

# Güneş Enerjisi Destekli Soğutma Sistemleri ve Örnek Projenin Diğer Uygulamalarla Karşılaştırılması

Cenk ONAN  
Derya B. ÖZKAN

## ÖZET

*Enerji maliyetlerinin yüksek olduğu günümüzde, soğutma ve ısıtma sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ile soğutma uygulamaları son yıllarda Avrupa'da hızla artmaktadır. Bu makale de güneş enerjisi destekli soğutma uygulamalarının teknik detayları anlatılmıştır. Farklı güneş enerjisi destekli soğutma sistemlerinin verimleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Türkiye'de kurulacak sistemlerde, güneş enerjisi desteğinin ısı kapasitesi araştırılmıştır. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin soğutma etkinliğinin ve kapasitesinin değişimi, ülkemizin meteorolojik verilerine göre Matlab bilgisayar programı yardımıyla belirlenmiştir. Ülkemizin güneş ışınımı ve dış hava sıcaklık değerleri ile diğer ülkelerde mevcut kurulu sistemlerin dizayn parametreleri karşılaştırılmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Güneş kolektörü, Absorbsiyon, Etkinlik Katsayısı, Generatör, Güneş Işınımı.

## 1. Giriş

Güneş kolektörlerinden sağlanan ısı ile çalışan soğutma sistemleri ile ilgili yapılan bir araştırmada, 2004 yılına kadar 70 adet sistemin kurulduğu ve bu uygulamaların birçoğunun Almanya ve İspanya'da olduğu görülmüştür. Kurulmuş olan tüm bu sistemlerin toplam soğutma kapasitesi 6.3 MW ve toplam kolektör alanı büyüklüğü 17500 m<sup>2</sup>'dir. Bu sistemlerde kullanılan soğutma sistemleri Şekil 1'de ayrıntılı olarak verilmiş olup, % 59 ile en büyük oranda absorpsiyonlu çillerin tercih edildiği görülmektedir. 4 farklı tip güneş enerjisiyle soğutma tekniğinin kolektör alanı, soğutma kapasitesi, mevcut sistem sayısına göre yüzdesel dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir[1].

## 2. Sistemlerin Teorik Analizi

Tersinir çevrimlere dayalı ısı ve soğutma makineleri, gerçek ısı ve soğutma makinelerinin karşılaştırıldığı modellerdir ve aynı zamanda gerçek çevrimlerin geliştirilmesi aşamasında başlangıç noktalarını oluştururlar. En çok bilinen tersinir çevrim, 1824 yılında Fransız mühendis ve bilim adamı Sadi Carnot tarafından ortaya atılan Carnot çevrimidir. Carnot çevrimi, tüm tersinir bir çevrim olduğundan

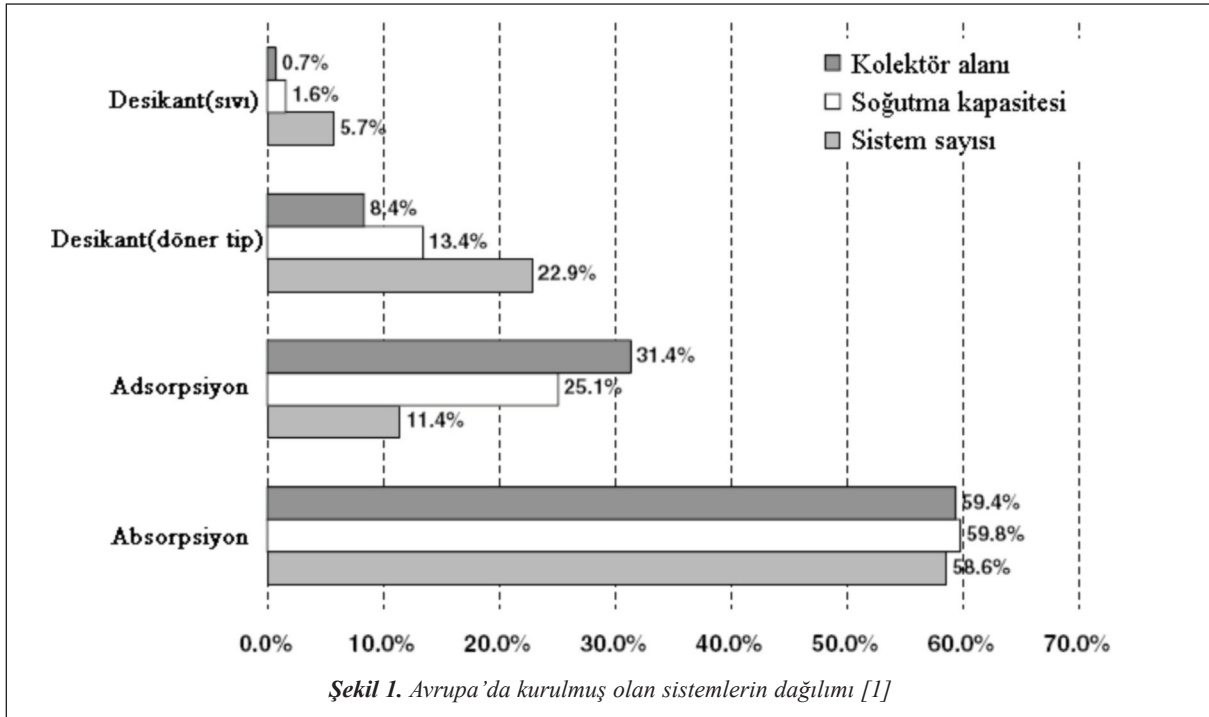
## Abstract:

Nowadays energy costs are high, using renewable energy sources has gained importance in cooling and heating systems. In recent years the use of solar energy assisted cooling application, a type of renewable energy source, is increasing rapidly in Europe. The technical details of solar-assisted cooling applications are described in this article. Furthermore, efficiencies of different solar-assisted cooling systems are compared with each other. Support of solar energy thermal capacity has been investigated in the systems to be established in Turkey. Change of coefficient performance and capacity of absorption cooling system have been identified according to our country's meteorological data with the help of Matlab computer program. Solar radiation and outside temperature values of our country and design parameters of the existing systems in the other countries are compared.

## Key Words:

Solar Collector, Absorption, COP, Generator, Solar Radiation.

## Makale



onu oluşturan tüm hal değişimleri ters yönde gerçekleştirilebilir. Ters Carnot çevrimine göre çalışan bir soğutma makinesinin soğutma etkinliği,

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{1}{Q_H / Q_L - 1} \quad (1)$$

olarak ifade edilmektedir. Ayrıca tersinir bir soğutma makinesinin, soğutma etkinliği, tersinir makinenin ısı alışverişisiyle ısı enerji depolarının mutlak sıcaklıkları arasında ilişki kuran,

$$\left( \frac{Q_H}{Q_L} \right)_{\text{tr}} = \frac{T_H}{T_L} \quad (2)$$

denklemini kullanarak,

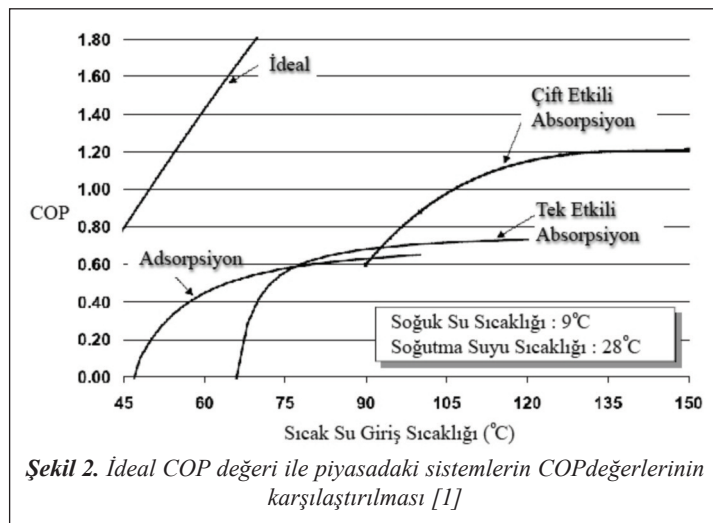
$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{1}{T_H / T_L - 1} \quad (3)$$

şeklinde de ifade edilmektedir[2]. Güneş enerjisi destekli sistemlerin ters Carnot çevrimi prensiplerine göre çalışan ideal bir soğutma makinesi ile karşılaştırılması Şekil 2'de verilmiştir.

## 2.1 Güneş Enerjisinin Soğutma Amaçlı Kullanımının İncelenmesi

Güneş enerjisi destekli farklı soğutma sistemleri incelendiğinde 1 kW soğutma yükü için absorpsiyonlu çillerde gerekli kolektör alanı 2.72 m<sup>2</sup> / kW, adsorpsiyonlu çillerde 3.49 m<sup>2</sup> / kW olup, soğutma sistemine göre 0.5'den 5.5 m<sup>2</sup> / kW kadar geniş bir aralıkta değişebilmektedir[1].

SACE (Solar air-conditioning in Europe) uygulamalarında NH<sub>3</sub> – su çifti kullanan absorpsiyonlu sis-



temler için ortalama COP değeri 0.60, LiBr – su kullanılan sistemlerde 0.63’ dır. Bu sistemlerin bir çoğu 97 °C’nin altındaki düzlemsel tip kolektörler ile çalıştırılmaktadır. SACE uygulamalarının % 63’ünde düzlemsel tip kolektörler, % 21’inde de vakum borulu kolektörler kullanılmaktadır. NH<sub>3</sub> – su çifti kullanıldığı takdirde LiBr-su akışkan çiftine oranla daha fazla güneş kolektörüne gereksinim duyulmaktadır ve bunun sonucunda sistemlerin yatırım maliyetleri de artmaktadır[3].

Güneş enerjisi sisteminde, besleme suyu sıcaklığı 60 ile 90 °C arasında ise, düzlemsel güneş kolektörleri kullanılabilir. Seçici yüzeyli düzlemsel güneş kolektörleri ile besleme suyu sıcaklığı 120 °C’lere kadar çıkarılabilir. Hareketsiz vakum borulu kolektörlerin kullanılması halinde ise, sistemin besleme suyu sıcaklığı 73 °C ile 97 °C arasında olacaktır. Ayrıca parabolik odaklayıcı kolektörler ile bu sıcaklık değeri 165 °C’lere ulaşabilmektedir[4].

Avrupa’da ki uygulamalardan geliştirilme aşamasında en fazla yatırım ve işletme maliyetine sahip sistem, düşük soğutma kapasitesine sahip amonyak-su ile çalışan 10 kW kapasiteli absorpsiyonlu soğutma cihazı ile güneşin konumuna bağlı olarak yön değiştiren odaklayıcı kolektörlerin kullanıldığı, 1 kW soğutma yükü için 8420 € harcanan sistem olmuştur. Yüksek soğutma kapasitesine sahip (700 kW) absorpsiyonlu soğutma cihazı ile düzlemsel kolektörler tercih edildiğinde ise 1 kW soğutma yükü için 1286 € harcanarak en düşük maliyetli sistem meydana getirilebilmiştir[3].

### 3. Güneş Enerjisi Destekli Soğutma Sistemlerinin Avrupa’da ki Uygulamaları

1991 yılında Güney Fransa’daki şarap mahzenine güneş enerjisi destekli soğutma sistemi kurulmuştur ve o tarihten beri planlandığı gibi sorunsuz çalışmaktadır. Bu sistemde güneş kolektörleri ile enerjinin depolanması, düşük sıcaklıkta soğuk su üretilmesi, mahalın soğutulması amaçlanmıştır.

Şarap depolama kapasitesi üç milyon

şişe şarap olan mahzenin iki katı yer altında olup, toprak temaslı dış duvara sahiptir. Toplam üç katlı olan binanın birinci katı ise güneş ışınlarına maruz kalmaktadır ve ısı kazançları diğer iki kata göre oldukça fazladır. Şarap mahzeni toplamda 3500 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. Yapılan ölçümler sonucu sistemin soğutma etkinliği 0.57 olarak belirlenmiştir. Bu soğutma tesisinin içerdiği ekipmanlar aşağıda maddelenmiştir.

- Vakum borulu güneş kolektörlerinin absorber yüzey alanı 130 m<sup>2</sup> olup, güney-güneydoğu yönünde eğim açısı 15 derece olacak şekilde çatıya kurulmuştur.
- Sisteme ek olarak 1000 lt kapasiteli depolama tankı konulmuştur.
- Açık çevrimli soğutma kulesi 180 kW soğutma kapasitesindedir ve binanın kuzey cephesine yerleştirilmiştir.
- Soğutulmuş su depolama tankı mevcuttur ve soğutulan su, 25000 m<sup>3</sup>/h kapasiteli santrifüj fanlı 3 tane merkezi havalandırma, iklimlendirme ünitelerine gönderilir. Ayrıca zemin kat için sıcak su depolama tankı da mevcuttur. [5]

Yunanistan’ın güneyinde turistik bir yer olan Crete ilçesinde bulunan Rethimno tatil köyü, yazın ve kışın yüksek doluluk oranına sahip bir oteldir. Bu sebeple sistem hem ısıtmaya yönelik hem de soğutmaya yönelik olarak uygulanmıştır. 2001 yılında kurulan sisteme ait teknik bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

- Absorpsiyonlu soğutma sistemi tercih edilmiştir. Soğutma kapasitesi 105 kW olup, soğutulan mahal 3000 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir.



Şekil 3. Fransa’daki şarap mahzeninin ve kurulu güneş enerjisi sisteminin görünüşü

## Makale

- Kullanılan düzlemsel kolektörlerin brüt yüzey alanı 448 m<sup>2</sup> olup, otelin soğutulması amacıyla kurulan sistem ayrıca yüzme havuzlarının ısıtılmasında da kullanılmaktadır.
- Soğutulmuş su sıcaklığı 8-10 °C aralığında olacak şekilde sistem çalıştırılmaktadır ve soğutma etkinliği ortalama 0.60 olarak belirlenmiştir. Güneşin yetersiz olduğu ya da bulutlanmanın görüldüğü zaman dilimlerinde 600 kW kapasiteli gaz yakıtlı kazan ile sisteme sıcak su sağlanmaktadır[4,6].

sıcak su hattına su bu sistemden sağlanır. Yazın ise sıcak su ihtiyacı azaldığından, birikmiş su 80 °C sıcaklığına ulaştığında devreye absorpsiyonlu soğutma sistemi girer ve böylece elektrikli soğutucu daha az çalıştırılır. Kurulu sistemde seçici yüzeyli düzlemsel brüt kolektör alanı 1632 m<sup>2</sup>'dir ve yılda 565060 kWh enerji tasarrufu yapılmaktadır. [6]

2004 yılında yapılan ve bir iş merkezinin soğutma ihtiyacını karşılayacak olan uygulama İtalya'nın



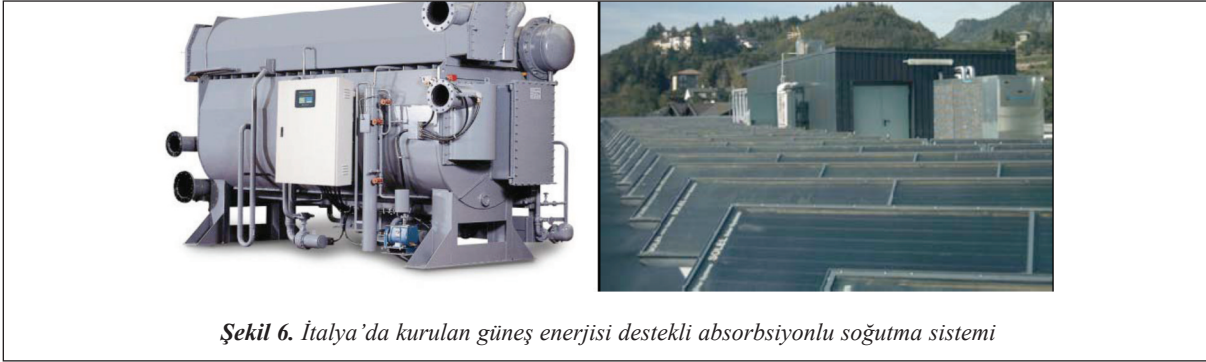
Şekil 4. Yunanistan'daki Rethimno tatil köyüne kurulan güneş enerjisi sistemi

2003 yılında kurulan sistemle, 10000 m<sup>2</sup> alana sahip iki katlı Zara ofis ve dükkan binasının soğutulması, ortam sıcaklığı sensörlerle sabit 23 °C olacak şekilde dört borulu fan-coiller yardımıyla yapılmaktadır. Bina sabah 08:00 ile akşam 22:00'e kadar çalışmaktadır ve her iki katta ortalama toplam 500 kişi bulunmaktadır. Toplam soğutma yükü 170 kW olarak belirlenmiştir. Elektrikli soğutucu ile 7/12 °C soğuk su, elektrikli ısı pompası ile de 55 °C sıcak su elde edilmektedir. Kurulan güneş enerjisi sistemi ile ısıtılan suyun ısısı 2 adet 30000 litre kapasiteli tankta depolanmaktadır. Eğer tankın sıcaklığı 55 °C'nin üzerine çıkarsa ısı pompası devreden çıkarılır ve

endüstriyel bölgelerinden biri olan Trento'da yer almaktadır. Tek etkili LiBr/su akışkan çiftini kullanan absorpsiyonlu çiller kullanılmıştır. Güney yönüne bakan eğim açısı 30 derece olacak şekilde yerleştirilen güneş kolektörleri kışın 45 °C, yazın ise 90 °C'de kullanım suyu sağlayabilmektedir. Güneş kolektörleri ile 145 kW ısı güç üretilmektedir ve cihazın soğutma kapasitesi 108 kW olmaktadır. Maksimum soğutma yükü 170 kW olan binanın bulutlu havalarda soğutma yükü 120 kW'a kadar düşmektedir. Güneşin yeterli olmadığı zamanlarda ise 120 kW kapasiteli kompresörlü soğutma sistemi kullanılmaktadır. [4,7]



Şekil 5. İspanya'da Zara ofis ve dükkanına kurulan güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin görünüşü



Şekil 6. İtalya'da kurulan güneş enerjisi destekli adsorpsiyonlu soğutma sistemi

1999 yılında Yunanistan'ın Atina kent merkezine 50 km uzaklıkta kozmetik fabrikasının depolama tesisine ait soğutma yapılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü üzere brüt kolektör alanı 2700 m<sup>2</sup> olup dünya üzerindeki en büyük sistemlerden biridir.

- Her biri 350 kW soğutma gücüne sahip 2 adsorpsiyon soğutma sistemi kullanılmıştır.
- Güneş kolektörlerinden 70-75 °C sıcaklığında sağlanan sıcak su ile çalıştırılan soğutma sisteminin soğutma etkinliği katsayısı 0.6 civarındadır.
- Pik yükleri karşılamak için sisteme ilave olarak 350 kW güce sahip 3 adet mekanik sıkıştırımlı soğutma sistemi kullanılmıştır.
- Ayrıca kışın seçici yüzeyli düzlemsel kolektörler yardımıyla 55 °C sıcaklığında su elde edilmektedir[5, 6].

2001 yılında Almanya Freiburg'da ofis soğutma sistemi uygulaması yapılmıştır. Uygulama, ofisteki 2 adet toplantı salonuna yöneliktir ve sistemin genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 65 m<sup>2</sup> ve 148 m<sup>2</sup> alana sahip, biri küçük biri büyük

iki toplantı odası bulunmaktadır. Kurulan sistem ile 60 kW yaz aylarında soğutma yüküne sahip toplantı salonlarının soğutulması ve kış aylarında ısıtılması amaçlanmaktadır. Odaların toplam hacmi yaklaşık 850 m<sup>3</sup>'tür.

- Silika jel kullanan desikant soğutma sisteminin hava debisi 2500 m<sup>3</sup>/h'den 10200 m<sup>3</sup>/h'e kadar değişebilmektedir.
- Geri dönüşüm ve depolama sistemleri içermemektedir.
- Brüt kolektör alanı 100 m<sup>2</sup> olup düzlemsel hava kolektörleri kullanılmıştır.
- Ekonomiklikte göz önüne alınarak, kolektörler çatıya paralel olarak 15° açıyla yerleştirilmiştir [5,6,7].

#### 4. Türkiye Şartlarında Modellenen Bir Örnek Uygulama ile Avrupa Uygulamalarının Kıyaslanması

Tablo 1'de verilen soğutma sistemlerinin yıllık dış hava sıcaklık değerleri son 8 yılın ortalaması olarak verilmiştir. Yaz ayları ortalama sıcaklığı belirlenirken ise sistem kurulumlarının yapıldığı yıl için ortalama alınmıştır. Farklı soğutma kapasitelerine sahip mekanların gereksinimlerine ve o bölgelerin iklim



Şekil 7. Yunanistan'da kozmetik fabrikasına kurulan güneş enerjisi destekli adsorpsiyonlu soğutma sistemi

## Makale



Şekil 8. Almanya'da ofise kurulan güneş enerjisi destekli desikant soğutma sistemi

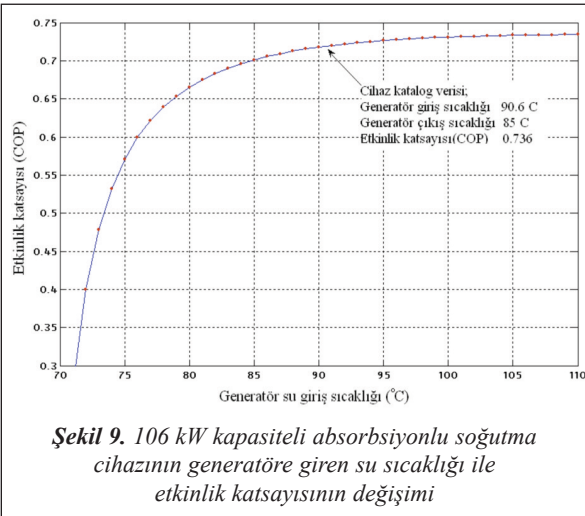
Tablo 1. Sistemlerin özellikleri

Ülke, Yıl	Bölge	Cihaz kapasitesi (kW)	Güneş kolektörü yüzey alanı (m <sup>2</sup> )	Uzun yıllar ort. sıcaklığı (°C)	Yaz ayları ort. sıcaklığı (°C)	Güneş ışınımı (l) (kWh/m <sup>2</sup> yıl)	Ek Kapasite
GR 1999	Atina	2 x 350	2700 DK	18,5	28,3	1660	3 x 350 kW Kapasiteli Mekanik Sıkıştırma Soğutma
FR 1991	Banyuls	52	130 VB	14,2	22,1	1470	Toplam 25000m <sup>3</sup> /h debili 3 adet Merkezi Havalandırma
IT 2004	Trento	108	240 DK	12,7	22,3	1280	120 kW Kapasiteli Mekanik Sıkıştırma Soğutma
TR 2005	Mardin	106	252 VB	15,8	28,8	1804	2 x 69 kw Kapasiteli Kazan ve Su Deposu

şartlarına bakıldığında, Avrupa'ya kıyasla ülkemizin avantajlı bir konumda olduğu söylenebilir. Güneş ışınımı Akdeniz kıyısı ülkeler ile yakın değerler taşımaktadır. Avrupa'nın kuzeyine doğru güneş ışınımının düştüğü gözlemlenmektedir. Sistemlerin detayları ve kurulu güneş enerjisi desteğinin özellikleri Tablo 1'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Tabloda güneş kolektörlerinden, düzlemsel kolektörler "DK", vakum borulu kolektörler ise "VB" ile sembolize edilmiştir.

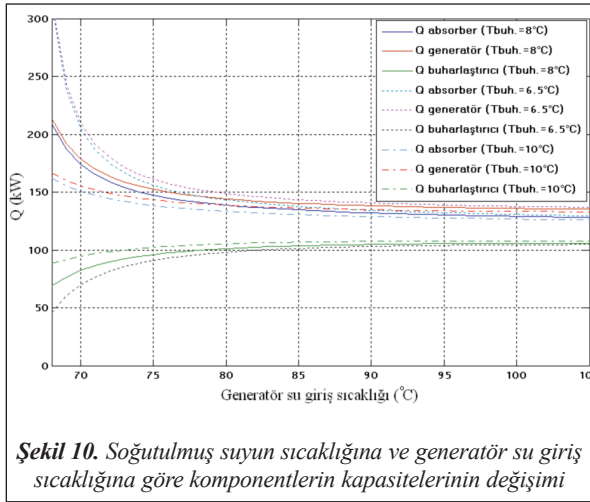
Ülkemizin güneydoğusunda tasarlanan sistem güneş enerjisi destekli LiBr/su akışkan çifti ile çalışan tek etkili absorpsiyonlu soğutma cihazı ve ek ısıtıcıdan oluşmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemine gerekli ısı, güneş enerjisi vasıtasıyla karşılanmıştır. Güneş enerjisinin yeterli olmadığı zamanlarda ise ek ısıtıcı ile generatör besleme suyu giriş sıcaklığı istenilen değere getirilmiştir.

Generatör besleme suyu sıcaklığına bağlı olarak cihazın performansının değişimi Şekil 9'da görülmektedir. Düşük sıcaklıklarda cihazın çalıştırılması soğutma etkinliğini çok düşürdüğünden, generatör su giriş sıcaklığının ek ısıtıcı yardımıyla minimum 75 °C olması sağlanmıştır. Çok yüksek sıcaklıklarda ise etkinlik katsayısının değişiminin az olduğu görülmektedir. Belirlenen anlık etkinlik katsayısı değerlerine ve Mardin ili dış hava şartlarının, güneş ışınımı değerlerinin, kolektör veriminin saatlik değişimine göre absorpsiyonlu soğutma cihazının soğutma kapasitesi hesaplanmıştır.



Şekil 9. 106 kW kapasiteli absorpsiyonlu soğutma cihazının generatöre giren su sıcaklığı ile etkinlik katsayısının değişimi

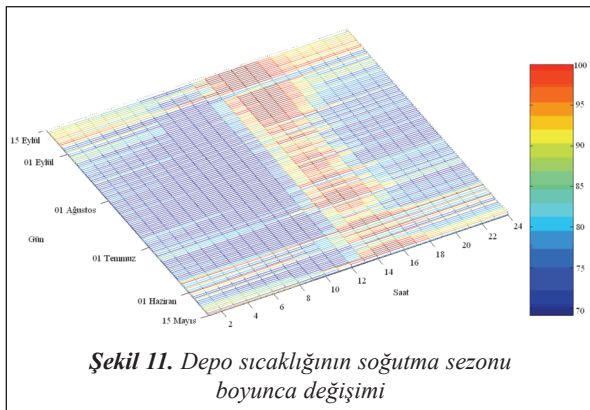
Şekil 10'da farklı generatör sıcaklığına ek olarak hem farklı buharlaştırıcı sıcaklığındaki generatörün ısı ihtiyacı hem de absorber, buharlaştırıcı ünitelerinin kapasitelerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 10. Soğutulmuş suyun sıcaklığına ve generatör su giriş sıcaklığına göre komponentlerin kapasitelerinin değişimi

Belirlenen minimum generatör su giriş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda %10'luk bir kapasite artışının sağlanabildiği, ancak 5 °C'lik bir sıcaklık düşümü neticesinde gerekli absorber ve generatör kapasitelerinin yaklaşık %30 oranında arttığı görülmektedir. Bu, güneş enerjisi destek sisteminde ve soğutma kulesinde ki işletme maliyetlerini arttıracığından istenmeyen bir durumdur. Absorbsiyonlu soğutma cihazının soğutma etkinliğinin değişimine ve komponentlerinin kapasitelerine göre gerekli kolektör sayısı, ek ısıtıcı kapasitesi belirlenmiştir ve sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Sistemde kullanılan depo boyutlarının gereğinden büyük olması halinde su debisinin artışına rağmen, elde edilecek sıcak su sıcaklığı düştüğünden güneşten faydalanma oranının da azaldığı görülmüştür. Depodan faydalanılan enerji miktarının Mardin ili dış hava sıcaklıklarına ve gün içi kullanıma bağlı olarak değişimi de Matlab programı yardımıyla



Şekil 11. Depo sıcaklığının soğutma sezonu boyunca değişimi

hesaplanmıştır. Depo sıcaklığının soğutma sezonu boyunca değişimi Şekil 11'de gösterilmiştir. Yaz mevsiminin sonlarına doğru azalan soğutma yüküne bağlı olarak, güneş enerjisi ihtiyacı da azaldığından depo sıcaklıklarında artış görülmektedir. Depo kullanımının yaz aylarının ortalarına doğru en çok olduğu ve bu yüzden depo sıcaklıklarının güneş ışınımı şiddetinin yüksek olduğu öğlen saatlerinde dahi düşüğü gözlemlenmektedir.

## Sonuç ve Öneriler

Avrupa'da güneş enerjisiyle soğutma uygulamaları uzun yıllardan beri yer almaktadır. Ofislerde konfor şartlarını yerine getirmek amacıyla, şarap mahzeninin soğutulması amacıyla, çeşitli endüstriyel uygulamalarda veya turistik tesislerde tercih edilen güneş enerjisi destekli soğutma ile Avrupa'da belirli oranlarda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Zorunlu soğutma ihtiyaçlarının çevre dostu ve enerji tasarrufu sağlayan güneş enerjisi destekli soğutma sistemleriyle karşılanması, elektrik tüketimini azaltacaktır. Güneş enerjisi destekli soğutma sisteminin soğutma etkinliğinin ve yardımcı komponent kapasitelerinin sıcaklık ile değişimi Matlab'de yazılan bilgisayar programı yardımıyla güneydoğu illerimizden Mardin için belirlenmiştir. Bu çalışma doğrultusunda ülkemiz için 75 °C ve üzeri sıcaklıkta ısı taşıyıcı akışkan ile çalışan sistemlerin tasarlanması önerilmektedir. Ülkemizde Avrupa ülkelerine oranla daha fazla güneş enerjisi potansiyeli olduğu düşünülerek, özellikle güney kıyılarımızda yer alan turistik tesislerin soğutma sistemlerinde işletme maliyetlerini azaltmak için güneş enerjisinden faydalanılmalıdır.

## Kaynaklar

- [1] Henning, H.M., Solar assisted air conditioning of buildings-an overview, Applied Thermal Engineering, 27, 1734-1749, 2007.
- [2] Çengel, Y.A., Boles, M. A., Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw Hill, İstanbul, 1996.
- [3] Balaras, A.C., Grossman, G., Henning, H.M., Ferreria, I.C., Podesser, E., Wang, L., Wiemken, E., Solar air conditioning in Europe - an overvi-

**Makale**

- ew, Renewable and Sust. Energy Reviews, 11, 299–314, 2007.
- [4] Onan, C., Villa ısıtmasında ve soğutmasında absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin ekonomik analizi, YTÜ, İstanbul, 2007.
- [5] Wiemken, E., Experiences from design studies, simulation studies and installations, IEA Task 38, France, 2007.
- [6] Climasol, Solar air conditioning guide, Rhonalpennergie-Environnement, France, actaes édition, 2004.
- [7] Wiemken, E., Best practice catalogue on successful running solar air-conditioning appliances, Solair, 47-53, 2008.
- [8] Onan, C., Özkan, D.B., Erdem, S., Economic analysis of solar assisted absorption cooling systems in climatization of the villas, 46th International Congress AICARR, Milano, Italy, 335-350, 2008.