yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Deneysel test sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar uzun süreli ve maliyetli çalışmalar olup, enerji yazılım programlarını kullanmak bu süreçleri kısaltmakta ve maliyeti düşürmektedir. Ayrıca sistem üzerinde gerçekleştirilmesi düşünülen değişikliklerin kolay ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Daha hızlı ve esnek bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışmada TRNSYS programı yardımıyla güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir su ısıtma sistemi (HP_SDHW) tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada, İzmir için gün içerisinde belirli saatlerde (saat 06:00, 08:00, 20:00 ve 22:00) 15’ er dakikalık 600 lt/h debisinde ve 55°C sıcaklıkta kullanım suyu istenen evsel bir uygulama esas alınmıştır. Sistemin yıl boyunca ısı yük değişimleri, sıcaklık değişimleri ve debi değişimleri incelenmiştir. Aynı giriş şartları altında yine TRNSYS programı yardımıyla analizi gerçekleştirilen geleneksel güneş enerjili su ısıtma sistemiyle (SDHW) enerji tüketimi ve maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır.

2. TRNSYS PROGRAMI VE ÖZELLİKLERİ

TRNSYS; ‘Transient Simulation Program’ kelimelerinin kısaltılmışıdır. 1972-73 yıllarında University of Wisconsin Madison Solar Energy Lab. ve University of Colorado Solar Energy Applications Lab. tarafından geliştirilmiş ve 1975 yılında kullanılmaya başlanmıştır. TRNSYS programı FORTRAN diliyle yazılmış bir programdır.

TRNSYS, grafiksel bir ara yüze ve geniş bir bileşen kütüphanesine sahiptir. Program, modüler yapıya sahip bir sistem olması ile bütün aktif ve pasif sistemlere ait detaylı analizleri gerçekleştirebilmektedir. TRNSYS programında kullanıcı ara yüzüne önem verilmiştir. Kullanıcılar, tasarımı alt sistemlere bölebilir, farklı sistemleri birleştirebilir, malzeme yapısını inceleyebilir. 1000’e yakın bölgenin meteorolojik bilgilerine ulaşabilir ve enerji uygulamalarında bunun gibi birçok işlemi gerçekleştirebilirler. TRNSYS genellikle binaların ısıtma, soğutma, enerji giderleri, yenilenebilir enerji teknolojileri ve HVAC sistemleri için kullanılmaktadır.

Simülasyonu oluşturan her bileşen FORTRAN diliyle tanımlanmış bir TYPE numarası ile ifade edilir ve bu numara bileşenin fonksiyonunu tanımlar ve diğer bileşenlerden ayırt edilmesini sağlar. TRNSYS programında yeni bileşenlerde tanımlanabilir. Kullanıcı FORTRAN dilini kullanarak yeni bileşene ait matematiksel tanımlamayı formüle edebilir. Simülasyonun doğru sonuçlar vermesi simülasyonun bileşenlerinin doğru tanımlanmasına, girdi ve çıktı dosyalarının doğru eşleştirilmesine bağlıdır.

Kullanıcının, mevcut bileşenleri bir projeye eklemesi ve istenilen sistemi oluşturmak için etkileşimde bulunduğu diğer bileşenlere bağlamasına olanak tanıyan bir programdır. Her bileşen, kullanıcı tarafından belirtilen çeşitli parametreleri ve sistemin etkileşimde bulunduğu diğer bileşenlerden gelen girdileri okuyan bir matematik modeli temel alır. Tüm matematiksel modeller, her bir bileşenin çeşitli çıktıları üretmek için parametrelerini ve girdilerini kullanarak sistemi bir araya getirir. Çıktılar, kullanıcı tarafından analiz edilmesi için harici bir dosyaya veya bir grafik bileşenine gönderilebilir.

TRNSYS geçici (zamana bağlı) sistemler ile ilgilenir, böylece kullanıcının simülasyon hesaplamaları için kullanılacak olan zaman periyodunu ve zaman adımını ayarlaması gerekmektedir. Her bileşen zaman adımının başlangıcında çeşitli girdileri okur ve bu koşullarda belirtilen zaman periyoduna dayanan çıktılar üretir. Bu zaman adımı hesaplandıktan sonra girdiler ve çıktılar güncellenir ve simülasyon bir sonraki zaman adımına geçer. Bu işlem, belirlenen zaman periyoduna erişilinceye kadar devam eder [2].

3. SİSTEMLERİN TRNSYS PROGRAMINDA MODELLENMESİ

Geleneksel güneş enerjili sistemler sıcak su elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneşin yetersiz olduğu günlerde bu sistemlerin verimi düştüğünden dolayı gereken enerji, tank içine yerleştirilen elektrikli su ısıtıcıları yardımıyla sağlanmaktadır. Bu ise enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu çalışmada geleneksel güneş enerjili sistemin bu dezavantajını avantaja çevirmek amacıyla bu sisteme ilave yardımcı bir tank ve ısı pompası eklenmiştir. Bu iki sistem TRNSYS programı yardımıyla modellenerek analiz edilmiştir.

Çalışmada yer olarak İzmir, Çiğli seçilmiştir. Bir yıl boyunca (8760 saat) yapılan analiz sonucunda sistem performansları incelenmiştir. Hassas sonuçlar elde etmek amacıyla simülasyon zaman adımı 0.015 saat (54 sn) olarak ayarlanmıştır. Her iki sistemde de su çekim kontrol elemanı kullanılıp daha önce bahsedildiği gibi gün içerisinde dört ayrı zamanda, on beş dakikalık 600 kg/h su çekimi için evsel su tankında 55°C sıcaklıkta kullanım suyu elde edilmesi hedeflenmiştir.

Her iki sistemde de doğru karşılaştırma yapabilmek için, aynı özelliklere sahip evsel su tankı, güneş kollektörü, güneş döngüsündeki otomasyon şartları vb. kullanılmıştır.

Her iki sistemdeki güneş döngüsünde alanı 4m² olan, eğim açısı 45° ve azimutu 0° olup güneye konumlandırılan düz plakalı bir adet güneş kollektörü seçilmiştir [3]. Sistemlerdeki pompalar çalışma sırasında 60 kJ/h elektrik enerjisi tüketerek, pompa debisi 100 kg/h olarak seçilmiştir. Pompalar çalışma esnasında sabit bir akış oranı sağlamak için her zaman % 100 güç ile çalıştırılmıştır.

Her sistemde evsel su tankı 350 L hacminde ve 1.2 m boyunda olup ısı tabakalaşmayı sağlamak için on eşit katmana bölünmüştür. Bu tankta ısı tabakalaşma suyun yoğunluk farkından faydalanan bir yöntemdir. Isınan suyun yoğunluğu az olduğu için tankın üstüne gider ve böylece suyun sıcaklığına göre katmanlar oluşur [4].

Yük gereksinimlerini sağlamak için tüm sistemlerde evsel su tankına 2 kW'lık iki tane yardımcı ısıtıcı yerleştirilmiştir. Üst ısıtıcı ve termostat ikinci katmana, alt ısıtıcı ve termostatı sekizinci katmana konumlandırılmıştır.

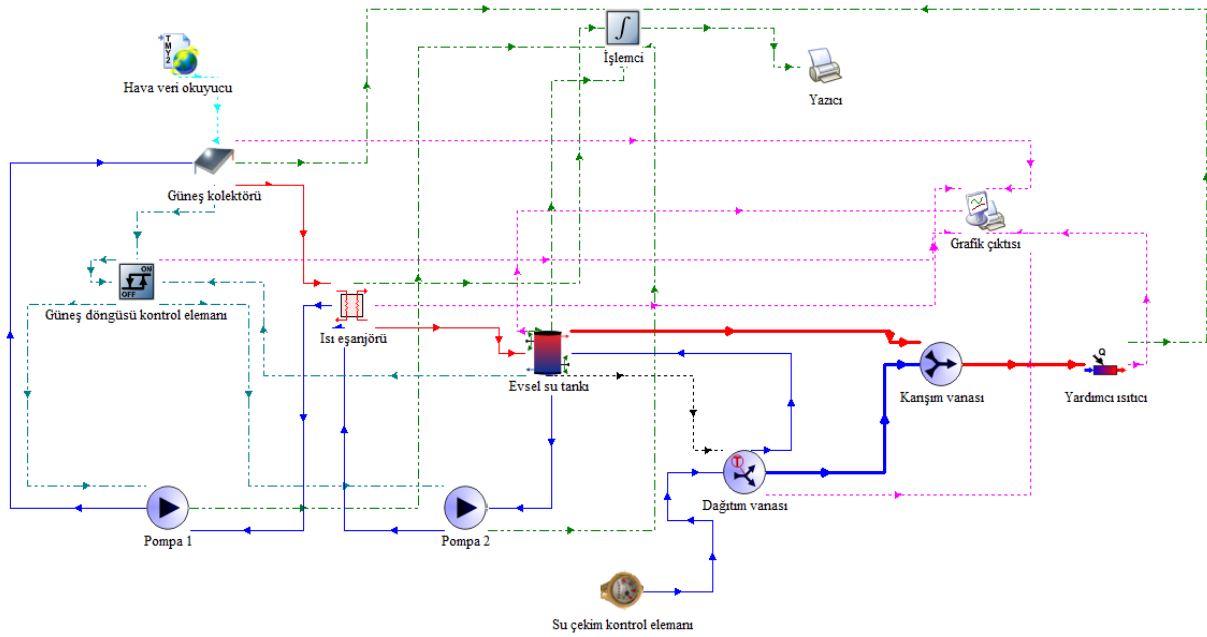
Her iki sistemde bulunan dağıtım vanası evsel su tankından eksilen hacmi tamamlamaktadır. Ayrıca evsel su tankından ayar noktası sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta su geldiğinde, dağıtım vanası şebekeden çektiği suyu (15°C), soğutmak için karışım vanasına göndermektedir. Kullanım suyu ayar noktası sıcaklığından daha düşük elde edildiği takdirde, istenilen kullanım suyu sıcaklığını elde etmek için karışım vanasından sonra ilave birer harici ısıtıcı (2 kW) her iki TRNSYS modeline eklenmiştir. Bu harici ısıtıcıların kayıplarının olmadığı varsayılmıştır [5].

Tüm TRNSYS modellerinde; düz çizgiler akışkanın güzergâhlarını, kesikli ve noktalı çizgiler ise ana bileşenleri otomasyon, işlemci, yazıcı ve grafik çıktısı gibi diğer bileşenlere bağlamak için kullanılmıştır.

3.1. Geleneksel Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Modellenmesi

Güneş enerjisinden yararlanılan bu sistem; düz plakalı bir güneş kollektöründen, güneş ve hava verilerini okumak için bir veri okuyucudan, bir sirkülasyon pompasından, güneşten gelen enerjiyi evsel su tankı tarafına aktarmak için bir ısı eşanjöründen ve güneş döngüsü otomasyonu için bir kontrol elemanından oluşmaktadır (Şekil 1).

Bu sistemde sıcak su taleplerini karşılamak için güneş enerjisi kullanılmıştır. Güneş enerjisinin yeterli olmadığı özellikle kış aylarında tank içindeki ısıtıcılar devreye girmiştir. Ayrıca soğuk günlerde donmayı önlemek için güneş döngüsünde glikol-su karışımı dolaştırılmıştır.



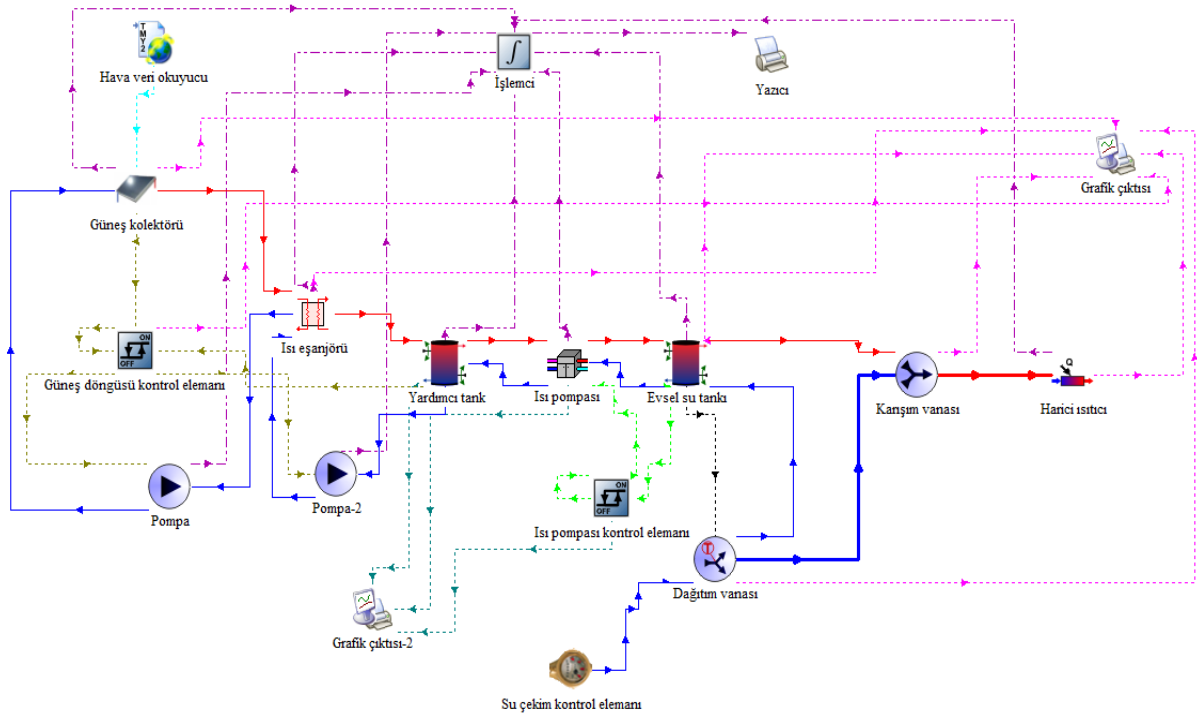
Şekil 1. SDHW sisteminin TRNSYS modeli

Güneş enerjisinin fazla olduğu zamanlarda evsel su tankında istenilen 55°C sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda su depo edilmiştir. Çünkü mevcut bir enerji olan güneş enerjisini depolayıp ihtiyaç halinde kullanmak, enerji tasarrufu sağlanmasına neden olmuştur. Enerjiyi depolamak güneş olmadığı zamanlarda ısıtıcıların yükünü hafifletmiştir. Bu yüksek sıcaklıkta suyun depolanmasından dolayı, dağıtım vanası kullanım suyunu soğutmak amacıyla sıklıkla devreye girmiştir.

Güneş döngüsü otomasyonu kontrol elemanı, toplanacak güneş enerjisinin olup olmadığını belirlemek için evsel su tankının altındaki soğuk su sıcaklığını ve güneş kolektörünün çıkış sıcaklığını gözlemleyerek ikisi arasındaki farkı kontrol eder. Kolektör çıkışındaki glikol-su karışım sıcaklığı ile tankın altındaki suyun sıcaklığı arasındaki fark 5°C veya 5°C'den fazla olduğunda, güneş enerjisini toplamak için pompaları devreye sokar. Pompalar, bu sıcaklık farkı 2°C'nin altına düşene kadar çalışmaya devam eder. Kontrol elemanı aynı zamanda, evsel su tankının üst kısmındaki suyun sıcaklığını izleyerek, suyun kaynama sıcaklığına yaklaşmasını önler. Bu sıcaklık 90°C olarak belirlenmiştir. Böylece çalışma sırasında bu sıcaklığa ulaşıldığında, pompalar durup tanktaki suyun kaynaması önlenir [6].

3.2. Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Su Isıtma Sisteminin Modellenmesi

Bu sistem geleneksel güneş enerjili sisteme, enerji depolamak amaçlı yardımcı bir tank, sudan suya bir ısı pompası ve ısı pompasını kontrol edecek bir diferansiyel kontrol elemanı eklenerek oluşturulmuştur. Sistemin TRNSYS modeli Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Çift tanklı HP_SDHW sisteminin TRNSYS modeli

Bu sistemde güneş döngüsü tarafı, SDHW sistemi ile benzer şekilde çalışmakta olup, evsel su tankı yerine yardımcı tanka bağlanıp termal depolama yapılmıştır. Ayrıca, evsel su tankından farklı olarak, yardımcı tankın nispeten yüksek termal kapasiteye ihtiyacı olduğu göz önüne alınarak 500 L olarak boyutlandırılmıştır. Bu sistemde evsel su tankı enerji ihtiyacı, içerisindeki yardımcı ısıtıcılar yerine ısı pompası veya eşanjör by-pass döngüsü kullanılarak yardımcı tanktan sağlanmıştır. TRNSYS modelinde kullanılan sudan suya ısı pompası için Trane EXW 060 modeli seçilmiştir [7].

Sistemdeki her iki tank içerisinde 2 kW kapasiteli yardımcı ısıtıcılar mevcuttur. Evsel su tankında olduğu gibi yardımcı tankta da ısıtıcılar ikinci ve sekizinci katmanda konumlandırılmıştır. Yardımcı tanktaki üst ısıtıcı, ikinci katmandaki su sıcaklığı -10°C ' e düştüğünde devreye girmektedir. Alt yardımcı ısıtıcı, sekizinci katmandaki su sıcaklığı -15°C ' e düştüğü zaman da devreye girmektedir. Alt ısıtıcının devreye girme ön koşulu, üst ısıtıcı şartlarının sağlanmasıdır. Aksi takdirde devreye girmez.

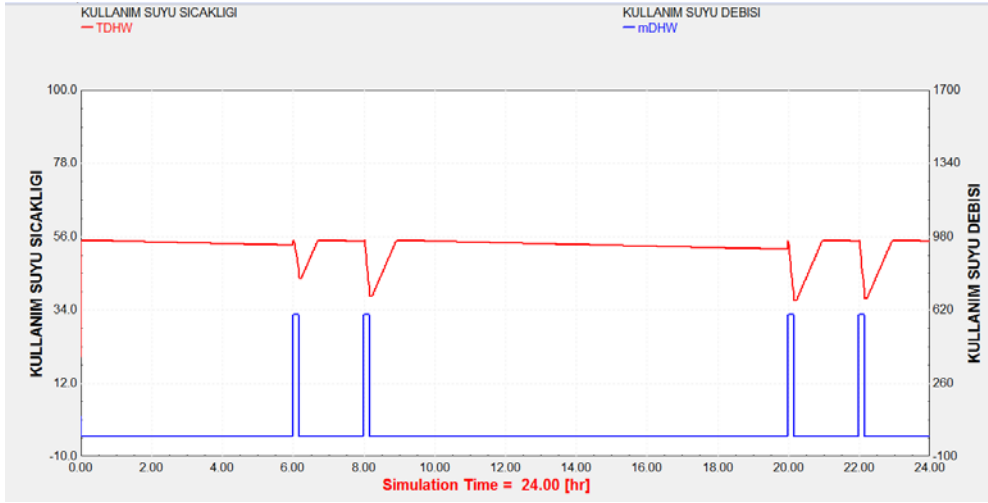
Bu sistemde yardımcı tankta depolanan güneş enerjisinin, evsel tanka aktarılması esnasında ısı pompası iki şekilde çalışmaktadır. Birincisi, yardımcı tank en üst sıcaklık değeri 55°C ' nin altındaysa ısı pompası, düşük sıcaklıktaki kaynaktan çektiği enerjiyi yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına atma özelliğini kullanarak, devreye girerek, yardımcı tanktaki enerjiyi evsel su tankına aktarmaktadır. İkincisi, güneşin etkinliğinin yüksek olduğu yaz aylarında, yardımcı tank en üst sıcaklık değeri 55°C 'in üzerine çıktığında ise, ısı pompası kompresörü devreden çıkarak ısı pompası bir ısı eşanjörü mantığında çalışmaktadır. Böylece yardımcı tanktaki enerji, ısı pompası sirkülasyon pompaları yardımıyla evsel tanka by-pass edilmektedir. Bu durumda harcanan güç tüketimi azalmaktadır, çünkü enerjiyi aktarmak için sadece pompa gücü kullanılmaktadır. Bilindiği üzere pompanın harcadığı güç, kompresörün harcadığı güce oranla oldukça düşüktür.

Kontroller, bu sistemin etkin çalışmasını sağlamak için çok önemlidir. Kontrol edilmesi gereken güneş döngüsü ve ısı pompası döngüsü olmak üzere iki ayrı döngü vardır. Bu sistemde de güneş döngüsü, sadece güneş kullanılan sistemde olduğu gibi tamamen aynı şekilde kontrol edilmiştir. Toplanan güneş enerjisi yardımcı tankta depolanmıştır. Kontrol edilen ikinci döngü, evsel su tankına enerji sağlamak için kullanılan ısı pompasıdır. Kontrol elemanı 55°C sıcaklık ile evsel su tankının üstündeki sıcaklık arasındaki farkı gözlemlemiştir. Yani, evsel su tankının üstündeki su sıcaklığı 52°C altına düştüğünde ve 55°C sıcaklığa ısıtılana kadar ısı pompası devreye girmemiştir. Tank içindeki elektrikli

Isıtıcıların görevini ısı pompası üstlenmesinden dolayı, bu ısıtıcılar devreye girmemişlerdir. Ayrıca evsel su tankında su sıcaklığı, 55°C'nin üzerine çıkmadığından dolayı da, dağıtım vanası devreye girmemiştir.

4. SİMULASYON SONUÇLARI

Her bir sistem için simülasyon sonuçları ve yıllık performans değerleri, sistemlerin toplam enerji dengesi bu bölümde anlatılmıştır. Sistemlerin yıllık yükleri hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Tüm sistemlerde Şekil 3' de gösterildiği gibi 55°C sıcak su talebini karşılamak için sabah saat 6:00, 8:00 ve akşam 20:00, 22:00'de on beşer dakika süreyle 600kg/h debi ile su çekimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Gün içerisinde planlanan saatlerde çekilen su debisi ve sıcaklığı

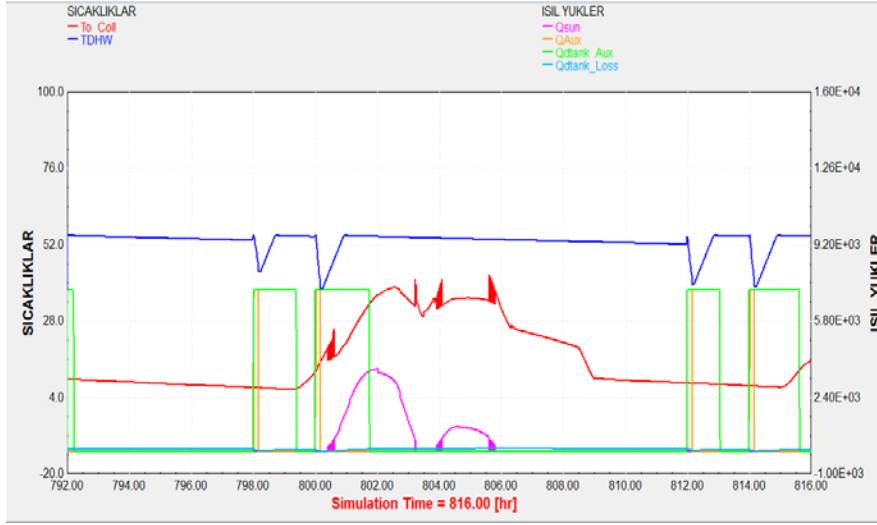
Sistemlerde kullanılan evsel su tankı suyun çeşitli sıcaklıklardaki yoğunluk farkından faydalanılarak sıcaklık katmanları ile tabakalandırılmıştır. Sıcak su, tankın tepesine kadar yükselir. Çünkü yoğunluğu tankın altındaki soğuk suya göre daha azdır. Böylece sıcak kullanım suyu tankın üstünden çekilir ve tankta eksilen su, dağıtım vanası yardımıyla şebekeden alınarak, tankın alt kısmından ilave edilir. Tankın üstünden çekilen suyun sıcaklığı 55°C den fazla ise yine dağıtım vanası devreye girerek by-pass hattı oluşturup suyu istenilen sıcaklığa getirir.

5.1. Geleneksel Güneş Enerjili Sisteminin Simülasyonu

Bu sistemde suyun ısınmasına yardımcı olmak amacıyla güneş enerjisi kullanılmıştır. Güneş enerjisi birinci pompa yardımıyla ısı eşanjörüne aktarılırken, ikinci pompa yardımıyla da ısı eşanjöründeki enerji evsel su tankına aktarılmaktadır. Bu sistemin performansı dış ortamdan büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, yıl boyunca gündün güne sıcaklıklarının, güneş döngüsünün ve ısıtıcıların değişken olacağı aşikârdır. SDHW sisteminin enerji dengesi eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

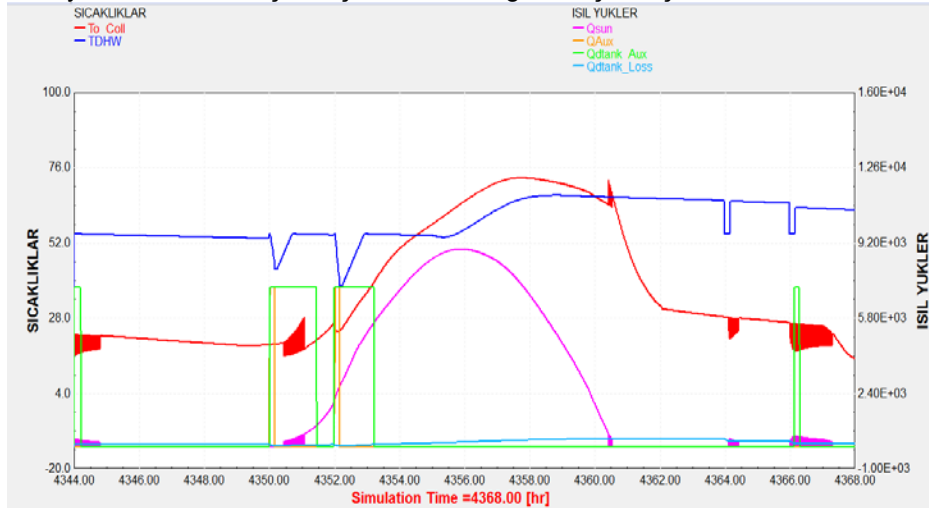
$$Q_{dtank_aux} + Q_{Aux} + Q_{sun} + W_{pump} = E_{load} + Q_{dtank_loss} \quad (1)$$

Şekil 4' de görüldüğü gibi Şubat ayında bir kış gününde, sabah saat 06:00 ve 08:00 civarlarındaki su çekiminde güneş etkisi tam anlamıyla olmadığı için tank içindeki su, tank ısıtıcıları ve harici ısıtıcı yardımıyla ısıtılmıştır. Şubat ayında güneş etkisi az olmasına rağmen bir miktar güneş enerjisi ısı eşanjörü vasıtasıyla evsel su tankına aktarılıp depolanmıştır. Depolanan bu güneş enerjisi akşam saat 20:00' deki su çekimi esnasında kullanılmış olup, suyu 55°C' de tutmak için yeterli olmadığından tank içindeki ısıtıcılar ve harici ısıtıcı az da olsa devreye girmiştir. Saat 22:00' deki su çekiminde ise yine ısıtıcılar devrededir.



Şekil 4. Bir gün içerisinde (Şubat ayı) SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları

Bunun aksine Temmuz ayında bir yaz günü güneş etkinliği daha erken saatlerde başlamış ve daha fazla güneş enerjisi toplanmıştır (Şekil 5). Sabah saat 06:00' daki su çekiminde güneş olmadığı için yine sistemdeki ısıtıcılar devrededir. Şubat ayına göre sabah saat 08:00' deki su çekiminde güneşin etkisi az da olsa görüldüğü için ısıtıcılar bir miktar devreye girmiştir. Öğle saatlerinde artan güneş enerjisi Şubat ayına göre çok daha fazladır ve suyu ısıtmak için toplanıp depo edilir. Güneş enerjisi sayesinde tankın üstündeki su sıcaklığı yaklaşık 65°C'dir. Depo edilen bu 65°C sıcaklıktaki su akşam saat 20:00 ve 22:00'deki su çekimlerinde kullanılmıştır. Isıtıcılar saat 20:00' de devreye hiç girmeyip, 22:00'de az miktarda girmiştir. Hatta kullanım suyunu bir miktar soğutup 55°C sıcaklığa getirmek için dağıtım vanası devreye girerek şebekeden soğuk su by-pass' ı yapmıştır. Ayrıca dağıtım vanası, tankta eksilen suyu tamamlamak içinde şebekeden soğuk su çekmiştir.



Şekil 5. Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları

Güneş enerjisi sayesinde ısıtıcılar daha az devreye girmiş ve elektrikten tasarruf sağlanmıştır. Toplam enerjinin ne kadarının güneş enerjisinden karşılandığı güneş fraksiyonu (SF) (2) nolu eşitlik ile belirlenmiştir.

$$SF = \frac{Q_{sun}}{Q_{sun} + E_T} \quad (2)$$

Burada, Q_{sun} , güneşten gelen enerjiyi, E_T ise suyu ısıtmak için tüketilen toplam enerji miktarıdır. SF değeri, karşılaştırma yapmak ve güneş destekli sistemlerin performansını değerlendirmede yardımcı olmak için kullanılan bir ifadedir. İzmir için SDHW sistemi üzerinde yıl boyunca yapılan analiz sonucu, 55°C sıcaklıkta kullanım suyu sağlamak için gereken toplam enerjinin yaklaşık % 60'ını toplanan

güneş enerjisi sağlamıştır. Yani güneş fraksiyonu %60 dır. Tüm simülasyon periyodu için toplam elektrik tüketimi, toplanan faydalı güneş enerjisi, güneş fraksiyonu, tank kayıpları, ısıtıcı ve pompaların tükettikleri güçler Tablo 1' de verilmektedir.

Tablo 1. SDHW sisteminin yıllık analiz sonuçları

Tank ısıtıcıları	8594 MJ
Harici ısıtıcılar	887 MJ
Pompalar	388 MJ
Toplam tank kayıpları	1607 MJ
Toplam elektrik tüketim	9869 MJ
Toplanan güneş enerjisi	14907 MJ
Güneş fraksiyonu (SF)	0.60

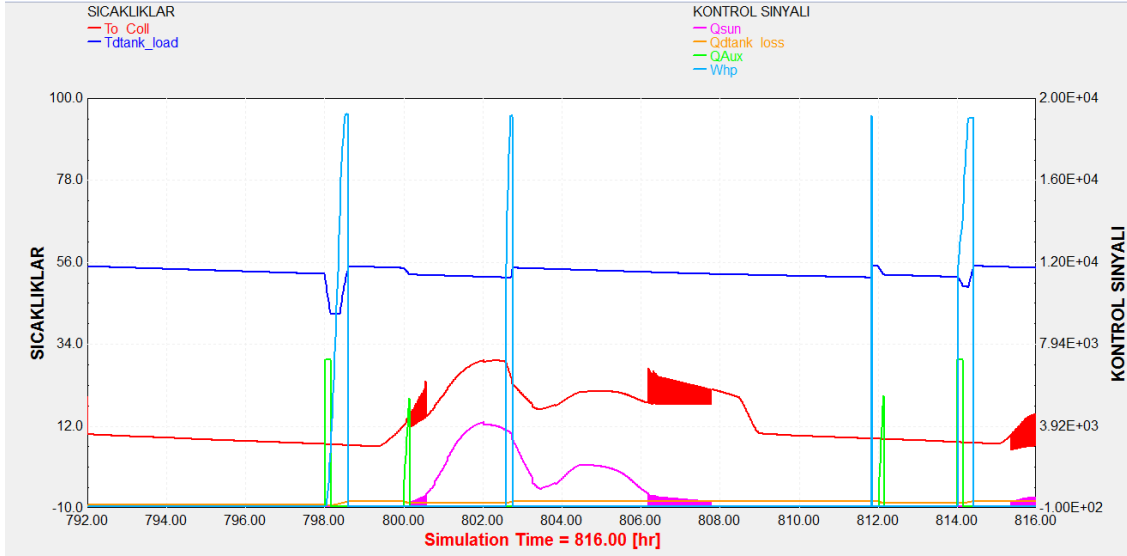
5.2. Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Su Isıtma Sisteminin Simülasyonu

Bu sistem, SDHW sistemine ilave olarak yardımcı bir tank ve ısı pompası eklenerek oluşturulmuştur. SDHW sistemi gibi dış ortam koşulları, çift tanklı HP_SDHW sisteminin performansını ve durumunu büyük ölçüde etkilemiştir. Simüle edilen yıl için HP_SDHW sisteminin enerji dengesi eşitlik (3) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{tank_Aux}} + Q_{\text{dtank_Aux}} + Q_{\text{Aux}} + Q_{\text{sun}} + W_{\text{HP}} + W_{\text{pump}} = E_{\text{load}} + Q_{\text{frank_loss}} + Q_{\text{dtank_loss}} \quad (3)$$

Çift tanklı HP_SDHW sistemi iki kontrol döngüsünden oluşmaktadır: Güneş döngüsü ve ısı pompası döngüsü. Sistemde yardımcı tankın en üstündeki su sıcaklık değeri 55°C' i aştığında ısı pompası kompresörü devreden çıkmakta ve ısı pompası sirkülasyon pompaları devreye girerek, yardımcı tanktaki ısı enerjisini bir eşanjör gibi davranarak evsel su tankına by-pass etmektedir. Bu by-pass işleminin daha çok yaz aylarında artan güneş enerjisine bağlı olarak Mayıs ile Eylül arasında gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu by-pass işleminin yaklaşık % 90' ı, saat 08.00' de on beş dakika su çekilmesinin bitmesinden hemen sonra gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, güneş etkisinin saat 8:00' dan sonra artmasıdır. Böylece güneşin etkisiyle yardımcı tanktaki su sıcaklık değeri 55°C'nin üstüne yükseltip gün boyunca, evsel tankın ihtiyacı için gerekli enerji depo edilmiştir. Su çekme işleminden sonra evsel su tankının üstündeki sıcaklık 52°C'nin altına düştüğü zamanlarda ise bu tanktaki suyu 55 °C'e çıkarana kadar ısı pompası devreye girmiştir.

Şekil 6'dan görüldüğü gibi Şubat ayında bir günde güneş döngüsünün çalışma süresi yaklaşık yedi saattir. Grafikten görüldüğü gibi su çekimleri sırasında kullanım suyu sıcaklığı düşmüş ve ısı pompası genelde bu vakitlere denk gelecek şekilde devreye girmiştir. Sabah saat 06:00' daki su çekiminde güneş olmadığı için harici ısıtıcı ve ısı pompası devreye girerek istenilen su sıcaklığını muhafaza edip evsel su tankına aktarmıştır. Sabah saat 8:00' deki su çekiminde ise evsel su tankındaki sıcaklık az miktarda düştüğü için yalnızca harici ısıtıcı devreye girmiştir ve ısı pompasına ihtiyaç duyulmamıştır. Çünkü evsel su tankındaki sıcaklık otomasyonda belirtilen 52°C'nin altına düşmemiştir. Bu saatlerden sonra güneşin etkinliğinin artmasıyla birlikte sağlanan enerji yardımcı tanka aktarılmıştır. Su çekimleri olmadığı süre içerisinde bu enerji depo edilmiştir. Bu sırada evsel su tankındaki sıcaklık 52°C'nin altına düştüğünde ısı pompası devreye girerek yardımcı tankta depo edilen güneş enerjisini evsel su tankına aktarmıştır. Böylece evsel tanktaki kullanım su sıcaklığı istenilen 55°C sıcaklığa getirilmiştir. Akşam saatlerindeki su çekiminde sıcaklık düştüğü için ısı pompası ve harici ısıtıcı bir miktar devreye girerek istenilen su sıcaklığı muhafaza edilmeye devam edilmiştir.



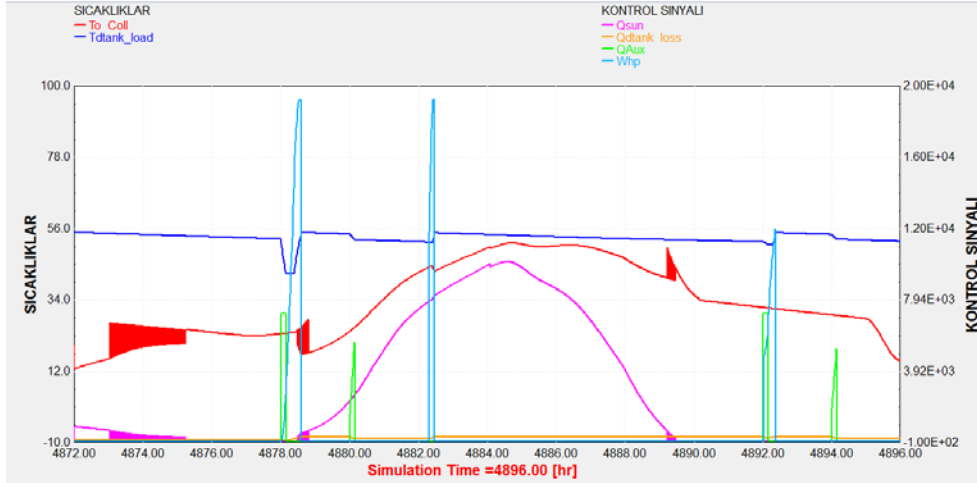
Şekil 6. Bir gün içerisinde (Şubat ayı) HP_SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları

Daha önce belirtildiği gibi yaz aylarında güneş radyasyonunun yoğunluğu yüksektir. Bu durum yardımcı tank sıcaklıklarına daha fazla yansımıştır. Yardımcı tank sıcaklığı Temmuz ayında daha yüksek olduğu için enerji, ısı pompası vasıtasıyla daha yüksek bir oranda aktarılır ve daha yüksek sıcaklıklar elde edilir. Böylece yaz aylarında ısı pompası daha az elektrik tüketimiyle çalışır.

Şekil 7’de görüldüğü gibi Temmuz ayındaki bir günde güneş radyasyonu beklenildiği gibi fazla olup yaklaşık on saattir. Sabah saat 06:00 ve 08:00’deki su çekimlerinde güneş olmadığı için, sistem bu saatlerde yine Şubat ayındaki belirttiğimiz güne benzer çalışmıştır. Bu saatlerden sonra güneş radyasyon etkisinin artmasından dolayı güneşten gelen enerji ile kaynak sıcaklığı 55°C’ nin üzerinde olması sebebiyle, yardımcı tankta depolanan bu enerjiyi ısı pompası eşanjör gibi davranarak (sadece pompalar devrede) evsel su tankına by-pass eder. Şubat ayındaki günden farklı olarak akşam saatlerindeki su çekimlerinde depolanan bu güneş enerjisi ve harici ısıtıcı ile istenilen sıcaklık muhafaza edilmiştir. Sadece akşam 08:00’ deki su çekiminde evsel su tankındaki sıcaklık 52°Cnin altına düştüğü için ısı pompası çok az devreye girmiştir.

HP_SDHW sisteminin Temmuz ayında çalışması sırasında, yardımcı tanktaki ısıtıcılar çok az devreye girmiştir. Çünkü yardımcı tanka ait ikinci ve sekizinci katmandaki su sıcaklıkları sadece kış aylarında bu katmanlar için belirtilen ayar noktası sıcaklık değerlerine nadiren düşmüştür. Evsel su tankında kullanım su sıcaklık değerinin sağlanmadığı zamanlarda, harici ısıtıcıların devreye girdiği görülmüştür.

Tüm simülasyon periyodu için toplam elektrik tüketimi, toplanan faydalı güneş enerjisi, güneş fraksiyonu, tank kayıpları, tank ısıtıcıları ve pompaların harcadığı güçler Tablo 2’ de verilmektedir.



Şekil 7. Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) HP_SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları

Tablo 2. HP_SDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları

Eysel su tankı ısıtıcıları	0 MJ
Yardımcı tank ısıtıcıları	30 MJ
Harici ısıtıcı	1060 MJ
Pompalar	445 MJ
Isı pompası	4600 MJ
Toplam tank kayıpları	2125 MJ
Toplam elektrik tüketim	6135 MJ
Toplanan güneş enerjisi	18411 MJ
Güneş fraksiyonu (SF)	0.75

Güneş döngüsüne eklenen yardımcı tank ve ısı pompası güneşin etkinliğini artırıp daha fazla faydalı güneş enerjisi elde edilmesini sağlamıştır. Her iki sistemin performans değerlerinin karşılaştırılması Tablo3' de verilmektedir.

Tablo 3. Güneş enerjili ve güneş enerji ve ısı pompası destekli su ısıtma sisteminin karşılaştırılması

	Güneş enerjili sistem	Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli sistem
Tank ısıtıcıları	8594 MJ	30 MJ
Harici ısıtıcı	887 MJ	1060 MJ
Pompalar	388 MJ	445 MJ
Isı pompası	-	4600 MJ
Toplam tank kayıpları	1607 MJ	2125 MJ
Toplam elektrik tüketim	9869 MJ	6135 MJ
Toplanan güneş enerjisi	14907 MJ	18411 MJ
Güneş fraksiyonu (SF)	0.60	0.75

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Yapılan analizler sonucunda HP_SDHW sistemindeki toplam elektrik tüketiminin, SDHW sistemine kıyasla yaklaşık % 38 daha az olduğu tespit edilmiştir.

SDHW sisteminde güneşten gelen enerji, doğrudan evsel su tankına gönderilir. Bu tank içindeki üst ve alt ısıtıcıların ayar noktası sıcaklık değerlerinden dolayı, ısıtıcılar devreye girerek düşük sıcaklıklarda çalışmasına izin vermemektedir. Fakat HP_SDHW sisteminde güneş enerjisi önce yardımcı bir tanka depolanmakta ve buradan ısı pompasının düşük kaynak sıcaklığından yüksek kaynak sıcaklığına enerjiyi taşıyabilme özelliği sayesinde evsel su tankına iletilmektedir. SDHW sistemin aksine yardımcı tank içindeki ısıtıcılar daha düşük sıcaklıklarda çalışmaya izin vermektedir.

HP_SDHW sistemi için toplam elektrik tüketiminin yaklaşık % 75'i sadece ısı pompası tarafından tüketilirken, SDHW sisteminde ise istenen sıcaklıkta su elde etmek için gereken enerjinin %87' si devreye giren elektrikli ısıtıcılar tarafından tüketilmiştir.

HP_SDHW sisteminin kayıpları, SDHW sistemine kıyasla yaklaşık % 24 daha fazladır. SDHW sisteminde yaz aylarında çevre sıcaklığına göre tankta depolanan yüksek su sıcaklıklarından dolayı kayıplar meydana gelse de, HP_SDHW sisteminde daha fazla kayıp vardır. Çünkü çevreye kaybı olana çift tank mevcuttur. Ayrıca SDHW sistemin aksine evsel su tankındaki su sıcaklığının 55°C'nin altına düşmesine izin vermeyen, sürekli yüksek sıcaklıklarda tutmaya çalışan bir ısı pompası vardır.

Isı pompası, toplam elektrik tüketimini düşürürken sistemin güneş döngüsü tarafından elde edilen çalışma sürelerini ve verimliliklerini artırarak daha fazla güneş enerjisi toplamasına izin vermiştir.

Sonuç olarak geleneksel güneş enerjili su ısıtma sistemlerine ısı pompası adapte edilmesi İzmir şartları için oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

[1] GÜRENLİ M., ATAMTÜRK U., Türkiye'de Yaygın Olan Kullanım Sıcak Suyu Sistemlerine Genel Bir Bakış Hızlı Boyler ve Depo Şarj Sisteminin Karşılaştırmalı Analizi, Tesisat Mühendisliği, Sayı 129, Mayıs/Haziran 2012.

[2] University of Wisconsin, Solar Energy Laboratory, 2006, TRNSYS: A Transient Simulation Program, Madison.

[3] Duffie J.A., Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes – Second Edition, Wiley-Interscience, New York, 1991.

[4] JABER M.W.K., ŞENTÜRK U., GÜNGÖR A., EREK A., Bir Sıcak Su Depolama Tankının Şarj ve Deşarj İşlemlerinde Isıl Tabakalaşma Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015/İZMİR.

[5] "TRNSYS 17 - a Transient System Simulation program -Volume 4: Mathematical Reference," Solar Energy Laboratory - University of Wisconsin-Madison.

[6] Beckman W.A., Thornton J.W., Long S., Wood B.D., "Control Problems in Solar Domestic Hot Water Systems", Proceedings of the American Solar Energy Society, Solar 93 Conference, Washington D.C. 1993

[7] Trane Ürün Kataloğu, WSHP-PRC022D-EN_04012015



ÖZGEÇMİŞ

Gamze KANDIRMIŞ

1989 yılı Kahramanmaraş doğumludur. 2012 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2015 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başlamış olup halen devam etmektedir. TRNSYS uygulamaları ve güneş enerjisi konularında çalışmaktadır.

Salih COŞKUN

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında mezun olan yazar, 1992 yılında Makine Mühendisliği Anabilim dalında, Termodinamik Bilim Dalında yüksek lisans ve 2000 yılında da doktorasını tamamlamıştır. 1992-1998 yılları arasında aynı fakültede araştırma görevlisi olarak çalışan yazar, 1998 yılından bu yana Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Elektrik Enerji Bölümü, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programında Öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. İklimlendirme, soğutma, ısı pompaları, enerji tasarrufu, ısı sistemlerinin tasarımı üzerinde çalışmaları bulunmaktadır.

Nurettin YAMANKARADENİZ

2004 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2005 yılında Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi programında öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2007 yılında Uludağ üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği termodinamik bilim dalında yüksek lisansını tamamladı. 2011 yılında Uludağ üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Termodinamik bilim dalında doktorasını tamamladı. 2016 yılında yardımcı doçent olan Nurettin Yamankaradeniz, termal konfor, enerji sistemleri ve iş güvenliği alanında çalışmalarına devam etmektedir.