

BİR ÖĞRENCİ YURDU BİNASI İÇİN GÜNEŞ ENERJİLİ VE SIVI YAKITLI SICAK SU SİSTEMİ TASARIMI

Hüseyin GÜNERHAN

ÖZET

Bu çalışmada, bir öğrenci yurdu binasının güneş enerjisi destekli su ısıtma sisteminin tasarımına ait bilgiler ve hesaplama yöntemleri adım adım verilmiştir. Tasarım sonunda, istenen sıcak su gereksiniminin %40 kadarını güneş enerjili sistemden, diğer kısmını da sıvı yakıtlı sistemden sağlayacak olan tesisata ait toplam kolektör alanı, kazan gücü, kazan hacmi, geri dönüşüm sığıması ve ön ısıtmalı depo hacmi bilgileri de verilmiştir. Sıvı akışkanlı güneş enerjili sisteminin hesabında f-chart yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, f-chart yöntemi

ABSTRACT

In this study, the design of a solar-asisted water heating system for a dormitory is made. This design includes: (a) the solar heating system should supply approximately 40% of the hot water energy requirements, (b) the total number of students is 400 with 320 male and 80 female students, (c) living quarters are on the second, third, and fourth floors with 60, 70, and 70 rooms, respectively, (d) there are 20 showers and lavatories on each residential floor, and (e) there are 20 commercial-grade laundry machines in the basement. Total area of collectors, boiler power, boiler capacity, recovery capacity and preheat storage tank capacity are determined. It is expected that the method proposed here will be beneficial to the HVAC engineers working in the solar heating systems.

Keywords : Solar-asisted water heating system, Service water heating, The f-chart method

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin örnek bir proje altında tasarım aşamaları adım adım verilmiştir. Örnek proje olarak, bir öğrenci yurdu binası ele alınmış ve binaya ait sıcak su kullanım sığıması (kapasitesi) bilgileri altında, geleneksel ısıtmalı su ısıtma sisteminin güneş enerjisiyle desteklenmesi analiz edilmiştir. Azalan sıvı yakıt tüketimiyle gerçekleşecek enerji tasarrufu sayesinde, kurulacak yeni sistemin kurulum ve çalışma masrafının kısa bir süre için geri kazanılabileceği düşünülmektedir. Bir yapılabirlik (feasibility) çalışması ile de çeşitli seçenekler oluşturulmuştur.

Güneş enerjili su ısıtma sistemi için aşağıda verilen koşullar göz önüne alınmıştır:

- Örnek tasarım İzmir ili Bornova ilçesi için yapılmıştır. Tasarımda kullanılan güneş ışınımı ve iklim verileri Bornova ilçesi veya İzmir ili için alınmıştır.
- Güneş enerjili su ısıtma sistemi, binanın sıcak su gereksiniminin yaklaşık olarak %40 kadarını sağlayacak şekilde tasarlanacaktır. Maliyet tahminlerine bağlı olarak daha düşük veya yüksek katkıya sahip olan sistemler de dikkate alınacaktır.

- Güneş enerjili ısıtma sisteminin kurulum ve çalışma maliyetinin yaklaşık 15 yıl içerisinde geri kazanılması ön görülmektedir.
- Toplam öğrenci sayısı, 320 kadarı erkek, 80 kadarı kız olmak üzere toplam 400 olarak alınacaktır.
- Odaların bulunduğu kısımlar olarak 60, 70 ve 70 odanın bulunduğu ikinci, üçüncü ve dördüncü katlar dikkate alınacaktır.
- Odaların bulunduğu her bir katta 20 duş ve lavabonun bulunması gerektiği dikkate alınacaktır.
- Bodrum katında 20 adet ticari sınıf çamaşır makinası bulunması gerektiği dikkate alınacaktır.
- Ana sıcak su sağlama birimi bodrum katında alınacaktır.
- Yiyecekler için gerekli olan sıcak su gereksinimi dikkate alınmayacaktır.

Tasarım sırasında ısıtılacak olan suyun, kolektörler içinde doğrudan dolaştırılması veya dolaylı olarak kolektörler arasında dolaştırılan ikinci bir akışkan aracılığı ile ısıtılması göz önüne alınacaktır. Bu durumda ikincil akışkan bir ısı değiştiricisinde ısıtacaktır. İki sıvılı sistem, ikinci sıvıyı, hava sıcaklığının donma noktasının altında kaldığı dönemlerde bile donmayacak şekilde seçebilme yararı sağlayacaktır. İkincil sıvı olarak etilen glisol-su karışımı kullanan bir sistem seçilebilir. Toplam ısıtma gereksiniminin %40 kadarının güneş enerjili ısıtma sisteminden sağlanması için iki ayrı seçenek göz önüne alınacaktır. Birincisi, ısıtılması gerekli olan su miktarının %40 kadarını en fazla kullanım sıcaklığına kadar ısıtmaktır. İkincisi ise, suyun tamamını güneş enerjili ısıtma sisteminde bir miktar ısıtıp, geri kalan ısıtmayı, ısıtmanın %40 kadarı güneş enerjisinden sağlanacak şekilde geleneksel ısıtma sisteminde sağlamaktır. Güneş kolektörlerinin verimi akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığı arttıkça düşme gösterir. Birinci seçenekte kolektörler daha yüksek sıcaklıklarda çalışmak zorundadırlar. Bu sebeple ikinci seçenekte kolektör verimi daha yüksek olacaktır. Bu yüzden ikinci seçenek seçilebilir.

Bu çalışmada, aşağıda verilen adımlar izlenerek bir analiz yapılacaktır:

- Enerji gereksiniminin belirlenmesi, toplam günlük sıcak su gereksiniminin ve soğuk suyu istenilen sıcaklığa ısıtmak için gerekli enerjinin tahmin edilmesi.
- Bölgedeki kullanılabilir güneş enerjisinin tahmin edilmesi.
- Güneş kolektörlerinin verimliliği için uygun değerlerin varsayımı, güneş enerjili sistemlerin ısıtması ile sağlanacak sıcak suyu için gerekli güneş kolektörü alanının belirlenmesi.
- Güneş kolektörleri kurulum maliyetinin belirlenmesi.
- Azalan yakıt tüketiminden elde edilen tasarrufun belirlenmesi.

2. ENERJİ GEREKSİNİMİNİN BELİRLENMESİ

Birinci bölümde bilgileri verilen öğrenci yurdu binasında, yetişkinler için kişi başına sıcak su tüketimi 50 L/gün (0.05 m³/gün) olarak alınabilir, [1]. Kullanım suyunun sıcaklığı, kullanım noktalarında 60°C alınmıştır. Kullanım suyu, soğuk su ile karıştırılarak Tablo 1 ile verilen özel durumlara ait sıcaklıklar, kullanıcılar tarafından ayarlanmalıdır, [1].

Tablo 1. Örnek Sıcak Su Sıcaklıkları, [1]

Kullanım	Sıcaklık (°C)
Tuvalet	
El yıkama	40
Tıraş	45
Duşlar	43
Ticari veya kurumsal çamaşırhane	82 (en yüksek)

Kullanım noktaları ile su ısıtıcı arasındaki sıcaklık düşüşleri nedeniyle su ısıtıcısı çıkışındaki sıcaklık, 62°C alınmıştır. 400 adet öğrenci için, günlük toplam su gereksinimi 20000 L (20 m³) olarak tahmin edilmiştir. Hesaplamalarda, suyun yoğunluğu 1 kg/L (1000 kg/m³) ve ortalama özgül ısısı 4.180 kJ/(kg°C) alınmıştır. Yıllık ortalama şebeke suyu İzmir ili Bornova ilçesinde 1 m derinlik için ölçülmüş toprak sıcaklığı olan 19.8°C olarak alınmıştır, [2]. Yukarıda verilen veriler altında enerji gereksinimi Denklem (1) ile hesaplanabilir.

$$q = \dot{m}C_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) = (20000 \text{ kg/gün})(4.180 \text{ kJ/kg°C})(62^\circ\text{C} - 19.8^\circ\text{C})$$
$$= 3.5278 \cdot 10^6 \text{ kJ/gün} \quad (1)$$

Çamaşırhane için gerekli enerji, toplam enerji gereksiniminin %12 artırılmasıyla hesaplanır ve bu artırımla toplam günlük enerji tüketimi, 3.95127.10⁶ kJ/gün olur. Güneş enerjili su ısıtma sistemi, enerjinin %40 kadarını (1.58051.10⁶ kJ/gün) sağlamalıdır, [3, 4].

3. GÜNEŞ IŞINIMI VE İKLİM VERİLERİ

Bu çalışmada kullanılan güneş ışınımı ve iklim verileri Bornova ilçesi veya İzmir ili için alınmıştır. İzmir ili Bornova ilçesi için enlem, boylam, yükselti (rakım) ve atmosferik basınç değerleri aşağıda verildiği gibidir, [2]:

Enlem: 38° 28' (Kuzey)

Boylam: 27° 10' (Doğu)

Yükselti: 27 m

Atmosferik basınç: 101.28 kPa

Bornova ilçesinde, sabit bir açıda güney yönüne bakan düzlemsel güneş kolektörleri kullanılacaktır. Kolektör eğim açısı, enlem dairesi açısı olan 38.46° değerinde alınacaktır. 38.46° açıda yıllık ortalama güneş ışınımı miktarı, 16.53 MJ/(m².gün) olarak alınmıştır, [5, 6].

Kullanılabilir güneş enerjisinin bir kısmı çevreye kaybolur. Gelen güneş enerjisinin bir kısmı, çalışma akışkanı tarafından kullanılır. Kazanılan güneş enerjisi miktarının, gelen toplam güneş ışınımına oranı güneş kolektörü verimidir. Saatlik güneş kolektörü verimi, %50 değerine kadar çıkabilirken, gün boyu kolektör verimi yaklaşık %40 değerinde olur, [3, 4]. Birleşik kolektör ve şebeke verimi %40 kabul edilirse, kullanılabilir yararlı güneş enerjisi: (40/100)(16.53) MJ/(m².gün) = 6.612.10³ kJ/(m².gün) olarak hesaplanabilir. Güneş enerjili su ısıtma sistemi katkısı 1.58051.10⁶ kJ/gün olarak hesaplanmıştır. Bu değer yardımıyla gerekli güneş kolektörü alanı Denklem (2) ile hesaplanır.

$$\text{Güneş Kolektörü Alanı} = \frac{1.58051 \cdot 10^6 \text{ kJ/gün}}{6.612 \cdot 10^3 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{gün)}} \cong 239 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Kolektör üreticilerinden alınan ortalama eder altında, 1 m² güneş kolektörü alanı başına kolektör maliyeti 200 YTL ise, toplam güneş kolektörü maliyeti 47800 YTL olur. Bu değere ek olarak; borulama, yalıtım, ısı değiştiricisi, depo ve işçilik gibi yardımcı donanımlarda güneş kolektörü maliyetine eşit olarak alınırsa, güneş enerjili sisteminin toplam maliyeti yaklaşık 95600 YTL olarak hesaplanabilir.

Gün başına 1.58051.10⁶ kJ güneş enerjisi katkısı ile, kalorifer yakıtının (fuel-oil no:5-hafif) alt ısı değeri 42600 kJ/kg, yoğunluğu 860 kg/m³ ve yanma veriminin %80 olarak alınması sonucu, yakıt tüketimindeki azalma yaklaşık olarak 0.05 m³/gün olur. Kalorifer yakıtı ederi 1.22 YTL/kg olarak alınırsa, yıllık kazanç miktarı yaklaşık olarak 21000 YTL olur, [3, 4, 7, 8].

4. YAPILABİLİRLİK (FEASIBILITY) ÇALIŞMASI İÇİN DETAYLI TASARIM

4.1. Sıcak Su Gereksinimi

Sıcak su gereksinimi; tesisat, kullanım süresi, yaşam standartları ve binalardaki kişisel gereksinimlere bağlı olarak değişir. Su sağlama sistemi kabul edilebilir basınç kayıplarını karşılayabilmelidir. En fazla (maximum) sıcak su gereksinimi, genellikle duşların kullanımı ile belirlenir. Duşların kullanımı 1 ile 2 saat sürebilir ve bu süreden sonra su gereksinimi belirgin ölçüde azalır. Yurtlar için, en fazla gereksinim gece yarısına doğru oluşur. Kişi başı yaklaşık su gereksiniminin bilinmesine rağmen, bir gün boyunca oluşacak en fazla gereksinim, duş alma sayısından ve aynı anda diğer kullanım noktalarının miktarından belirlenebilir.

Sıcak su gereksinimi belirlemek için aşağıda verilen iki yöntem kullanılır:

- En fazla sıcak su gereksinimi yöntemi
- Tesisattaki donanımlar başına tüketim oranı yöntemi

Birinci yöntem, bir merkezi depolamalı tipi sıcak su sistemi için en fazla saatlik ve günlük gereksinime bağlıdır. Ticari ve kurumsal binaların çeşitli sınıfları için en fazla saatlik ve günlük gereksinimler Tablo 2 ile verilmiştir, [1].

Tablo 2.Bir yurt binası için sıcak su gereksinimi ve kullanımı, [1]

Bina tipi	En fazla kullanım süresi (saat)	En fazla kullanım süresi (gün)	Ortalama kullanım süresi (gün)
Erkek yurdu	0.0144 m ³ /öğrenci	0.0833 m ³ /öğrenci	0.0497 m ³ /öğrenci
Kız yurdu	0.0190 m ³ /öğrenci	0.1000 m ³ /öğrenci	0.0466 m ³ /öğrenci
Ofis binası	0.0015 m ³ /kişi	0.0076 m ³ /kişi	0.0038 m ³ /kişi

Tablo 2 ile verilen değerler göz önüne alınarak, sıcak su gereksinimi için Tablo 3 verilmiştir.

Tablo 3.Toplam sıcak su gereksinimi, (m³)

Kullanıcı	Öğrenci sayısı (adet)	En fazla kullanım süresi (saat)	En fazla kullanım süresi toplamı (saat)	En fazla kullanım süresi (gün)	En fazla kullanım süresi toplamı (gün)	Ortalama kullanım süresi (gün)	Ortalama kullanım süresi toplamı (gün)
Erkekler	320	0.0144	4.608	0.0833	26.656	0.0497	15.904
Kızlar	080	0.0190	1.520	0.1000	08.000	0.0466	03.728
Toplam	400		6.128		34.656		19.632 m³/gün

İkinci yöntem; tesisattaki donanımlar başına tüketim oranına bağlı olan yöntemdir. İkinci yöntem için Tablo 4 verilmiştir, [1].

Tablo 4.60°C çıkış sıcaklığında kullanım noktası başına saatlik su miktarı (.10⁻³ m³/h), [1]

Kullanım noktası	Apartman dairesi	Spor salonu	Otel	Ofis	Mesken	Okul
Kişisel lavabo	007.6	007.6	007.6	007.6	007.6	007.60
Genel lavabo	015.0	030.0	030.0	023.0	-	005.70
Banyo küveti	076.0	114.0	076.0	-	076.0	-
Bulaşık makinası	057.0	-	190.0-760.0	-	057.0	076.0-380.0
Ayaklı lavabo	011.0	046.0	011.0	-	011.0	011.0
Mutfak lavabosu	038.0	-	114.0	076.0	038.0	076.0
Çamaşırhane, sabit küvet	076.0	-	106.0	-	076.0	-
Kiler lavabosu	019.0	-	106.0	038.0	019.0	-
Servis lavabosu	114.0	-	114.0	076.0	057.0	076.0
Duş	019.0	850.0	284.0	114.0	114.0	850.0
Dairesel yıkama lavabosu	-	-	076.0	076.0	-	114.0
Yarı dairesel yıkama lavabosu	-	-	038.0	038.0	-	057.0

Tüm kullanım noktalarının aynı zamanda açıldığı varsayılırsa, en fazla gereksinimin üst noktası veya en fazla gereksinim miktarı bulunabilir. Tüm kullanım noktaları seyrek olarak aynı zamanda açılabilmesi için, en fazla gereksinim miktarı, en fazla gereksinimin, gereksinim etmeni (faktörü) ile çarpılmasıyla bulunur. Depolama sığası (kapasitesi) etmeni, uygun depo sığasının, en fazla gereksinime oranıdır. Tablo 5 ile, gereksinim etmeni değerleri verilmiştir, [1].

Tablo 5.Binaların farklı tipleri için sıcak su gereksinim etmenleri (-), [1]

Etmen	Apartman dairesi	Spor salonu	Otel	Ofis	Konut	Okul
Gereksinim etmeni	0.30	0.40	0.25	0.30	0.30	0.40
Depolama sığası etmeni	1.25	1.00	0.80	2.00	0.70	1.00

Gereksinim etmenleri öğrenci yurtları için yoktur. Tablo 5 ile verilen değerler göz önüne alınarak, en yüksek değer ile en düşük değer arasında yer alan 0.3 değeri öğrenci yurtları için alınabilir. En fazla sıcak su gereksinimi, Tablo 4 ile verilen Otel verilerinden yararlanarak, Tablo 6 ile verilmiştir.

Tablo 6.En fazla sıcak su gereksinimi

Kullanım noktası tipi	Kullanım noktası sayısı	Kullanım noktası başına debi (m ³ /h)	Toplam debi (m ³ /h)
Genel lavabo	60	0.030	01.80
Duş	60	0.284	17.04
En fazla gereksinim	-	-	18.84

Tablo 6 ile verilen en fazla gereksinim 18.840 m³/h değerindedir. Çamaşırhane üniteleri için sıcak su gereksinimi bu değere eklenmelidir. Tablo 4 ile verilen bilgilerden yararlanarak 20 adet çamaşır makinası için sıcak su gereksinimi miktarı Denklem (3) ile hesaplanır.

$$\text{Çamaşırhane için sıcak su gereksinimi miktarı} = (20 \text{ adet})(0.106 \text{ m}^3/\text{h}) = 2.120 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

En fazla gereksinim miktarı, çamaşırhane sıcak su gereksiniminin eklenmesi ile 20.960 m³/h olarak bulunur. Gereksinim etmeni yardımıyla, en fazla gereksinim miktarı Denklem (4) ile hesaplanır.

$$\text{En fazla gereksinim miktarı} = (20.960 \text{ m}^3/\text{h})(0.30) = 6.288 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4)$$

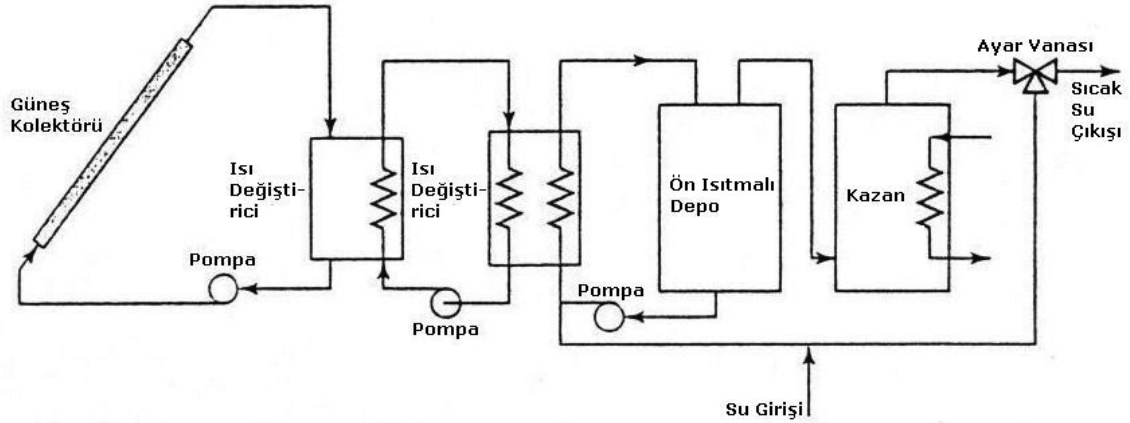
2 saat boyunca, günlük en fazla gereksinim miktarı 6.288 m³/h değerinde olacaktır. Günün geri kalan zamanlarındaki kullanımlar için ise ek olarak, 8.384 m³/gün değerinde sıcak su sağlanmalıdır. Böylelikle toplam günlük sunum **20.960 m³/gün** olur. Bu değer, (Tablo 3 ile verilen) en fazla su gereksinimi olan **19.632 m³/gün** değerine yakındır, [3, 4].

5. DEPO SİĞASI VE ISITICI GÜCÜ GEREKSİNİMİ

Soğuk iklimlerde kullanılan güneş enerjisi sistemler için, Şekil 1 ile verilen kolektör döngüsünde (kolektör-ısı değiştirici arasında) olduğu gibi ikincil sıvı olarak antifriz çözünüsü kullanmak gerekmektedir, [9]. Şekil 1 ile verilen sistemde, güneş enerjisi, ısı değiştirici aracılığıyla taze suyu ısıtır.

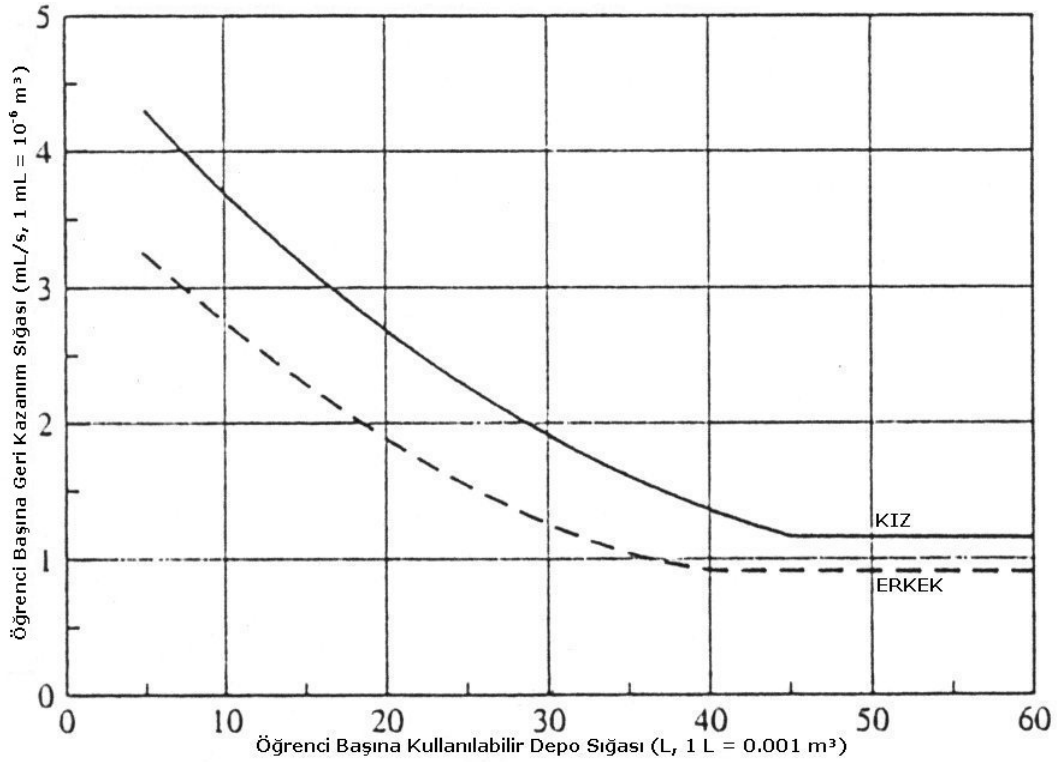
Dolaşan taze su, ikinci ısı değiştiricisindeki evsel kullanım için gerekli birincil suyu ısıtır. İkinci ısı değiştiricisi-kolektör döngüsü, antifriz çözeltisi ile başlangıç suyundaki kirliliği en aza indirger. Ön ısıtmalı depo, mevcut enerjisini depolar veya güneş ile ısıtılan suyun daha sonra kullanılmasını sağlamak amacıyla kazana gönderir. (Kazan, sıvı yakıtlı bir ısıtıcıya sahiptir). Tablo 5 yardımıyla, depolama sığası etmeni 1.0 alınabilir, kazan sığası, en fazla gereksinim değerine eşitlenebilir.

Kazan boyutu, kullanılabilir depo sığası ve geri kazanım oranı yardımıyla bulunabilir. Geri kazanım oranı, 60°C sıcaklıktaki sıcak suyun üretim oranıdır. Kullanılabilir kazan sığası Şekil 2 ile verilmiştir, [1]. 320 adet erkek ve 80 adet kız öğrenciden oluşan öğrenci yurdu için, iki eğri arasında kalan ortalama eğri seçilir.



Şekil 1. Su ısıtma tesisatı, [9]

Çok düşük geri kazanım etmenleri, çok büyük bir depo gerektirirken, öğrenci başına geri kazanım sığası için büyük değerler, çok küçük bir depo seçimine neden olabilir. Geri kazanım etmenleri doğrudan sıcak su kazanı ile ilişkilidir. Bu nedenle küçük depolu yüksek güçlü kazan veya büyük depolu düşük güçlü kazan arasından bir seçim yapılmalıdır.



Şekil 2. Öğrenci Yurtları için Geri Kazanım ve Depo Sığası, [1]

Denklem (4) ile hesaplanan 6.288 m³ (6288 L) kazan sığası, 6.288 m³/h olan en fazla gereksinime bağlıdır. Bu değere eşit olan geri kazanım sığası 400 öğrenci için 1.747.10⁻³ m³/s (1.747 L/s) veya öğrenci başına 4.367.10⁻⁶ m³/s (4.367.10⁻³ L/s) değerindedir. Şekil 2 yardımıyla, bu değer öğrenci başına 0.005 m³ (5 L) veya depo boyutunda 2 m³ (2000 L) gibi küçük depolama sığası kazandırır. %70 net kullanım durumunda, gerekli gerçek depo sığası 2.857 m³ [(2000)(100) / (70) = 2857 L] olarak hesaplanır. Bu değer, Denklem (4) ile bulunan 6.288 m³ değerinin %45 kadarına eşittir. Şekil 2'de, bir çizgi boyunca herhangi bir nokta kabul edilebilir sığayı gösterir. Büyük sığa, uzun süreli kullanımlar için yeterli sıcak su kaynağı anlamına gelir, ancak kullanım noktası tüketim oranı, geri kazanım sığası ile gösterilir. Geri kazanım sığaları için diğer sınırlandırmalar aşağıda verildiği gibi sıralanabilir:

Öğrenci başına en az geri kazanım oranı $1.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (1.10^{-3} L/s) ile ($1.440 \text{ m}^3/\text{h}$ hızında sıcak su geri kazanım sığası sağlamak için 400 öğrenci için $4.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$), öğrenci başına yaklaşık 0.045 m^3 (45 L) değerinde bir depo veya %70 net kullanım için 25.7 m^3 değerinde bir depo gerektirir. Önceden tahmin edilen $1.2.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (1.2 L/s) değerindeki geri kazanım hızı, $4.320 \text{ m}^3/\text{h}$ (4320 L/h) değerindeki sıcak su geri kazanım hızı ile uyumludur. Diğer olası düzenlemeler Tablo 7 ile verilmiştir.

Tablo 7. Depo boyutları

Geri kazanım sığası	L/s	1.747	1.2	1.0	0.8	0.400
Sıcak su geri kazanım hızı	L/h	6288	4320	3600	2880	1440
Geri kazanım sığası/(öğrenci sayısı)	mL/s	4.37	3.0	2.5	2.0	1.0
Kullanılabilir depo sığası	L/(öğr. sayısı)	5.0	11.0	18.0	23.0	45.0
Depo boyutu	m^3	2.0	4.4	7.2	9.2	18.0
Gerçek depo boyutu	m^3	2.9	6.3	10.3	13.1	25.7

Tablo 7 ile verilen değerler incelendiğinde, küçük geri kazanım sığalarının, büyük sıcak su depoları gerektirdiği ve küçük geleneksel su ısıtma birimlerini gerektirdiği görülebilir, [3, 4].

6. SU ISITMA YÜKÜ HESABI

Öğrenci yurdunda, günlük gerekli sıcak su miktarını sağlamak için gerekli toplam enerjinin belirlenmesi gerekir. Bunun için, 62°C sıcaklığındaki sisteme sıcak su sağlamak için hesaplama yapılması gerekmektedir. Aşağıda verilen hesaplamalarda sıcak su miktarı için $20 \text{ m}^3/\text{gün}$ değeri (20000 L/gün) yani 20960 L/gün ile 19632 L/gün arasında bir değer göz önüne alınmıştır. Enerji gereksinimi Denklem (1) ile verilen eşitliğe benzer şekilde, Denklem (5) ile hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 q &= \dot{m}C_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \\
 &= (20 \text{ m}^3/\text{gün})(1000 \text{ kg}/\text{m}^3)(4.180 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C})(62^\circ\text{C} - 19.8^\circ\text{C}) \\
 &= 3.528.10^6 \text{ kJ}/\text{gün}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Güneş enerjili su ısıtma sistemi, $3.528.10^6 \text{ kJ/gün}$ değerinin %40 kadarı alınarak, $1.411.10^6 \text{ kJ/gün}$ değerindeki enerji gereksinimini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Kazan elemanının boyutlandırılması için Denklem (6) ile verilen eşitlik kullanılabilir.

$$\dot{q} = QC_p \rho \Delta T / \eta \tag{6} \quad (\text{kW})$$

Denklem (6) ile verilen, kazan verimi η , %70 olarak alınabilir, [3, 4].

Soğuk ve/veya bulutlu günlerde güneş enerjisinden yararlanma olanağı olmayabilir, bunun için ana sıcak su ısıtıcısı tüm sıcak su gereksinimini karşılayabilmelidir. Böylece, $1.2.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (1.2 L/s) geri kazanım oranı ile birlikte, kazan gücü Denklem (7) ile hesaplanabilir.

$$\dot{q} = \frac{(1.2 \text{ kg}/\text{s})(4.180 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C})(62^\circ\text{C} - 19.8^\circ\text{C})}{0.70} = 302.4 \text{ kW} \tag{7}$$

Farklı geri kazanım sığaları için olması gereken kazan güçleri Tablo 8 ile verilmiştir.

Tablo 8.Gerekli kazan güçleri

Geri kazanım sığası (L/s)	1.8	1.2	1.0	0.8	0.4
Gerçek depo boyutu (m ³)	2.9	6.3	10.3	13.1	25.7
Sıcak su dağıtıcısı (L/h)	6480	4320	3600	2880	1440
Kazan gücü (kW)	453.6	302.4	252.0	201.6	100.8

6.480 m³/h (6480 L/h) hızında sıcak su dağıtıcısı, 453.6 kW değerindeki kazana gereksinim duyar. Bu değer, Tablo 8 ile verilen en büyük değerdir. En büyük değer, 2.9 m³ ile en küçük sıcak su deposu boyutuna denk gelmektedir. Bu çalışmada, 4.320 m³/h (4320 L/h) değerindeki dağıtım oranlı ve 1.2.10⁻³ m³/s (1.2 L/s) geri kazanım sığalı **302.4 kW** gücündeki kazan seçilmiştir.

7. SICAK SU SAĞLAMA AĞI

Şekil 1 ile şematik olarak verilen, güneş enerjisi destekli sıcak su dolaşım sistemi, kolektör-ısı değiştirici sisteminden, ön ısıtmalı-güneş enerjisi deposundan, bir kazandan, üç yollu vanadan ve pompalardan meydana gelir. Kolektördeki iş akışkanı, ısı değiştiricindeki ana depodan su kaynağına enerjiyi transfer eder. Depoda ısıtılmış su, kazana gönderilir ve burada istenilen sıcaklığa ısıtılır. Beşinci bölümde hesaplanan depo boyutu, kazan için de geçerli olacaktır. Ön ısıtmalı deponun tam boyutlandırması için “f-Chart yöntemi” uygulanacaktır.

8. İKLİM VERİLERİ

Ortalama iklim koşulları, Tablo 9 ile verilmiştir.

Tablo 9.Bornova-İzmir için ortalama iklim koşulları, [2, 10, 11]

Veri Bilgisi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
A	4.5	4.5	5.9	8.8	12.9	16.9	20.2	20.1	16.5	12.7	9.3	6.6	11.6
B	12.0	13.4	16.7	21.5	26.4	31.0	33.8	33.7	29.4	28.4	19.3	14.4	23.0
C	8.2	8.8	11.1	15.3	20.1	24.7	27.5	27.0	22.7	18.3	13.9	10.4	17.3
Ç	-7.6	-8.4	-2.7	0.0	4.8	10.3	11.2	13.7	9.0	3.4	-0.3	-6.3	-8.4
D	21.3	21.8	28.8	32.9	39.5	38.8	42.4	41.4	37.7	35.9	30.6	25.2	42.4
E	294	237	172	0	0	0	0	0	0	0	18	229	950
F	0	0	0	0	0	26	87	66	0	0	0	0	179
G	70	70	66	62	59	51	48	51	56	64	71	72	62
Ğ	3.8	4.0	3.7	3.3	3.0	3.1	3.4	3.2	2.9	2.9	3.2	3.6	3.3

A: Günlük en düşük sıcaklık (°C), B: Günlük en yüksek sıcaklık (°C), C: Günlük ortalama sıcaklık (°C), Ç: Kaydedilen en düşük sıcaklık (°C), D: Kaydedilen en yüksek sıcaklık (°C), E: Isıtma derece-gün değeri (adet), F: Soğutma derece-gün değeri (adet), G: Bağıl nem (%), Ğ: Rüzgar hızı (m/s)

Tablo 9 ile verilen derece-gün; temel alınan bir sıcaklık ile, dış hava sıcaklığının 24 saatlik ortalaması arasındaki farktır. Bu fark, “°C” birimindedir. Isıtma için temel sıcaklık, derece-günün yaygın olarak kullanıldığı İngiltere’de 15.5°C olarak alınmaktadır. 18.3°C iç ortam sıcaklığının, konfor şartları için yeterli olduğu, bu sıcaklıktan yüksek sıcaklıkların fazla sıcak, daha düşük sıcaklıkların ise fazla soğuk olduğu kabul edilmiştir. Soğutma için ise temel sıcaklık 24.5°C alınabilir, [11].

9. f-CHART YÖNTEMİ

f-chart yöntemi, güneş enerjisi ile sağlanacak olan toplam ısıtma yükünün belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, benzer güneş enerjili ısıtma sistemlerinin ısı verim analizlerine dayanır.

Tanımlanan yöntem, Şekil 1 ile verilen sistemde olduğu gibi, sıvı ısı transferi akışkanının kullanıldığı sıcak su sistemleri içindir, [9].

Denklem (8) ile verilen f oranı, güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan aylık ısı yükünün toplam ısı yüküne oranıdır ve X ve Y gibi iki boyutsuz sayının fonksiyonu olarak ifade edilir, [9].

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

$$X = F_R U_L t \frac{F_R'}{F_R} (T_{ref} - \bar{T}_a) \frac{A_c}{Q_L}, \quad Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F_R' (\bar{\tau\alpha})}{F_R (\tau\alpha)_n} \bar{H}_T n \frac{A_c}{Q_L} \quad (8)$$

Denklem (8) ile verilen, kolektör ısı kazanç etmeni F_R , kolektör tarafından sağlanan yararlı enerjinin, kolektör soğurucu yüzeyinin her yerinin akışkan giriş sıcaklığında olması durumunda sağlanacak enerjiye oranıdır. Kolektör toplam ısı kayıp katsayısı U_L [$W/(m^2\text{°C})$], kolektörün üstü ile taban ve yanlardan olan ısı kayıplarının toplamıdır. t (s), bir aydaki toplam zamandır. F_R' , kolektör-ısı değiştiricisi verim etmenidir. Deneyler sonucu elde edilmiş referans sıcaklık $T_{ref} = 100\text{°C}$ alınabilir. Aylık ortalama çevre sıcaklığı, \bar{T}_a (°C) olarak verilmiştir. A_c (m^2), toplam kolektör alanıdır. Sıcak su ve hacim ısıtması için gerekli aylık ısıtma yükü, Q_L (J) ile verilmiştir. Güneş ışınlarını geçirgenlik katsayısı ve güneş ışınlarını yutma katsayısı çarpımı $(\tau\alpha)_n$, kolektör cam örtüsü geçirme ve yutma katsayısının birleşik etkisini gösterir. $\bar{\tau\alpha}$, aylık ortalama geçirgenlik ve yutma katsayılarının çarpımıdır. Bu çarpım kolektör yönüne, malzemeye ve $\tau\alpha$ değerine bağlıdır. \bar{H}_T (J/m^2), kolektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışınımı değeridir. n (adet), bir aydaki gün sayısıdır, [9].

Boyutsuz gruplar $F_R U_L$ ve $F_R (\tau\alpha)_n$, kolektör deneyleri sonucunda çizilen verim eğrisinden bulunur. $F_R U_L$, tek ve çift cam örtü için sırasıyla $4.0 W/(m^2\text{°C})$ ve $2.6 W/(m^2\text{°C})$ değerinde alınabilir. $F_R (\tau\alpha)_n$, 0.70 alınabilir. F_R' / F oranı, kolektör ve depo arasındaki çeşitli sıcaklık düşüşleri için düzeltme oranıdır. Bu değer ısı değiştirici verimi göz önüne alınarak hesaplanabilir. Bu oran iyi tasarlanmış bir sistem için yaklaşık olarak 0.95 değerinde alınabilir. $\bar{\tau\alpha} / (\tau\alpha)_n$ ise, tek cam örtülü güneş kolektörlerinde tüm aylar için 0.95 olarak alınabilir, [3, 4, 9].

f-chart yönteminde kolektörün, bir metre kare kolektör alanı başına $0.075 m^3$ (75 L) su depolama sığasına sahip olduğu kabul edilmiştir. Depolama sığası $3.75 L/m^2$ ile $300 L/m^2$ arasında değişirken, gerçek (kullanılan) depo sığası/standart depo sığası oranı 0.5 değerinden büyük ve 4.0 değerinden küçükse, depo düzeltme etmeni X_1/X , Denklem (9) ile hesaplanır. X boyutsuz sayısının yeni değeri, X boyutsuz sayısının eski değerinin düzeltme etmeni ile çarpılmasıyla bulunur, [9].

$$\frac{X_1}{X} = \left(\frac{\text{gerçek depo sığası}}{\text{standart depo sığası}} \right)^{-0.25} \quad (9)$$

Su ısıtma sistemleri için ek düzeltme, şebeke su sıcaklığı T_m (°C) ve kabul edilebilir en az sıcak su sıcaklığı T_w (°C) değerinden kaynaklanır. Bu iki sıcaklık, sistemin çalışma sıcaklığının düzeyini ve kolektör enerji kayıplarını da belirlemektedir. Boyutsuz sayı olan X , kolektör enerji kayıpları dikkate alınarak düzenlenmiş ve düzeltme etmeni Denklem (10) ile verilmiştir. X boyutsuz sayısının yeni değeri, X_2 boyutsuz sayısı olacaktır.

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{11.6 + 1.18T_w + 3.86T_m - 2.32\bar{T}_a}{(100 - \bar{T}_a)} \quad (10)$$

Ön ısıtılmalı depodaki sıcak su sıcaklığı T_w , kazan çıkışındaki 62°C değerindeki en fazla sıcak su sıcaklığından farklıdır. %40 oranında güneş enerjisi geri kazanım oranı, 19.8°C değerinden 37°C değerine artan su sıcaklığına karşılık gelir. (Kazan çıkışında istenilen 62°C su sıcaklığı ve soğuk su giriş sıcaklığı 19.8°C arasındaki farkın %40 kadarı alınır), [3, 4, 9].

Tablo 10 ile tasarım parametreleri verilmiştir, [2, 3, 4, 9]. Tablo 11, f-chart hesaplamalarının bir özetidir. Hesaplamalarda, kolektör alanı $A_c = 100 \text{ m}^2$ alınmış, Denklem (1) yardımıyla Q_L hesaplanmıştır, [3, 4, 9, 11].

Tablo 10.f-chart hesaplamaları için tasarım parametreleri, [2, 3, 4, 9]

Q_L (GJ/gün)		Değişken
A_c (m^2)	100.00	Sabit
$F_R U_L$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]	004.00 (Tek cam) 002.60 (Çift cam)	Sabit
$F_R (\tau\alpha)_n$ (-)	000.70	Sabit
F'_R / F (-)	000.95	Sabit
$\overline{\tau\alpha} / (\tau\alpha)_n$	000.95	Sabit
Gerçek depolama sığası (L/m^2)	037.50	Sabit
T_w ($^\circ\text{C}$)	037.00	Sabit
T_m ($^\circ\text{C}$)	019.80	Sabit
\overline{T}_a ($^\circ\text{C}$)		Değişken

Tablo 11.f-chart hesaplamaları

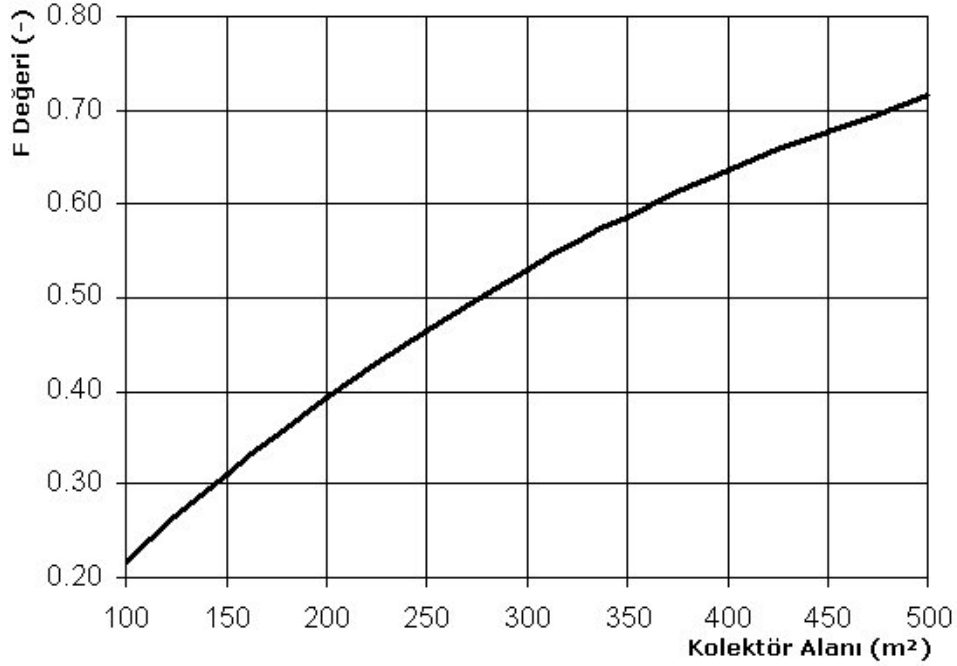
Ay	n	Q_L	\overline{T}_a	X	X_1	X_2	\overline{H}_T	Y	f
	(adet)	($\cdot 10^{11}$ J)	($^\circ\text{C}$)				($\cdot 10^7$ J/ m^2)		
Ocak	31	1.058	08.2	0.883	1.050	1.289	0.735	0.136	0.055
Şubat	28	0.987	08.8	0.849	1.010	1.232	1.042	0.187	0.106
Mart	31	1.094	11.1	0.827	0.983	1.171	1.448	0.259	0.177
Nisan	30	1.058	15.3	0.789	0.938	1.065	1.881	0.337	0.253
Mayıs	31	1.094	20.1	0.743	0.884	0.941	2.347	0.420	0.331
Haziran	30	1.058	24.7	0.701	0.834	0.824	2.707	0.485	0.392
Temmuz	31	1.094	27.5	0.674	0.802	0.751	2.659	0.476	0.389
Ağustos	31	1.094	27.0	0.679	0.807	0.763	2.338	0.419	0.341
Eylül	30	1.058	22.7	0.720	0.856	0.875	1.890	0.339	0.266
Ekim	31	1.094	18.3	0.760	0.904	0.987	1.324	0.237	0.168
Kasım	30	1.058	13.9	0.802	0.954	1.102	0.858	0.154	0.083
Aralık	31	1.094	10.4	0.834	0.992	1.191	0.607	0.109	0.034

Güneş enerjili su ve hacim ısıtma sistemlerinde, yıllık ısınma yükünün güneş enerjisinden karşılanma oranı F, Denklem (11) ile hesaplanabilir. Denklem (11) ile verilen, f_i ve Q_{Li} sırası ile aylık ısınma yükünün güneş enerjisi tarafından karşılanma oranı ve aylık ısıtma yüküdür, [9].

$$F = \left(\sum_{i=1}^{12} f_i Q_{Li} \right) / \left(\sum_{i=1}^{12} Q_{Li} \right) \quad (11)$$

Tablo 11 ile verilen değerler göz önüne alınarak, $\sum_{i=1}^{12} Q_{Li} = 12.841 \cdot 10^{11}$ J, $\sum_{i=1}^{12} f_i Q_{Li} = 2.788 \cdot 10^{11}$ J ve

$F = 0.217$ olarak hesaplanır. Toplam kolektör alanı A_c , 100 m^2 ile 500 m^2 arasında değiştirilerek hesaplanan F değerleri Şekil 3 ile verilmiştir. Güneş enerjisinden %40 oranında enerji kazanımı için ($F = 0.40$ için) Şekil 3 yardımıyla toplam kolektör alanı 205 m^2 olarak alınabilir.



Şekil 3.f-chart analizi

Son aşama olarak, ön ısıtmalı depo sığası da belirlenebilir. 37.5 L/m² değerindeki gerçek depolama sığasına bağlı olarak, 205 m² değerindeki kolektör alanı için ön ısıtmalı depo hacmi sığası 7.6875 m³ olarak hesaplanabilir.

Analiz, kabul edilebilir sıcak su sıcaklığı $T_w = 37^\circ\text{C}$ için yapılmıştır. Yüksek işletme sıcaklıkları kolektör enerji kayıplarını artırır ve kolektör veriminin azalmasına neden olur. İşletme için sıcaklıkların etkileri X ve Y boyutsuz grupları göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Ancak çok yüksek işletme sıcaklıkları geleneksel su ısıtıcındaki gerekli güç miktarını da azaltır. Su ısıtıcısı boyutlandırması, işletme sıcaklık değişimlerinden etkilenmez. F değeri, sıcaklık dışındaki tüm değerlerinin değişmediği göz önüne alınarak $T_w = 32^\circ\text{C}$, 37°C ve 42°C sıcaklıkları için hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 12 ile verilmiştir.

Tablo 12.f-chart analizi

Alan (m ²)	Depolanan sıcak su sıcaklığı (T_w)		
	32°C	37°C	42°C
	F değerleri		
100	0.221	0.217	0.213
150	0.315	0.309	0.304
200	0.400	0.392	0.384
250	0.474	0.465	0.456
300	0.540	0.530	0.519
350	0.598	0.586	0.574
400	0.649	0.636	0.623
450	0.693	0.678	0.664
500	0.731	0.715	0.700

f değerindeki değişimler, çoğunlukla Tablo 10 ile verilen sabit parametrelere, özellikle $F_R U_L$ çarpımına bağlıdır. Güneş enerjili ısıtmanın etkin kullanımı altında, sıcak su deposu sıcaklığı Tablo 12 ile verilen değerlere yakın olmalıdır. Bu ifadelerle bağlı olarak, bu çalışmada yapılan analizde ön ısıtmalı depo suyu sıcaklığı 37°C ile sınırlandırılmıştır.

10. EKONOMİK ANALİZ

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin kurulup-kurulamayacağı belirlenmesi için ekonomik analizinde yapılması gerekir. Bu çalışmada, sistemin kurulum maliyetinin belirtilen aralıkta geri döneceği göz önüne alınmıştır. Güneş enerjili sistemden yararlanma sonucu gerekli sıvı yakıt miktarında azalma olur. Bakım masraflarından az olan azalan yakıt maliyeti, güneş enerjili sistemin kurulumundan sonraki net tasarruftur. Borç, tasarruf maliyetine eşit yıllık taksitlerle ödenebilir. Geri ödeme süresi borcu ödemek için gerekli yıl sayısıdır. Geri ödeme sonunda, kurulum net tasarrufu meydana getirir.

Bu tasarımdaki yatırım, sadece ekonomik getirileri yönünden değil aynı zamanda da fosil yakıt tüketimi açısından da incelenmelidir. Bu dikkate değer durum için, ayrıca benzer sermaye büyüklüğü için devlet teşviki veya kredi desteği olabilecek başka olasılıklar üzerinde de durulmalıdır, örneğin geri ödeme süresine eşit zamana sahip vadeli krediler alınabilir. Güneş enerjisi su ısıtma sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı çevre dostu uygulamalardır. Bu nedenden dolayı, yapılacak ekonomik analiz (net şimdiki değer analizi) tek başına bir unsur olmayacaktır, [3, 4].

SONUÇ

Parametrik olarak yapılan bu çalışmaya bağlı olarak, Tablo 13 ile verilen iki akışkanlı sistem önerilir.

Tablo 13.Güneş enerjili su ısıtma sistemi için önerilen sistem

Kolektörler	Tek camlı
Toplam kolektör alanı (m ²)	205
Ön ısıtmalı depoya giren su sıcaklığı, (°C)	37
Kazan gücü (kW)	302.4
Kazan hacmi (m ³)	6.3
Ger dönuşüm sığası (L/s)	1.2
Ön ısıtmalı depo hacmi (m ³)	7.6875

Güneş enerjili ısıtma sistemi tasarımda göz önüne alınan ve Tablo 13 ile verilen bilgilerden farklı kabuller altında sistemin nasıl çalıştığını görmek için, ortalama güneş ışınımı altında tek ve çift camlı kolektörler ayrıca en fazla ve en az güneş ışınımı altında tek ve çift camlı kolektörler olmak üzere dört farklı durum altında 205 m² toplam kolektör alanı için f-chart analizi sonuçları Tablo 14 ile verilmiştir.

Tablo 14.Çeşitli parametreler altında f-chart analizi sonuçları

Güneş ışınımı	Yıllık Ortalama	Yıllık Ortalama	En Fazla	En Az
Kolektör cam örtü sayısı	1	2	1	2
F değeri	0.40	0.44	0.68	0.13

%40 güneş enerjisi desteği, ortalama güneş ışınımı altındaki 205 m² toplam alanlı tek camlı kolektörler ile başarılmıştır. Güneş kolektör sistemi yıllık katkısı Tablo 14 ile verildiği gibi güneş ışınımı değerlerine ve tek–çift cam sayısına bağlıdır.

GÖSTERİMLER

A_c	: toplam kolektör alanı (m^2)
C_p	: özgül ısı [$kJ/(kg^{\circ}C)$]
f	: güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan aylık ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı (-)
F	: yıllık ısıtma yükünün güneş enerjisinden karşılanma oranı (-)
F_R	: kolektör ısı kazanç etmeni (-)
F'_R	: kolektör-ısı değiştiricisi verim etmeni (-)
\bar{H}_T	: kolektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışınımı (J/m^2)
\dot{m}	: kütleli su debisi ($kg/gün$)
n	: bir aydaki gün sayısı (adet)
q	: enerji gereksinimi ($kJ/gün$)
\dot{q}	: kazan gücü (kW)
Q	: hacimsel debi (m^3/s)
Q_L	: aylık ısıtma yükü (J)
t	: bir aydaki toplam zaman (s)
\bar{T}_a	: aylık ortalama çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{çıkış}$: su ısıtıcısı çıkışındaki sıcaklık ($^{\circ}C$)
$T_{giriş}$: yıllık ortalama şebeke suyu sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_m	: yıllık ortalama şebeke suyu sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{ref}	: deneyler sonucu elde edilmiş referans sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_w	: depolanan sıcak su sıcaklığı ($^{\circ}C$)
U_L	: kolektör toplam ısı kayıp katsayısı [$W/(m^2^{\circ}C)$]
α	: yutma katsayısı (-)
ΔT	: $T_{çıkış} - T_{giriş}$ ($^{\circ}C$)
η	: kazan verimi (-)
ρ	: yoğunluk (kg/m^3)
τ	: geçirme katsayısı (-)

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Handbook, "Service Water Heating", HVAC Applications, Chapter 49, SI Edition, 2003.
- [2] Ortalama ve Ekstrem Kıymetler Meteoroloji Bülteni, T.C. Gıda-Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1974.
- [3] Suryanayarayana NV, Arıcı Ö, Design & Simulation of Thermal Systems, McGraw-Hill, Boston, 2003.
- [4] Jaluria Y, Design and Optimization of Thermal Systems, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [5] Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Zamansal ve Alansal Dağılımı, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü, Yayın: 83-29, Ankara, Haziran 1983.
- [6] Atagündüz G, Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayınları No: 2, Bornova-İzmir, 1989.
- [7] Petrol Ofisi: <http://www.poas.com.tr>, 30.07.2005.
- [8] Genceli OF, Parmaksızoğlu G, Kalorifer Tesisatı, TMMOB-Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/2003/352, Ankara, Aralık 2003.
- [9] Duffie JA, Beckman WA, Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [10] Türkiye İklim Verileri, TTMD-Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, Ağustos 2000.
- [11] Ulgen K, Hepbasli A, "Solar Radiation Models. Part 2: Comparison and Developing New Models", Energy Sources, 26:521-530, Taylor & Francis, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin GÜNERHAN

Hüseyin GÜNERHAN, 1966 tarihinde Urla-İzmir'de doğdu. 1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 31.01.1990 tarihinde, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 03.08.1992 tarihinde ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 11.01.1999 tarihinde tamamladı. 23.01.1991-21.08.2001 tarihleri arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi ünvanı ile çalıştı. 01.12.1999-21.11.2000 tarihleri arasında, Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi Başkanlığında (Ankara) proje subayı olarak görev yaptı. 15.03.2001 tarihinden beri Ege Üniversitesi Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (EBİLTEM)-Enerji Verimliliği ve Yönetimi Ar-Ge Biriminde (EVYAB) kurucu üye olarak, 22.08.2001 tarihinden beri, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor ünvanı ile çalışmaktadır. 20.08.2004 tarihinde, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezine (ÇEVMER) müdür yardımcısı olarak atanmıştır. Çalışma alanlarını, Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Sayısal Analiz, Isıl Enerji Depolama, Toprak Kaynaklı Isı Pompaları ve Yeni Enerji Kaynakları oluşturmaktadır. (<http://www.gunerhan.cjb.net>)