

Güneş Bacası Tasarım Parametreleri ve Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigations on Performance and Design Parameters of Solar Chimney

İbrahim ÜÇGÜL^{a*} ve Arif KOYUN^b

^aSüleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Mrk., 32260, Isparta.

^bSüleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, 32260, Isparta.

Geliş Tarihi/Received : 07.04.2010, Kabul Tarihi/Accepted : 01.07.2010

ÖZET

Bu çalışmada, Isparta ve yöresi iklim koşullarına uygun teorik bir güneş bacası sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarıya dayalı olarak deneysel çalışma yapmak amacıyla Süleyman Demirel Üniversitesi-YEKARUM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi) tarafından, üniversite yerleşim alanına bir prototip güneş bacası kurulmuştur. Ayrıca, deneysel çalışmaların ardından, bu tasarım esas alınarak sistem teorik olarak modellenmiştir. Daha sonra bu model, geliştirilen bilgisayar programına esas teşkil etmiş ve çıktı olarak, sisteme ait performans parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, yapılan modelleme çalışmasının, Isparta ve yöresi iklim şartlarına uygun güneş bacası tasarım ve performans parametrelerini belirlemede yeterli olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar, güneş bacası teknolojisi ile elektrik üretiminin Isparta ve yöresi ile güneş ışınımının yüksek ve güneşlenme süresi uzun olan benzer iklim şartlarına sahip bölgeler için de uygun olduğunu göstermiştir. Sonuçlar yorumlandığında, güneş bacası elektrik üretim gücünün direkt olarak bölge güneş verilerine, baca yüksekliğine ve toplayıcı sera alanının büyüklüğüne bağlı olduğu görülmüştür.

AnahtarKelimeler: Güneş bacası, Güneş enerjisi, Güneş güç tesisleri, Yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

In this study, a solar chimney system, which is suitable for climate conditions of Isparta and its surroundings, is designed theoretically. With the aim of studying experimentally as based on that design, a prototype solar chimney has been constructed in the university campus area of Süleyman Demirel University-RACRER (Research and Application Center for Renewable Energy Resources). Additionally, after the experimental studies, the system is modelled theoretically with depending on the design. Then, this model constituted the basis for developed computer programme and performance parameters of the system are obtained. The obtained findings showed that the solar chimney, which is suitable for climate conditions of Isparta and its surroundings, are sufficient for determining design and performance parameters. The results showed that electricity generation with solar chimney is suitable for areas which have high solar incident and long sunshine duration and similar climate conditions as such as Isparta and its surroundings. When the results are evaluated, it is seen that electricity generation power of solar chimney depends on the region solar data, the chimney height and the size of greenhouse area.

Keywords: Solar chimney, Solar energy, Solar power plant, Renewable energy.

1. GİRİŞ

Modern toplum, fosil kökenli enerji kaynaklarını kullanarak enerji elde ederken, çevreye verdiği zararlar geleceğini kendi elleriyle tehlikeye atmaktadır. Son yıllarda düzenlenen ulusal ve uluslararası konferanslar, paneller ve yayımlanan bildiriler ile geline son

noktada durumun ne kadar acı olduğu ortaya konmaktadır. Ancak dünya genelinde, fosil kökenli yakıtların kullanımı devam etmekte ve sorunlar her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bu sorunun çözümünde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artması bir umut olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının hızla yaygınlaşması

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : iucgul@mmf.sdu.edu.tr (İ. Üçgül)

ve çevreye verilen zararların minimize edilmesinde her topluma, ülkeye olduğu kadar her bireye de büyük sorumluluklar düşmektedir. Özellikle güneş enerjisi teknolojileri ve bu teknolojiler içerisinde yer alan güneş baca teknolojisi ülkemiz için umut verici sonuçlar üretecektir (Bernardes v.d., 2003; Güven v.d., 2004).

Güneş bacası fikri ilk olarak 1970'lerin sonlarında Schlaich tarafından ortaya konulmuştur. Ardından İspanya Manzanar's'de pilot tesisin yapımına başlanmıştır. 50 kW güç kapasiteli bu pilot tesis 7 yıl boyunca elektrik üretmiştir. Baca 194.6 m yüksekliğinde, 10 m baca çapında ve 122 m çaplı bir kolektör alanına sahiptir. Baca yüksüz şartlar altında 15 m/s baca içi hava hızına ulaşmıştır (Schlaich, 1986).

Haaf v.d., (1983), Haaf (1984) ve Schlaich (1986) güneş bacasındaki akımın genel olarak modellemişlerdir. 1984 yılında Haaf, Manzanar's prototipinin sonuçlarını yayınlamıştır. İlk termodinamik modeller, gaz dinamiği alanında yapılmıştır. Burada, kolektördeki sıcaklık artışının kütle akımından bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Prof. Schlaich, ilki 1995 yılında ve diğeri de 2004 yılında olmak üzere güneş bacasının temel esaslarını anlattığı bir kitap yayınlamıştır.

Pasumarthi ve Sherif (1998a), güneş bacasının hem teorik hem de deneysel performans karakteristiklerini incelemişlerdir. Ortam havasının sıcaklığı, güç çıkışı gibi parametrelerin etkisini incelemek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Ayrıca üç farklı kolektör tipi incelenmiştir. Kolektör altındaki hava sıcaklığı, farklı uzaklıklarda, her üç farklı kolektör tipi için ayrı ayrı ölçülmüş ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde vermişlerdir.

Padki ve Sherif (1999) kendi yaptıkları bir güneş bacasının çalışma prensibini deneysel olarak incelemiş ve basit bir termodinamik model geliştirmişlerdir. Bu bir model üzerinde, kolektördeki kütle akımı ve sıcaklık artışı arasındaki bağlantı ısı denklemlerine göre sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Türbin, baca çıkışına yerleştirildiği için, hem statik hem de dinamik problemler yaratmasından dolayı bu model, büyük güneş bacası sistemleri için uygun değildir.

Dai v.d., (2003) Çin'in kuzey batı bölgeleri için önerilebilecek güneş bacası güç tesislerinin incelemesini yaparak bu sistemlerin uygunluğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, Isparta ve yöresi iklim koşullarına uygun bir güneş bacası sistemi tasarlanmıştır, bu tasarım baz alınarak sistem teorik olarak modellenmiştir. Daha sonra bu modelde elde edilen veriler geliştirilen bilgisayar programına esas teşkil etmiştir. Program çıktısı olarak, sisteme ait performans parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, yapılan modelleme çalışmasının, Isparta ve yöresi iklim şartlarına uygun

güneş bacası dizayn ve performans parametrelerini belirlemede yeterli olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışma, Akdeniz iklim kuşağındaki herhangi bir bölgede kurulacak güneş bacasına ait tasarım parametrelerini belirlemeye yönelik yapılan ilk çalışmadır.

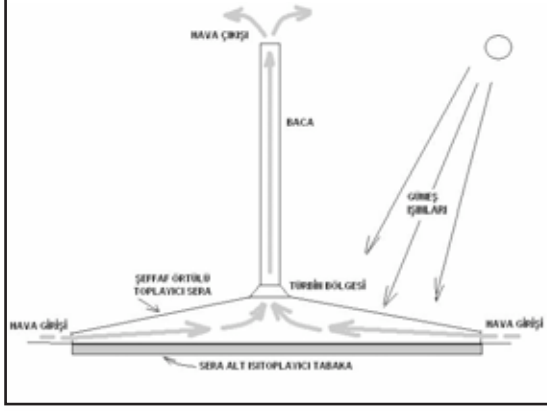
2. GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

Güneş enerjisinden ısı enerjisi üretiminde kullanılan teknolojiler düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak sınıflandırılabilir. Ülkemizde yaygın olarak, düşük sıcaklık uygulamalarından sayılan düzlemsel kolektörler konutlarda sıcak su üretiminde kullanılır. Ortaveyükseksıcaklıkgüneşenerjisisıuygulamalarında ise; silindirik-parabolik sistemler, çanak sistemleri, güneş bacası, merkezi alıcılı ve heliostat alanlı güneş kule güç sistemleri kullanılır. Güneş ısı elektrik güç tesisleri güneş ışınımı odaklamalı ve odaklamasız sistemler olarak kullanılır. Parabolik silindirik tesisler, güç kuleleri ve çanak/stirling sistemleri, elektrik enerjisi üretimi için kullanılan odaklamalı (yoğunlaştırılmalı) sistemlerdir. Odaklı sistemlerin dışında güneş bacası gibi odaklamasız güneş ısı elektrik güç sistemleri de elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Güneş bacası, altında geniş şeffaf bir toplayıcı sera ve içinde rüzgâr türbini bulunan merkezi bir bacadan oluşur. Sıcak hava, toplayıcı sera tarafından güneş ışınları (direkt ve difüz ışını) kullanılarak üretilir. Sera bölgesinde ısınan hava, kolektörün merkezindeki bacaya doğru yönelir ve orta kısımda bulunan türbini hareket ettirerek, enerji üretir (Güven v.d., 2004; Koyun, 2006).

3. GÜNEŞ BACASI

Uygulama olarak yüksek ve orta sıcaklık sistemleri, ileri endüstriyel teknolojiyi ve yüksek ilk yatırım maliyetlerini gerektirir (Üçgül v.d., 2003). Oysaki güneş bacaları çok ileri teknoloji gerektirmez ve bu sistemde ilk yatırım maliyeti 3000 ile 4000 €/ kW'ın arasındadır (Fluri v.d., 2009). Bu fiyatların zamana bağlı olarak önümüzdeki yıllarda oldukça düşeceği tahmin edilmektedir. Bu özellikleriyle güneş bacaları, ülkemiz iklim ve güneşlenme özelliklerine uygun sistemlerdir.

Ülkemizde daha çok su ısıtmada kullanılan güneş enerjisi, dünya genelinde proses ısı ve elektrik üretiminde de geniş ölçekli olarak kullanılmaktadır. Güneş bacaları, güneş enerjisini önce ısı enerjisiye, ardından ısı enerjisiye kinetik enerjiye ve son olarak da elektrik enerjisine çeviren enerji dönüşüm sistemleridir. Güneş bacaları Şekil 1'de görüldüğü gibi, güneş enerjisini toplayıp, içinde dolaşan havaya aktaran bir seralı toplayıcı bölümü ve içinde rüzgâr türbinli elektrik üretim sistemi bulunan uzun baca kısmından oluşan sistemlerdir (<http://yekarum.sdu.edu.tr>; Üçgül, 2005).



Şekil 1. Güneş bacası çalışma prensibi (Üçgül, 2005).

Güneş bacasıyla elektrik üretimi ise dünya üzerinde farklı yerlerde uygulama alanı bulmuş olup ülkemizde ise ilk olarak 2003 yılında inşasına başlanmış, 2005 yılında bitirilmiş ve 2009 yılı itibariyle Türkiye’de sadece Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM’da prototip olarak bulunmaktadır. Şekil 2’de Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi’nde (SDÜ-YEKARUM) kurulu bulunan prototip güneş bacası ve Tablo 1’de ise bu güneş bacasına ait ölçüler verilmiştir.



Şekil 2. SDÜ-YEKARUM Güneş bacası (Üçgül, 2005).

Tablo 1. Prototip Güneş bacası özellikleri (Üçgül, 2005).

Parametre	Sembol	Değer
Baca yüksekliği	H_{gb}	15 m
Toplayıcı sera çapı	D	16 m
Toplayıcı sera alanı	A_s	200,96 m ²
Baca kesit alanı	A_b	1,19 m ²
Giriş ağız çevresel alanı	A_a	31,148 m ²

Bir güneş bacası esas olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşur :

- Toplayıcı Sera (şeffaf cam örtülü)

- Baca
- Türbin- Jeneratör

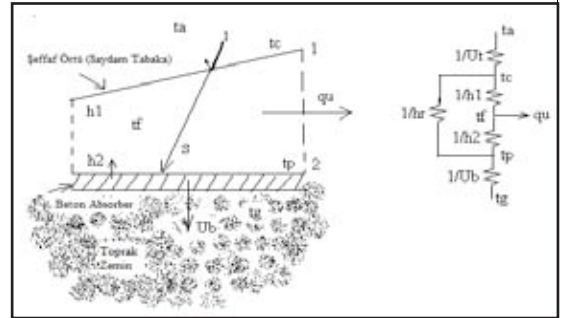
3. 1. Toplayıcı Sera

Toplayıcı sera cam bir yüzeye sahiptir. Cam yüzeye gelen güneş ışınımı, öncelikle camdan geçerek zemine ulaşır ve zeminin ısınmasını sağlar. Burada ısınan zemin, üzerinde bulunan havayı ısıtarak, sıcaklığının yükseltilmesini ve merkezde bulunan bacaya doğru yöneltir. Toplayıcı seraya gelen güneş ışınımının tamamı kullanılabilir ısıya dönüştürülemez. Yüzeyden yansıma ve konveksiyonla ısı kayıpları meydana gelir. Toplayıcı sera, Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Toplayıcı Sera (Üçgül, 2005).

Zemine gelen güneş ışınımı da cam yüzeydeki gibi aynı şekilde değişime uğrar. Yani kısmen geri yansır, büyük bir kısmı ise yutulur. Toplayıcı malzemesi seçiminde bazı kriterlere dikkate etmek gerekir. Sürekli güneş ışığına maruz kalacağı için dayanıklılık, güneş ışığını geçirgenliği ve maliyet gibi özellikler göz önüne alınarak seçim yapılmalıdır. Şekil 4’de toplayıcı seranın ısı dirençleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Güneş bacası için ısı dirençlerinin gösterimi (Üçgül, 2005).

Isı kayıpları ve diğer bağıntıların temel denklemleri literatürden alınmıştır (Duffie ve Beckman, 1991; Pasumarthi ve Sherif, 1998a). Bunlar Şekil 4’e göre düzenlenirse, burada cam yüzey, beton absorber ve akışkan hava için ısı balansı denklemleri;

$$U_t(t_a - t_c) + h_r(t_p - t_c) + h_1(t_f - t_c) = 0 \quad (1)$$

$$S + h_2(t_f - t_p) + h_r(t_c - t_p) + U_b(t_g - t_p) = 0 \quad (2)$$

$$h_1(t_c - t_f) + h_2(t_p - t_f) = q_u \quad (3)$$

şeklinde olur.

Bu denklem sistemlerinin iteratif çözümü için literatürde verilen sayısal çözümlene algoritması kullanılmıştır (Bernardes v.d., 2003). Teorik modellemenin yapıldığı bilgisayar programına deneysel çalışmanın yapıldığı günler için de hesaplama yaptırılmış, elde edilen teorik verilerle deneysel veriler karşılaştırılmıştır. SDU güneş bacası modelinin ortaya konmasında, literatürde yer alan ve bir kısmı aşağıdaki bölümlerde verilen denklemler kullanılmış ve bilgisayar programı da bu modele dayalı olarak geliştirilmiştir.

3. 1. 1. Teorik Model

Güneş bacası performansını etkileyen faktörler sırasıyla, baca yüksekliği, toplayıcı sera çapı, sera açıklığı, baca çapı, toplayıcı alt ve üst tabaka malzeme özelliği gibi parametrelerdir. Güneş bacası performansı, serada toplanan enerji (\dot{Q}), hareketlenen hava kütledebisi (\dot{m}), toplayıcı sera verimi (η_{sv}) ve sıcaklık farkına (ΔT) bağlı olarak hesaplanır. Güneş bacasındaki ısı enerji denge denklemi aşağıda verilmiştir (Koyun v.d., 2005; Bernardes v.d., 2003).

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T = (\tau\alpha) A_s \cdot I - \beta \Delta t_a A_s = \eta_s A_s I \quad (4)$$

Güneş bacasının enerji dengesi için; kararlı hal koşullarının var olduğu, sistemde sürtünmelerin olmadığı ve Boussinesq yaklaşımının geçerli olduğu varsayılmıştır.

Toplayıcı sera verimi,

$$\eta_s = (\tau\alpha) - \frac{\beta \Delta t_a}{I} \quad (5)$$

şeklinde verilir.

Sonuç olarak toplayıcı seradan elde edilecek faydalı ısı Q_u aşağıdaki şekilde hesaplanabilir,

$$Q_u = A_s F_R (S - U_L (t_i - t_a)) \quad (6)$$

Bu değerler, teorik baca sera örtüsünün ısı kazanç ve ısı kayıp hesaplarında kullanılmıştır.

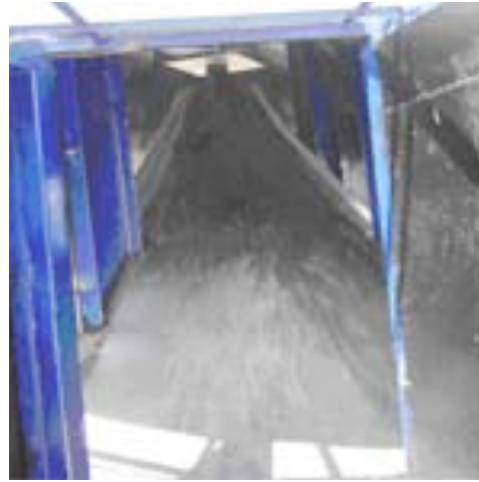
3. 2. Baca

Baca, kollektörden yukarıya doğru hareket etmeye zorlanan havanın tek çıkış yeridir. Burada havanın ısı enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür. Kollektörde ısınan havanın hareket etkisi, bütün baca boyunca bir basınç düşüşüne neden olur. Bu basınç düşüşü, kollektörde oluşan sıcaklık farkı ve bacanın yüksekliği ile doğru orantılıdır.

Bu çalışmada kullanılan güneş bacası prototipi, çelik konstrüksiyondan imal edilmiştir. Baca kısmı zemine sabitlenmiş ve çevresinden çelik gergi halatları ile gerilmiş olarak monte edilmiştir Şekil 5 ve Şekil 6'da ise baca içi yönlendirici sistem gösterilmiştir.



Şekil 5. Baca bölümü (Üçgül, 2005).



Şekil 6. Baca içi akış yönlendirici sisteminin görünüşü (Üçgül, 2005).

Baca verimliliği aşağıdaki şekilde ifade edilir (Schlaich, 1995):

$$\eta_{gb} = \frac{P_t}{\dot{Q}} = \frac{gH_{gb}}{c_p t_0} \quad (7)$$

3. 3. Türbin

Baca boyunca yukarıya hareket eden havanın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için rüzgâr türbinine ihtiyaç vardır. Türbin sayısı bir adetle sınırlı olmayıp, kollektör çapına göre sayısı artırılabilir. Bu çalışmada 15 m baca yüksekliği için 400 wtlık bir rüzgâr türbini baca içerisinde kullanılmıştır Prototip YEKARUM güneş bacasında kullanılan türbin Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Rüzgar türbininin görünüşü (Üçgül, 2005).

Güneş bacasından mekanik verimle (η_{mek}) birlikte elektrik güç çıkışı (P_e) literatüre göre aşağıdaki gibi ifade edilir, ayrıca burada η_{sv} toplayıcı sera verimi, c_p özgül ısı katsayısı, H_{gb} baca yüksekliği, T_o ortalama hava sıcaklığı, A_s toplayıcı sera alanı ve S zemin tarafından yutulan ışınım miktarı olmaktadır (Schlaich, 1995).

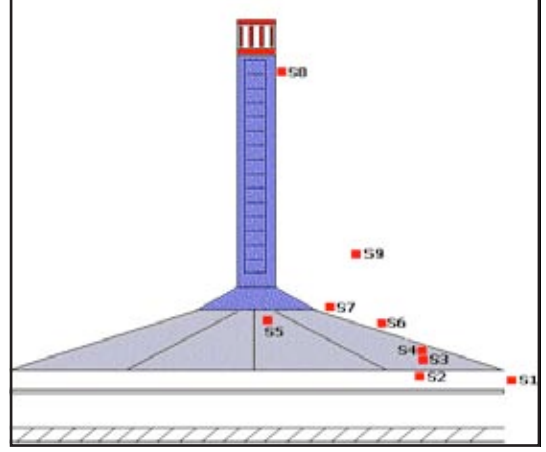
$$P_e = \frac{2}{3} \eta_{sv} \eta_{mek} \frac{g}{c_p t_o} H_{gb} A_s S \quad (8)$$

4. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Güneş bacası üzerinde dokuz noktaya sıcaklık, hava hızı ve güneş ışınımı gibi parametreleri ölçmek için ölçüm sensörleri ve cihazları yerleştirilmiştir. Ölçüm gerçekleştirilen noktalar aşağıdaki gibidir:

1. Kollektöre giren taze havanın sıcaklık ve hızı, S1 noktası,
2. Kollektörden bacaya doğru yatayda 3,5 m mesafedeki havanın zemindeki sıcaklığı S2 noktası,
3. Kollektörün yaklaşık 30 cm altındaki havanın sıcaklığı S3 noktası,
4. Kollektörün hemen altındaki havanın sıcaklığı S4 noktası,
5. Türbin girişindeki havanın sıcaklık ve hızı, S5 noktası,
6. Kollektör cam üst yüzeyindeki sıcaklık, S6 noktası,
7. Kollektör cam yüzeyine gelen güneş ışınımı, S7 noktası,
8. Baca çıkışındaki havanın sıcaklığı, S8 noktası,
9. Dış ortam sıcaklığı, S9 noktası olmaktadır.

Ayrıca bu ölçüm noktaları Şekil 8'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 8. Güneş Bacası ölçüm noktaları (Üçgül, 2005; Koyun, 2006).

Ölçüm yapılacak alanın büyük olması ve ölçüm noktasının çok olması nedeniyle her noktada farklı ölçüm sensörleri ve cihazları kullanılmıştır. Ölçüm sensörlerinden alınan verilerin bir kısmı, veri kaydedicilere direk olarak, bir kısmı ise bilgisayara kaydedilmiştir. Ölçümler 2005 yılının Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için farklı günlerde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının bir kısmı bir sonraki bölümde grafik ve tablo halinde verilmiştir.

5. PROTOTİP GÜNEŞ BACASI SİSTEMİNİN HESAP VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Tablo 2'de Prototip güneş bacasındaki ısıl özelliklerin hesaplanmış ve deneysel çalışmalar sonucu ölçülmüş bazı değerleri verilmiştir.

Sistemde ölçülen ve hesap edilen veriler, delphi 7.0 ortamında geliştirilen bilgisayar programının giriş parametreleri olarak kullanılmıştır. Denklem 1, 2, 3'de verilen denklem takımının çözümüne yönelik olarak geliştirilen bilgisayar programı bu giriş parametrelerini kullanarak çalıştırıldığında çıkış parametreleri elde edilmiştir. Bu giriş ve çıkış parametreleri Tablo 3'de verilmiştir.

Isı toplayıcı zeminin ısı tutumunu belirlemek amacıyla beton zeminin bir kısmı siyaha boyanmış, diğer kısmı ise boyanmamıştır. Bu iki kısımdaki sıcaklık değişimleri ölçülmüş ve ölçülen güneş ışınımı, baca içi beton ve siyah zemin sıcaklıklarının zamanla değişimleri Şekil 9'da verilmiştir.

Güneş bacasının sera kısmı toplam 12 dilimden oluşmuştur. Her bir yöne 3 dilim düşmektedir. Her bir dilimdeki zemin sıcaklığının yöne bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla, aynı güneş ışınımı altında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Aynı güneş ışınımı altında, farklı dilimlerdeki zemin sıcaklıklarının değişimi Şekil 10'de verilmiştir. Ayrıca güneş bacası sisteminden elde edilebilecek aylık toplam enerji değerleri ve ışınım değerleri arasındaki ilişki de Şekil 11'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Prototip Güneş bacası ısıl özellikleri (Üçgül, 2005).

Parametre	Sembol	Değer
Güneş ışınımı (ölçülerde ve hesaplamalarda kullanılan en alt ve üst değerler ile ara değerleri kapsar)	I	200-1000 W/m ²
Toplayıcı yutma-geçirme çarpanı	($\tau\alpha$)	0,81
Örtü kayıp katsayısı (en düşük, ortalama ve en yüksek değer)	U_L	5-8,8-12,6 W/m ²
Toplayıcı verimlilik faktörü	F'	0,56-0,72-0,88
Toplayıcı akış faktörü	F''	0,73 ~ 0,87
Isı kayıp faktörü	F_R	0,41 ~ 0,77
Toplayıcı verimliliği (en düşük ve en yüksek değer)	η_{top}	0,175 ~ 0,75
Ortalama hava sıcaklığı (ölçüm yapılan periyottaki en düşük, ortalama ve en yüksek sıcaklık)	T_o	10-20-30 °C
Hava özgül ısı	c_p	1005 J / kgK
Hava yoğunluğu	ρ	1,0931 kg/m ³
Sıcaklık farkı (ölçüm yapılan periyotlarda en düşük, ortalama ve en yüksek sıcaklık farkı)	ΔT	21-23-25 °C

Tablo 3. Toplayıcı ısı kaybı hesabı Tarih: 08.05.2005 (Koyun, 2006).

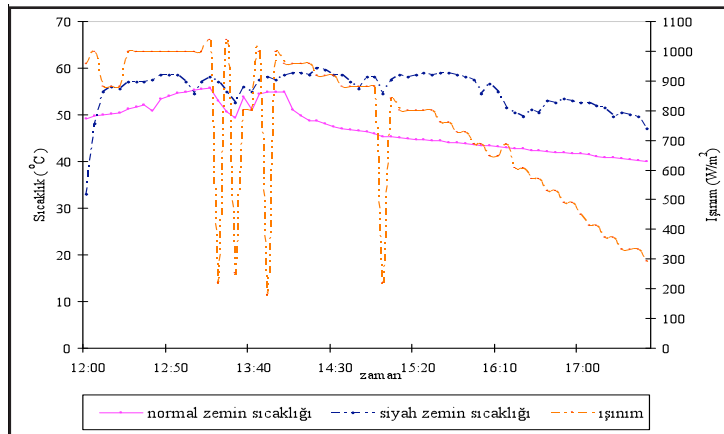
Giriş Parametreleri	
Ortam Sıcaklığı (t_a)	27,5 °C
Cam yüzey sıcaklığı (t_c)	29 °C
Zemin sıcaklığı (t_p)	53 °C
Stefan Boltzman sabiti (σ)	5,67E-8 W/m ² K ⁴
Camın yayma oranı (ϵ_c)	0,9
Zemin yayma oranı (ϵ_s)	0,93
Hacmi sabiti (β)	0,00304 1/K
Kinematik viskozite (ν)	1,589E-5 m ² /s
Ortalama koll.yüksekliği (h_{om})	1 m
Isı iletim katsayısı (k)	0,0263W/mK
Termal difüzyivite (α)	2,12E-5
Özgül ısı (c_p)	1005 J/kg.K
Yoğunluk (ρ)	1,1614kg/m ³
Zemin için ısı iletim katsayısı (k_b)	0,72W/mK
Giriş hava hızı (v)	0,56 m/s
Güneş ışınım miktarı (I)	600 W/m ²

Çıkış Parametreleri	
Isı taşınım katsayısı (hr)	5,9271 W/m ² K
Grashof sayısı ($Gr1$) *	709605726,27817
Prandtl sayısı ($Pr1$)	0,74953
Rayleigh sayısı ($Ra1$)	531869575,02642
Nusselt sayısı ($Nu1$)	113,43048
Isı taşınım katsayısı ($h1$)	2,98322 W/m ² K
Grashof sayısı ($Gr2$) **	2128817178,83451
Prandtl sayısı ($Pr2$)	0,74953
Rayleigh sayısı ($Ra2$)	1595608725,07926
Nusselt sayısı ($Nu2$):	163,59505
Isı taşınım katsayısı ($h2$)	4,30255 W/m ² K
toplayıcı sera ısı transfer katsayısı U_c :	10,98858 W/m ² K
zemin ısı transfer katsayısı ub :	2,4 W/m ² K
hava kütleli debisi m :	21,24971 kg/s
kabul edilen sera iç ortam sıcaklığı ($t_{f_ort_kabul}$)	35 °C
hesaplanansera iç ortam sıcaklığı (t_{f_hesap})	28,25803 °C

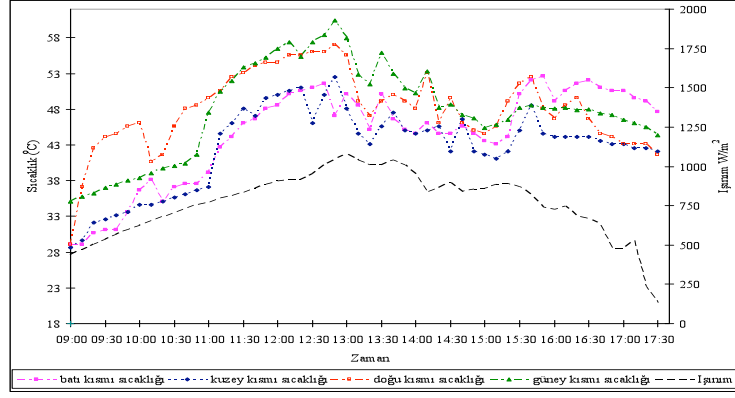
* : Üst örtü ile dış hava arası ısıl özellikleri belirtir;

** : Üst örtü ile sera iç havası arası özellikleri belirtir.

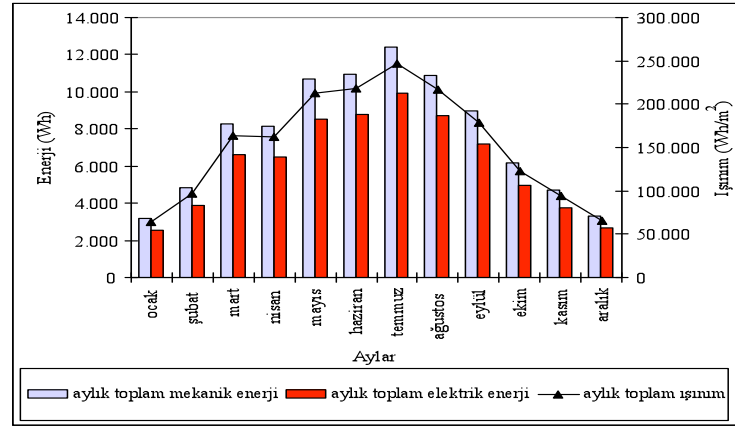
Güneş bacasının sera kısmı toplam 12 dilimden oluşmuştur. Her bir yöne 3 dilim düşmektedir. Her bir dilimdeki zemin sıcaklığının yöne bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla, aynı güneş ışınımı altında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Aynı güneş ışınımı altında, farklı dilimlerdeki zemin sıcaklıklarının değişimi Şekil 10'de verilmiştir. Ayrıca güneş bacası sisteminden elde edilebilecek aylık toplam enerji değerleri ve ışınım değerleri arasındaki ilişki de Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 9. Ölçü sisteminden ölçülen güneş ışınımı, baca içi beton ve siyah zemin sıcaklıklarının zamanla değişimleri (Üçgül, 2005).



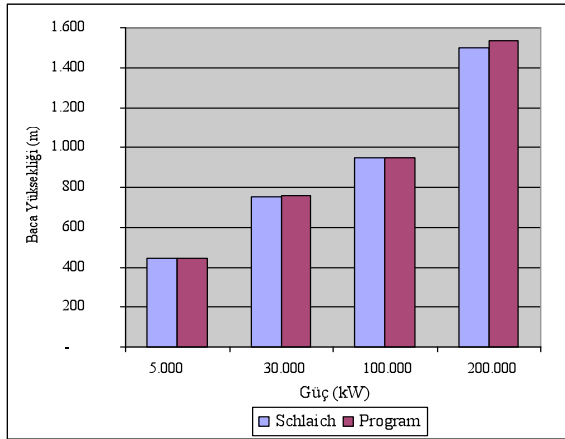
Şekil 10. Güneş radyasyonu ve zemin sıcaklığının yön ve zamana bağlı değişimleri (Üçgül, 2005).



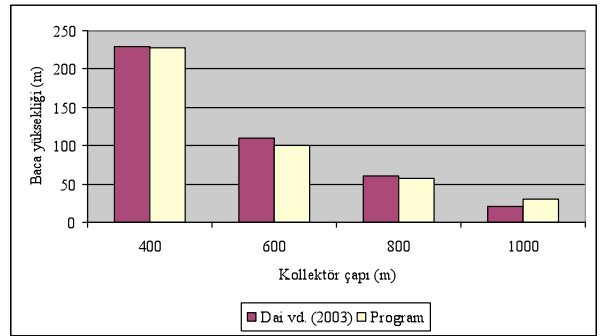
Şekil 11. Elde edilebilecek aylık toplam enerji değerleri ve ışınlam arasındaki ilişki (Koyun, 2006).

Manzanares güneş bacasında baca yüksekliği 194,6 m, baca çapı ise 10 m., kollektör çapı 240 m. olup, elde edilen güç 50 kW'dır (Schlaich, 1995). SDU güneş bacası modeline göre geliştirilen bilgisayar programı, Manzanares verileri ile çalıştırıldığında, aynı güç çıkışı ve kollektör çapı için baca yüksekliği 191,26 m., baca çapı ise 9,56 m. elde edilmiştir. Ayrıca, Schlaich modelinin verileri programda kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 12'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

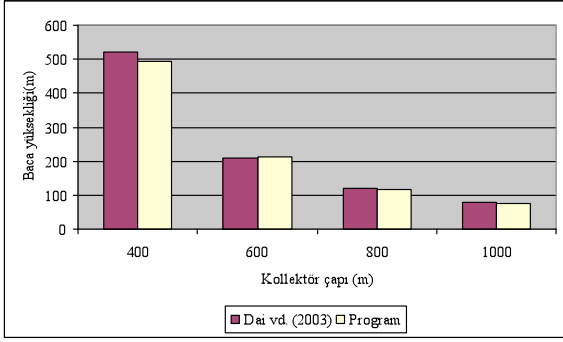
Yapılan deneysel ve teorik modelleme çalışmalarına dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programının geçerliliği ve doğruluğu literatürden Dai v.d., (2003) verileriyle de karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. 130 kW ve 270 kW güç çıkışlı güneş bacaları için, kollektör çapı ve baca yüksekliği arasındaki ilişki Şekil 13 ve 14'de verilmiştir. Bu grafiklerden literatürdeki sonuçlar ile bilgisayar programı arasında uyum olduğu görülmüştür. Aradaki farklar iklimsel değişikliklerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 12. Değişik güç değerleri için Schlaich modeli ile SDU modelinde edilen baca yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 13. 130 kW güç çıkışı için farklı kollektör çaplarında literatür (Dai v.d., 2003) ve SDU modelinde elde edilen baca yüksekliği değişiminin karşılaştırılması.

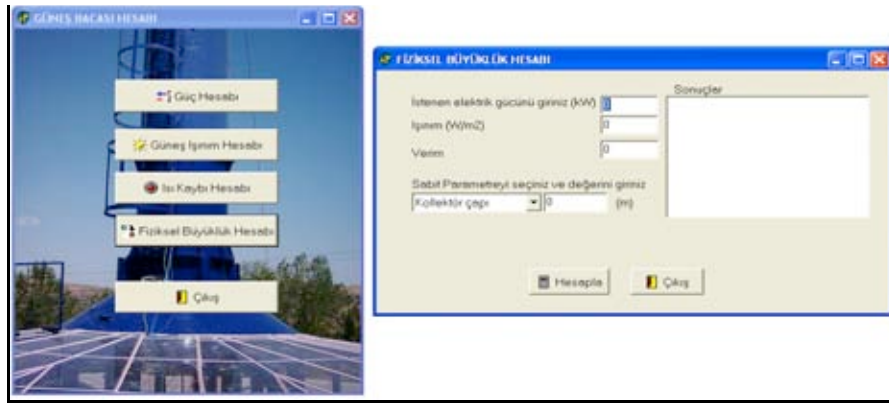


Şekil 14. 270 kW güç çıkışı için farklı kollektör çaplarında literatür (Dai v.d., 2003) ve bilgisayar programında elde edilen baca yüksekliği değişiminin karşılaştırılması.

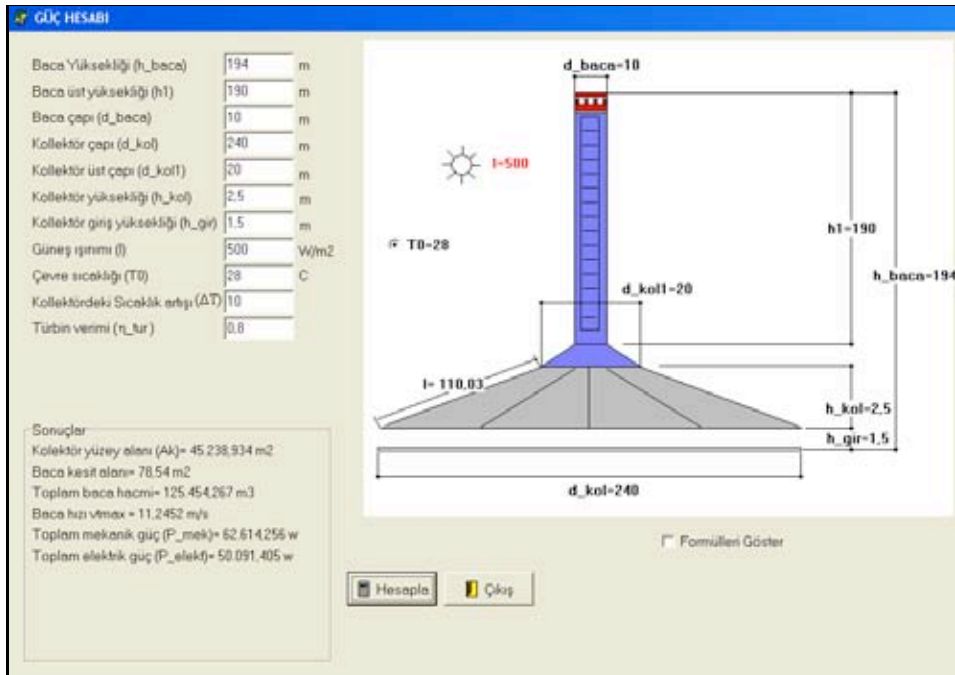
SDU güneş bacası esas alınarak geliştirilen bilgisayar programına ait ana menü, fiziksel büyüklük, güç hesabı ve güneş ışınım hesabına ait ara yüzler Şekil 15, 16 ve 17'de verilmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

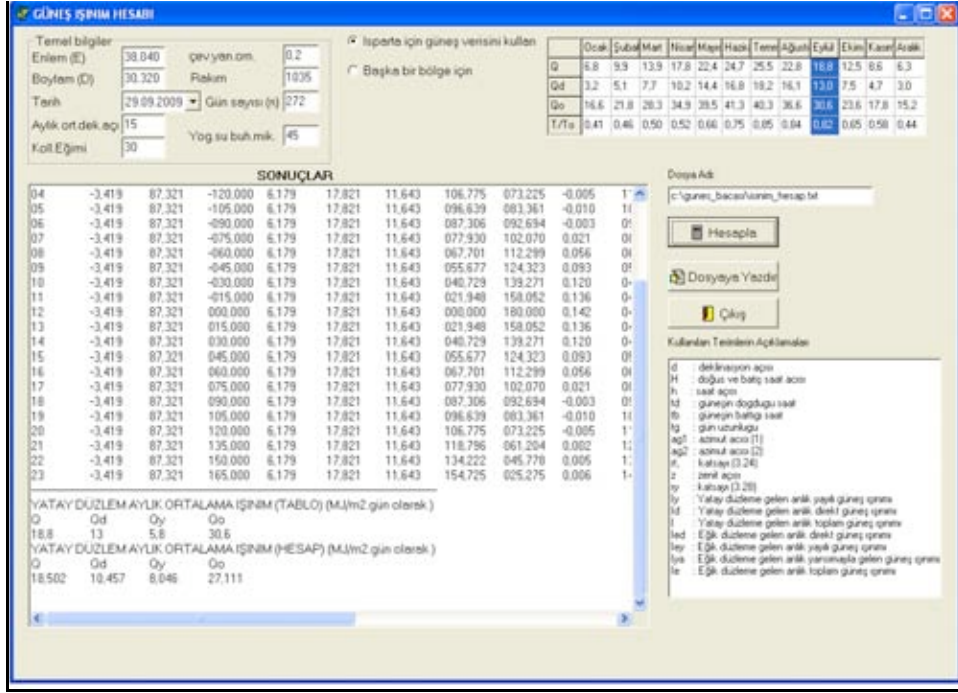
Yapılan teorik hesaplamalar ve deneysel çalışmalar sonucunda; güneşten gelen ışınım şiddeti arttıkça toplayıcı seranın alt kısmındaki zemin ve iç hava sıcaklıklarının arttığı, bu sıcaklıkların bulut geçişleri ve benzeri dalgalanmalardan etkilenmediği görülmüştür. Zemin sıcaklığının öğleden sonra nispeten kararlı bir yapıya kavuştuğu ve bunun etkisi ile sistemin güneş battıktan sonra bile düşük kapasitede çalışmasını sürdürdüğü görülmüştür.



Şekil 15. SDU güneş bacası modeli esas alınarak geliştirilen bilgisayar programının ana menü ve fiziksel büyüklük ara yüzlerinin ekran görüntüsü.



Şekil 16. SDU güneş bacası modeli esas alınarak geliştirilen bilgisayar programının güç hesabı ara yüzünün ekran görüntüsü.



Şekil 17. SDU güneş bacası modeli esas alınarak geliştirilen bilgisayar programının güneş ışınım hesabı ara yüzünün ekran görüntüsü.

Toplayıcı sera alanının yöne bağlı sıcaklık değişimleri; sabah saatlerinde doğu ve güney bölgelerinde; öğleden sonra ise batı ve güney yönlerinde daha yüksek olduğu görülmüştür. Gün içindeki değişik zaman dilimlerinde zeminde oluşan homojen olmayan ısı dağılımları, iç türbülanslara sebep olur. Bu durum, baca çekiş hızını düşürür. Bunu önlemek amacıyla sera alanını 12 eşit dilime bölen ve her bir dilimin birbiriyle ilişkisini kesen akış düzenleyici sistem kullanılmıştır. Böylece her bir dilimdeki akış, baca ortasında bulunan türbine doğru birbirini etkilemeden yönlendirilmiş olur.

Gerçekleştirilen sistem, güneş bacası konusunda ülkemizdeki ilk prototip projedir. Proje ile ilgili teknolojik tüm deneyim ve bilgi birikimine ulaşılmıştır. Bilgisayar programına dayalı olarak geliştirilen model, MW mertebesinde elektrik üretimi yapabilecek güneş bacalarının, güneş ışınımının yüksek ve güneşlenme sürelerinin uzun olduğu güneydoğu, akdeniz, ege ve iç anadolu bölgeleri için daha uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Mevcut sisteme bazı konstrüktif düzenlemeler ve iyileştirmeler yapılarak, sistem veriminin ve dolayısıyla elde edilen gücün artırılacağı ve yeni teknoloji ürünü, başka enerji üretimi sistemlerinin de geliştirilebileceği görülmüştür. Deney sonuçları yorumlandığında güneş bacası elektrik üretim gücünün direkt olarak bölge güneş verilerine, toplayıcı sera alanının büyüklüğüne ve baca yüksekliğine bağlı olduğu görülmüştür. SDU güneş bacası güç üretiminin güneş ışınımının

iklimsel değişimine göre aylık yaklaşık toplam enerji miktarının 3000 ila 12000 Wh arasında olduğu tespit edilmiştir.

Daha büyük maddi kaynaklı projelerde, yüksek baca (250 m- 1000 m yüksekliğinde) ve büyük sera alanına sahip (500 m ila 3000 m çaplarında) güneş bacalarında, 100 kW dan 100 MW a kadar değişen güçlerde elektrik üretimi yapabilen sistemler geliştirilebilecektir.

Yapılan prototip sistem teknoloji geliştirmeye yönelik bilimsel maksatlı doktora ve yüksek lisans çalışmaları için de uygundur. Yapılan çalışma, ülkemizdeki ilk çalışma olması sebebiyle ileride yapılacak tüm çalışmalara da büyük bir yol gösterici ve destekleyici olacaktır.

Bilgisayar programında, deneysel çalışma ile doğruluğu teyit edilen teorik model esas alınmıştır. Geliştirilen model ve bilgisayar programı aynı zamanda, ülkemizdeki değişik iklim bölgelerinde kurulacak olan güneş bacası prototip çalışmalarında da kullanılabilir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma DPT tarafından 'Güneş Bacası İle Elektrik Enerjisi Üretimi' isimli (DPT Proje No: 2003K121020) Proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca geliştirilen bilgisayar programı SDU-BAPKB tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı DPT'ye, SDU-BAPKB'ye ve proje ekiplerine sonsuz şükranlarımızı sunarız.

8. SİMGELER DİZİNİ

A_s	: Toplayıcı sera alanı [m ²],	t_c	: Kollektör üst yüzey sıcaklığı [K],
A_b	: Baca kesit alanı [m ²],	t_f	: Kollektör ortalama sıcaklığı [K],
A_g	: Giriş ağız çevresel alanı [m ²],	t_p	: Zemin sıcaklığı [K],
c_p	: Özgül ısı [J/kg.K],	t_i	: Kollektör iç sıcaklığı [K],
D	: Toplayıcı sera çapı [m],	t_o	: Ortalama hava sıcaklığı [K],
F_R	: Isı dönüşüm faktörü,	U_t	: Cam örtü üst yüzey ısı transfer katsayısı [W/m ² K],
g	: Yerçekimi ivmesi [m/s ²],	U_b	: Zemin ısı transfer katsayısı [W/m ² K],
H_{gb}	: Baca yüksekliği [m],	U_L	: Cam örtü yüzeyi toplam ısı transfer katsayısı [W/m ² K],
h_r	: Işınım ısı transfer katsayısı [W/m ² K],	ρ	: Hava yoğunluğu [kg/m ³],
I	: Toplayıcı sera üst yüzeyine gelen güneş ışınımı [W/m ²],	η_{sv}	: Toplayıcı sera verimi,
\dot{m}	: Hava kütleli debisi [kg/s],	η_{gb}	: Güneş bacası verimi,
P_e	: Elektrik güç çıkışı [W],	η_{mek}	: Mekanik verim,
P_t	: Hava akımının içerdiği güç [W],	ΔT	: Sıcaklık farkı [K],
q_u	: Birim yüzey için faydalı ısı [W/m ²],	τ	: Geçirgenlik katsayısı,
\dot{Q}	: Serada toplanan enerji [W],	$(\tau\alpha)$: Toplayıcı sera yutma geçirme çarpanı,
S	: Zemin tarafından yutulan ışınım miktarı [W/m ²],	β	: Toplayıcı sera ısı kayıp katsayısı [W/m ² K].
t_a	: Dış ortam sıcaklığı [K],		

KAYNAKLAR

- Bernardes, M.A.dos S., Voss, A., Weinrebe, G. 2003. "Thermal and Technical Analyses of Solar Chimneys", *Solar Energy*, 75, 511-524. Schlaich, J. 1986. Baureife Planung und Bau einer Demonstrationsanlage eines atmosphärischen Aufwindkraftwerkes. BMFT-FB-T 86-208 Stuttgart.
- Dai, Y.J., Huang, H.B., Wang, R.Z. 2003. "Case Study of Solar Chimney Power Plants in Northwestern Regions of China". *Renewable Energy*. (28), 1295–1304.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 1991. "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley & Sons Inc., New York., TJ 810, D82.
- Fluri, T.P., Pretorius, J.P., Van Dyk C., Von Backström, T.W., D.G. Kroger, G.P.A.G. Van Zijl, 2009. "Cost Analysis of Solar Chimney Power Plants", *Solar Energy*. (83), 246–256.
- Güven, Ş.Y., Üçgül, İ., Şenol, R. 2004. "Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları ve Güneş Kulelerinin İncelenmesi", *Mühendis ve Makina Dergisi*, Sayı 533, Haziran 2004.
- Haaf, W. 1984. "Solar Chimneys Part II: Preliminary Test Results from the Manzanares Pilot Plant", *International Journal of Solar Energy*. (2), 141-161.
- Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G., Schlaich, J. 1983. "Solar Chimneys, Part I: Principle and Construction of the Pilot Plant in Manzanares. *International Journal of Solar Energy*", 3–20.
- <http://yekarum.sdu.edu.tr>
- Koyun, A. 2006. "Güneş Bacası İle Enerji Üretimini İncelenmesi", S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Koyun, A., Üçgül İ., Acar, M., Şenol, R. 2005. "Güneş Bacası Sisteminin Termal Dizayını", *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Mersin, Haziran, 2005.*
- Padki, M. M., Sherif, S.A. 1999. "On a Simple Analytical Model for Solar Chimneys", *Int. Journal of Energy Research*. (23), 345-349.
- Pasumarthi, N., Sherif, S.A. 1998a. "Experimental and Theoretical Performance of a Demonstration Solar Chimney Model-Part I: Mathematical Model Development", *International Journal of Energy Research*. (22), 277-288.
- Schlaich, J. 1986. Baureife Planung und Bau einer Demonstrationsanlage eines atmosphärischen Aufwindkraftwerkes. BMFT-FB-T 86-208 Stuttgart.
- Schlaich, J. 1995. "The Solar Chimney (Electricity from the Sun)", Edition Axel Menges.
- Üçgül, İ. 2005. DPT Proje Raporu, Proje No: 2003K121020'nolu DPT Destekli "Güneş Bacası İle Elektrik Enerjisi Üretimi", Isparta.
- Üçgül, İ., Selbaş, R., Şenol, R., Kızılkın, Ö. 2003. "Güneş Güç Sistemlerinin Heliostat Alan Düzenlenmesi ve Termodinamik Analizleri", *ULIBTK 03*, 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tek. Kongresi, Bildiri Kitabı, Isparta. s. 373-380. 3-5 Eylül, 2003.