

**TÜRKİYE'DE EJEKTÖRLÜ ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN FAYDALANILMASI**

**Mehmet ÖZALP**

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar, 06503 Ankara, Türkiye

**ÖZET**

Güneş enerjili soğutma sistemleri, enerji kaynağı olarak elektriği esas alan soğutma sistemlerinin bir kısmının yerine geçebilecek veya bu sistemlere alternatif oluşturabilecek sistemler olarak değerlendirilmelidir. Güneş enerjili soğutma sistemlerinin avantajları ana başlıklarıyla, bu sistemlerin elektrik enerjisi talebini düşürmesi, ozon tabakasına zarar vermeyen akışkanlar kullanması, birincil enerji tüketimini indirmesi ve global ısınma etkisini azaltmasıdır. Bu çalışmanın ana konusu, Türkiye'de ejektörlü absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin (EASS) kullanma imkanlarının araştırılmasıdır. Bu çalışmada, Türkiye'de kullanılacak bir EASS'deki ayırıcının ihtiyaç duyduğu ısı enerjisinin, güneş enerjisinden sağlanıp sağlanamayacağı incelenmiştir. Türkiye'de EASS'lerden faydalanılmasının iki önemli nedeni vardır. Bunlardan ilki, 1987'de kabul edilen Montreal protokolüne göre CFC'lerin ve HCFC'lerin üretilmesinin ve kullanılmasının birkaç yıl sonra tamamen önüne geçilecek olmasıdır. Diğer nedeni ise, Türkiye'nin, 36-42° kuzey enlemleri ve 26-45° doğu boylamları arasında kuzey yarımkürede bulunması, yıllık ortalama 3,6 kW-h/m<sup>2</sup>-gün güneş enerjisi alması ve yaklaşık 2610 saat toplam yıllık güneşlenme süresine maruz kalmasının sonucu olarak yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasıdır. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden 12 şehir seçilmiş ve bu şehirlerin 2000 yılından bu yana güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi verileri kullanılarak analiz yapılmıştır. Bu meteorolojik veriler yardımıyla, maksimum performans katsayısı (COP<sub>max</sub>) şartlarında, su/amonyak akışkan çiftinin kullanıldığı bir EASS için gerekli optimum kolektör yüzey alanı ve sistemin yıl boyunca kullanılabilmesini sağlayan yardımcı ısıtıcılar için gerekli minimum enerji miktarı hesaplanmıştır. Seçilen şehirler için ısı kazanım faktörünün (HGF) tüm mevsimlerde 2,47 ile 2,91 arasında olduğu görülmüştür. 2,91'lik maksimum HGF'nin, haziran ayında Kuşadası'nda olduğu bulunmuştur. Bu çalışma, ev tipi ısıtma/soğutma uygulamaları için güneş enerjisi kullanımında Türkiye'nin yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler** : Güneş enerjisi; Absorpsiyonlu soğutma sistemi; Meteorolojik veri

**IN TURKEY, THE UTILITY OF SOLAR ENERGY IN ABSORPTION COOLING SYSTEMS WITH EJECTOR**

**ABSTRACT**

Solar driven refrigeration systems are evaluated as the systems that they can substitute with a considerable part of refrigeration systems driven electrical units, or can be alternative. The advantages of solar driven refrigeration systems, as the main topics, concern the reduction of peak loads for electricity utilities, the use of zero ozone depletion impact refrigerants, the decreased primary energy consumption and decreased global warming impact. The theme of this study is to focus usage possibility of ejector-absorption cooling system (EACS) in our country. In this study, it is investigate that whether or not the required heat for generator in an EACS can be using in our country is supply from solar energy. There are two important reasons for the utilization of EACSs in our country. One of them is that the production and use of CFCs and HFCs will be phased out in a few years according to Montreal Protocol, adopted in 1987. The other is that our country has high solar energy potential because of its location in the northern hemisphere with latitudes 36-42°N and longitudes 26-45°E and the yearly average solar radiation is 3,6 kW-h/m<sup>2</sup>-day, and the total yearly radiation period is ~2610 h. In this study, 12 cities are selected in different regions of our country and the analyses are performed using radiation data and sunshine duration information having been collected since 2000. By using

the meteorological data, in the conditions of maximum coefficient of performance ( $COP_{max}$ ), required optimum collector surface area for an EACS in which aqua-ammonia fluid couple is used, and required minimum energy for auxiliary heater proving that the system can be used throughout the year, are calculated. For the selected cities, it was seen that the heat gain factor (HGF) varies in the range from 2,47 to 2,91 for all the seasons. The maximum HGF of about 2,91 was obtained for Kuşadası in June. This study shows that our country has a great potential to use solar energy for domestic heating/cooling applications.

**Key Words:** Solar energy; Absorption cooling system; Meteorological data

## 1. GİRİŞ

Stratosfer tabakasının zararlı ultraviyole ışınlarını engellediği bilinmektedir. Son on yılda, araştırmacılar sentetik kloroflorokarbonlardan (CFC'ler) açığa çıkan klorun stratosfer tabakasına ulaşarak sağlığa zarar verecek şekilde ozon moleküllerini yok ettiğini keşfetmişlerdir [1]. Avrupa Ekonomik Topluluğu ve yirmi beş ülke, ozon tabakasına zarar veren maddelerin üretimi ve ticaretini düzenlemek amacıyla, 1987'de Montreal Protokolü'nü imzalamışlardır. Ozon tabakasının zayıflaması ve global ısınma nedeniyle, soğutucularda ve ısı pompalarında kullanmak üzere ozon tüketim potansiyeli sıfır olan çevre dostu soğutucu akışkanlar gerekli olmaktadır [2]. Bir absorpsiyonlu sistem, ozon tabakasına zarar vermeyen akışkan kullanıyor ve güneş enerjisi, fosil esaslı yakıtlar veya atık ısı ile çalışıyorsa, diğerlerine göre tercih edilebilir nitelik kazanır. Alternatif soğutma teknolojileri göz önüne alınırsa, buhar sıkıştırılmalı sistemlerle karşılaştırıldıklarında, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin daha düşük verimde çalıştığı söylenebilir. Buna karşın soğurma veya buhar ejektörlü soğutma gibi alternatif teknolojiler kullanan ve kısmen güneş enerjili soğutma imkanı sağlayan absorpsiyonlu sistemler; ozon tüketme potansiyeli, global ısınma etkisi ve birincil enerji tüketimi de dahil olmak üzere her durumda en güvenilir çevre dostu soğutma sağlarlar ve toplam enerji tüketiminde denge unsuru oluştururlar [3].

Su/amonyak akışkan çiftini kullanan ejektörlü absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, ejektör yaygın olarak kondenser girişinde kullanılır. Ejektör, bu çalışmada, absorber girişine yerleştirilmiştir [4]. Bu nedenle absorber basıncı, evaporatör basıncından daha yüksek olmakta ve sistem üç basınç seviyesinde çalışmaktadır. Ejektörün iki temel fonksiyonu vardır:

- Evaporatörden gelen akışkanın basıncını yükseltmek,
- Evaporatörden gelen zayıf amonyak çözeltisi ile karıştırma işlemini hızlandırmak ve ön soğurma sağlamak.

Ejektör bu fonksiyonlardan başka, soğutma ve ısı kaynağı sıcaklığının daha düşük olmasını sağlar. Ejektörler, doğrudan mekanik enerjiye ihtiyaç duymadan basınç artışı meydana getirme özelliğine sahiptirler [5]. Bu özellikleri göz önüne alındığında ejektörler; kompresör, pompa v.b. gibi basınç artışı sağlayan mekanik makinelerle göre teknolojik olarak daha basit ve emniyetlidirler. Bundan başka, ejektörlerin diğer sistemler ve makinelerle bir arada kullanılmaları da basit düzenlemeler gerektirir.

Gelişen teknoloji ve dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak, enerjiye olan talep de artmaktadır. Büyüyen nüfus ve fosil yakıtların hızla tüketilmesi, bilim adamlarını mühendislik, meteoroloji ve endüstri alanlarında güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma ve araştırmaya sürüklemektedir. Geçtiğimiz birkaç on yıl içinde araştırmacılar güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmışlardır. Güneş enerjisinin kullanılmasıyla konvensiyonel enerji kaynakları ve bu kaynaklara olan yüksek talep azaltılabilir. Ejektörlü absorpsiyonlu soğutma sistemleri gibi güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi için, güneş enerjisinden faydalanma üzerine uzun dönemleri kapsayan detaylı bilgilerin elde edilmesi büyük önem taşır. Güneş enerjisinin bir soğutma sistemi için ana enerji kaynağı olarak kullanma imkanlarının araştırılması, mevcut soğutma teknolojileri üzerine bir çok çalışma yapılmasına yol açmıştır. Güneş enerjisi kullanan yaygın uygulamalardan biri, enerjisinin çoğunu ısı kaynaklarından alan ve bunun dışında çok az güç gerektiren absorpsiyonlu soğutma sistemidir. Bu nedenle, özellikle elektriğin pahalı veya kısıtlı olduğu yerlerde güneş enerjisi, soğutma sistemlerine alternatif olabilecek bir enerji kaynağı olarak ilgi çekmektedir [6].

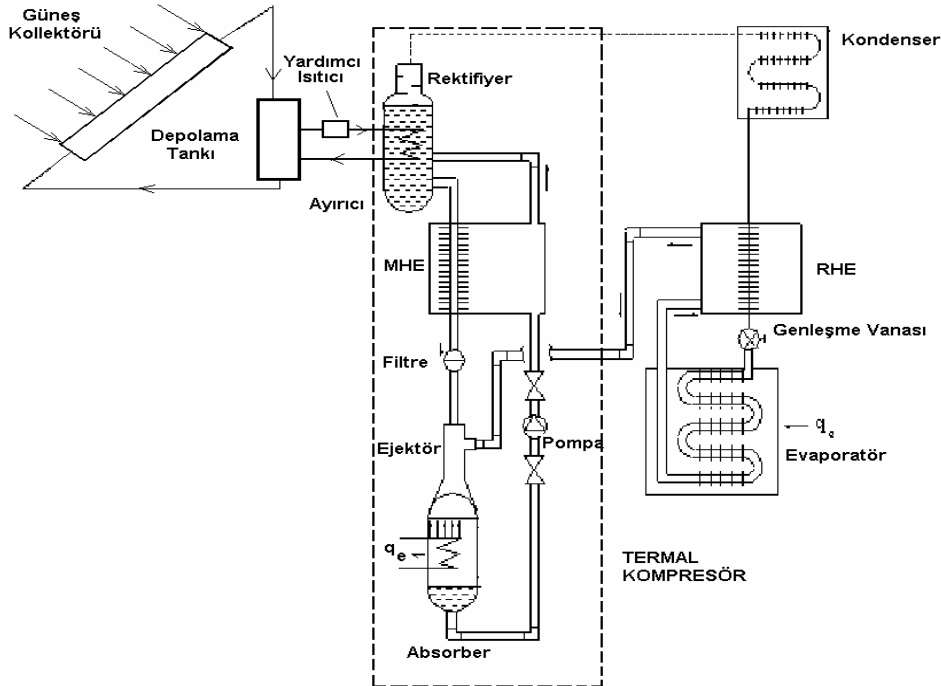
Türkiye'nin 36-42° kuzey paralelleri ve 26-45° doğu meridyenleri arasında kuzey yarımküredeki konumu itibarıyla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması nedeniyle, güneş enerjisi üzerine yapılan araştırmalar değer kazanmaktadır [7]. Bir çok güneş enerjisi uygulamasında en önemli parametreler çoğunlukla ortalama güneşlenme şiddeti ve güneşlenme şiddetine etki eden özelliklerdir [8]. Yüksek enerji potansiyeline rağmen, düz yüzeyli güneş kolektörleri dışında, günümüzde güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmamaktadır. Güneş enerjisinden çoğunlukla, sadece sıcak iklim kuşağında ev tipi sıcak su elde

edilmesinde yararlanılmaktadır. 2000 yılında yaklaşık 3,2 milyon m<sup>2</sup> güneş kollektörü imalatı yapılmıştır. Türkiye’de güneş enerjisi toplam enerji tüketiminin %4’ünü oluşturmaktadır. Bu enerji çoğunlukla, evlerde sıcak su elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca ticari olanlar da dahil her yıl ortalama 1,25 milyon soğutucu imal edilmektedir. Her bir soğutucu ortalama 0,25 kg CFC ve 0,5-3 kW/gün enerji kullanmaktadır. Son yıllarda R134a ve R143a gibi alternatif soğutucu akışkanlar da, Montreal Protokolü’ne uygun olarak yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de güneş enerjili EASS’lerin kullanma imkanlarının araştırılmasıdır. Türkiye’de güneş enerjisi kullanıldığında enerji tasarrufu sağlanabilir ve CFC içeren gazların kullanılması azaltılabilir. Bu çalışmada aynı zamanda güneş enerjisinden sağlanan sıcak suyun, giriş sıcaklıklarının COP ve ECOP üzerine etkisi ve 1 kW’lık sabit ısı yükü altında absorpsiyonlu soğutma elemanlarına ait ısı transfer yaygınlığı araştırılmıştır.

## 2. GÜNEŞ ENERJİLİ ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ

Bilindiği gibi, su/amonyak akışkan çifti ile çalışan bir EASS, ana elemanlar olarak bir kondenser, bir evaporatör, bir absorber, bir ayırıcı, bir ejektör, bir pompa, genişleme vanaları, bir soğutucu ısı eşanjörü (ön soğutucu, RHE) ve bir karışım ısı eşanjöründen (solüsyon ısı eşanjörü, MHE) oluşmaktadır. Sistemde bu iki eşanjör ve bir ejektör kullanılması, toplam performansı artırmaktadır [9-13]. Şekil 1’de bir ejektörlü absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterilişi yer almaktadır. Bir ejektör çevrimi, sıvı pompası ve boyler dışında mekanik buhar sıkıştırma sistemine benzer, fakat bu sistemlerde kompresör yerini ejektöre bırakır. Ejektör üç ana parçadan oluşur; bir nozul, bir karıştırma bölgesi ve bir difüzör. Ejektör, herhangi bir hareketli parça içermemesi ve ilave enerji kullanmaması ile karakterize edilebilir. EASS’deki ayırıcı, güneş kollektörleri vasıtasıyla enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanır. Daha iyi bir performans sağlamak için, soğutma sistemine kaynak oluşturacak ısının sağladığı gerekli ayırıcı sıcaklığı yüksek tutulabilir (75°C’den daha büyük) [10]. Bunu sağlamak amacıyla, yüksek performanslı ama pahalı bir vakumlu-boru tipi kollektör tavsiye edilir. Ancak güneş enerjili soğutma sisteminin toplam maliyetini artıracak olan böyle bir kollektör kabul edilemez. Bu problemi aşmak için örneğin düz yüzeyli kollektörler gibi daha ucuz güneş kollektörlerinin kullanılması düşünülebilir. Yüksek kaliteli seçici yüzey, iyi bir yalıtım tasarımı ve yüksek performanslı cam kaplama kullanılarak düz yüzeyli bir güneş kollektörünün daha verimli ve düşük fiyatta elde edilmesi mümkün olabilir [4,12]. Bu çalışmada daha ucuz olan ve EASS’ye enerji sağlayan düz yüzeyli güneş kollektörlerinden faydalanılmasının uygun olup olmadığı da araştırılmıştır.



Şekil 1. Güneş enerjili ejektörlü absorpsiyonlu bir soğutma sisteminin şematik görünümü.

Yaygın olarak kullanılan soğutma sistemleri, su/amonyak absorbsiyon çevrimini temel alır. Bu sistem güneş enerjisi uygulamaları için de uygundur. Soğutma uygulamaları için düşük potansiyelli ısı kaynaklarının (50-130°C) kullanılması, akışkan çiftlerinin özellikleri ile sınırlandırılır. Değişik karışım oranlarındaki su/amonyak akışkan çiftleri, EASS'ler için kabul edilebilir ısı fiziksel özelliklere sahiptir. Bir EASS'nin bilgisayar yardımıyla simülasyonu için, akışkan çiftlerine ait ısı ve fiziksel özelliklerin analitik fonksiyonlar şeklinde bilinmesi gerekir. Schulz [14] tarafından su/amonyak karışımları için önerilen hal denklemi 25 bar basınca kadar geçerlidir. Ziegler ve Trepp [15] ise hem bu sınırı 50 bar'a kadar genişletmişler hem de sıcaklık sınırını 500 K'e yükseltmişlerdir. Bu çalışmada, Ziegler ve Trepp [15,16] tarafından türetilen, sıvı ve gaz fazlarında Gibbs serbest enerji fonksiyonları için su/amonyak karışımlarına ait eşitlikler kullanılmıştır. Su/amonyak karışımının doyma basıncı, Bourseau ve Bugarel [17] tarafından verilmiştir. Absorbsiyonlu sistemdeki ısı işlemler çevreye büyük miktarda ısı verir. Bu ısı, absorbsiyonlu sistem elemanlarında önemli bir tersinmezlik kaybıyla sonuçlanacak şekilde ortam sıcaklıklarına göre değişiklik gösterir. Ekserji, çevre şartlarına indirgenmiş bir sistemden alınabilecek, kullanılabilir maksimum iş miktarı olarak tarif edilir [18]. Bu nedenle, EASS'nin değerlendirilmesinde ekserji performans katsayısı da dikkate alınmalıdır.

EASS'nin performans katsayısı aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$COP = \frac{\dot{q}_e}{\dot{q}_g + \dot{W}_p} \quad (1)$$

Ekserji performans katsayısı aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$ECOP = - \frac{\dot{q}_e (1 - T_o / T_e)}{\dot{q}_g (1 - T_o / T_g) + \dot{W}_{pe}} \quad (2)$$

Dolaşım oranı, sistem elemanlarının ölçüsü ve fiyatıyla doğrudan ilişkili olduğu için önemli bir tasarım ve optimizasyon parametresidir. Dolaşım oranı, absorberden gelen karışımın kütledebisinin, ayırıcıdan çıkan karışımın kütledebisine bölümüdür:

$$f = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_7} \quad (3)$$

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANILMASI

#### 3.1. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Meteorolojik Veriler

Güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin tasarımı ve güneş potansiyelinin değerlendirilmesi için, amaçlanan bölgede güneşle ilgili verilerin bilinmesi gereklidir. Bazı şehirlerde, global ve difüzyon güneşlenme şiddetini birlikte ifade eden toplam güneşlenme şiddeti sadece düz yüzeyli kolektörlerde ölçülmesine rağmen, nadir de olsa bazı uygulamalar için eğik yüzey üzerindeki ölçümler de gereklidir. Özellikle güneşlenme şiddetinin miktarı, yönü ve zamana göre değişimi, güneş enerjisinden sağlanan ısının hesaplanmasında EASS'ler için çok önemlidir. Tasarım hesapları, güneş enerjisinden sağlanan ısı hesapları, birim alandaki güneşlenme şiddeti ve soğutma tasarım sıcaklıklarının hesabında güneş radyasyonu esas alınır. Diğer taraftan, bir şehir için tasarım parametrelerinin elde edilmesinde hava verileri kullanılır. Bazı ülkelerde yatay düzlem üzerine gelen global güneşlenme şiddeti ölçülür. Bununla birlikte, absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin tasarımı için eğik yüzeylere gelen toplam güneşlenme şiddetine ihtiyaç vardır. Güneşlenme şiddetinin yılın her ayı için bilinmesi önemlidir. Bu ölçümler, en fazla güneşlenme şiddetine maruz kalabilecek optimum eğim açısını tahmin etmede kullanılabilir. Güneşin sağladığı ısı enerjisi, güneş kolektörleri tarafından soğurulur ve EASS'de ısı kaynağı olarak kullanılır. Daha iyi bir performans sağlamak için ayırıcı sıcaklığı genellikle yüksek olur (75°C'den büyük) ve bu nedenle güneş kolektörlerin çalışması daha da yüksek sıcaklıklarda olması gerekir (90°C'den büyük). 80-100°C aralığındaki bir sıcaklıkta çalışabilecek bir kolektör gerektiren bir EASS'de, nispeten düşük ısı verimine rağmen daha ucuz düz yüzeyli tipte bir kolektör kullanılabilir [5].

EASS'lerin tasarımında kondenser, evaporatör, ortam ve ayırıcı sıcaklıklarının seçimi de çok önemlidir. Bu çalışmanın amacı, EASS'ler için Türkiye'nin farklı bölgelerinde eğik yüzeylere gelen güneşlenme şiddetinin ve diğer meteorolojik verilerin hesaplanmasıdır. Türkiye'nin farklı bölgelerinden enlem, boylam ve rakımı

farklı olan toplam 12 şehir seçilmiştir. Seçilen şehirler, Türkiye hakkında genel bir fikir verebilir. Seçilen şehirlerin coğrafik verileri Çizelge 1’de verilmiştir. Meteorolojik veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden (DMİ) alınmıştır. Şekil 2’de seçilen şehirlerin Türkiye haritası üzerindeki yeri gösterilmiştir. Bu çalışmada ayrıca seçilen şehirlere ait ortalama güneşlenme süresi ve ortalama sıcaklıklar da kullanılmıştır. Seçilen şehirlerde ortalama güneşlenme süresinin 4-15 saat aralığında değiştiği görülmektedir. Maksimum ortalama güneşlenme süresi 14,8 saat olarak haziran ayında Gümüşhane’de görülmektedir. Maksimum ortalama sıcaklık, 29,3°C olarak temmuzda Kahramanmaraş’tadır.

Çizelge 1. Seçilen şehirlerin bazı coğrafik bilgileri

Şehir	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
SİNOP	42,09	35,11	32
ÇANKIRI	40,52	33,59	751
TOKAT	40,35	36,51	608
GÜMÜŞHANE	40,48	39,47	1219
İĞDIR	39,91	44,09	858
KIRIKKALE	39,81	33,45	748
KIRŞEHİR	39,15	34,11	1007
KUŞADASI	37,89	27,19	22
ISPARTA	37,76	30,49	997
KAHRAMANMARAŞ	37,55	36,89	572
BODRUM	37,05	27,41	26
SİLİFKE	36,39	33,91	15



Şekil 2. Seçilen şehirlerin Türkiye haritası üzerindeki konumu

### 3.2. Güneş Enerjisinin EASS’de Kullanılması

Avantajları göz önüne alındığında güneş enerjisinin çok önemli bir enerji kaynağı olduğu görülür. Şekil 1’de güneş enerjisinin soğutma sistemlerinde kullanılması şematik olarak gösterilmiştir. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerine ısı kaynağı teşkil eden sıcak sıvı depolama tankına kollektörlerde toplanan kullanılabilir enerji transfer edilir. Bu çalışmada seçilen şehirlerin çevre ve atmosferik şartları da dikkate alınmıştır.

Güneş kollektörleri, Duffie ve Beckman [19] tarafından verilen eşitliklerle modellenir:

$$Q_{coll} = A_{coll} \cdot I \cdot \eta_{coll} \quad (4)$$

Burada  $I$ , yatay düzleme gelen güneşlenme şiddeti,  $Q_{coll}$ , kolektörlerdeki kullanılabilir enerji miktarı,  $A_{coll}$ , kolektör alanı ve  $\eta_{coll}$ , kolektör verimidir.

Kollektör verimi:

$$\eta_{coll} = F \left( \alpha - \beta \frac{T_i - T_o}{I} \right) \quad (5)$$

olarak tarif edilir. Burada  $T_i$ , kolektör giriş sıcaklığı ve  $T_o$ , çevre sıcaklığıdır.  $T_o$ , seçilen şehirlere ait tüm mevsimler için Şekil 6-8'de verilmiştir.  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $F$ , kolektör tipine bağlıdır ve Kaynak [6]'da verilmiştir. Şekil 3'de üç ayrı tip güneş kolektörü için (düz yüzeyli, tahliye borulu ve sıcak havalı) kolektör veriminin ayırıcı sıcaklığı ile değişimi görülmektedir [21]. Şekil 3'den açıkça görüldüğü gibi, kurutarak soğutma için düz yüzeyli veya sıcak havalı kolektörler, adsorpsiyon ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma için düz yüzeyli veya tahliye borulu kolektörler kullanılabilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, su depolama tankı güneş kolektörünün arkasına yerleştirilebilir. Tank içerisinde mükemmel bir karıştırma olduğu kabul edilmiştir. Depolama tankının çıkışına konulan bir yardımcı ısıtıcı, depolama tankı sıcaklığı izin verilebilen referans sıcaklığın altına düştüğünde, ısıtma suyunun sıcaklığını gereken sıcaklığa kadar artırır [6]. Yardımcı ısıtıcı kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q_{aux} = \dot{m} C_p (T_g - T_{st}) \quad (6)$$

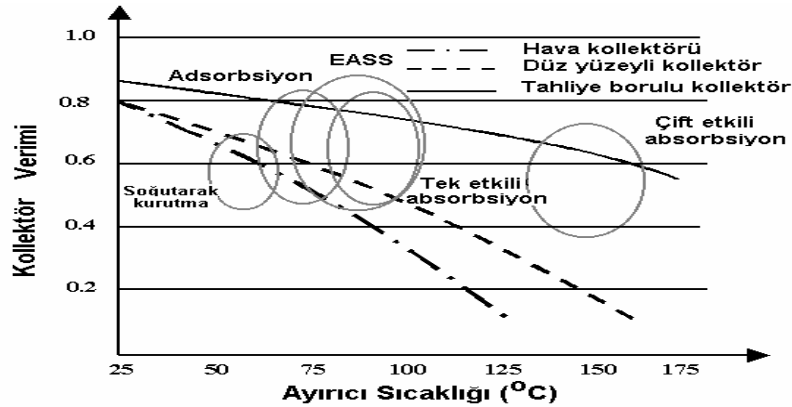
Burada  $\dot{m}$ , ayırıcının kütledebisi,  $T_{st}$ , depolama tankı sıcaklığıdır.

Sistemin ısı kazanım faktörü (IKF), sistemin çalışma şartlarında belirlenir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$IKF = 1 + Q_e / Q_g$$

Maksimum ısı kazanım faktörü ( $IKF_{max}$ ) ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir [21]:

$$IKF_{max} = Q_{gain} / Q_{coll}$$



Şekil 3. Güneş enerjili ısı ve soğurmalı soğutma teknolojilerinin bazı kombinasyonları (Bu şekil Kaynak [20]'deki Şekil 5'in revizyonudur.)

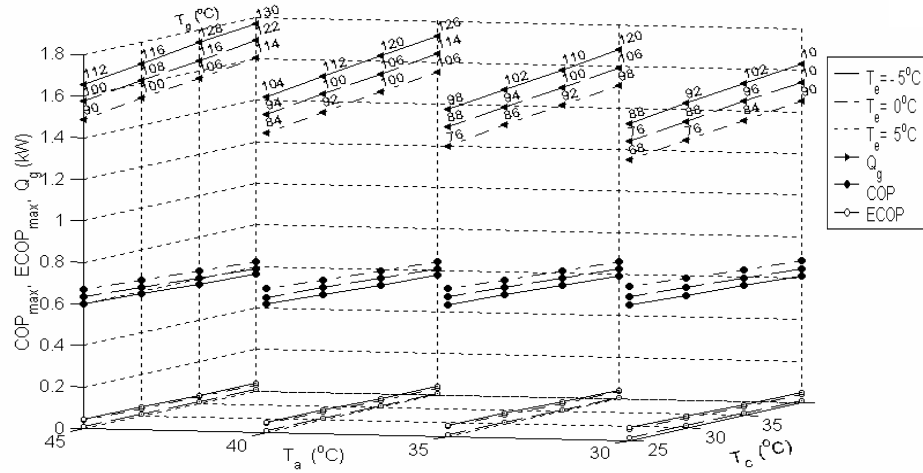
## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Termodinamik Değerlendirme

Bir EASS için ortam, kondenser, evaporatör ve ayırıcı sıcaklıklarının seçimi çok önemlidir. EASS'nin ayırıcı sıcaklığı ( $T_g$ ), daha iyi performans elde etmek için genellikle yüksektir ( $75^{\circ}\text{C}$ 'den büyük). Bu nedenle güneş

kollektör sisteminin ayırıcı sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta çalışması gerekir. Türkiye EASS için gerekli enerjiyi sağlayan yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmada önce, 5°C, 0°C ve -5°C evaporatör sıcaklıkları için farklı iklim şartlarında ve 50 °C ile 130 °C arasındaki ayırıcı sıcaklıklarında EASS'nin COP'si belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu şekilde, farklı kondenser, evaporatör, absorber ve ayırıcı sıcaklıkları için  $COP_{max}$ ,  $ECOP_{max}$  ( $COP_{max}$  değerine karşılık gelen) ve ayırıcı gücünün değişimi verilmiştir.  $COP_{max}$  değeri  $T_c=40^\circ C$ ,  $T_a=30^\circ C$ ,  $T_g=90^\circ C$  ve  $T_e=5^\circ C$ 'de 0,739'dur. Kollektör ve yardımcı ısıtıcı hesaplarında bu değer ( $COP_{max}$ ) kullanılmıştır. Isı kazanım faktörünün, seçilen şehirlerde tüm mevsimler için 2,47 ile 2,91 aralığında değiştiği görülmüştür (Şekil 5). Maksimum IKF, Kuşadası'nda haziran ayında 2,91 olarak bulunmuştur. IKF değerleri mart ve eylül arasında 2'nin üzerindedir. Buna göre, Şekil 5'den de görüldüğü gibi Türkiye yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir.



Şekil 4. Farklı kondenser, evaporatör, absorber ve ayırıcı sıcaklıkları için CO,  $ECOP_{max}$  ( $COP_{max}$  değerine karşılık gelen) ve ayırıcı gücünün değişimi.

3,475163	4,085024	3,788203	3,795257	3,614558	3,546606	3,530574	3,871468
3,91727	4,203777	4,013077	4,087924	3,941484	4,079271	3,797427	4,11467
4,812457	4,947673	4,300795	4,396101	4,441412	4,527667	4,390714	4,413875
5,08059	5,115903	4,588488	4,673224	4,807556	4,604039	4,474331	4,584326
6,114086	6,05992	5,777311	5,81194	5,303208	5,529525	5,366087	4,967342
6,953223	6,648041	6,565966	6,491167	6,302416	6,263158	6,137423	6,249647
6,850843	6,549671	6,640565	6,481393	6,476881	6,408032	6,384029	6,339742
6,439111	6,242246	6,166459	5,698597	6,008005	5,997118	5,829825	6,156365
5,706551	5,699369	5,515999	5,362986	5,306137	5,419186	5,158045	5,796264
4,88263	5,062398	4,702694	4,785558	4,723551	4,711141	4,482946	4,611522
3,925453	4,550889	4,316643	4,115378	4,032177	4,106925	3,89822	4,189209
3,426147	3,687447	3,663955	3,464272	3,372981	3,287384	3,358049	3,473152
1,454703	1,709991	1,585742	1,588694	1,513054	1,484609	1,477898	1,620596
1,639769	1,759701	1,679874	1,711205	1,649905	1,707583	1,589603	1,722401
2,014495	2,071096	1,800313	1,840208	1,859175	1,895281	1,837953	1,847648

Şekil 5. Seçilen şehirler için maksimum ısı kazanım faktörü ( $IKF_{max}$ )

Seçilen şehirlerin farklı evaporatör sıcaklıklarına ait meteorolojik verileri kullanılarak, ayırıcı için gerekli ısıyı sağlayan kollektör yüzeyinin alanı hesaplanmıştır. Bu hesaplarda, Şekil 4'de verilen  $COP_{max}$  şartları dikkate alınmıştır. Ayrıca gerekli yardımcı ısıtıcı gücü, 4 m<sup>2</sup>'lik optimum kollektör yüzey alanı esas alınarak hesaplanmıştır. Şekil 6-8'den görüldüğü gibi ayırıcı için gerekli ısı bütün şehirlerde 4 m<sup>2</sup>'lik optimum



ortalama kolektör alanı kullanılarak nisan ve eylül arasında (bu aylar dahil) tamamen güneş enerjisinden sağlanabilir. Kuşadası ve Silifke’de bu aralık mart ve ekim arasındadır. Diğer aylarda farklı kapasitelerde yardımcı ısı gereklidir. Yine Şekil 6-8 ’den görüldüğü gibi, evaporatörün COP değerlerini etkileyen sıcaklık değişimlerinde bile kolektör yüzey alanı ve yardımcı ısıtıcı ihtiyacı çok fazla değişiklik göstermez. Bu nedenle sistem, güneş enerjili yiyecek muhafazasında ve ticari havalandırma uygulamalarında kullanılabilir. Seçilen şehirlerde sistem, nisan ve eylül ayları arasında uygundur. Buna göre Türkiye’de EASS’ler için büyük bir güneş enerjisi potansiyeli mevcuttur.

#### 4.2. Ekonomik Değerlendirme

Absorbsiyonlu ısı sistemlerinin ekonomik değerlendirilmesi üzerine bir çok çalışma mevcuttur [22-29]. Bu çalışmadan çıkan sonuçlara göre: Absorber maliyeti evaporatör sıcaklığı yükseldikçe azalmakta, fakat evaporatör maliyeti artmaktadır. Bu, solüsyon ve soğutucu arasındaki sıcaklık-konsantrasyon ilişkisinin bir sonucudur; yani absorber sıcaklığı, evaporatör sıcaklığı yükseldikçe, artacaktır. Benzer şekilde absorberin boyutları ve maliyeti, evaporatör sıcaklığı yükseldikçe artacaktır. EASS’deki yüksek maliyetin nedenlerinden biri, kondenserin, kendi üzerinde yapılan değişikliklerin maliyetini içermesi ve ayırıcının distilasyon kolonu maliyetini kapsamıştır. Enerji kaynağı maliyetindeki bu değişimlerin tümü temelde ayırıcı sıcaklıklarına bağlıdır. Güneşten sağlanan ısı enerjisinin toplam maliyeti 0,015 C£/kWh ile 0,028 C£/kWh arasındadır [23]. Güneş kolektörleri ucuzladığında fiyatlar daha cazip hale gelecektir.

EASS’lerde fiyatlardan etkilenen ana eleman termal kompresördür (Şekil 1). Bu eleman kolektör ve rektifiyer maliyetleri gibi ilave maliyetler getirir. Daha geniş kullanım imkanı sağlamak için güneşten sağlanan ısı enerjisinin maliyeti azaltılmalıdır. Bunun sağlanması sonucunda EASS’lerin pazar payının artacağı beklenmelidir.









Bu çalışmada EASS’lerin Türkiye’de kullanılması için, güneş enerjisinden sağlanan ısının yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Diğer bir deyişle Türkiye’de böyle bir sistemin işletilmesi termodinamik olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, böyle bir sistemden faydalanılması ancak ısı ve maliyet yönünden sistem kullanışlı olduğunda mümkündür.

#### 5. SONUÇLAR

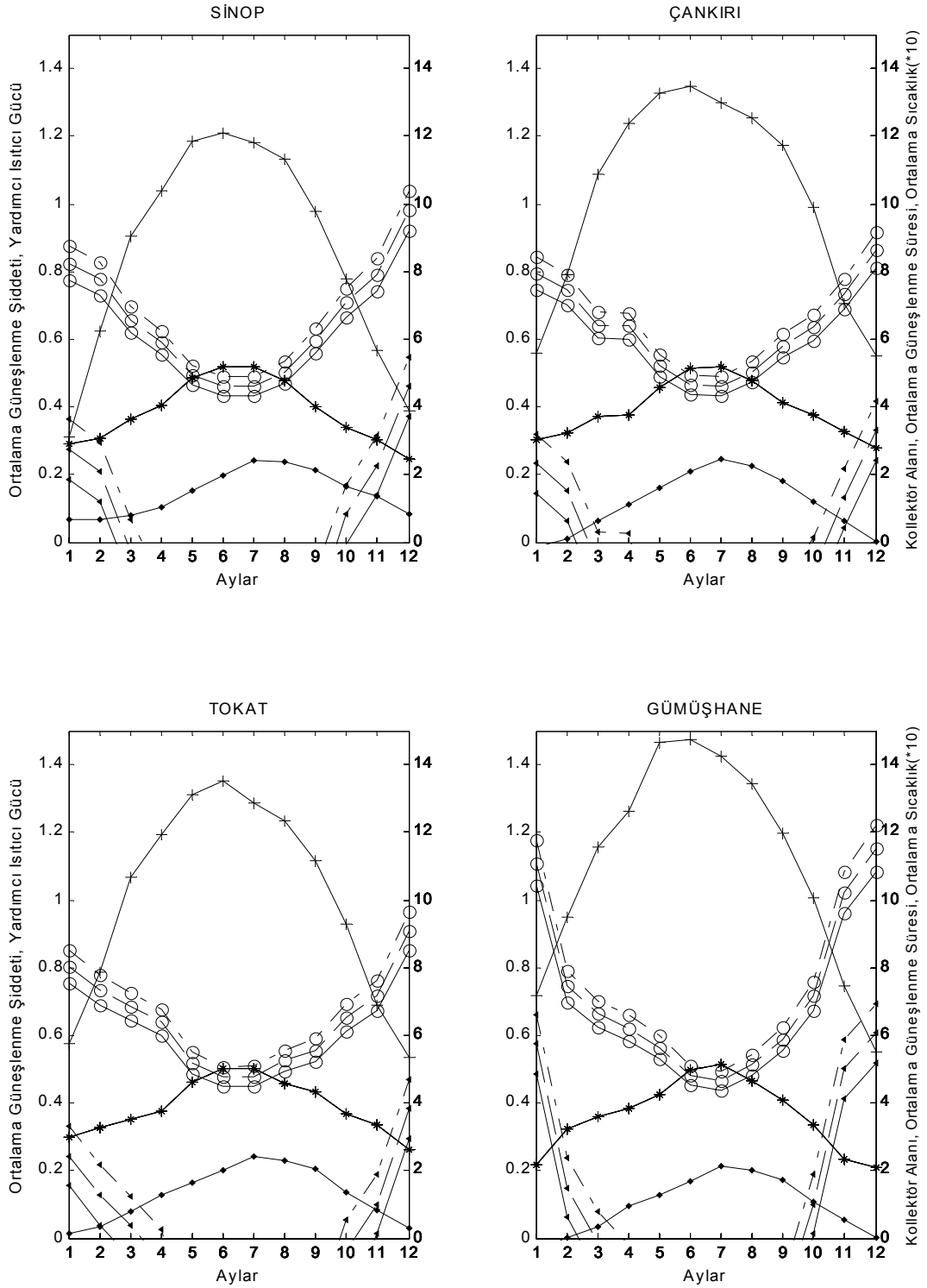
Bu çalışmada, Türkiye’de EASS’lerin kullanılabilme imkanları araştırılmıştır. Türkiye, 36-42° kuzey paralelleri ve 26-45° doğu meridyenleri arasında kuzey yarımküredeki konumu, yıllık ortalama 3,6 kW-h/m<sup>2</sup>-gün güneşlenme şiddeti ve yaklaşık 2610 saat toplam yıllık güneşlenme süresi ile yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, güneş enerjili soğutma/ısıtma sistemlerinin kullanılabilme imkanları incelenmiştir.

Güneş enerjili soğutma sistemleri, konvensiyonel elektrikli sistemlere alternatif olarak görülmektedir. Bu soğutma sistemlerinin ana faydaları, ozon tabakasına zarar vermeyen akışkanların kullanılması ve elektrige olan talebi, birincil enerji tüketimini ve global ısınma etkisini azaltmasıdır.

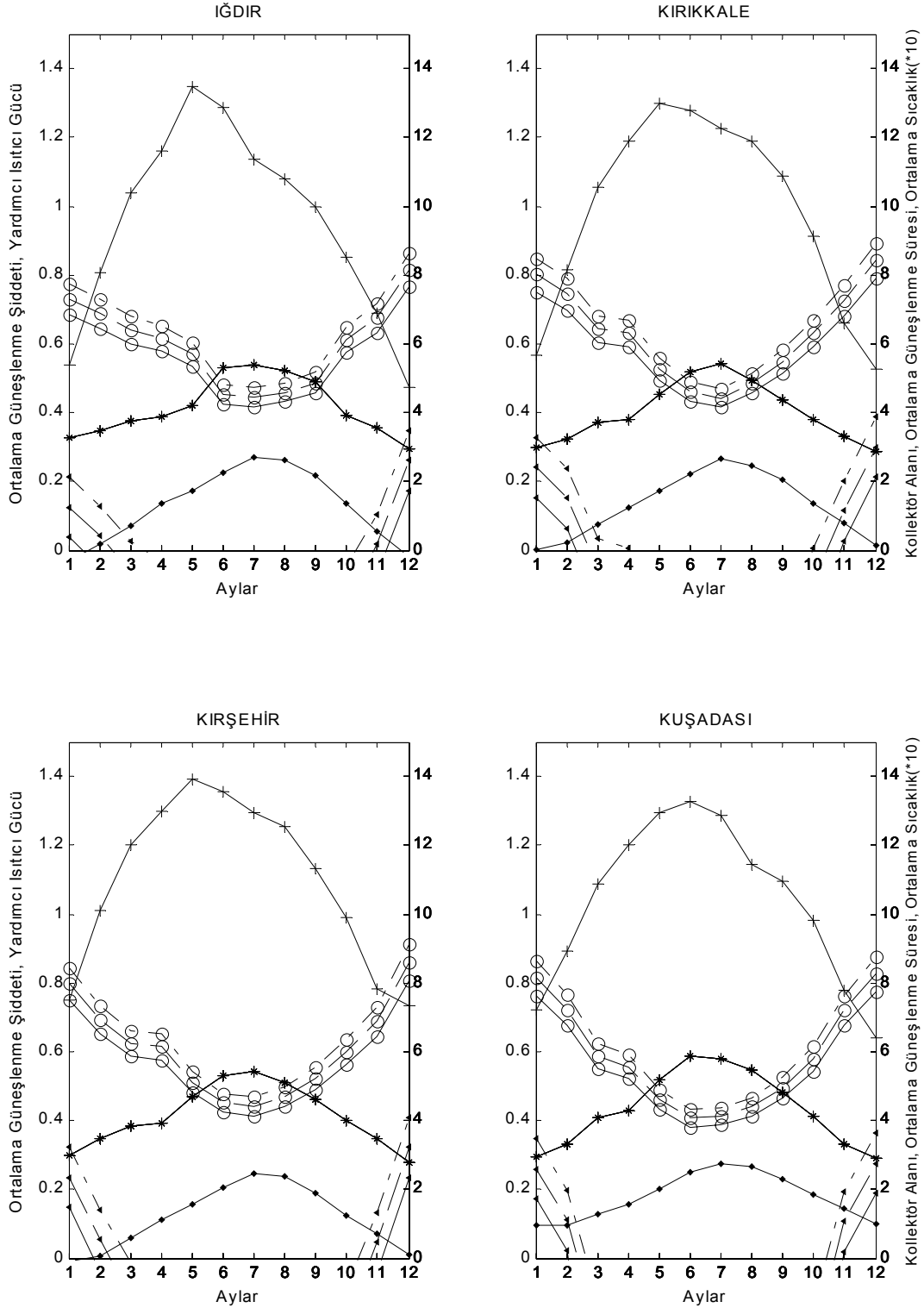
Elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de farklı soğutma uygulamaları için yaklaşık 8-9 ay (mart-ekim) 4m<sup>2</sup>’lik yüksek performanslı bir kolektör yüzey alanı yeterlidir. Bu çalışma, doğal gaz ve petrol gibi ithal edilen enerji kaynaklarına ihtiyaç duyan Türkiye’deki araştırmacılara yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli şekilde kullanılması için kılavuzluk sağlar mahiyettedir. Ayrıca bu çalışma Türkiye’de, ev tipi ısıtma/soğutma uygulamaları için yüksek bir güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, sistemin kullanılması ancak sistem ısı ve maliyet yönünden kullanışlı olduğunda mümkündür.

	Ortalama güneşlenme şiddeti (kW/m <sup>2</sup> )
	Kolektör Alanı (m <sup>2</sup> )
	Yardımcı ısıtıcı gücü (kW)
	Ortalama güneşlenme süresi (h)
	Ortalama sıcaklık (°C)
	T <sub>e</sub> = 5°C
	T <sub>e</sub> = 0°C
	T <sub>e</sub> = -5°C

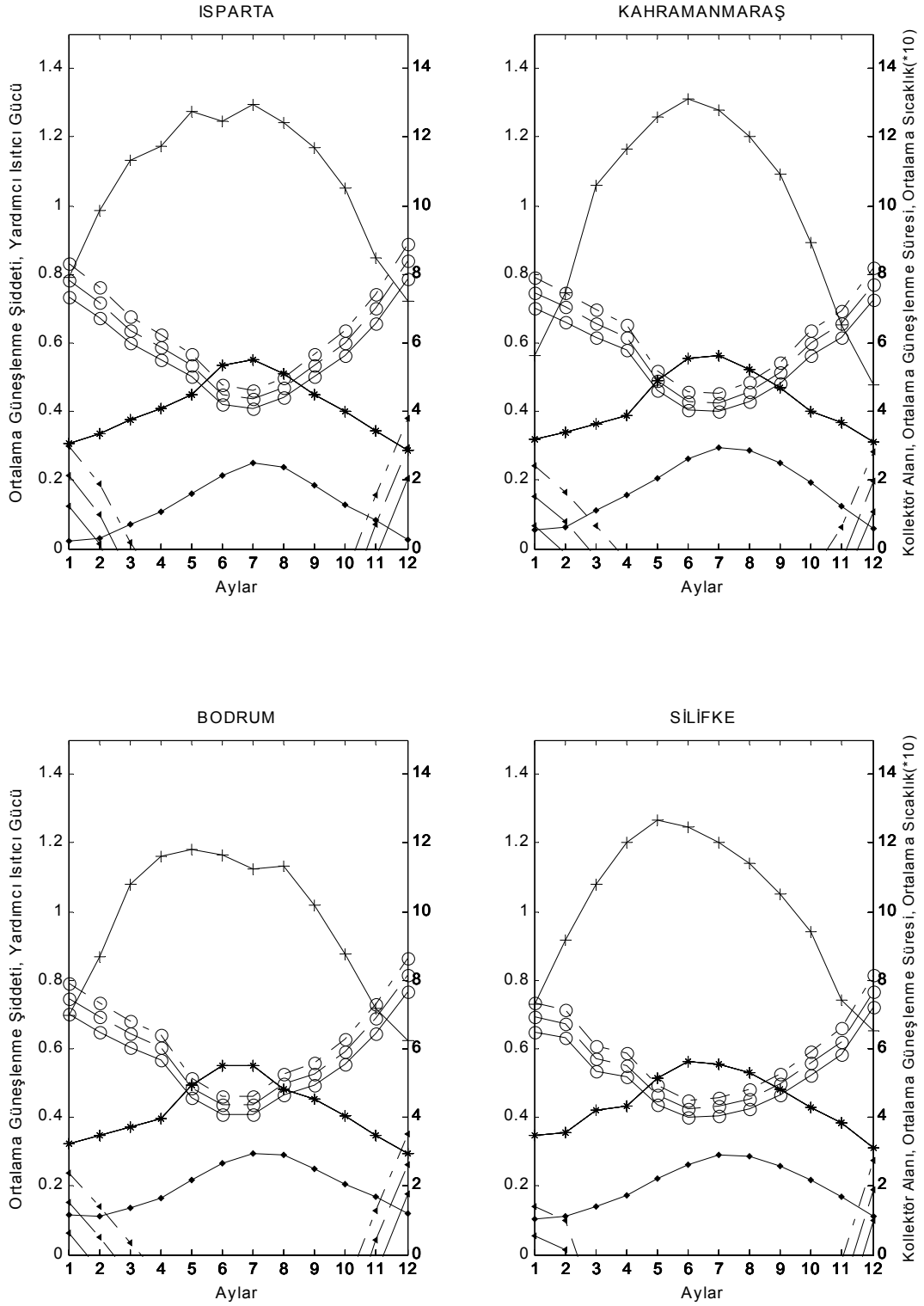




Şekil 6. Seçilen şehirlerin meteorolojik verileri ve analiz sonuçları



Şekil 7. Seçilen şehirlerin meteorolojik verileri ve analiz sonuçları



Şekil 8. Seçilen şehirlerin meteorolojik verileri ve analiz sonuçları

### Simgeler Ve Kısaltmalar

COP	performans katsayısı
ECOP	ekserji performans katsayısı
f	dolaşım oranı
h	özgül entalpi (kJ/kg <sup>-1</sup> )
HGF	ısı kazanım faktörü
g	özgül Gibbs serbest enerjisi (kJ/kg <sup>-1</sup> )
$\dot{m}$	kütleli debi (kg/s <sup>-1</sup> )
p	basınç (bar)
$\dot{q}$	ısı (W)
Q	kullanılabilir enerji
s	özgül entropi (kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
T	sıcaklık (K)
x	kütle derişimi
$\dot{W}_{pe}$	pompa gücü (W)
v	özgül hacim (m <sup>3</sup> /kg)
$\rho$	yoğunluk

### Alt indisler

a	absorber
c	kondenser
e	evaporatör
g	ayırıcı
RHE	soğutucu ısı eşanjörü
MHE	karişım ısı eşanjörü
o	referans şartlar
p	pompa
t	toplam
coll	kollektör

### KAYNAKLAR

1. Jung, D.S., Radermacher, R., Performance simulation of single evaporator refrigerator with pure and mixed refrigerants, **International Journal of Refrigeration** 14 (1991) 223–232.
2. Chang, Y.S., Kim, M.S., Ro, S.T., Performance and heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants in a heat pump system, **International Journal of Refrigeration** 23 (2000) 232–242.
3. Papadopoulos, A.M Oxizidis, S Kyriakis, N Perspective of solar cooling in view of the developments in the air-conditioning sector, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 7 (5) (2003) 419–438.
4. Jelinek, M., Levy, L, Borde, I., Performance of a triple-pressure-level absorption cycle with R125-N, N-dimethylethylurea, **Applied Energy** 71 (2002) 171–189.
5. Huang, B.J Petrenko, V.A Samofatov, I.Y.A Shchetinina, N.A Collector selection for solar ejector cooling system, **Solar Energy** 71 (4) (2001) 269–274.
6. Atmaca, A. Yiğit, Simulation of solar-powered absorption cooling system, **Renewable Energy** 28 (2003) 1277–1293.
7. Şaylan, O. Şen, H. Toros, A. Arısoy, Solar energy potential for heating and cooling systems in big cities of Turkey, **Energy Conversion and Management** 43 (2002) 1829–1837.
8. Toğrul, T. Onat, E. A comparison of estimated and measured values of solar radiation in Elazığ, Turkey, **Renewable Energy** 20 (2000) 243–252.
9. Sözen, A. Effect of heat exchangers of performance on absorption refrigeration system, **Energy Conversion and Management** 42 (14) (2001) 1699–1716.
10. Sözen, A. Altıparmak, D. Usta, U. Development and testing a prototype absorption heat pump operated by solar energy, **Applied Thermal Engineering** 22 (16) (2002) 1847–1859.
11. Sözen, A. Arcaklıoğlu, E. Özalp, M. A new approach to thermodynamic analysis of ejector-absorption refrigeration systems: artificial neural networks, **Applied Thermal Engineering** 23 (8) (2003) 937–953.
12. A. Sözen, Özalp, M. Performance improvement of ejector-absorption cycle using triple-pressure-level, **Applied Thermal Engineering** 23 (13) (2003) 1577–1593.

13. Sözen, A. Kurt, M. Akçayol, M.A. Özalp, M. Performance prediction of a solar driven ejector-absorption cycle using fuzzy logic, **Renewable Energy** 29 (1) (2004) 53–71.
14. Shulz, S. Equations on state for the system ammonia–water for use with computers, IIR, **Meeting Commission II**, Washington, 1971.
15. Ziegler, B. Trepp, Ch. Equation of state for ammonia–water mixtures, **International Journal of Refrigeration** 7 (2) (1984) 101–106.
16. Alvares, S.G. Trepp, Ch. Simulation of a solar driven aqua-ammonia absorption refrigeration system, Part 1: mathematical description and system optimization, **International Journal of Refrigeration** 10 (1987) 40–48.
17. Bourseau, P. Bugarel, R. Refrigeration par cycle an absorption-diffusion: comparaison des performances des systemes  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  et  $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$ , **International Journal of Refrigeration** 9 (1986) 206–214.
18. Ahachad, M. Charia, M. AHT applications to absorption refrigerating machine, in: Proceedings of the **International Absorption Heat Pump Conference**, ASME, 1994, pp. 101–107.
19. Duffie, J.A. Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Process, A Wiley, Interscience Publications, **University of Wisconsin**, Madison, 1980.
20. Henning, M.H. Air-conditioning with solar energy, **SERVITEC Meeting**, Barcelona, 2000.
21. Alexis, G.K. Rogdakis, E.D. Performance of solar driven methanol–water combined ejector-absorption cycle in the Athens area, **Renewable Energy** 25 (2002) 249–266.
22. Kalogirou, S. The potential of solar industrial process heat applications, **Applied Energy** 76 (4) (2003) 337–361.
23. Siddiqui, M.A. Economic analyses of absorption systems: Part B-Design and cost evaluation, **Energy Conversion and Management** 38 (9) (1997) 889–904.
24. Siddiqui, M.A. Economic analyses of absorption systems: Part B-optimization of operating parameters, **Energy Conversion and Management** 38 (9) (1997) 905–918.
25. Saghiruddin, M. Siddiqui, M.A. Economic analysis of two stage dual fluid absorption cycle for optimizing generator temperatures, **Energy Conversion and Management** 42 (2001) 407–437.
26. Misra, R.D. Sahoo, P.K. Sahoo, S. Gupta, A. Thermoeconomic optimization of a single effect water/LiBr vapour absorption refrigeration system, **International Journal of Refrigeration** 26 (2003) 158–169.
27. Berlitz, T. Satzger, P. Summerer, F. Ziegler, F. Alefeld, G. A contribution to the evaluation of the economic perspectives of absorption chillers, **International Journal of Refrigeration** 220 (1999) 67–76.
28. Flamensbeck, M. Summerer, F. Riesch, P. Ziegler, F. Alefeld, G. A cost effective absorption chiller with plate heat exchangers using water and hydroxides, **Applied Thermal Engineering** 18 (6) (1998) 413–425.
29. Mone, G.D. Chau, D.S. Phelan, P.E. Economic feasibility of combined heat and power and absorption refrigeration with commercially available gas turbines, **Energy Conversion and Management** 42 (2001) 1559–1573.