



GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISITMA SİSTEMLERİN F- GRAFİK YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Analysis of Solar Energy Assisted Heating Systems by f-chart method

Hourieh Bayramian
Hüseyin Günerhan
Deniz Yıldırım Yalçınkaya

ÖZET

Güneş enerjisi destekli ısıtma sistemlerinin uygun tasarımı ve boyutlandırılması, özellikle büyük sistemlerde kullanıcıya maksimum fayda sağlamak için önemlidir. Güneş enerjili sistemlerinin tasarımı tahmin edilemez hava durumu şartlarından dolayı karmaşık bir problem haline gelmektedir. Bu doğrultuda, istenilen güneş enerjili ısıtma sisteminin performansını modellemek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi f-grafik yöntemidir. Bu çalışmada güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan toplam ısıtma yükü oranının, hesaplama kolaylığı ve basitliği nedeniyle sıvılı güneş enerjisi ısıtma sistemlerinin tasarımında, f-grafik yönteminin kullanımı analiz edilmiştir. Bu yöntem hem aktif hem de pasif güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, özellikle sıcak su ve ısıtma yüklerini sağlayan güneş kolektörlerinin boyutlarının ve tipinin seçiminde kullanılmaktadır. Çalışmada Muğla ilinde bir binanın sıcak su ihtiyacının güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi uygulamasıyla karşılanması incelenmiştir. Enerji analizi ve güneşten faydalanma oranı teorik olarak gerçekleştirilmiştir ve kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi ısıtma sistemi, F-Grafik yöntemi, Güneşten faydalanma oranı, Enerji.

ABSTRACT

Proper design and select size of solar assisted heating systems is important to provide maximum benefit to the user, especially in large systems. The design of solar systems is a complex problem due to inestimable weather data components. Several design methods are available for the performance of the desired solar heating system. The most important of these methods is the f-chart method. This work analyzes the use of the f-chart method in designing liquid solar heating systems due to its simplicity and ability to estimate the fraction of total heating load supplied by solar heating system. This method can be used in the design of both active and passive solar energy systems, especially for the select size and type of solar collectors that provide hot water and heating loads. For this purpose, in this study, it was examined to meet the hot water need of a building in Mugla province with the application of solar energy supported heating system. The energy analysis and the rate of utilization of the sun were theoretically carried out and the change in the annual utilization rate according to the collector area was given.

Keywords: Solar-assisted heating system, The f-chart method, Solar contribution rate, Energy.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, ısı sistemlerinde, konut ısıtılmasında, endüstriyel prosedürlerde, kullanım sıcak su ve buhar temini gibi çeşitli ısıtma işlemlerinde yüksek bir payı vardır. Güneş enerjisi sistemleri güneş enerjisini faydalı enerjiye (ısı veya elektrik enerjisine) dönüştürür ve bu sistemler pasif veya aktif sistemler olabilir. Aktif sistemlerde pompa, fan veya otomatik sistemler gibi ek mekanizmalara ihtiyaç gerekirken, pasif sistemlerde güneş ışınları dışında herhangi bir enerjiye gerek yoktur [1]. Güneş enerjili ısıtma sistemleri yüksek verimlilikleri ve işletme giderleri açısından ekonomik olmaları, küresel ısınma açısından ekolojik sisteme zarar vermeyen çevre dostu olmaları ve ozon tabakasına zarar vermeyen sistemler olarak alternatif sistemlere göre daha avantajlıdır. Güneş enerjisi destekli su ısıtma sistemlerinin uygun tasarımı ve boyutlandırılması, özellikle büyük sistemlerde kullanıcıya maksimum fayda sağlamak için önemlidir. Bu sistemlerde kullanılacak optimum kolektör alanının belirlenebilmesi için oldukça zaman alıcı işlemler gerekmektedir. Bu amaç için, istenilen güneş enerjili ısıtma sistemini modellemek için ayrıntılı bilgisayar simülasyonlar geliştirilmiştir ve sistem üzerinde uzun süreli deneyler yapılmış ve çeşitli formüller türetilmiştir. Bu simülasyonlar sistemin değişik iklim şartlarındaki (güneş ışınım şiddeti, çevre sıcaklığı, vb.) performansını ve sistemin istenilen amaç için düzgün olarak tasarlanmasını (kolektör ve diğer elemanların performans özellikleri) dikkate almaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. En doğru sonuç veren ve karmaşık simülasyon yazılımı TRNSYS'dir [2-3-4]. TRNSYS yazılımı çok iyi bir analiz programı olmasına rağmen üç nedenden dolayı tasarım amacıyla çok kullanışlı değildir. İlk olarak, yazılımı simüle edilmiş yerde kullanmak için meteorolojik değerlere ve deneyime ihtiyaç duymasındır. İkinci neden, tüm tasarımcıların bilgisayarları ve yazılımlarının olmaması, üçüncü neden ise iterasyon gerektiren optimizasyon problemlerinin çözümü gibi çalışmaların yüksek maliyetleridir. Simülasyonlar standart dışı ve büyük sistemler için kullanışlı bir tasarım aracı olabilir, ancak detaylı simülasyon maliyetleri oldukça yüksektir [5]. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile, güneş enerjisini etkili kullanan ve ekonomik olarak optimum sonuçları veren bir sadeleştirilmiş tasarım prosedürüne ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi f-grafik yöntemidir. F-grafik yöntemi TRNSYS yazılımını kullanarak çok sayıda detaylı simülasyonlardan oluşturulmuştur. TRNSYS simülasyonu ve f-grafik sonuçları arasındaki standart hata yaklaşık 0,025 değerindedir ve f-grafik değerleri deney sonuçlarından 0,01 ile 0,05 arasında daha düşük bulunmuştur [6]. F-grafik yöntemi, özellikle sıvı veya hava akışkanlı konut ısıtma ve sıcak su temin eden sistemler için, yapının toplam ısı ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması oranının belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntem BECKMAN ve diğerleri [7,8] tarafından tarif edilmiş ve KLEIN, BECKMAN [2] tarafından geliştirilmiştir. Çalışmalarda, sistemin aylık performansını iki boyutsuz değişkene (X ve Y) bağlı olarak grafikler halinde elde edilmiştir. Yöntemde hesaplama kolaylığı sağlamak ve grafiğe bağımlılıktan kurtarmak için X ve Y arasında bir bağıntı oluşturulmuştur ve belirli bir aralıkta f değeri tanımlanmıştır. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin ısı performansını, meteorolojik değerlerini ve konut maliyeti kullanarak kolayca belirlenebilir ve böylece güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin tasarımı maliyet açısından optimize edilir. F-grafik yöntemi kullanılırken bazı kabuller ve uyulması gereken sınırlar olmalıdır:

1. Günler güneş öğlesine göre simetrik kabul edilir.
2. Sıvılı sistemlerde ısı depo ve ön ısıtma tanklarının içindeki sıvı çok iyi karışmış olmalı ve tanklarda herhangi bir tabakalaşma olmadığı kabul edilir.
3. Su ısıtma sistemlerinde ayar sıcaklığının altındaki değerlerde, suyun enerjisinin kullanılabilir olmadığı kabul edilmiştir.
4. Su ısıtma sistemlerinde günlük sıcak su ihtiyacının dağılımının sabit olduğu kabul edilir.
5. Ön ısıtma tankının iyi şekilde yalıtılmış olduğu kabul edilir.
6. Sistemde kullanım süresince kötüleşme ve kaçak olmadığı kabul edilmiştir.
7. Sistemin düzgün olarak monte edildiği ve akış dağılımının düzgün olduğu varsayılmaktadır [8].

Literatüre bakıldığında, Öztürk ve Kılıç [9], aylık ortalama meteorolojik verilere bağlı olarak kolektör alanı ve ısı yük oranı ile güneş enerjisinden faydalanma oranı arasında bir bağlantı kurarak optimum kolektör alanını hesaplamışlardır. Klein, Beckman ve Duffie [10], evler için ortam ısıtma ve sıcak su sistemlerinin tasarımı ve bu sistemlerin uzun süreli ısı performansını ifade eden bir simülasyon modelini açıklamışlardır. Simülasyon model ile uzun süreli performans elde etmek için gerekli meteorolojik veriler araştırılarak birçok simülasyonda elde edilen bilgiler güneş ısıtma sistemleri için genel tasarım işlemi geliştirilmesi için kullanılmıştır. Ünsal [11], f-grafik yöntemindeki hesap işlemlerinin

kısaltması açısından dört tip güneş kolektörü için yutma geçirme sayısının aylık ortalama değerlerini veren tablolar hazırlamıştır. Bu çalışmada Muğla ilinde bir binanın sıcak su ihtiyacının güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi uygulamasıyla karşılanması incelenmiştir. Öncelikle Muğla ili için meteorolojik veriler ile güneş ışınımı ve binanın sıcak su ısı yük değerleri hesaplanmıştır. Su dolaşımını bir aktif güneş enerjili ısıtma sistemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında f-grafik yöntemini kullanarak, aylık güneşten faydalanma oranlarının değişimi ve toplam kolektör alanına göre faydalanma oranının değişiminin grafikleri verilmiştir.

2. F-GRAFİK YÖNTEMİ

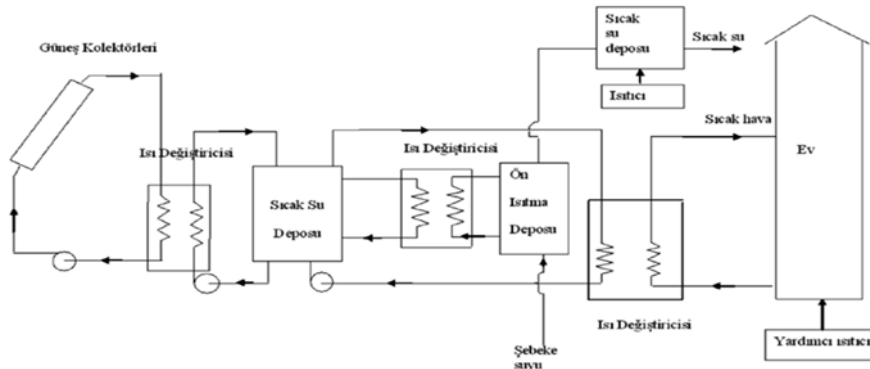
Güneş enerjisi destekli aktif sıcak su ve ısıtma sistemlerinin projelendirmesinde farklı yöntemler izlenebilir. Planlamada dikkat etmemiz gerekenlerden, enerji ihtiyacının güneşten karşılanma oranı 1,00 olmayacağı gibi bu oran 0,1 değerinin altında da olmamasıdır. F-grafik yöntemi aktif ısıtma sistemlerinde aktarılan enerjinin minimum sıcaklığı 20 °C ye yakın olduğu yerlerde, güneş enerjisi ile sağlanacak olan toplam ısıtma yükünün belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir (çalışma akışkanı sıvı veya hava kullanılabilir). F-grafik yönteminde, aylık ısı ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma oranı, iki boyutsuz değişkenle, X, Y (sırasıyla, ay boyunca referans güneş kolektörden enerji kaybının aylık toplam ısıtma yüküne oranı, ay boyunca güneş kolektöründe yutulan enerjinin aylık toplam ısıtma yüküne oranı) tanımlanmaktadır [12]. Bu yöntemde, kolektör alanı, depolama kapasitesi, kolektör tipi, ısı yükü ve kolektör ısı değiştirici boyutu önemli tasarım parametrelerdir. Sıvılı sistemlerde genellikle su kullanılır, çünkü su hem ucuz ve toksit içermeyen hem de ağırlık ve hacminden dolayı yüksek depolama kapasitesine sahiptir [3]. F-grafik yöntemi ile, uygulanabileceği standart bir konut ısıtma su akışkanlı sisteminin tasarımı şekil 1' de görülmektedir [2]. Soğuk iklimlerde kullanılan güneş enerjili sistemler için, ikincil sıvı olarak antifriz çözünüsü kullanmak gerekmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, güneş enerjisi, ısı değiştirici aracılığıyla taze suyu ısıtır. Dolaşan taze su, ikinci ısı değiştiricisinde evsel kullanım için gerekli birincil suyu ısıtır. İkinci ısı değiştiricisi-kolektör döngüsü, antifriz çözeltisi ile başlangıç suyundaki kirliliği en aza indirmektedir. Ön ısıtılmalı depo, mevcut enerjisini depolar veya güneş ile ısıtılan suyun daha sonra kullanılmasını sağlamak amacıyla kazana gönderir (Kazan, sıvı yakıtlı bir ısıtıcıya sahiptir).

Güneş enerjili destekli konut ısıtma sistemlerinin enerji dengesi (1) denklemi ile belirlenebilir;

$$\Delta U = Q_T - L + E \quad (1)$$

ΔU ısı depodaki suyun iç enerjisindeki değişimi, Q_T ay boyunca güneşten elde edilen kullanılabilir enerji, L ısıtma ve sıcak su için gerekli aylık ısıtma yükü ve E ay boyunca gerekli ek enerji ihtiyacıdır. Kullanılan ısı depolarını dikkate alındığında ΔU değerinin büyüklüğü Q_T , L ve E 'nin büyüklükleri yanında ihmal edilebilir miktardır. (1) eşitliğinde $\Delta U \approx 0$ yazılırsa;

$$Q_T = L - E \quad (2)$$



Şekil 1. Güneş enerjili su akışkanlı konut ısıtma sistemi [2].

f değeri aylık toplam ısı ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanan oranıdır [13];

$$f = \frac{Q_T}{L} = \frac{L-E}{L} \quad (3)$$

Burada Q_T değeri çevre sıcaklığı, kolektöre gelen güneş ışınımı şiddeti ve ısı yüklerinin karmaşık bir fonksiyonudur. Bu yüzden f değeri denklem (3) ile doğrudan hesaplanamaz. f değerinin bulunması için 2 adet ampirik boyutsuz sayı kullanılır.

$$X = \frac{AU_L F'_R (T_{Ref} - \bar{T}_a) \Delta t}{L} \quad (4)$$

$$Y = \frac{AF'_R (\bar{\tau}\alpha) \bar{H}_T N}{L} \quad (5)$$

X boyutsuz sayısının fiziksel anlamı ay boyunca referans güneş kolektörden enerji kaybının aylık toplam ısıtma yüküne oranıdır. Y boyutsuz sayısı ise ay boyunca güneş kolektöründe yutulan enerjinin aylık toplam ısıtma yüküne oranıdır. Hesaplama kolaylığı sağlamak için, denklem (4) ve (5) deki X ve Y boyutsuz parametreleri sırasıyla denklem (6) ve (7) şeklinde yazılabilir.

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{Ref} - \bar{T}_a) \Delta t \frac{A}{L} \quad (6)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R (\bar{\tau}\alpha)}{F_R (\tau\alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A}{L} \quad (7)$$

$F_R U_L$ ve $F_R (\tau\alpha)_n$ değerleri kolektörün test sonuçlarından elde edilen değerlerden bulunur. F'_R/F_R düzeltme faktörü, kolektör ve depo arasındaki sıcaklık düşüşlerinden kaynaklanır. Hesaplama yöntemi kaynak [13] ve [14] de mevcuttur.

$\bar{\tau}\alpha / (\tau\alpha)_n$ oranı kaynak [14] deki yöntemle hesaplanmıştır.

A = Güneş kolektörünün toplam alanı (m^2)

F'_R = kolektör- ısı değiştiricisi verim faktörü (%)

F_R = kolektör ısı kazanç faktörü (%)

U_L = kolektörün toplam ısı kayıp katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Kolektörün üst, taban ve yanlardan olan ısı kayıplarının toplamıdır.

Δt = Bir aydaki toplam zaman

L = Isıtma ve sıcak su için gerekli aylık ısıtma yükü (GJ)

N = Bir aydaki gün sayısı (adet)

$(\tau\alpha)_n$ = Güneş ışınlarının yutma ve geçirme katsayısı çarpımı (%)

Kolektör cam örtüsünün yutma ve geçirme katsayısının birleşik etkisini gösterir. Bu çarpım kolektör yönüne, malzemeye ve $\tau\alpha$ değerine bağlıdır.

T_{ref} = Deneyler sonucu elde edilmiş referans sıcaklığı ($100 \text{ } ^\circ C$)

$\bar{\tau}\alpha$ = Aylık ortalama yutma ve geçirme katsayılarının çarpımı (%)

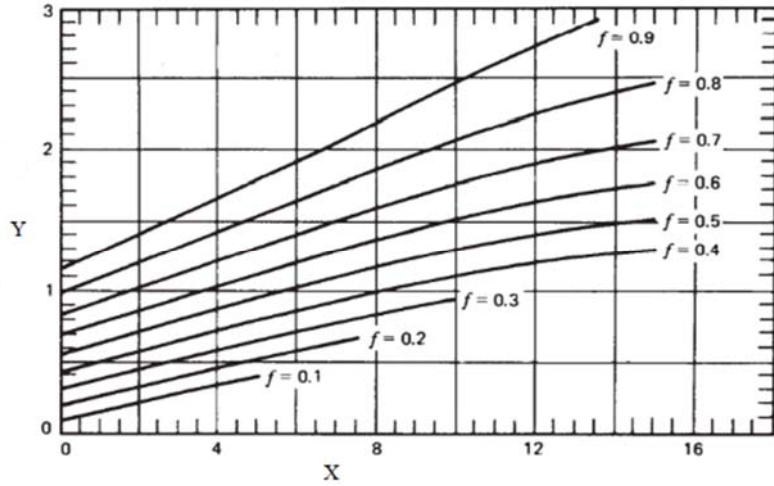
\bar{T}_a = Aylık ortalama çevre sıcaklığı ($^\circ C$)

\bar{H}_T = kolektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışınımı miktarı (MJ/m^2) [15].

X ve Y boyutsuz sayılarının denklemleri farklı konumlarda, yapılan kapsamlı sistem tasarımlarına dayanan yüzlerce detaylı bilgisayar simülasyonundan elde edilmiştir. Şekil 2'de sıvı akışkanlı sistemin aylık ısıtma yüküne güneş enerjisinin katkısı f 'nin X ve Y değişkenlerine bağlı grafiği görülmektedir. Grafikte X ve Y 'nin kesiştiği nokta f değerini göstermektedir. Örnek olarak X = 8 ve Y = 1 için şekil üzerinde kesişim noktası f = 0,41 bulunur. f değeri denklem (8) ile hesaplanabilir [8].

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (8)$$

$$0 < X < 18 \text{ ve } 0 < Y < 3$$



Şekil 2. Sıvı akışkanlı sistem için f-grafik eğrileri [13].

2.1. Derece- Gün Yöntemi

Denklem (8) in doğası gereği, şekil 2'deki eğrilerle gösterilen aralıkların dışında kullanılmamalıdır. Eğer bir nokta bu aralığın dışında kalırsa, tatmin edici bir sonuç için ekstrapolasyon grafik kullanılabilir [14]. Kolaylık sağlamak için, sistemin aylık ortalama ısıtma yükünün hesaplamasında Derece-gün yöntemi kullanılır. Belirli bir süre boyunca enerji ihtiyacının belirlenmesinde kullanılan en basit yöntem Derece-gün yöntemidir. Bu yöntemi sürekli rejimde yöntemdir ve hesaplamalar bilgisayar kullanmadan kolaylıkla elle yapılabilir (denklem 9). Burada bir adet meteorolojik değer gereklidir, bu nedenle derece gün yöntemi tek ölçülü (Single Measure) yöntem olarak da adlandırılabilir [8].

$$L_s = (UA)_h \cdot DD \quad (9)$$

Burada L_s gerekli ısıtma yükü ve $(UA)_h$ yapının toplam özgül ısı kayıp katsayısıdır.

2.2. Sıcak Su İhtiyacının Belirlenmesi

Binaların sıcak su ihtiyacını belirlemek konutta yaşayanların yaşam tarzına bağlıdır. Aylık sıcak su için gerekli ısıtma yükü denklem (10) den hesaplanabilir [13].

$$L_w = N \cdot n \cdot V \cdot 100 \cdot (T_w - T_m) \cdot \rho \cdot C_p \quad (10)$$

Burada 100 sabiti kişi başı günlük ortalama sıcak su ihtiyacını göstermektedir ve konutta yaşayanların isteğine göre değiştirilebilir. T_w sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklık ise Beckman ve diğerleri [13] tarafından 60 °C olarak önerilmektedir, bu sıcaklık kaza durumunda insan sağlığını ciddi şekilde etkileyeceği için ve sıcak suyun iletimi sırasındaki ısı kayıplarını düşürmek için 40-50 °C aralığında daha uygun olacaktır. T_m soğuk su sıcaklığı ise hesap yapılan aydaki ortalama şebeke suyu sıcaklığı alınabilir [8].

N: Hesap yapılan ayın gün sayısı (gün)

n: Konuttaki yaşayan kişi sayısı

T_w : Sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklığı (°C)

V: Hesap yapılan dönemde kullanılan sıcak su miktarı (m³)

T_m : Şebeke suyu sıcaklığının aylık ortalaması (°C)

ρ : Yoğunluk (kg/m³)

C_p : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

Aylık sıcak su ve hacim ısıtması için gerekli ısıtma yükü (L), gerekli ısıtma yükü (L_s) ve gerekli sıcak su yükünün (L_w) toplamıdır [13]:

$$L = L_s + L_w \quad (11)$$

2.3. Eğik Kolektör Yüzeyine Gelen Aylık Ortalama Güneş Işınımının Belirlenmesi

İhtiyaç olan ısı miktarı belirlendikten sonra güneş ışınım değerleri dikkate alınarak uygun kolektör yüzey alanı belirlenir. Bu amaç için, kolektör yüzeyine gelen aylık ortalama güneş ışınımının belirlenmesi gerekmektedir [16].

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta)} \quad (12)$$

\bar{R}_b : Aylık ortalama direkt ışınım eğim faktörü,

\bar{K}_T : Aylık ortalama saydamlık indeksi,

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (13)$$

$\omega_s \leq 81,4^\circ$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için,

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1,391 - 3,560\bar{K}_T + 4,189\bar{K}_T^2 - 2,137\bar{K}_T^3 \quad (14)$$

$\omega_s > 81,4^\circ$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için,

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427\bar{K}_T^2 - 1,821\bar{K}_T^3 \quad (15)$$

\bar{R} : Aylık ortalama toplam ışınım eğim faktörü aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_t}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) + \rho_G \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \quad (16)$$

ρ_G : Yeryüzü aklık derecesi [0,2]

\bar{H}_t : Kolektör birim yüzeyine gelen aylık ortalama ışınım,

$$\bar{H}_t = \bar{R} \times \bar{H} \quad (17)$$

F-grafik yönteminde, sistem performansı f değeri, güneş enerjisinden aylık faydalanma oranı ile değerlendirilir. Hesaplamalar her ay için tekrarlanır. Güneş enerjisinden yıllık faydalanma oranı F, aylık faydalanma oranı f_i ile aylık gerekli ısı yükün L_i çarpımının ve yıllık ısı yükü L' nin oranıdır (denklem 18).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i} \quad (18)$$

f değerinin fiziksel anlamı, güneş enerjisinin aylık ısıtma yükü katkılarının toplamının yıllık toplam enerji yüküne oranıdır. Ancak bu eşitliğin doğru sonuç verebilmesi için kullanılan verilerle ilgili bazı sınırlamalara uymak gerekmektedir. Bu sınırlamalar tablo 1' de belirtilmektedir.

Boysuz gruplar F_{RUL} ve $F_R(\tau\alpha)_n$ kolektör deneyleri sonucunda çizilen verim eğrisinden bulunur. F_{RUL} , tek ve çift cam örtü için sırasıyla $4,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ ve $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ değerinde alınabilir. $F_R(\tau\alpha)_n$ 0,70 alınabilir. F_R/F oranı, kolektör ve depo arasındaki sıcaklık düşüşleri için düzeltme faktörüdür. Bu değer ısı değiştirici verimi göz önüne alınarak hesaplanabilir. Bu oran iyi tasarlanmış bir sistem için yaklaşık olarak 0,95 değerinde alınabilir ve $\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$ tek cam örtülü güneş kolektörlerinde tüm aylar için 0,95 olarak alınabilir [17,6].

Tablo1. Güneş enerjisinin aylık ısıtma yükü katkısında kullanılan verilerle ilgili bazı sınırlamalar [10].

Parametre	Aralık
$(\tau\alpha)_h$	0,6-0,9
$F'_R A$	5-120 m ²
U_L	2,1-8,3 W/m ² °C
β (kolektör eğimi)	30-90°
$(UA)_h$	83-667 W/°C

2.4. F-Grafik Yöntemin Düzeltme Katsayıları

F-grafik yöntemi geliştirilirken kolektör birim alanından geçen akışkan debisi, kolektör birim alanı başına ısı depo kapasitesi ve terminal ısı değiştiricinin terminal yüke bağlı büyüklüğü parametreleri üç önemli tasarım özelliklerindedir. Bu parametreler sabit tutularak çalışmalar yapılmaktadır. Sistemin uzun vadeli performansında bu tasarım parametrelerinin değişimini dikkate alınmak ve gerektiğinde düzeltmeler yapılmak önemli hale gelmektedir [13].

Kolektörün sıvı akışkan debisinin optimum değeri sonsuz büyük değerdedir. Buna karşın sistem performansı ile kolektörün akışkan debisi arasındaki ilişki asimptotiktir. Dolayısıyla, akışkanın ısı deposunun kolektör birim alanı başına 50 W/k değerinin üzerine çıktığında ve antifrizli sıvı akışkan için yaklaşık 0,015 litre/s.m² değerine karşılık geldiğinde, F_R değerindeki küçük bir artış akışkana geçen debiyi az miktarda arttıracaktır. Akışkan debisinin düşük değerlerinde F_R (ya da F'_R) değerindeki düşüş akışkana geçen enerjideki azalmayla belirlenmektedir. F-grafik yönteminde yapılan korelasyonlar birim kolektör alanı başına gelen akışkan debisi 0,015 litre/s antifrizli su akışkanı kullanılarak elde edilmiştir. Debinin değişimi F_R değerini değiştirmekte ve bu da X ve Y 'nin değişimine neden olmaktadır. Kolektörün sıvı akışkan debisindeki değişiklik genellikle sistem performansı üzerinde küçük bir etkisi olduğu için akışkanlı sistemler için f-grafik yönteminde verilen bağlantılar tüm akışkan debileri için kullanılabilir (hava akışkanlı sistemlerde düzeltme faktörü olarak hava debisi kullanılmaktadır) [13,8].

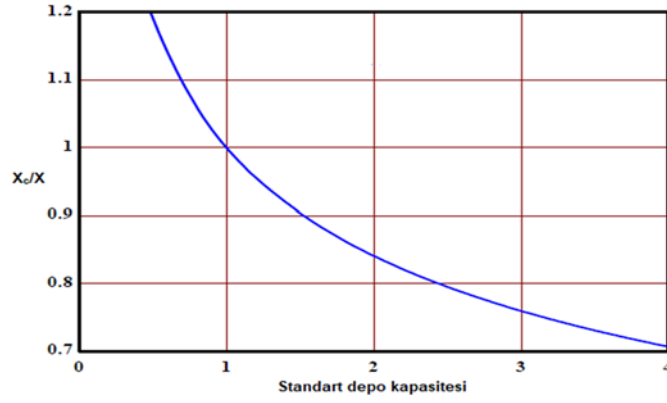
2.4.2. Isıl Depo Kapasitesi

Isıl depo kapasitesinin uzun sürede sistem performansı üzerindeki etkisini belirlemek için çok sayıda bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Yıllık sistem performansı birim kolektör alanı başına depo kapasitesinin 50 litre üzerindeki değerleri için ufak bir değişim göstermektedir. Dolayısıyla, ısı depo maliyet açısından kolektör birim alanı başına 50-100 litre aralığında seçilmesinde en iyi sonuç görülmüştür. F-grafik yönteminde kolektörün, bir metre kare kolektör alanı başına 0,075 m³ (75 L) su depolama sığasına sahip olduğu kabul edilmiştir. Depolama sığası 3,75 L/m² ile 300 L/m² arasında değişirken, gerçek (kullanılan) depo sığası/standart depo sığası oranı 0,5 değerinden büyük ve 4,0 değerinden küçükse, depo düzeltme faktörü X_c/X , aşağıdaki denklem den hesaplanır. X boyutsuz sayısının yeni değeri, X boyutsuz sayısının eski değerinin düzeltme faktörü ile çarpılmasıyla bulunur (şekil 3) [13,8].

M kolektör alanı başına ısı depo kapasitesi alınırsa;

$$\text{Isıl depo kapasitesi düzeltme faktörü} = \frac{X_c}{X} = \left(\frac{M}{75}\right)^{-0,25} \quad (19)$$

$$\text{Ve} \quad 0,5 \leq \frac{M}{75} \leq 4,0$$



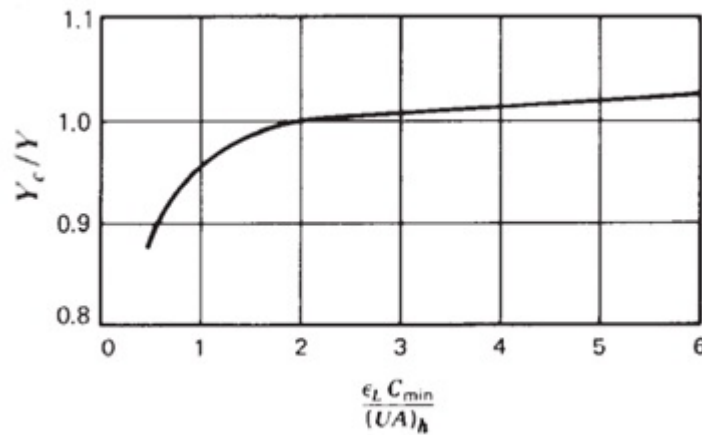
Şekil 3. Isıl depo kapasitesi düzeltme faktörü. Standart depo kapasitesi 75 litre/m² [14,5].

2.4.3. Terminal Isı Değiştirici Boyutu

Güneş enerjili ısıtma sistemlerinin performansını etkileyen önemli parametrelerden biri terminal ısı değiştirici boyutudur. Eğer ısı değiştiricinin boyutları küçük seçilirse aynı miktarda ısıyı sağlamak için ısı depo sıcaklığı yüksek olmalıdır ve bunun sonucu olarak kolektöre giren akışkanın sıcaklığı artacak ve kolektör verimini düşürecektir. Belirli bir bina için gereken ısı değiştiricisinin boyutunun ölçüsü, boyutsuz bir parametre ile $\frac{\epsilon_L C_{min}}{(UA)_h}$ belirlenecektir. Burada ϵ_L ısı değiştiricisi etkinlik katsayısı ve C_{min} en küçük ısı kapasite debisi (genellikle havanın değeri alınır) ve $(UA)_h$ toplam enerji kayıp katsayısıdır. Isıl açıdan bu değer optimum değeri büyük bir değerdedir. Ama sistemin performansı bu değer ile asimptotik olarak ilişkisi vardır. Isı değiştiricisi seçiminde maliyet faktörleri hesaba katıldığında en ekonomik boyutsuz sayısının değeri 1-3 arasındadır. F-grafik yöntemi kullanırken bu boyutsuz sayı 2 olarak göz önüne alınmaktadır. Bu boyutsuz sayının diğer değerlerinde sistemin performansını hesaplamak için Y boyutsuz sayısını denklem (20) de görüldüğü gibi, ısı değiştiricisi düzeltme faktörü ile düzeltebiliriz (şekil 4) [13,8].

$$\text{Terminal ısı değiştiricisi düzeltme faktörü} = \frac{Y_c}{Y} = 0,39 + 0,65e^{\frac{-0,139(UA)_h}{\epsilon_L C_{min}}} \quad (20)$$

Ve $0,5 \leq \frac{\epsilon_L C_{min}}{(UA)_h} \leq 50$



Şekil 4. Terminal ısı değiştiricisi düzeltme faktörü [14].

Su ısıtma sistemleri için başka bir 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 faktörü denklem (21) ile verilmiştir. X boyutsuz sayısının yeni değeri, X₂ boyutsuz sayısı olacaktır [14].

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{11,6+1,18T_w+3,86T_m-2,32\bar{T}_a}{(100-\bar{T}_a)} \quad (21)$$

3. Kolektör Yüzey Alanının Belirlenmesi Yöntemi

Kolektör yüzeyinin belirlenmesinde önemli faktörler, günlük istenilen sıcak su miktarı, sistemden faydalanma süresi (ay), giriş su sıcaklığı (şebeke suyu sıcaklığı) ve kullanım suyun sıcaklığıdır. Her ay için eğik yüzeye (kolektör yüzeyine) gelen toplam güneş ışınımı miktarının en düşük olanı seçilir [12,18]. Sıcak su enerji ihtiyacı belirlendikten sonra, kolektör yüzeyi bulunur. Sıcak su enerji ihtiyacı denklem (22) den hesaplanır.

$$Q_s = mC\Delta T \quad (22)$$

Q_s: Sıcak su enerji ihtiyacı (kcal/gün)

m: Isıtılacak su miktarı (litre/gün)

Isıtılacak su miktarı, konutlarda 45 – 50°C aralığında sıcaklığı ve kişi başı ortalama 50 litre/gün alınabilir (TS 3817, 1994) [19]. Endüstriyel tesisler için yapılan işleme göre değişmektedir.

C: Suyun özgül ısı (kcal / kg °C)

ΔT: Kullanım suyun sıcaklığı ile sisteme giriş su sıcaklığı arasındaki fark (°C).

Kolektör yüzeyi F_k aşağıdaki denklemden (23) hesaplanabilir;

$$F_k = \frac{Q_s}{TRA \times \eta} \quad (23)$$

TRA: Kolektör alan başına gelen aylık ortalama güneş enerjisi (kcal/m² gün)

η: Kolektör verimi, ortalama %55-65 arasında alınabilir [12].

4. Güneş Enerjili Konut Isıtma Sisteminin Ekonomik Analizi

Ekonomik açıdan güneş enerjili sistemlerin tasarımında, en önemli parametrelerden biri, ilk yatırım maliyetinin kaç yılda geri ödenmesidir. Sistemin ilk yatırım maliyetini sistemin kullanım süresi boyunca kullanılan yakıttan elde edilen tasarrufu ile karşılayarak, yapılan ilk yatırımın karşılanması belirlenmektedir. İlk olarak sistemin geri ödeme süresi belirlenir (denklem 24), sonra sistemin kullanım süresi boyunca güneş enerjisi ile yakıttan tasarruf miktarı hesaplanarak ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırılır [20].

$$N_p = \frac{\ln\left(\frac{C_s I_f}{F_y Q C_{F1}} + 1\right)}{\ln(1+I_f)} \quad (24)$$

Ve sistemin ilk yatırım maliyeti denklem (25) den bulunur:

$$C_s = C_A A + C_E \quad (25)$$

N_p: Geri ödeme süresi (yıl)

C_s: Güneş enerjili sistemin ilk yatırım maliyeti

F_y: Güneşten yıllık faydalanma oranı

Q: Yıllık ısı kaybı miktarı

C_{F1}: Yakıt fiyatı

I_r: Enflasyon oranı

C_A : Alan başına maliyet
 A : Kolektör alanı (m^2)
 C_E : Alana bağımlı olmayan maliyet

Güneşten faydalanma oranını kullanarak, kullanım süresi boyunca elde edilen parasal kazanç $N_s(1+\dot{I}_r)$ değerindedir. Böylece, bu değeri yakıttan her yıl elde edilen parasal tasarrufu ile çarparak, kullanım süresi boyunca güneş enerjisinden tasarruf edilen miktar C_{s1} denklem (26) den bulunur [21].

$$C_{s1} = F_y Q C_{F1} N_s (1 + \dot{I}_r) \quad (26)$$

Burada, N_s sistemin kullanım ömrüdür.

5. Yöntem

Enerji gereksiniminin belirlenmesi: İç tasarım şartları kış için $20^\circ C$, alınmıştır ve Muğla ili için, dış tasarım şartları kış için $5^\circ C$ olarak göz önüne alınmıştır. Aylık sıcak su ısı yükleri, $Q_{yi} = m_{ss} C_{p, su} (T_{çıkış} - T_{giriş}) n_i$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Burada Q_{yi} aylık sıcak su ısı yükü, m_{ss} günlük sıcak su su ihtiyacı miktarı, $C_{p, su}$ suyun özgül ısısı ($4.179 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$), $T_{çıkış}$ kullanım suyu sıcaklığı ($60^\circ C$ olarak alınmıştır) ve $T_{giriş}$ aylık ortalama günlük şebeke suyu sıcaklığıdır. Binada, yetişkinler için kişi başına sıcak su tüketimi 50 L/gün ($0,05 \text{ m}^3/\text{gün}$) olarak alınabilir. Kullanım suyunun sıcaklığı, kullanım noktalarında $60^\circ C$ alınmıştır.

Muğla ili için eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımı hesabı: Muğla ili için şebeke suyu sıcaklığı T_s , çevre sıcaklığı $T_{çev}$ ve güneşe dönük 30° eğik düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı değerleri H_t Tablo 2' de verilmiştir. Bir Matlab programı oluşturularak güneşe dönük 30° eğik düzleme gelen aylık toplam güneş ışınımı değerleri ise, n_i göz önüne alınan aydaki gün sayısı olmak üzere ($H_t \cdot n_i$) şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 2. Muğla için sıcaklıklar ve güneşe dönük 30° eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımı değerleri [16-22].

Aylar	Gün sayısı n_i	T_s	$T_{çev}$	H_t MJ/m ² .gün	$H_t \cdot n_i$ MJ/m ² .gün
Ocak	31	9.6	5.4	9.6	297.6
Şubat	28	8.5	6.1	12.23	342.4
Mart	31	9.6	8.2	15.1	468.1
Nisan	30	12.3	12.6	18.4	552
Mayıs	31	15.8	17.5	20.6	683.6
Haziran	30	20.4	22.6	21.0	630
Temmuz	31	23.8	26.0	22.9	709.9
Ağustos	31	25.5	25.9	23.1	716.1
Eylül	30	24.4	21.5	20.9	627
Ekim	31	20.5	15.8	16.7	517.7
Kasım	30	16.4	10.9	11.4	342
Aralık	31	12.2	7.3	9.09	281.8

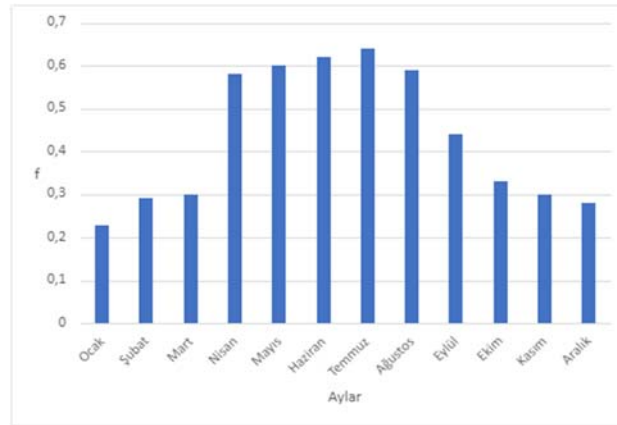
Güneş kolektörünün anlık termal verimliliği, toplanan kullanılabilir enerjinin $Q_{gün}$ kolektör brüt alanı A tarafından yakalanan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanabilir ve $\eta_{kol} = \frac{Q_{gün}}{H_t \cdot A}$ denklemi kullanarak, ASHRAE standardı ve Türk standardına göre test edilen güneş kolektörünün ısı verimi $\eta_k = a - b \left(\frac{T_{kol} - T_{çevre}}{H_t} \right) = 0.634 - 3.636 \left(\frac{T_{kol} - T_{çevre}}{H_t} \right)$ bağıntısından hesaplanmıştır [23].

$T_{kol} = \frac{T_{şebeke} + 2T_{ist}}{3}$ aralık ayı için $T_{çevre} = 7.3^\circ C$, $T_{şebeke} = 12.2^\circ C$, $T_{ist} = 60^\circ C$ ve $\overline{H_t} = 105.21 \text{ w/m}^2$ alınırsa; $\eta_k = 0.63$ elde edilir. Eğer f değerini 0.40 alırsak, gerekli kolektör alanı 27 m^2 ve gerekli kolektör adedi 14 adet bulunur. Bir Matlab programı oluşturularak f -grafik yöntemi ile hesaplanan aylık faydalanma

oranları f_i , Tablo 3 ve Şekil 5 'te verilmiştir. Gördüğümüz gibi yaz aylarında faydalanma oranı daha yüksektir ve temmuz ayı için en yüksek değer elde edilmiştir.

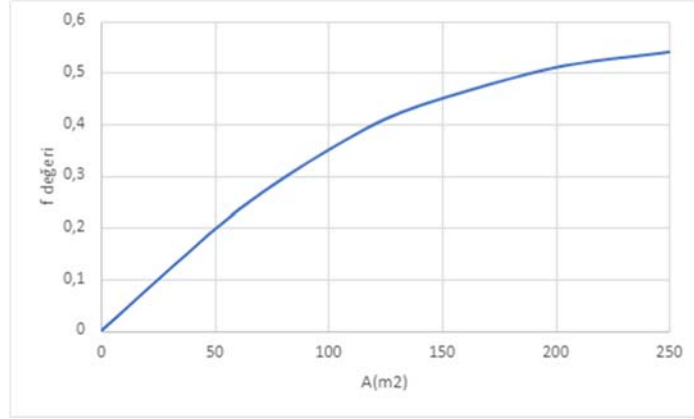
Tablo 3. Muğla ilinde ısıtma sisteminin aylık performansı.

Ay	L (MJ/ay)	X	Y	f	fL
Ocak	5.265	1.19	0.21	0.23	1248
Şubat	4.879	1.31	0.29	0.29	1256
Mart	4.450	1.39	0.53	0.30	1562
Nisan	4.143	2.11	0.91	0.58	2577
Mayıs	4.046	2.93	1.28	0.60	3196
Haziran	3.069	0.71	0.42	0.62	2516
Temmuz	2.961	0.63	0.27	0.67	2274
Ağustos	2.613	0.58	0.35	0.59	2128
Eylül	3.690	1.09	0.52	0.48	1748
Ekim	4.247	4.72	1.53	0.33	1944
Kasım	4.530	2.06	0.58	0.30	1261
Aralık	5.115 49.01	1.43	0.26	0.28	1340 2305



Şekil 5. 60°C çıkış sıcaklığında tüm aylara göre f değerinin değişimi.

Yıllık faydalanma oranı, $f = \frac{\sum fL_i}{\sum L_i}$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Yıllık faydalanma oranı $f=0.40$ için, kolektör alanı $A_c=115 \text{ m}^2$ olarak bulunmuştur. Benzer hesaplamalar farklı yıllık faydalanma oranları için yapılmış ve sırasıyla 0,1, 0,2, 0,4, 0,5, 0,6 yıllık faydalanma oranları için toplayıcı alanları 27 m^2 , 50 m^2 , 121 m^2 , 182 m^2 ve 286 m^2 olarak bulunmuştur. Kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 6. Kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi.

SONUÇ

Bu çalışmada, güneş enerjili destekli ısıtma sistemlerinde f-grafik yöntemini basitliği ve toplam ısıtma yükünün güneşten faydalanma oranını hesaplama kolaylığı nedeniyle analiz edilmiştir. F-grafik yönteminin büyük avantajı bu yöntemi kullanan sistemlerin daha az hesaplama çabasıyla kolay tasarımının sağlanmasıdır. Bu çalışmada, Muğla ilinde evsel bir sıvı akışkanlı sıcak su sistemin aylık ısıtma yüküne güneş enerjisinin katkısı f değerinin teorik analizi gerçekleştirilmiştir. Kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi şekil 6' ile verilmiştir. Görüldüğü gibi, kolektör alanının artması güneşten faydalanma oranını arttırmakta ve buna bağlı olarak da yardımcı ısı kaynağına olan ihtiyacı azaltmaktadır. Güneşten aylık faydalanma oranı yaz aylarında kış aylarına göre daha yüksektir. Isıtma yükü ocak ayında maksimum ve temmuz ayında en minimum değerdedir ki bunun ısıtma yükü talebi ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Düzeltilme faktörü depo kapasitesi ve terminal ısı değiştiricisi boyutu faktörü göz önüne alındığında, güneşten faydalanma oranının aralık ve ocak aylarında minimum 0,23 değeri ve temmuz ayında maksimum 0,67 değerine ulaşana kadar arttığı görülmektedir. Ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında (kış ayları) depolama kapasitesinin etkisi diğer yaz aylara göre göz ardı edilebilir miktardadır. Kuşkusuz sistemin bütün ihtiyacını güneşten sağlamak imkânsızdır. Güneşten yararlanma oranları 0,50 ve üzeri olan sistemler verimli sistem olarak kabul edilebilir. F-grafik yönteminden elde edilen performans tahminlerinin, birçok sistemin deneysel performansı ile iyi bir uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak konut ısıtmasında güneş enerjisi destekli sistemlerin kullanılması, ülke ekonomisini iyileştirme ve daha temiz bir dünyada yaşamın mümkün olabilmesi için yaygınlaştırılmalıdır.

SEMBOLLER

- A: Toplam kolektör alanı (m²)
- C_p: Özgül ısı [kJ/(kg°C)]
- C: Suyun özgül ısısı (kcal/kg°C)
- C_A: Alan başına maliyet
- C_{F1}: Yakıt fiyatı
- C_E: Alana bağımlı olmayan maliyet
- C_{min}: Minimum ısıtma kapasite debisi (W/°C)
- C_s: Güneş enerjili sistemin ilk yatırım maliyeti
- C_{s1}: Kullanım süresi boyunca güneş enerjisinden tasarruf edilen miktar

- DD: Taban sıcaklığı ve zaman dilimindeki derece gün sayısı (°C. Gün)
E: Ay boyunca gerekli ek enerji ihtiyacı (J)
f: Güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan aylık ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı
F: Yıllık ısınma yükünün güneş enerjisinden karşılanma oranı
F_y: Güneşten yıllık faydalanma oranı
F_k: Kolektör yüzeyi
F_R: Kolektör ısı kazanç faktörü
F_R: Kolektör-ısı değiştiricisi verim faktörü
 \overline{H}_T : Kolektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışınımı (J/m²)
İ_f: Enflasyon oranı
L: Isıtma ve sıcak su için gerekli aylık ısıtma yükü
L_w: Gerekli sıcak su yükünün
L_s: Gerekli ısıtma yükü
M: Toplayıcı birim alanı başına depo kapasitesi (litre/m²)
m: Isıtılacak su miktarı (litre/gün)
N: Bir aydaki gün sayısı (adet)
n: Konutta yaşayan kişi sayısı
N_s: Sistemin kullanım ömrü
N_p: Geri ödeme süresi (yıl)
Q: Yıllık ısı kaybı miktarı
Q_s: Sıcak su enerji ihtiyacı (kcal/gün)
Q_T: Ay boyunca güneşten elde edilen kullanılabilir enerji (J)
TRA: Kolektör alan başına gelen aylık ortalama güneş enerjisi (kcal/m² gün)
 \overline{T}_a : Aylık ortalama çevre sıcaklığı (°C)
T_m: Yıllık ortalama şebeke suyu sıcaklığı (°C)
T_{ref}: Deneyler sonucu elde edilmiş referans sıcaklık (°C)
T_w: Depolanan sıcak su sıcaklığı (sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklığı) (°C)
(UA)_h: Yapının toplam özgül ısı kayıp katsayısıdır.
U_L: Kolektör toplam ısı kayıp katsayısı [W/(m²°C)]
V: Hesap yapılan dönemde kullanılan sıcak su miktarı (m³)
X: Kolektörün ısı kaybının binanın toplam ısı kaybına oranı
Y: Eğimli yüzey tarafından emilen güneş enerjisinin binanın toplam ısı kaybına oranı
Δt: Aydaki toplam saniye sayısı (s)
ΔT: Kullanım suyun sıcaklığı ile sisteme giriş su sıcaklığı arasındaki fark (°C)
ΔU: Isıl depodaki suyun iç enerjisindeki değişim
α: Yutma katsayısı
β: Kolektör eğimi
η: Kolektör verimi
ρ: Yoğunluk (kg/m³)
T: Geçirme katsayısı
ε_L: Isı değiştiricisi etkinlik katsayısı
(τα)_n = Güneş ışınlarının yutma ve geçirme katsayısı çarpımı (%)
 $\overline{\alpha}$ = Aylık ortalama yutma ve geçirme katsayılarının çarpımı (%)

KAYNAKLAR

- [1] Deepika, D., Ahmed Ali Baig, M., Raji Reddy, A., Maneaih, D., Utilization of f-Chart Method for Designing Solar Thermal Heating System, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X PP 23-28, 2016.
- [2] Klein, S.A., Beckman, W.A., A General Design Method for Closed- Loop Solar Energy Systems, Solar Energy, 22, 269-282, 1979.
- [3] Rosli, M.A.M., Zaki, D.S.M., Abdul Rahman, F., Sepeai, S., Abdul Hamid, N., Nawam, M.Z., F-Chart Method for Design Domestic Hot Water Heating System in Ayer Keroh Melaka, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 56, Issue 1, 59-67, 2019.

- [4] Klein, S.A., TRNSYS-A Transient Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, Rep. 38, 29-37, 1973.
- [5] Kerme, E.D., Kaneesamkandi, Z., Performance Analysis and Design of Liquid Based Solar Heating System, Journal of Thermal Engineering, Vol. 1, Special Issue 1, pp. 182-191, 2015.
- [6] Okafor, I.F., Akubue, G., F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems, International Journal of Scientific & Engineering Research 3, no. 9, 2012.
- [7] Close, D.J., A Design Approach for Solar Processes, Solar Energy, 11 (2), 112-122, 1967.
- [8] Sandal, B., Güneş Enerjili Konut Isıtma Sistemlerinin F-Grafik Yöntem ile Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [9] Öztürk, A., Kılıç, A., Bina Isıtmasında Toplayıcıların Yaklaşık Boyutlandırılması, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 3, No.2, 49-53, 1980.
- [10] Klein, S.A., Beckman, W.A., Duffie, J.A., Solar Heating Design by the f-Chart Method, Research Supported by NSF, ERDA, and University of Wisconsin, New York, Wiley Interscience, 214p, 1977.
- [11] Ünsal, M., Güneş Enerjisi Takviyeli Isıtma Sistemleri İçin Aylık Ortalama Geçiş-Yutma sayısı, Isı Bilimleri ve Tekniği Dergisi, 4, 1, 35-44, 1981.
- [12] Şahin, H., Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2006.
- [13] Beckman, W.A., Klein, S.A., Duffie, J.A., A Design Procedure for Solar Heating Systems, Solar Energy, 18, 113-127, 1976.
- [14] Kahraman, G., Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtmasının Matematiksel Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 2005.
- [15] Günerhan, H., Bir Öğrenci Yurdu Binası İçin Güneş Enerjili ve Sıvı Yakıtlı Sıcak Su Sistem Tasarımı, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir, p. 561- 574, 2005.
- [16] Duffie, J.A., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 4th edition, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken New Jersey, 2013.
- [17] Kent, E.F., Kaptan, İ. N., İzmir İlindeki Elli Yataklı Bir Otel İçin Güneş Enerjisi Destekli Isıtma ve Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Teorik İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, p.163-170, İzmir, Mayıs 2009.
- [18] Uyarel, A.Y., Öz, E., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 239s, 1987.
- [19] TSE 3817, Güneş enerjisi su ısıtıcıları için genel kurallar. ICS code: 27.160, 1994.
- [20] Kent, E.F., Kaptan, İ.N., Kayseri İlindeki Elli Yataklı Bir Otel Binası İçin Güneş Enerjisi Destekli Sıcak ve Su Isıtma Uygulaması, Tesisat Mühendisliği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mart/Nisan 2010, P. 20-27, 2010.
- [21] Klein, S.A., Beckman, W.A., Duffie, J.A., TRNSYS-A Transient Simulation Program, ASHRAE Trans. 82, Part 1, 1976.
- [22] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "1928-2021 yılları arası Muğla ilindeki en yüksek sıcaklık değerleri", <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=MUGLA>.
- [23] ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment (SI), 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı'nda yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı'nda öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından



itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim Dalı'nda profesör doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

Hourieh BAYRAMIAN

Eğitim hayatına İran'da başlamış ve 2003 yılında Tebriz Üniversitesinden Malzeme Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek lisansını Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı'nda Atatürk Üniversitesinde 2018 yılında tamamlamıştır. Aynı yıl, Ege Üniversitesinde Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda doktora başlamıştır ve şu anda doktora eğitimini sürdürmektedir. Isı transferi, nano akışkanlar, yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjili sistemleri üzerinde çalışmaktadır.

Deniz YILDIRIM YALÇINKAYA

1987 yılı İzmir doğumludur. 2008 yılında Celal Bayar Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek Lisans çalışmasını ise Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2011 yılında tamamlamıştır ve CT ENERJİ LTD.' de Endüstriyel Tesisat Mühendisi olarak 5 yıl çalışmasının ardından 2019 yılında Ege Üniversitesinde Makina Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başlamış olup halen devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, jeotermal enerji), enerji ve ekserji analizi konularında çalışmaktadır.