

# İZMİR İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİ KAYNAKLI ABSORBSİYONLU ISI POMPASI SİSTEMİ İLE ISITMA-SOĞUTMA UYGULAMASININ SAYISAL ANALİZİ

**Bilsay PASTAKKAYA**  
**Mustafa Kemal İŞMAN**  
**Mehmet Özgün KORUKÇU**  
**Recep YAMANKARADENİZ**

## ÖZET

Güneş enerjisi kaynaklı absorbsiyonlu ısı pompası sistemleri, enerji ihtiyaçlarını temiz ve yenilenebilir enerji kaynağından sağlamakta, bu sayede ısıtma-soğutma uygulamalarında kullanımları ile enerji ile ilintili ekonomik ve çevresel sorunların çözümü için önemli alternatif çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada, İzmir ili için 150 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip örnek bir konutun ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi kaynaklı absorbsiyonlu ısı pompası sistemi ile karşılanması incelenmiştir. Çalışmada sayısal analiz işlemleri için TRNSYS programında oluşturulan ClimateWell-Solar Cooling v1.1 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda güneş enerjisi sisteminin, konutun yıllık ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma oranı sırasıyla %73, %79 ve %95 olarak tespit edilmiştir. Absorbsiyonlu sistemin soğutma periyodu boyunca soğutma tesir katsayısının yıllık ortalama değerinin 0,41 olduğu görülmüştür. Güneş enerjisinin kullanımına bağlı olarak; ısıtma, soğutma ve sıcak su kullanımında yıllık toplam 1721 TL ekonomik tasarruf elde edilmiş, CO<sub>2</sub> salınımlarında ise 15532 kg'lık azalma sağlanmıştır. Çalışmada, bir konutun ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması durumunda hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli kazançların sağlandığı tespit edilmiştir. Söz konusu sistemlerin kullanımının yaygınlaştırılması ile bu kazançların önemli ölçüde artacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Absorbsiyonlu ısı pompası, Isıtma-soğutma, Güneş enerjisi

## ABSTRACT

Solar absorption heat pumps obtain their energy need from clean and renewable energy sources, thanks to that, they provide alternative solutions for economic and environmental problems related to energy. In this study, use of solar absorption heat pump system for heating, cooling and domestic hot water requirement of a sample residence's with total floor space of 150 m<sup>2</sup>, in İzmir province was investigated. ClimateWell-Solar Cooling v1.1 build up with TRNSYS simulation programme was used in numerical analysis. The results of the study showed that solar fraction of energy supply for the annual heating, cooling and domestic hot water of the residence are 73%, 79% and 95% respectively. It was obtained that annual average coefficient of performance (COP) for cooling of the absorption system was 0.41 through the cooling period. 1721 TL economic savings for cooling, heating and domestic hot water and 15532 kg CO<sub>2</sub> savings were achieved annually by using solar energy. It was deduced that using solar power to obtain cooling, heating and domestic hot water requirements of a residence provided significant economic and ecological benefits. It was also concluded that the wide spread use of solar absorption system will enhance these benefits considerably.

**Key Words:** Absorption heat pump, Heating-cooling, Solar energy

## 1. GİRİŞ

Yaşamsal faaliyetlerin konfor şartları altında sürdürülmesi için yaşam alanlarının uygun sıcaklık değerlerinde olması gerekmektedir. Mevsimsel özelliklere bağlı olarak değişen dış ortam sıcaklığı, konutların ısıtılması ve soğutulması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca yapı sakinlerinin sıcak kullanım suyu ihtiyacının yıl boyunca yeterli miktarda karşılanması gerekmektedir. Bu nedenle konutlarda harcanan enerjinin önemli bölümünün ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Günümüzde enerji kullanımına bağlı birçok sorun için ortaya konulan çözüm önerilerinin temelinde, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yer almaktadır. Bu nedenle enerji kaynağı olarak temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanan, yardımcı enerji kaynağı ihtiyacı asgariye indirilmiş iklimlendirme sistemlerinin kullanımı, enerji ile ilintili sorunlar için önemli bir çözüm alternatifi olmaktadır [1].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın Güneş Enerjisi Kaynaklı Isıtma-Soğutma Programı'nda yer alan çalışmalar, güneş enerjisinin söz konusu uygulamalarda kullanımının yaygınlaştırılması ve sistem ile ilgili araştırma-geliştirme faaliyetlerinin sağlanması konusunda önemli yararlar sağlamıştır. Bu program dâhilinde yer alan Program 25- Binaların Güneş Enerjisi Kaynaklı İklimlendirilmesi çalışması, 1999–2004 yılları arasında birçok ülkenin katılımı ile gerçekleştirilmiştir [2]. Benzer şekilde Program 38-Güneş Enerjisi Kaynaklı İklimlendirme ve Soğutma çalışması 2006–2010 yılları arasında gerçekleştirilmiştir [3]. Bu çalışmaların temel amaçları, konu ile ilgili çalışmaların uluslar arası ölçekte yapılan ortak projelerle geliştirilmesi, bilgi birikiminin artırılması ve paylaşımı, sistem verimlerinin iyileştirilmesi, ticari ölçekli üretimin teşviki ve yaygınlaştırılması ve yeni tasarım yazılımlarının oluşturulması olarak sıralanabilir. Sistem tasarımlarının doğru şekilde yapılması ve uygulanması için sunulan rehber kaynaklar [4-6] ve geliştirilen bilgisayar yazılımları [7] sayesinde konu ile ilgili birçok projenin uygulanması ve mevcut bilgi birikiminin artırılması mümkün olmuştur. Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu sistemler ile ilgili yapılan deneysel ve sayısal analizler [8-11], ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup> olan ülkemizde, güneş enerjisi kullanımının sağlayacağı faydaların önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, İzmir ili için örnek bir konutun ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi kaynaklı, dâhili enerji depolama özelliğine sahip LiCl-Su akışkan çiftli absorpsiyonlu ısı pompası sistemi ile karşılanması sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, bir konutun ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması durumunda hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli kazançların sağlandığı tespit edilmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Sayısal Analiz Yöntemi

Bu çalışmada İzmir ilinde yer alan örnek bir konutun tüm yıl boyunca ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının belirlenmesi ve bu ihtiyacın güneş enerjisi ile karşılanma oranının tespit edilmesi için dinamik simülasyon programı TRNSYS [7] kullanılmıştır. Programın dinamik link kütüphane (DLL) temelli yapısı sayesinde genel programlama dilleri kullanılarak; farklı cihaz, yapı ya da enerji sistemleri için oluşturulan matematik modellerin [1] bu programda simüle edilebilecek program bileşeni haline getirilmesi mümkündür. Bu sayede ısıtma-soğutma uygulamasının yapılacağı yapının özellikleri, termal enerji, ısı atım ve ısı dağıtım hatlarında kullanılan ekipmanların özellikleri kullanıcı tarafından belirlenmekte ve simülasyon sonucunda absorpsiyonlu cihazın çalışma özellikleri tespit edilebilmektedir. Simülasyon programının bu özelliği kullanılarak, çalışmada incelenen konutun, güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu ısı pompası bileşenlerinin ve güneş kolektör sisteminin matematik modeline göre oluşturulan yazılım [12] ile tüm sistemin yıl boyunca simülasyonu gerçekleştirilmiştir. İzmir ilinin atmosferik özelliklerinin belirlenmesinde Meteorologik meteorolojik verileri [13] kullanılmıştır. Simülasyon parametrelerinde, simülasyon süresi olarak günlük, haftalık, iki haftalık, aylık ve yıllık simülasyonlar tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada her ay için ayrı simülasyon yapılarak, tüm yıl için sistemin çalışma özellikleri tespit edilmiştir. Simülasyonun gerçekleştirileceği bina tipi konut, binanın bulunduğu bölge İzmir-Türkiye olarak belirlenmiştir. Sistem için yardımcı enerji kaynağı olarak temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisi kullanılmıştır. Yardımcı ısıtma-

soğutma sistemi olarak da sırasıyla; ortalama verimi 0,7 olan elektrikli ısıtıcı ile soğutma tesir katsayısı 2 olarak belirlenen konvansiyonel buhar sıkıştırımlı yardımcı soğutma sistemi seçilmiştir. Sistemin ekonomik analizi için, konutsal kullanımda ortalama elektrik birim fiyatı 0,24 kWh/TL [14] olarak alınmıştır.

Sayısal analiz işleminde, konutun ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması amacıyla dâhili enerji depolamalı LiCl-Su eriyikli absorpsiyonlu ısı pompası ve düz tip güneş kolektörlerinden oluşan güneş kolektör sistemi kullanılmıştır. Ayrıca sıcak kullanım suyunun ve absorpsiyonlu ısı pompası sisteminin çalışması için ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin sıcak su şeklinde harici olarak depolanması amacıyla 1 m<sup>3</sup> hacminde sıcak su deposu kullanılmıştır. Pastakkaya tarafından bildirildiğine göre [1] konu ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda da ısıtma uygulaması için absorpsiyonlu cihazın yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmasının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle simülasyon programında kontrol stratejisi olarak, güneş kolektörlerinden elde edilen termal enerjinin; soğutma uygulamasında birincil soğutma sistemi olarak kullanılan absorpsiyonlu cihaza direkt olarak verilmesi, ısıtma uygulamasında ise ısıtma ihtiyacı ve sıcak kullanım suyu eldesi için harici depolama tanklarına verilmesi öngörülmüştür. Bu durumda ısıtma uygulaması için absorpsiyonlu ısı pompası sisteminin ısıtma özelliğinden faydalanmak yerine, güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisinin ısı dağıtım sistemine aktararak ısıtma olayını gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

## 2.2. Örnek Konutun ve Güneş Enerjisi Sisteminin Özellikleri

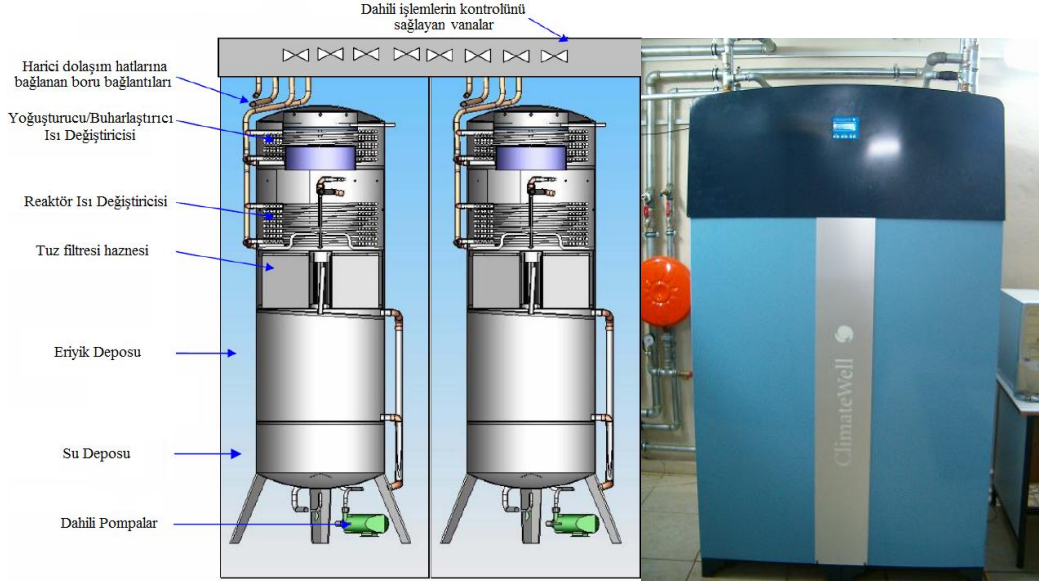
Çalışma dâhilinde yapılan sayısal analiz için tasarlanan konut beş kişilik bir aile tarafından kullanılmaktadır ve toplam 150 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahiptir. Konutta kullanılan güneş kolektör sistemi 40 m<sup>2</sup> toplam yüzey alanına sahip düz kolektörlerden oluşmaktadır ve kolektörler güneşe bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Güneş kolektör sistemi, hem ısıtma hem de soğutma amaçlı olarak kullanılacağından, simülasyon işlemlerinde kolektör eğim açısı 30° olarak tespit edilmiştir. Absorpsiyonlu sistemin, güneş kolektör sistemine uzaklığı 20 m olarak alınmıştır. Sistemin güvenliği açısından güneş kolektör sıcaklığının maksimum değeri 115 °C olarak tespit edilmiştir. Sıcak kullanım suyu depo sıcaklığı 50°C ve kullanım suyu ihtiyacı kişi başı 30 l olacak şekilde belirlenmiştir. Yapı içerisindeki iç ısı kazançları 3 W/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Isıtma uygulaması için iç ortam konfor sıcaklığı 20°C, soğutma uygulaması için 25°C olarak tespit edilmiştir.

Yapının çatı alanı 150 m<sup>2</sup> olup, kuzey ve güney yönüne bakan dış duvar alanı 37 m<sup>2</sup>, doğu ve batı yönüne bakan dış duvar alanı ise 26 m<sup>2</sup> dir. Dış duvarların toplam ısı geçiş katsayıları, TS 825 standardının, illerin yer aldığı derece-gün bölgeleri için tavsiye ettiği değerlere göre belirlenmiştir [15]. Buna göre 38.52 K enleminde yer alan ve TS 825 standardına göre 1. derece-gün bölgesinde bulunan İzmir ili için dış duvar ve pencere için tavsiye edilen ısı geçiş katsayısı değerleri sırasıyla 0,8 W/m<sup>2</sup>K ve 2,8 W/m<sup>2</sup>K olarak alınmıştır. Yapının pencere alanları kuzey ve güney yönünde 8 m<sup>2</sup>, doğu ve batı yönünde ise 4 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Binada güneş radyasyonundan koruyucu sistemler yer almamaktadır. Absorpsiyonlu sistemde ısı dağıtım sistemi olarak, çalışma sıcaklık aralığı soğutma uygulaması için 7–12°C, ısıtma uygulaması için 50–40°C olan fan-coiller, ısı atım sistemi olarak da 0,8 kW aksiyel fanlı ıslak tip soğutma kulesi kullanılmıştır. İzmir ili için aylık soğutma kulesi tasarım sıcaklıkları belirlenerek, simülasyon işlemine dahil edilmiştir [16]. Sistemde 1 m<sup>3</sup> hacminde harici sıcak su deposu bulunmaktadır ve tasarım sıcaklık değeri yaz ve kış ayları için 80 °C olacak şekilde ayarlanmıştır.

## 2.3. Absorpsiyonlu Isı Pompası Sistemi

Absorpsiyonlu ısı pompaları, termal enerji vasıtasıyla ısıtma ve soğutma olayını gerçekleştiren cihazlardır. Temelde çalışma prensibi buhar sıkıştırımlı mekanik ısı pompası sistemlerine benzemektir. Buhar sıkıştırımlı çevrimde kompresörün yaptığı mekanik işlemler, absorpsiyonlu soğutma sisteminde fiziko-kimyasal işlemler sonucunda gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada konutun soğutma yükünü karşılamak amacıyla ticari olarak üretilen, dâhili enerji depolamalı güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu ısı pompası [17] kullanılmıştır. Tek kademeli LiCl-Su eriyikli sistem, termal enerjisi kendi içerisinde depolama özelliğine sahiptir. Sistem, çevrim boyunca şarj-deşarj periyotları ile

çalıştığından, kesikli absorpsiyonlu çevrim özelliğindedir. Absorpsiyonlu ısı pompası sisteminin genel görünümü Şekil 1.de yer almaktadır.



**Şekil 1.** Absorpsiyonlu Isı Pompasının Genel Görünümü

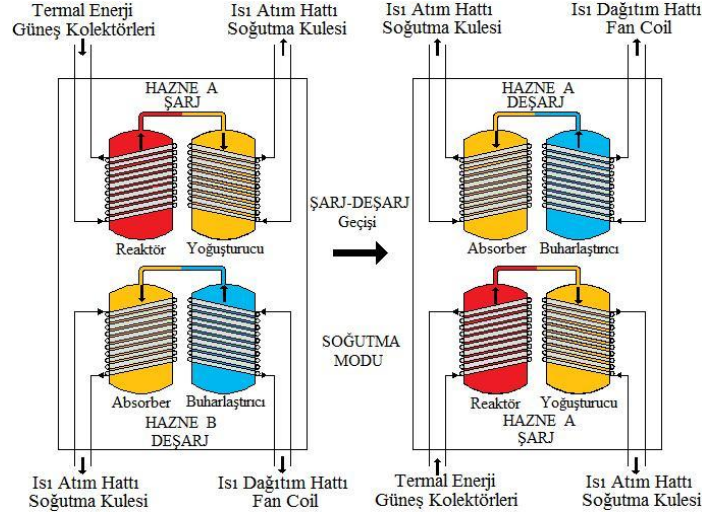
Isı pompası sistemi, sürekli çevrim ile çalışan geleneksel absorpsiyonlu sistemlere göre önemli farklılıklara sahiptir. Sistem, birbirinden bağımsız iki eş hazne ve bu haznelere harici hatlara bağlayan bir pompalama ünitesinden oluşmuştur. Harici tesisatlar, termal enerji hattı, ısı atımı hattı ve ısı dağıtım hattıdır. Cihaz içerisinde, enerjiyi LiCl tuzuna şarj edebilen ve depolama tankı olarak kullanılabilen veya tuzda depolanan enerjiyi soğutma enerjisi şeklinde deşarj edebilen Hazne-A ve Hazne-B olmak üzere birbirinden bağımsız iki hazne bulunmaktadır. Haznelerin şarj-deşarj geçişleri manuel ya da cihazın farklı çalışma modlarına göre otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir [17]. Her hazne, iki farklı bölmeden oluşmuştur. Bu bölmelerden, biri LiCl tuzu ile diğeri ise su ile doldurulmuştur.

Sistemin soğutma modu için çalışma prensibinin şematik görünümü Şekil 2.'de yer almaktadır. Sistemin soğutma modundaki şarj olayı esnasında Hazne-A'da, tuz bölümünde (reaktör) bulunan eriyik, dışarıdan verilen ısı ile kurutulur, oluşan su buharı diğer bölmeye (yoğuşturucu) gönderilir. Yoğuşturucuda oluşan ısı enerjisi ise ısı atım hattında yer alan soğutma kulesi vasıtasıyla dışarı atılır. Deşarj olayını gerçekleştiren Hazne-B'de, tuz ile dolu olan bölümde (absorber); su ile dolu olan bölümde (buharlaştırıcı) soğutma olayını gerçekleştirmek için ortamdan çekilen termal enerji ile oluşan su buharı absorbe edilir. Bu esnada buharlaştırıcı ile soğutma olayı gerçekleştirilerek, ısı dağıtım hattı aracılığıyla mahalın soğutma yükü karşılanır. Absorberde, absorpsiyon olayı esnasında oluşan ısı enerjisi ısı atım hattındaki soğutma kulesi vasıtasıyla dışarı atılır. Şarj-Deşarj geçişi ile şarj modunda olan Hazne-A deşarj moduna geçerek soğutma olayını gerçekleştirirken, deşarj modundaki Hazne-B şarj moduna geçerek termal enerjinin depolanmasını sağlar [1].

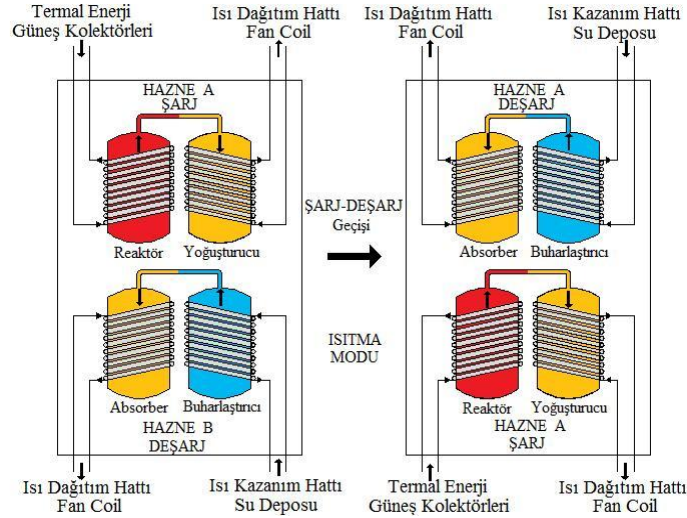
Sistemin ısıtma modu için çalışma prensibinin şematik görünümü Şekil 3.'de yer almaktadır. Sistemin ısıtma modundaki şarj olayı esnasında Hazne-A'da, reaktörde bulunan eriyik, dışarıdan verilen ısı enerjisi ile kurutulur, oluşan su buharı yoğuşturucuya gönderilir. Yoğuşturucuda oluşan termal enerji ise ısı dağıtım hattında yer alan fan coil vasıtasıyla ısıtılmak istenen mahaleye gönderilir. Deşarj olayını gerçekleştiren Hazne-B de yer alan absorberde; buharlaştırıcı tarafından düşük sıcaklıklı bir ısı kaynağından (su deposu, yüzme havuzu) çekilen termal enerji ile oluşan su buharı absorbe edilir. Absorberde, absorpsiyon olayı esnasında oluşan ısı enerjisi, yoğuşturucudakine benzer şekilde ısı dağıtım hattı ile mahaleye gönderilerek, mahalın ısıtılması sağlanır. Şarj-Deşarj geçişi ile şarj modunda olan Hazne-A deşarj moduna geçerken, deşarj modundaki Hazne-B şarj moduna geçerek ısı enerjinin depolanmasını sağlar. Sistemin ısıtma modunda ısı dağıtım hattına gönderdiği ısı enerjinin sıcaklık değeri (35 – 40 °C), sistemin çalışması için gereken sıcaklık değerinden (80 – 90 °C), daha düşüktür.



Bu nedenle absorpsiyonlu sistemin ısıtma modunda ısı pompası prensibi ile çalıştırıldığında ısıtma tesir katsayısı 1,4 civarında tespit edilmiş olsa da [1], [18], güneş enerjisinden elde edilen termal enerjinin direkt olarak ısıtma amaçlı olarak kullanılması daha doğru bir yaklaşım olmaktadır. Isıtma periyodunda güneşten elde edilen ihtiyaç fazlası ısı enerjisi ise absorpsiyonlu sistemin haznelerinde ya da harici bir depolama sisteminde depolanarak, güneş enerjisinin yetersiz kaldığı ya da elde edilemediği saatlerde kullanılabilir.



Şekil 2. Soğutma Modunda Absorpsiyonlu Sistemin Çalışma Prensibi [1]

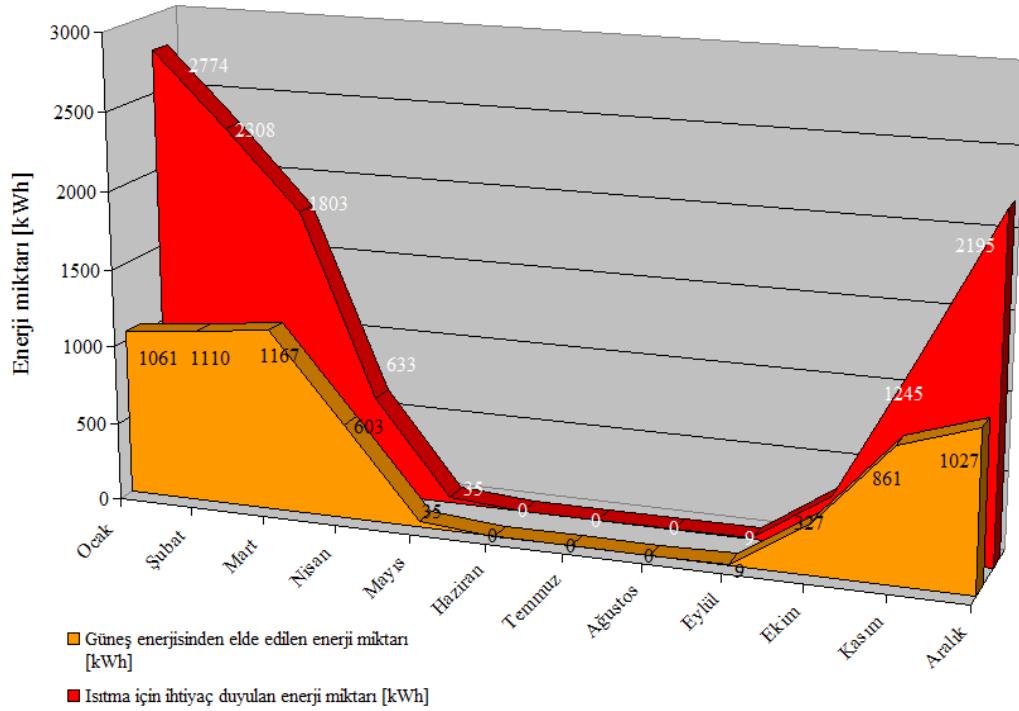


Şekil 3. Isıtma Modunda Absorpsiyonlu Sistemin Çalışma Prensibi [1]

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İzmir ili için tasarlanan örnek konutun tüm bir yıl için yapılan sayısal analizi sonucunda yıllık ısıtma ihtiyacının aylara göre değişimi ve ısıtma ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma miktarları Şekil 4.'te sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda konutun yıllık ısıtma ihtiyacının %73'lük bölümü güneş enerjisi ile karşılanmıştır. Mayıs ve Eylül aylarında ısınma ihtiyacının tamamının güneş enerjisi ile karşılandığı, Ekim ayında bu oranın %98, Nisan ayında ise %95 seviyesinde olduğu görülmektedir. Özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında yapının ısıtma ihtiyacının önemli bir bölümünün güneş enerjisi ile karşılandığı tespit edilmiştir. Isıtma ihtiyacının en fazla olduğu Ocak ayında bile güneş

enerjisinin ısıtma ihtiyacının %38'ini karşıladığı görülmektedir (Tablo 1.). Güneş enerjisinin ısıtma ihtiyacının karşılanmasında verimli bir şekilde kullanılması ile sistemden sağlanacak faydanın artırılması ve sistemin geri ödeme süresinin önemli ölçüde azaltılması mümkün olmaktadır.



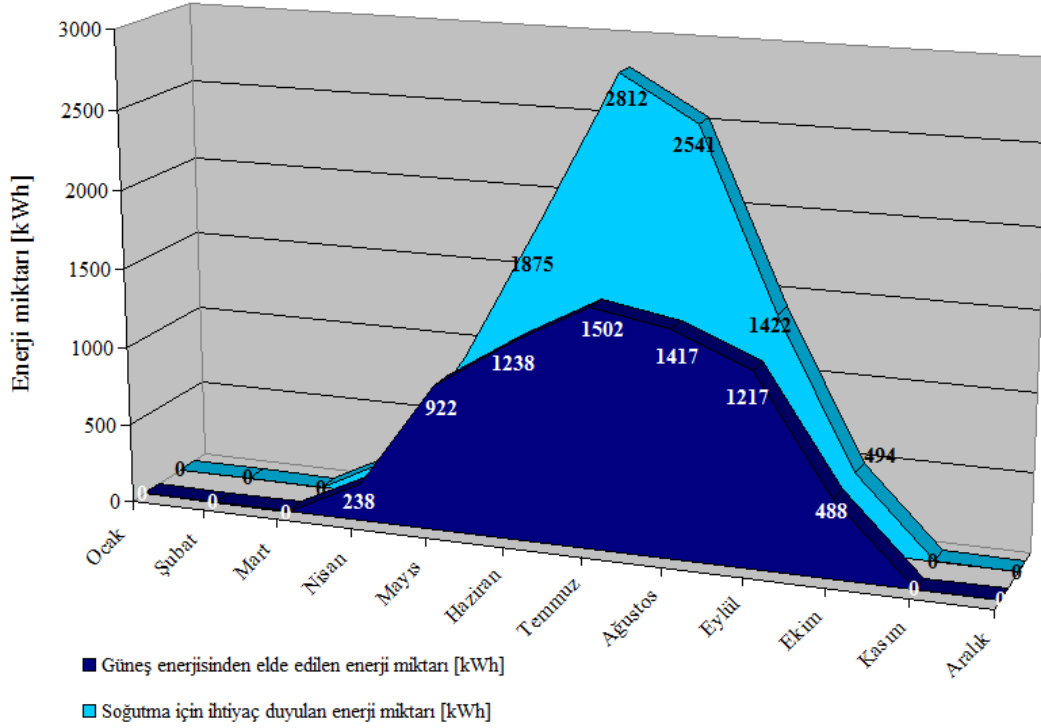
Şekil 4. Yıllık Isıtma İhtiyacı ve Güneş Enerjisi İle Karşılama Miktarının Aylara Göre Değişimi

Tablo 1. Isıtma Uygulaması İçin Yıllık Enerji İhtiyacı ve Güneş Enerjisi İle Karşılama Oranları

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
İhtiyaç duyulan enerji miktarı [kWh]	2774	2308	1803	633	35	0	0	0	9	333	1245	2195	11335
Güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarı [kWh]	1061	1110	1167	603	35	0	0	0	9	327	861	1027	6200
Güneş enerjisi ile ihtiyacın karşılanma oranı [%]	38%	48%	65%	95%	100%	0%	0%	0%	100%	98%	69%	47%	73%

Konutun yıllık soğutma ihtiyacı ve soğutma ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma miktarlarının aylara göre değişimi Şekil 5.'te, soğutma uygulaması için yıllık enerji ihtiyacı ve güneş enerjisi ile karşılanma oranları ise Tablo 2.'de sunulmuştur. Yapılan analizde güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu sistemin, konutun yıllık soğutma ihtiyacının %79'luk bölümünü karşıladığı görülmektedir. Bu durum, güneş enerjili soğutma sisteminin, bir konutun soğutma ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabildiğini ve az bir yardımcı enerji ihtiyacı ile yapının birincil soğutma sistemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca sistemin, Nisan ve Ekim aylarında soğutma ihtiyacının tamamına yakını karşılayabildiği görülmüştür. Isıtma uygulamasına benzer şekilde ilkbahar ve sonbahar aylarında yapının soğutma ihtiyacının önemli bir bölümünün güneş enerjisi ile karşılanabildiği tespit edilmiştir. Soğutma ihtiyacının en yüksek değerlere ulaştığı Temmuz ayında, absorpsiyonlu sistemin konutun soğutma ihtiyacının % 53'lük bölümünü karşıladığı görülmektedir. Güneş enerjisinden sağlanan faydalı enerji Temmuz ayında en yüksek seviyelere ulaşsa da binanın soğutma ihtiyacı da ışınım değerlerine bağlı olarak artış göstermiştir. Temmuz ayına göre Ağustos ayında güneş enerjisinin soğutma ihtiyacını karşılama oranındaki az miktardaki artışın, yine Temmuz

ayına göre Ağustos ayındaki aylık toplam soğutma miktarındaki az miktardaki azalışa paralellik göstermesi, bu durumu açık bir şekilde göstermektedir.

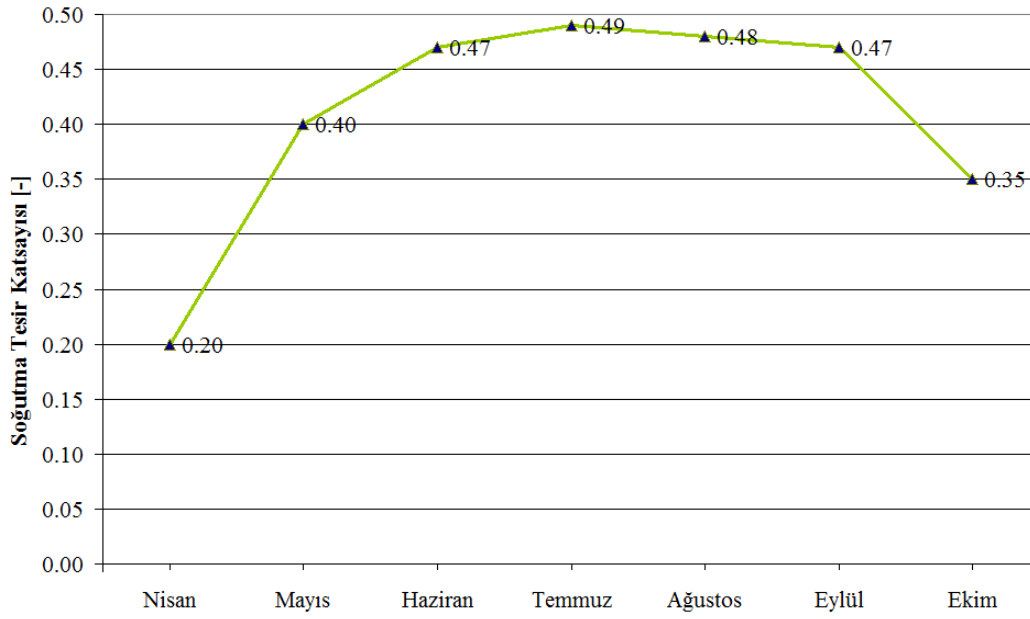


Şekil 5. Yıllık Soğutma İhtiyacı ve Güneş Enerjisi İle Karşılama Miktarının Aylara Göre Değişimi

Tablo 2. Soğutma Uygulaması İçin Yıllık Enerji İhtiyacı ve Güneş Enerjisi İle Karşılama Oranları

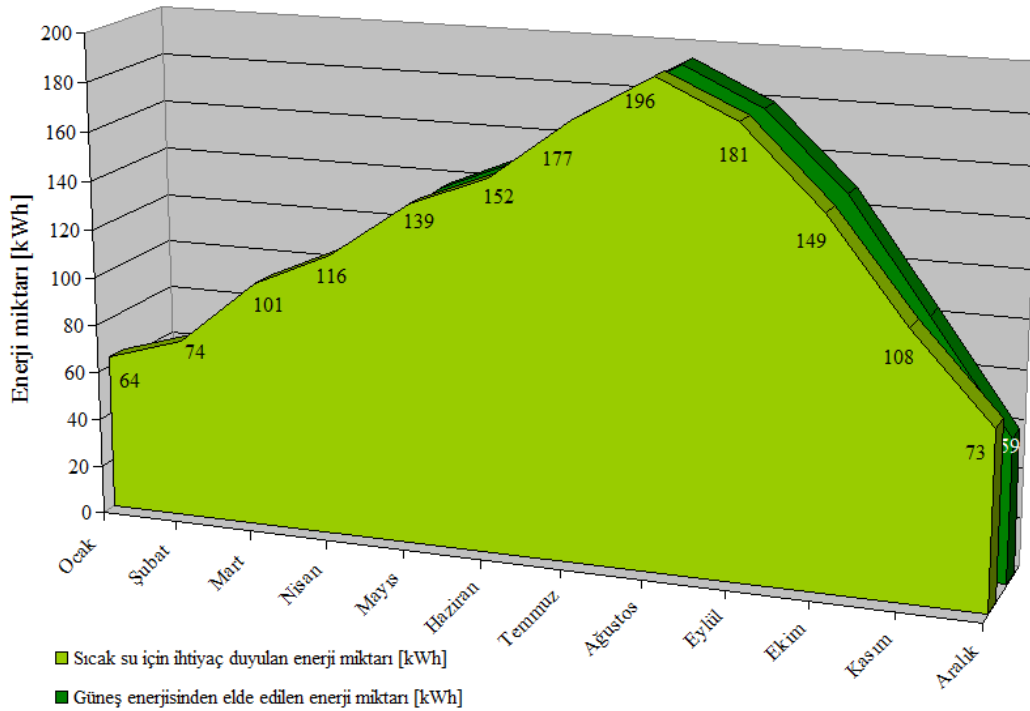
AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
İhtiyaç duyulan enerji miktarı [kWh]	0	0	0	241	964	1875	2812	2541	1422	494	0	0	10349
Güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarı [kWh]	0	0	0	238	922	1238	1502	1417	1217	488	0	0	7022
Güneş enerjisi ile ihtiyacın karşılama oranı [%]	0%	0%	0%	99%	96%	66%	53%	56%	86%	99%	0%	0%	79%

Absorbsiyonlu sistemlerde, birim enerji başına yapılan soğutma olarak tarif edilen soğutma tesir katsayısının (STK), yapılan sayısal analizde soğutma periyodu boyunca aylık ortalama değerlerinin değişimi Şekil 6.'da görülmektedir. Buna göre tüm soğutma periyodu boyunca absorpsiyonlu sistemin yıllık ortalama STK değerinin 0,41 olduğu tespit edilmiştir. STK değeri, güneş enerjisinin en yüksek değerlerde elde edildiği Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 0,49 ve 0,48 değerlerine ulaşmıştır. Bu değer Haziran ve Eylül aylarında 0,47 değerinde olduğu görülmektedir. Güneş enerjisinden elde edilen faydalı enerjinin artışına paralel olarak sistemin STK değerinin arttığı görülmektedir. Her ne kadar Temmuz ve Ağustos aylarında dış ortam sıcaklığının artışına bağlı olarak yaş termometre sıcaklığının yükselmesi sonucu ısı atım sisteminin verimi azalsa da, sistemin reaktörünü besleyen ısı enerji hattındaki sıcaklığın ve güneş enerjisinden sağlanan faydalı enerjinin artışıyla sistemin STK değeri artmaktadır. STK değerinin, soğutma ihtiyacının bulunmasına rağmen güneş ışınım miktarının az olduğu Nisan ayında, soğutma periyodu boyunca en düşük değeri aldığı görülmektedir.



Şekil 6. Soğutma Tesir Katsayısının Aylara Göre Değişimi

Konutun yıllık sıcak kullanım suyu ihtiyacı ve bu ihtiyacın güneş enerjisi ile karşılanma miktarlarının aylara göre değişimi Şekil 7.'de, sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması için yıllık enerji ihtiyacı ve güneş enerjisi ile karşılanma oranları ise Tablo 3.'de sunulmuştur.



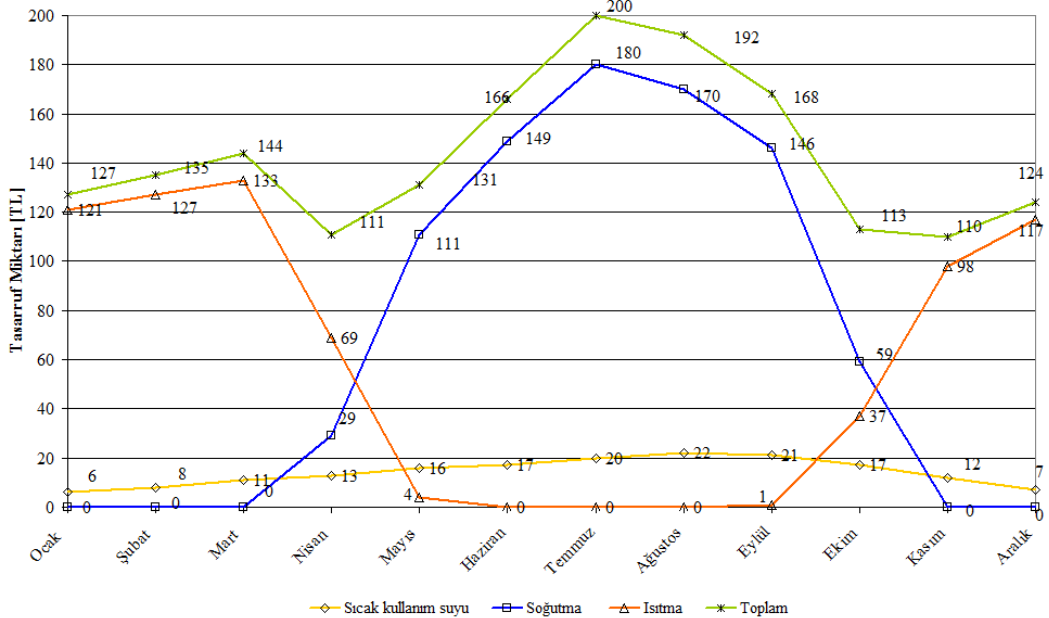
Şekil 7. Yıllık Sıcak Kullanım Suyu İhtiyacı ve Güneş Enerjisi İle Karşılanma Miktarının Aylara Göre Değişimi



**Tablo 3.** Yıllık Sıcak Kullanım Suyu İhtiyacının Karşılanması İçin Yıllık Enerji İhtiyacı ve Güneş Enerjisi İle Karşılama Oranları

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
İhtiyaç duyulan enerji miktarı [kWh]	64	74	101	116	139	152	177	196	181	149	108	73	1530
Güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarı [kWh]	51	66	93	115	138	152	176	195	180	149	104	59	1478
Güneş enerjisi ile ihtiyacın karşılanma oranı [%]	80%	89%	93%	99%	99%	100%	100%	100%	99%	100%	96%	81%	95%

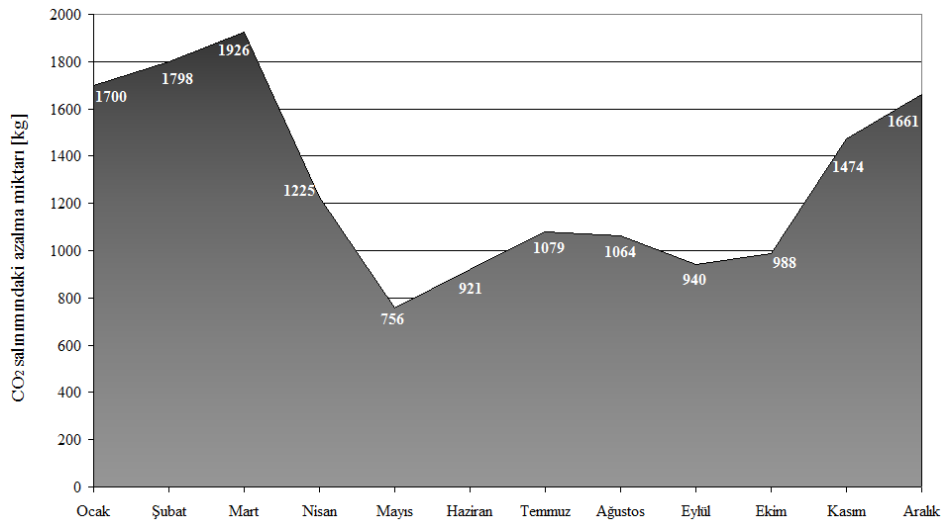
Simülasyon sonucunda örnek konutun yıllık sıcak kullanım suyu ihtiyacının %95'lik bölümünün güneş enerjisi tarafından karşılanması, konutların bu ihtiyacının giderilmesinde güneş enerjisi kullanımının önemine işaret etmektedir. Özellikle yaz aylarında sıcak kullanım suyunun temini için gereken enerjinin tamamı güneşten sağlanmıştır. Ocak ayında dahi bu oranın %80'ler seviyesine çıktığını görmek mümkündür. Ülkemizde son derece yaygın olan güneş enerjili sıcak su sistemlerinin, güneş enerjili ısıtma-soğutma sistemleri ile birlikte kullanılması durumunda güneş enerjisinden sağlayacağımız enerji tasarrufunun önemli ölçüde artacağı aşikârdır. Bu sistemlerin hayata geçirilmesi ile sağlanacak ekonomik tasarrufun belirlenmesi amacı ile yapılan sayısal analiz çalışmasında, güneş enerjisinin yıl boyunca ısıtma-soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyaçlarını karşılama oranına bağlı olarak sağladığı ekonomik tasarruf miktarları belirlenmiştir. Şekil 8.'de bu tasarruf miktarlarının aylara göre değişimi görülmektedir. Buna göre yapılan analiz sonucunda sağlanan ekonomik tasarruf miktarının yıllık toplam 1721 TL olduğu tespit edilmiştir. Bu tasarrufun %49'a yakın kısmını 844 TL'lik tasarruf miktarı ile soğutma, %41'lik bölümünün 707 TL tasarruf ile ısıtma ve 170 TL tasarruf ile %10'luk kısmını da sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması sağlamıştır. Ekonomik açıdan en büyük tasarrufun gerçekleştiği ayın toplamda 200 TL ile Temmuz ayı olduğu görülmektedir. Buna göre elde edilen ekonomik tasarruf miktarını etkileyen en önemli parametrenin sağlanan faydalı güneş enerjisi miktarı olduğu görülmüştür. Kış aylarında sağlanan toplam ekonomik tasarruf miktarı 386 TL iken, yaz aylarında bu değer 558 TL olarak kaydedilmiştir.

**Şekil 8.** Güneş Enerjisi Kullanımına Bağlı Ekonomik Tasarruf Miktarlarının Aylara Göre Değişimi

Güneş enerjisinin kullanımına bağlı enerji tasarrufunun, ekonomik açıdan da önemli faydalar sağladığı görülmektedir. Bu tasarruf ile işletme maliyetlerinin azalması ve sistemin geri ödeme süresinin

kısalması sağlanabilir. Güneş enerjisi kaynaklı sistemlerin kullanımının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engelin sistemin ilk yatırım maliyeti olduğu düşünüldüğünde sistemin kullanımı ile birlikte sağlanacak ekonomik tasarrufların artışı, bu engelin aşılması noktasında oldukça önemlidir. Ekonomik tasarrufların artırılması; doğru sistem tasarımı ve doğru ekipmanların kullanımı ile mümkün olacağı gibi, sistem kullanıcıları için sağlanacak devlet teşviki ve enerji maliyetlerinin iyileştirilmesi için tarifelerin yeniden düzenlenmesi ile de mümkün kılınabilir. Pastakkaya tarafından bildirildiğine göre [1] yeni inşa edilecek bir binanın ısıtma-soğutma ve sıcak kullanım suyu temini için kurulacak benzer bir güneş enerjisi sisteminin ilk yatırım maliyeti 45 000 TL olarak düşünülebilir. Konutun söz konusu ihtiyaçlarının klasik sistemlerle (yoğuşmalı kombi ve duvar tipi klima) karşılanması durumunda sistemin ilk yatırım maliyeti yaklaşık 15 000TL olmaktadır. Buna göre absorpsiyonlu sistem ile klasik sistemin ilk yatırım maliyetleri arasındaki fark yaklaşık olarak 30 000 TL civarındadır. Her ne kadar sayısal analiz işlemlerinde konut için yardımcı enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi düşünülmüş olsa da, simülasyon sonucunda elde edilen yıllık 1721 TL ekonomik tasarruf miktarı göz önüne alındığında, benzer bir sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 17,5 yıl olarak hesaplanmaktadır. Güneş kolektörlerinin kullanım ömrünün yaklaşık 25 yıl olduğu göz önüne alındığında, sistem için hesaplanan geri ödeme süresinin, sistemin kullanım ömründen daha kısa olduğu ve sistemin uygulanabilir nitelikte olduğu sonucuna varılır. Ancak geri ödeme süresinin oldukça uzun oluşu, sistemin alternatifleri ile olan rekabet gücünü azaltacaktır. Bu noktada sistemin kurulum maliyetini azaltmak, sistemin uygulanabilir niteliğini arttırmak açısından önemlidir. Güneş enerjisinden maksimum şekilde faydalanmak, sistemin geri ödeme süresinin azaltılması noktasında büyük önem taşımaktadır. Örneğin, güneş enerjili sistemin kurulduğu yapı dahilinde bir yüzme havuzunun bulunması halinde, havuz suyunun ısıtılması için absorpsiyonlu sistemin ısı atım hattındaki ısı enerjinin kullanılması ile hem sistemin soğutma verimi artacak hem de havuzun ısıtılması sağlanacaktır. Eğer havuzun kış aylarında da kullanılması söz konusu ise, güneş kolektörlerinden sağlanan ısı enerjisi ile havuzun ısıtılması ve sistemin sağladığı enerji tasarrufunun önemli miktarda artışı mümkün olacaktır. Bu sayede sistemin sağladığı yıllık ekonomik tasarruf değeri artarak sistemin geri ödeme süresi azalacaktır [1].

Çalışmada enerji tasarrufuna bağlı CO<sub>2</sub> salınımindaki azalma miktarının aylara göre değişimi hesaplanmıştır. Buna göre tüm yıl boyunca güneş enerjisinin kullanımına bağlı olarak toplam 15532 kg CO<sub>2</sub> salınıminin engellendiği tespit edilmiştir. Bu miktar, 6634 l. eş değer petrol kullanımına eşittir. Şekil 9.'da, güneş enerjisinin kullanımına bağlı CO<sub>2</sub> salınımindaki azalma miktarının aylık değişimi görülmektedir. CO<sub>2</sub> salınımindaki azalma miktarı; güneş enerjisinin enerji ihtiyacını karşılama oranının yükselmesi ile birlikte artmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisinden maksimum şekilde faydalanmak CO<sub>2</sub> salınıminin önemli oranda azalmasını sağlayacaktır. Fosil yakıtların kullanımına bağlı CO<sub>2</sub> salınımi, geleceğimizi tehdit eden küresel ısınmanın oluşumunda en büyük faktörlerdendir. Dünya üzerinde enerji tüketiminin önemli bir bölümünün konutların ısıtılması ve soğutulması amacı ile kullanıldığı düşünüldüğünde, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan ısıtma-soğutma sistemlerin yaygınlaşmasının CO<sub>2</sub> salınıminin azaltılması noktasında önemli faydalar sağlayacağı ortadadır.



Şekil 9. CO<sub>2</sub> Salınımindaki Azalma Miktarının Aylara Göre Değişimi

## SONUÇ

Bu çalışmada İzmir ili için 150 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip örnek bir konutun ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu ısı pompası sistemi ile karşılanması sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda; güneş enerjisi kaynaklı sistemin yıl boyunca konutun ısıtma ihtiyacının %73'lük, soğutma ihtiyacının %79'luk ve sıcak kullanım suyu ihtiyaçlarının %95'lik kısmını karşılayabildiği tespit edilmiştir. Absorpsiyonlu sistemin soğutma periyodu boyunca soğutma tesir katsayısının yıllık ortalama değerinin 0,41 olduğu görülmüştür. Ayrıca güneş enerjili sisteminin ekonomik ve çevresel açıdan önemli faydalar sağladığı görülmüştür. Buna göre tüm yıl boyunca güneş enerjisinin kullanımına bağlı olarak sağlanan enerji tasarrufu sonucu yıllık toplam 1721 TL'lik ekonomik tasarruf sağlandığı ve 6634 l. eş değer petrol kullanımına eşit 15532 kg CO<sub>2</sub> salınımının engellendiği görülmüştür.

Çalışmada, güneş enerjisinden sağlanan faydalı enerjinin artışıyla sistem veriminin ve sistemden sağlanan tasarrufların arttığı görülmüştür. Yıl boyunca güneş enerjisinden sağlanan ekonomik tasarrufa bağlı olarak sistemin geri ödeme süresinin yaklaşık 17,5 yıl olduğu tespit edilmiştir. Sistem için hesaplanan geri ödeme süresinin, sistemin kullanım ömründen daha kısa ve sistemin uygulanabilir nitelikte olduğu sonucuna varılsa da geri ödeme süresinin oldukça uzun bir süre olması nedeni ile sistemin alternatifleri ile olan rekabet gücünün azaldığı sonucuna varılmıştır. Güneş enerjili sistemlerin daha yaygın kullanımı ile enerji kullanımına bağlı ekonomik ve çevresel sorunların önemli ölçüde azaltılabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] PASTAKKAYA B., Bir Konutun Isıtılması ve Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorpsiyonlu Sistemlerin Kullanılması, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2012.
- [2] International Energy Agency, Task 25 - Solar assisted air conditioning of buildings. 1999. <http://www.iea-shc.org/task25/index.html>-(Erişim tarihi: 31.07.2011).
- [3] International Energy Agency, Task 38 - Solar air-conditioning and refrigeration. 2006. <http://www.iea-shc.org/task38/index.html>-(Erişim tarihi: 31.07.2011).
- [4] HENNING, H.M., Solar-assisted air-conditioning in buildings – A handbook for planners, Springer Wien New York, 136 pp. 2007.
- [5] Solar heating and cooling of residential buildings: Design of systems, Solar Energy Applications Laboratory Colorado State University, University Press of the Pacific, Hawaii, 632 pp. 2005.
- [6] Solar heating and cooling of residential buildings: Sizing, installation and operation of systems, Solar Energy Applications Laboratory Colorado State University, University Press of the Pacific, Hawaii, 744 pp. 2005.
- [7] TRNSYS – Transient systems simulation program. 2011. <http://www.trnsys.com/>-(Erişim tarihi: 01.09.2011).
- [8] PASTAKKAYA B., YAMANKARADENİZ N., COŞKUN S., KAYNAKLI Ö., YAMANKARADENİZ R. Experimental Analysis of a Solar Absorption System with Interior Energy Storage. *Journal of Energy in Southern Africa* 23: 39-49. 2012.
- [9] PASTAKKAYA B., ÜNLÜ K., YAMANKARADENİZ R. Isıtma ve Soğutma Uygulamalarında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorpsiyonlu Sistemler. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 57: 25-32. 2008.
- [10] GÜNHAN, T., ŞENCAN ŞAHİN, A., DEMİR, V., BİLGİN, H., EKREN, O., EREK, A. LiCl-Su çiftiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi, 1. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi İKSES'12 Balıkesir, 2012.
- [11] KENT F., KAPTAN N. İzmir ilindeki elli yataklı bir otel için güneş enerjisi destekli ısıtma ve absorpsiyonlu soğutma sisteminin teorik incelenmesi. TESKON IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir, 2009.
- [12] ClimateWell-Solar Cooling Version 1.1, Sweden, 2010.
- [13] Meteororm meteorolojik verileri, <http://meteororm.com/> (Erişim tarihi: 01.09.2011)

- [14]TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi) 2012 tarifeleri, 2012. [http://www.tedas.gov.tr/tarifeler\\_xls/2012\\_trf/ocak%202012.xls](http://www.tedas.gov.tr/tarifeler_xls/2012_trf/ocak%202012.xls) – (Erişim tarihi 22.01.2012)
- [15]Isı yalıtım hesaplama programı v4.0 Türkiye Gaz Beton Üreticileri Birliği, Türkiye. 2009.
- [16]ASHRAE American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers Hand Book, ASHRAE Inc, US. 2009.
- [17]ClimateWell Model CW 20 – Design \_guidelines\_cw10\_cw20\_v9\_32\_1\_EN. 2010.
- [18]<http://www.climatewell.com>- (Erişim tarihi:14.06.2010).
- [19]BALES, C., NORDLANDER, S. TCA Evaluation lab measurements, modelling and system simulations, Solar energy research center, Borlänge, Sweden. 2005.

## ÖZGEÇMİŞ

### Bilsay PASTAKKAYA

1982 yılında Bursa'da dünyaya geldi. Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2003 yılında tamamladı. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2005 yılında Yüksek Lisans, 2012 yılında Doktora eğitimini tamamladı. 2010 yılında University of South Florida-Clean Energy Research Center'dan aldığı davet üzerine, bu kurumda absorpsiyonlu sistemler konusunda araştırma çalışmalarına katılmıştır. 2005 yılından beri Uludağ Üniversitesi Orhangazi Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta ve araştırma konuları ile ilgili yerli ve yabancı kuruluşlara teknik danışmanlık hizmeti vermektedir.

### Mustafa Kemal İŞMAN

1979 Samsun doğumlu olan Mustafa Kemal İşman, ilk ve orta eğitimini Samsun'da tamamladı. Uludağ Üniversitesinden Makine Mühendisliği alanında, Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini sırasıyla 2001, 2005 ve 2011 tarihlerinde aldı. 2002-2011 tarihleri, arasında Uludağ Üniversitesinde Araştırma Görevlisi, 2011-2012 tarihleri arasında ise Ondokuz Mayıs Üniversitesinde öğretim üyesi olarak görev yaptı. Isı ve Kütle Transferi Uygulamaları, CFD ve Tesisat Uygulamaları konularında çalışmaları olan yazar, halen Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümündeki görevini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### M. Özgün KORUKÇU

Dr. Mehmet Özgün KORUKÇU, 1979 yılında Ankara'da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamlayarak 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında aynı bölümdeki Enerji Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başlamış, 2005 yılında "Bir Kombine Güç Santralindeki Isıl Sistemlerin Sonlu Zaman Termodinamiği Analizi" isimli yüksek lisans çalışması ile Yüksek Mühendis unvanını almıştır. Korukçu, 2010 yılında "Otomobil Kabininde Termal Parametrelerin ve İç Hava Kalitesinin Değişiminin Deneysel Ölçümlerle incelenmesi" konulu çalışması ile doktor unvanını almıştır. Danimarka Teknik Üniversitesi Rüzgar Enerjisi Bölümünde doktora sonrası çalışmasını tamamlayarak 2012 yılının ağustos ayında Türkiye'ye dönen Korukçu halen Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümündeki görevini sürdürmektedir.

### Recep YAMANKARADENİZ

1954 yılında Bafra'da doğdu. 1975 yılında İTÜ Makine Fakültesi'nde doktorasını tamamladı. 1990 yılında Isı Tekniği dalında doçent oldu. 1995 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde Profesör oldu. Halen Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Isıtma, soğutma, klima, doğalgaz ve yangın konularında çalışmalarını sürdürmektedir.