



Türkiye'nin belirli iklim bölgeleri için güneş enerjili sıcak su sisteminin optimizasyonu

Berrin Karaçavuş*

Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 22100, Edirne, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Güneş enerjili sıcak su sisteminin optimizasyonu
- TRNSYS'de yıllık simülasyon
- Maliyet analizi

Makale Bilgileri

Geliş: 21.05.2016

Kabul: 21.03.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.337633

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi,
optimizasyon,
ekonomik değerlendirme

ÖZET

Bu çalışmada Türkiye'nin belirli iklim bölgeleri için güneş enerjili sıcak su sisteminin (SDHWS) optimizasyonu araştırılmıştır. Sistemin optimum tasarımı üç seviyeli yapıya bölünmüştür. Bu üç seviyeli yapı; simülasyon seviyesi (TRNSYS), Generalized Pattern Search (GPS) optimizasyon yöntemi Hooke-Jeeves Algoritma seviyesi (GenOpt) ve bu iki seviye arasındaki iletişim için bir ara yüz (TenOPT)'den oluşmaktadır. Ekonomik analiz hesaba katılarak, optimum kollektör alanı, optimum kollektör eğim açısı ve optimum su depolama tankı hacmi her bir il için belirlenmiştir. Belirlenen optimum boyutlar yardımı ile SDHWS'nin yıllık simülasyonu gerçekleştirilmiştir ve aylık yardımcı ısıtma oranı, aylık faydalanma oranı ve aylık kollektör verimi her il için hesaplanmıştır. Tasarlanan sistemde; en yüksek yardımcı ısıtma oranı Ocak ayında Hakkari'de 379,63 kWh/ay ve en düşük yardımcı ısıtma oranı İzmir'de 177,48 kWh/ay olarak belirlenmiştir SDHWS'den aylık faydalanma oranı için, en düşük değerler Aralık ayında %8 ve Ocak ayında ise %17 oranında Edirne ilinde hesap edilmiştir. Yıllık yardımcı ısıtma oranının ve yıllık yüke aktarılan enerjinin doğal gaz ve elektrikten karşılanması durumunda maliyetler karşılaştırılmıştır. Bu sistemlerin binalarda kullanım oranlarının artırılmasının Türkiye'nin enerji arzı üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

Optimization of solar domestic hot water system for certain climate zones of Turkey

H I G H L I G H T S

- The optimization of a solar domestic hot water system
- Annual simulation on TRNSYS
- Cost analysis

Article Info

Received: 21.05.2016

Accepted: 21.03.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.337633

Keywords:

Solar energy,
optimization,
financial evaluation

ABSTRACT

The optimization of a solar domestic hot water system (SDHWS) for the provinces in certain climate zones of Turkey was investigated in the present study. The optimum design of the system was divided to a three level structure. The simulation level (TRNSYS), the Generalized Pattern Search (GPS) optimization method Hooke-Jeeves Algorithm level (GenOpt) and the interface for the communication between those two levels (TrnOPT). Taking into account the financial (life cycle cost) analysis, the optimum collector area, the optimum collector slope and optimum hot water storage tank volume were determined for each province. The annual simulation of the SDHWS was accomplished with the determined optimum size and the monthly auxiliary heating rate, the monthly solar fraction and the monthly collector efficiency were calculated for each province. In the designed system, the highest auxiliary heating rate was determined 379.63 kWh/month in Hakkari on October and the lowest auxiliary heating rate was determined 177.48 kWh/month in Izmir on October. The lowest monthly solar fractions from the solar water heating system were calculated for Edirne as 8% in December and as 17% in January. The costs of meeting the annual auxiliary heating rate and the annual energy rate to load with electricity and natural gas were compared. The effects of increased utilization of the SDHWS in buildings on the energy supply of Turkey were addressed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya enerji sektörü, iklim değişikliği nedeniyle radikal bir yapısal değişimin eşiğindedir. Özellikle yeterli fosil kaynaklara sahip olmayan ve enerjide dışa bağımlılığı artan sanayileşmiş ülkeler bu radikal değişim sürecinde, hem güvenli enerji kaynaklarına yönelme hem de yenilenebilir enerji ve temiz teknolojileri satma yoluyla ekonomilerini güçlendirerek krizi fırsata çevirmeye çalışmaktadır. Yenilenebilir enerji, bir zamanlar petrolde olduğu gibi ekonomiler için çok yönlü olarak yarattığı etkilerle enerji sektöründe önemli bir bileşen haline gelmeye başlamıştır. Türkiye’de 2009 yılında birincil enerji arzının %91’i fosil yakıtlardan, %9’u hidrolik ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Yine 2009 rakamlarına göre, Türkiye birincil enerji arzının %77,4’ünü ithal etmiştir. Dışa bağımlılık oranı %70,9 değerindedir [1]. Artan enerji talebi ile birlikte düşünüldüğünde, enerji arz sisteminin gittikçe artan ithal fosil yakıt bağımlılığı, ülke enerji politikalarında çözülmesi gereken bir sorundur. Toplam birincil enerji arzının sırasıyla %29 ve %31’ini oluşturan petrol ve doğalgazda, yerli üretim payının sırasıyla %7,7 ve %1,9 oranında olması, enerji arzının önemli bir darboğazıdır. Türkiye’de 2009 yılında üretilen birincil enerjinin %57’si (17,402 Bin TEP) ise yerli kömürden karşılanmaktadır [1]. Potansiyelinin oldukça önemli bir bölümü hala değerlendirilmeyi bekleyen yenilenebilir enerji kaynaklarının, Türkiye’nin enerji bağımsızlığında önemli bir rol üstlenebileceği kesindir. Enerji ithalatı ve ithal teknoloji bağımlılığı, Türkiye’nin dış ticaret dengesi üzerinde olumsuz etki yaratan en önemli faktörlerdir.

Türkiye’de 2009 yılı itibarı ile 80,6 MTEP olan nihai enerji tüketimi içinde sanayi sektörü %32 ve bina sektörü %37 oranında pay almıştır. Türkiye’de uzun yıllardır sanayi sektörü nihai tüketimde en büyük paya sahipken, küresel ekonomik krize bağlı olarak üretimin düşmesi nedeniyle tüketim paylarında 2008 yılından başlayarak bu eğilimin aksine bir değişim yaşanmıştır. Bina sektöründe ise krize rağmen enerji tüketimindeki normal yıllık artış devam etmiştir. Bina sektöründe enerji tüketiminde sırası ile %17 taş kömürü, %12 odun, %10 linyit, %24 doğal gaz, %24 elektrik, %3 jeotermal, %5 petrol, %4 hayvansal ve bitki artıkları ve %1 güneş olarak tespit edilmiştir [1]. Bina sektörü, önemli ölçüde enerji tüketen sektör olması nedeniyle tüketilen enerjinin karşılanabilmesi için enerji verimliliğinin artırılmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kullanım oranlarının da artırılması gerekir. Yenilenebilir enerji arasında yer alan güneş enerjisinden, ülkemiz en iyi faydalanılabilen bölgelerden birinde bulunmaktadır. Büyük çoğunluğu Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde olmak üzere, 3-3,5 milyon konutta güneş kolektörü bulunmaktadır. Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörleri miktarı 12 milyon m² olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m²’dir ve bu üretimin bir miktarı ihraç edilmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 429 bin TEP civarındadır. Kurulu alan ülke nüfusuna oranlandığında, kişi başına düşen güneş enerjisi miktarı düşük değerdedir [1]. En çok enerji tüketimi olan bina

sektöründe güneş enerjisinin kullanım oranlarının artırılması gerekmektedir. Ülkemizde çok bölgede, evsel kullanım için sıcak su temininde elektrik ve doğal gaz kullanılmaktadır. Binalarda SDHWS’nin kullanılmasının yaygınlaştırılması, CO₂ emisyonlarını ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak bakımından önemlidir. Genel olarak güneş enerjisi sistemleri yüksek ilk yatırım maliyetleri ve buna karşın düşük işletme maliyetleri ile karakterize edilirler. Dolayısı ile SDHWS’de en fazla yarar için optimum boyutların belirlenmesi önemlidir. Literatürde bu konuda yapılan birçok çalışma vardır. SDHWS’nin çeşitli tiplerinde, optimum boyutların tespiti için çeşitli algoritmalar kullanılarak yapılan nümerik ya da deneysel çok sayıda yeni çalışma mevcuttur. Atia vd. düzlemsel güneş kolektörü, su depolama tankı ve biyogaz yardımcı ısıtıcısı içeren bir SDHWS’nin optimizasyonunu, Genetic Algoritmalar kullanılarak yapmışlardır. Tanımlanan maliyet fonksiyonunu (LCC) minimum yapan kolektör alanı belirlemişlerdir. Optimum kolektör alanı 63 m² için sistemden faydalanma oranının en yüksek değerini %98 olarak belirlemişlerdir [2]. Gürsu Genetik Algoritmalar yöntemini kullanarak optimum ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonu için Genetik Algoritma akış şeması belirlemiştir [3]. Bektaş ve Aksoy çalışmasında, güneş ısı kazanç faktörü değerlerini hesaplayarak aylık ortalama saatlik güneş ısı kazanç faktörü değerlerini elde etmişlerdir [4]. Çomaklı vd. Erzurum iklim şartlarında SDHWS’ni MATLAB programında modellemişlerdir.

Türkiye koşulları ve ilgili Türk Standartlarına göre; kullanım suyu sıcaklığı 45-60°C için kolektör verimini 0,35-0,45 ve kolektör alanına bağlı tank hacmini 50-70 L/m² olarak belirlemişlerdir [5]. Rodriguez-Hidalgo vd. SDHWS’nin tasarımını TRNSYS programında yapmış ve deneysel sonuçlar ile desteklemişlerdir. Tipik bir binada, 50 m² güneş kolektörü ve 3 m³’lük bir su depolama tankı ve yardımcı ekipman içeren SDHWS’nin performans analizini yapmışlardır [6]. Young-Deuk vd. 65°C’de sıcak su temini için SHWP sisteminin uzun süreli performans optimizasyonunu micro genetic algoritma kullanarak yapmışlardır. Su kullanımının 80 m³/gün değeri için 1125 m² kolektör alanı ve 36 m³ tank hacmi belirlemişlerdir [7].

Antonio Araújo ve Vítor Pereira on-off akış kontrollü SDHWS için matematiksel model geliştirerek depo yalıtım malzemesinin sistem faydalanma oranına etkisi araştırmışlardır [8]. Nhut ve Park, güneş kolektörünün faydalı ısı kazancı ve kolektör pompasının elektrik tüketimi arasındaki ilişkiye dayanarak optimum kontrol değişkenlerini incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre optimum akış oranını $m = 0,05\Delta T_{A}/60$ (kg/s) olarak belirlemişlerdir [9]. Türkiye genelinde, bina sektöründe enerji tüketiminin payı büyüktür. Dolayısı ile binalarda enerji tasarrufu önlemlerinin yanı sıra yenilenebilir enerji kullanım oranlarının artırılması gerekir. Enerjide yaklaşık %70 dışa bağımlılık oranı göz önüne alındığında, SDHWS enerji arzındaki dışa bağımlılığı büyük ölçüde rahatlatacaktır. Bu çalışmada, Türkiye’nin belirli iklim

yıllık olarak analiz edilmiştir. Türkiye, Kuzey Yarımküre’de, 36-42 derece kuzey enlemleriyle 26-45 derece doğu boylamlarında arasında yer almaktadır. Bu durumu ülkenin kutuptan çok Ekvator’a yakın olmasına ve ılıman kuşakta bulunmasına neden olmuştur. Bu durum, Türkiye’nin iklimi üzerinde etkili olmaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel atlası Şekil 2’de verilmiştir [12]. Simülasyonda İzmir, Trabzon, Hakkari ve Ankara için TRNSYS program kütüphanesinde bulunan hava dataları (TMY2) baz alınmıştır. Edirne ili için 2002 yılına ait hava verileri Compaq Visual Fortran 6’da saatlik olarak oluşturulmuştur. Eğimli yüzeye gelen ışınım, Perez vd. tarafından geliştirilmiş eğimli yüzey ışınım modeli kullanılarak hesaplanmıştır [10]. Eğimli yüzeye gelen toplam ışınım, eğimli yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımın toplamı olmak üzere Eş. 1’de verilmiştir.

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{gT} \quad (1)$$

Eğimli yüzeye gelen difüz ışınım I_{dT} Eş. 2 ile verilmiştir.

$$I_{dT} = I_d[0.5(1 - F'_1)(1 + \cos \beta) + F'_1(a/c) + F'_2 \sin \beta] \quad (2)$$

Eşitlikte; I_d yatay yüzeye gelen difüz ışınım, F'_1 ve F'_2 indirgenmiş parlaklık katsayılarını ifade etmektedir. Günlük sıcak su tüketimi Şekil 3’de, seçilen illere ait şebeke suyu sıcaklığının yıl içinde değişimi Şekil 4’de verilmiştir. Şebeke suyu sıcaklığı için 1m derinlikteki toprak sıcaklığı, uzun yıllar ortalaması olarak baz alınmıştır [13]. Sistemde kullanılan tabakalaşmalı, sabit hacimli su depolama tankı Şekil 5’de verilmiştir. Tabakalaşmalı, sabit hacimli su depolama tankının enerji dengesi Eş. 3 ile verilmiştir [10].

$$\begin{aligned} dE/dt = & \alpha_i \dot{m}_h C_{pf} (T_H - T_i) + \beta_i \dot{m}_L C_{pf} (T_L - T_i) \\ & + U_T A_i (T_a - T_i) + \gamma_i (T_{i-1} - T_i) C_{pf} \text{ if } g_i > 0 + \gamma_i \\ & (T_i - T_{i+1}) C_{pf} \text{ if } g_i < 0 + \dot{Q}_{aux} \quad \text{for } i = 1, N \end{aligned} \quad (3)$$

N düğüm noktası sıcaklıkları, yukarıdaki eşitlikte ifade edilen zaman türevlerinin integrasyonu olarak belirlenir.

Enerji geçişleri ve içi enerjideki değişim Eş. 4-Eş. 7 ile hesaplanmaktadır [10].

$$\dot{Q}_{loss} = U_T A_i (T_i - T_a) + \gamma_f \sum_{i=1}^{i=N} (U A)_{f,i} (T_i - T_f) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{load} = \dot{m}_L C_{pf} (T_1 - T_L) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_h C_{pf} (T_h - T_N) \quad (6)$$

$$\Delta E = V \rho_f C_{pf} [\sum_{i=1}^{i=N} T_i - \sum_{i=1}^{i=N} T_i |_{t=0}] / N \quad (7)$$

Eşitliklerde; i düğüm noktası sayısı, $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ kontrol fonksiyonları, C_{pf} akışkanın özgül ısısı, \dot{m}_h sıcak kaynaktan (kollektörden) gelen sıvının kütleli debisi, \dot{m}_L yüke (kullanım sıcak suyu) giden sıvının kütleli debisi, A_i i düğüm noktasındaki tank yüzey alanı, U_T tank genel ısı kayıp katsayısı, T_h sıcak kaynaktan gelen sıvının sıcaklığı, T_L yüke giden sıvının sıcaklığı, T_a tank çevre sıcaklığı, V_T tank hacmi, ρ_f sıvının yoğunluğu, ΔE tank içindeki iç enerji değişimi, \dot{Q}_{in} sıcak kaynaktan (güneş kollektöründen) tanka aktarılan enerji, \dot{Q}_{aux} yardımcı ısıtıcı yükü \dot{Q}_{loss} depolama tankından çevresine olan enerji kaybı, \dot{Q}_{load} yüke giden enerji anlamındadır.

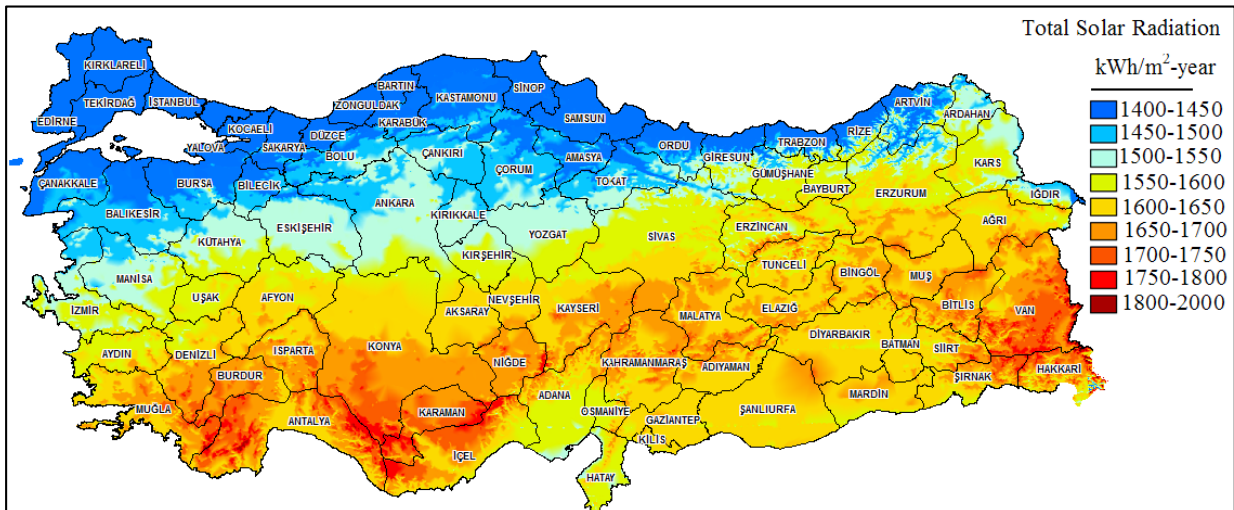
Eş. 3, bir aylık bir süre boyunca integre edilirse, diğer enerji miktarları ile karşılaştırıldığında, iç enerji değişimi çok küçük olur. Böylece Eş. 3 aşağıdaki şekle dönüşür (Eş. 8) [14].

$$0 \cong \int \dot{Q}_{in} dt + \int \dot{Q}_{aux} dt - \int \dot{Q}_{loss} dt - \int \dot{Q}_{load} dt \quad (8)$$

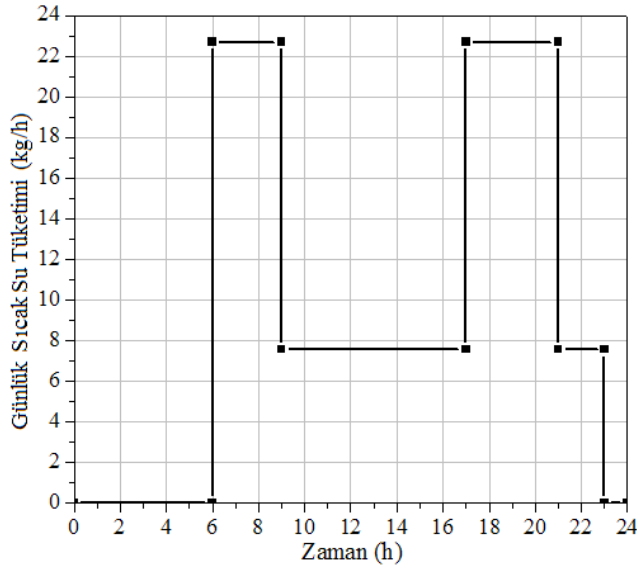
Bu çalışmada; sistemden aylık faydalanma oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Eş. 9).

$$f_m = (Q_{load} - Q_{aux}) / Q_{load} \quad (9)$$

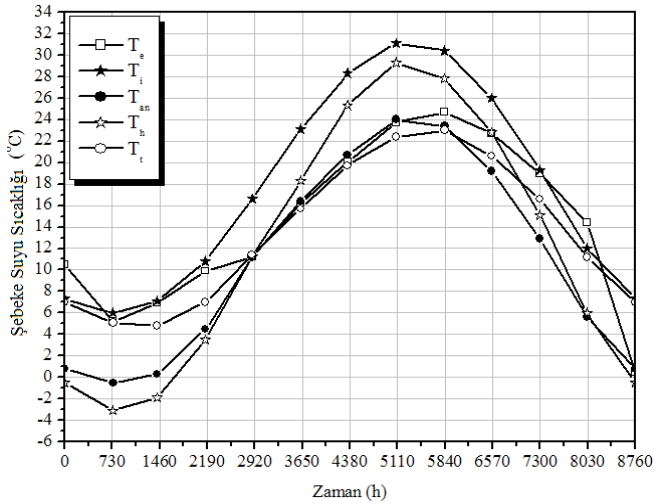
Genel olarak güneş kollektörü verimi Hottel-Whillier eşitliği ile aşağıdaki formda verilmiştir (Eş. 10) [15].



Şekil 2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel atlası (The solar energy potential atlas of Turkey)

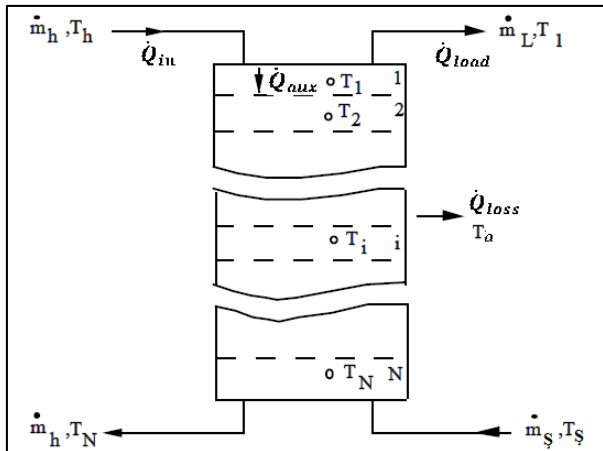


Şekil 3. Günlük sıcak su tüketimi (Daily hot water consumption)



Şekil 4. Seçilen iller için yıl boyunca şebeke suyu sıcaklığı değişimi

(The variation of the mains water temperature along the year for the selected provinces)


 Şekil 5. Tabakalaşmalı su depolama tankı
(Stratified fluid storage tank)

$$\eta = \frac{Q_u}{AI_T} = \frac{\dot{m}C_{pf}(T_o - T_{in})}{AI_T} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_C \frac{(T_{in} - T_a)}{I_T} \quad (10)$$

Burada, A toplam kolektör alanı, I_T güneş kolektörüne gelen toplam güneş ışınımı, Q_u güneş kolektöründe çalışma sıvısının kazandığı faydalı enerji, C_{pf} kolektör sıvısının özgül ısısı, T_o çalışma sıvısının kolektörden çıkış sıcaklığı, T_{in} sıvının kolektöre giriş sıcaklığı, T_a çevre sıcaklığı, $(\tau\alpha)_n$ normal gelişte absorberin yutma-geçirme oranı, F_R kolektörün genel ısı taşınım faktörü ve U_C kolektörün birim alanı başına genel ısı kayıp katsayısıdır.

Kolektör kayıp katsayısı U_C değişkendir. Bu nedenle kolektör verim ifadesi lineer olarak

$$\eta = \frac{Q_u}{AI_T} = \frac{\dot{m}C_{pf}(T_o - T_{in})}{AI_T} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_C \frac{(T_{in} - T_a)}{I_T} - F_R U_{C/T} \frac{(T_{in} - T_a)^2}{I_T} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eş. 11; a_0 kolektör optik verimi, a_1 ve a_2 ısı kayıp katsayılarına bağlı olarak Eş. 12 gibi yazılabilir.

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{(\Delta T)}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T} \quad (12)$$

Sistemde kullanılan su depolama tankına ve güneş kolektörüne ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

3.1. Optimizasyon Yöntemi (Optimization Method)

Bu çalışmada, güneş enerjili ısıtma sisteminin tüm yaşamı boyunca maliyetinin minimizasyonu araştırılmıştır. Sistemin optimum tasarımı üç seviyeli yapıya ayrılmıştır. Simülasyon seviyesi (TRNSYS), Generalized Pattern Search (GPS) optimizasyon yöntemi Hooke-Jeeves Algoritma seviyesi (GenOpt) ve bu iki seviye arasındaki iletişim için bir ara yüz programı (TRNOPT) kullanılmıştır. Sistemde LCC fonksiyonunu minimum yapan güneş kolektörü eğim açısı, kolektör alanı ve su depolama tank hacmi belirlenmiştir. Optimizasyon bir yıllık simülasyon sonuçlarına dayanmaktadır. Optimizasyon değişkenleri Tablo 2'de verilmiştir.

3.2. Ekonomik Analiz Yöntemi (The Method of Economic Analysis)

Brandemuehl ve Beckmann, güneş enerjili ısıtma sisteminin tüm yaşamı boyunca maliyeti için, P_1 ve P_2 faktörlerini net şimdiki değerleriymiş gibi kullanarak Eş. 13'de bir kombinasyon yapmışlardır. P_1 ilk yılda yapılan yakıt tasarrufu ile direkt orantılı olan faktör, P_2 ise sistem için ilk yatırım, bakım gibi artan bakiye ile direkt orantılı olan faktördür [16].

$$LCC = P_1 \left[\int_0^t \dot{C}_{FA} \dot{Q}_{AUX} dt \right] + P_2 [C_A A + C_E] \quad (13)$$

P_1 ve P_2 Eş. 14 ve Eş. 15 yardımı ile hesaplanır.

Tablo 1. Su depolama tankı ve güneş kolektörüne ait teknik özellikler
 (Technical properties the hot water storage tank and solar thermal collector)

Gösterim	Tanımlama	Değer
V_T	Tank hacmi (m^3)	Optimizasyon değişkeni
C_p	Sıvının özgül ısı (kJ/kgK)	4,19
ρ	Sıvı yoğunluğu (kg/m^3)	1000
U_T	Tank genel ısı kayıp katsayısı ($kJ/h m^2 K$)	3
N	Düğüm noktası sayısı	4
h/d	Tank yüksekliğinin çapa oranı	1,75
T_s	Yardımcı ısıtıcı ayar sıcaklığı ($^{\circ}C$)	55
T_b	Kaynama noktası ($^{\circ}C$)	100
A	Kollektör alanı (m^2)	Optimizasyon değişkeni
β	Kollektör eğimi ($^{\circ}$)	Optimizasyon değişkeni
a_0	Kollektör optik verimi	0,81
a_1	Isı kayıp katsayısı 1 ($kJ/h m^2 K$)	12,528
a_2	Isı kayıp katsayısı 2 ($kJ/h m^2 K^2$)	0,059

Tablo 2. Optimizasyon değişkenleri (Optimization variables)

		$A (m^2)$	$\beta (^{\circ})$	$V_T (m^3)$
Sürekli Değişke nler	Başlangıç değeri	2	40	0,3
	Minimum değer	0,0001	0	0,0001
	Maksimum değer	10	90	1
	Adım değeri	0,5	5	0,1

$$P_1 = (1 - C\bar{t})PWF(N_E, i_{FCF}, d) \quad (14)$$

$$P_2 = D + (1 - D) \frac{PWF(N_{min}, 0, d)}{PWF(N_L, 0, m)} - (1 - D)\bar{t}$$

$$\left[PWF(N_{min}, m, d) \left(m - \frac{1}{PWF(N_L, 0, m)} \right) + \frac{PWF(N_{min}, 0, d)}{PWF(N_L, 0, m)} \right]$$

$$+ (1 - C\bar{t})M_s PWF(N_E, i_g, d) + t(1 - \bar{t})VPWF(N_E, i_g, d)$$

$$- \frac{C\bar{t}}{N_D} PWF(N'_{min}, 0, d) - \frac{SAL}{(1+d)N_E} \quad (15)$$

Şimdiki değer faktörü, PWF Eş. 16' da verilmiştir.

$$PWF(a, b, c) = \begin{cases} \frac{1}{c-b} \left[1 - \left(\frac{1+b}{1+c} \right)^a \right] & \text{if } b \neq c \\ \frac{a}{(b+c)} & \text{if } b = c \end{cases} \quad (16)$$

Güneş enerjili sıcak su sisteminin optimizasyonunda Eş. 13 aşağıdaki şekilde uyarlanmıştır.

$$LCC = P_1 \left[\int_0^t \dot{C}_{FA} (\dot{Q}_{AUX} + \dot{Q}_{PUMP}) dt \right]$$

$$+ P_2 [C_{AA} + C_E + C_T V_T] \quad (17)$$

$\int_0^t \dot{C}_{FA} (\dot{Q}_{AUX} + \dot{Q}_{PUMP}) dt$ toplam yardımcı yakıt maliyeti ve ilk yılda sirkülasyon pompasının enerji maliyetini ifade

etmektedir. Ekonomik analizde kullanılan parametreler Tablo 3'de verilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada; Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde yer alan, belirli iller için SDHWS' i optimize edilmiştir. Eş. 17 ile tanımlanan LCC fonksiyonunu minimum yapan boyutlar tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. Belirlenen optimum değerler baz alınarak yıllık simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçları yardımı ile tanımlanan sistem için yardımcı ısıtma yükünün aylara göre değişimi Şekil 6'da ve aylık faydalanma oranı Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere; en yüksek yardımcı ısıtma oranı ocak ayında tespit edilmiştir. Bu ayda en yüksek yardımcı ısıtma oranı Hakkâri'de 379,63 kWh/ay en düşük yardımcı ısıtma oranı İzmir'de 177,48 kWh/ay olarak hesaplanmıştır. Gerekli yardımcı ısıtma oranının temmuz ayında en düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu ayda, en çok Trabzon'da 51,57 kWh/ay, İzmir'de ise 1,41 kWh/ay olarak yardımcı ısıtma oranı gerektiği tespit edilmiştir.

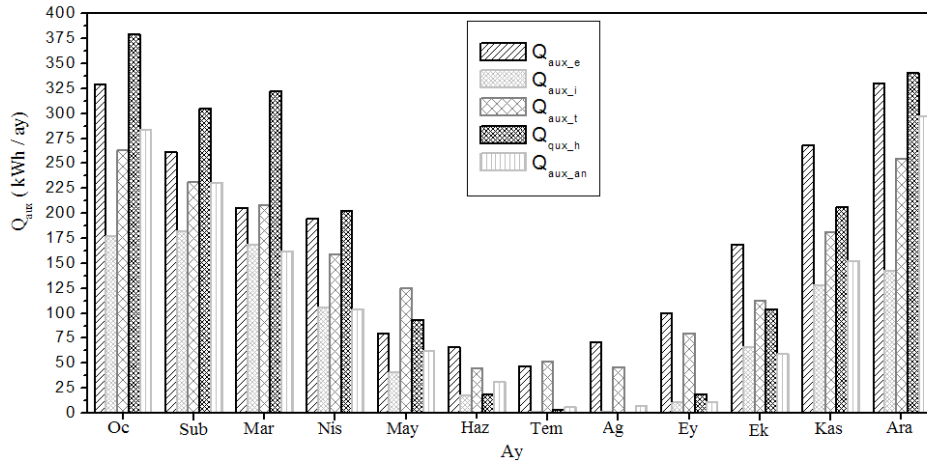
SDHWS'den aylık faydalanma oranında, en düşük değerlerin Aralık %8 ve Ocak ayında %17 olarak Edirne'de olduğu hesap edilmiştir (Şekil 7). Ağustos ayında İzmir, Hakkâri'de %100, Edirne'de ise %76 olarak tespit edilmiştir. Edirne'de en yüksek aylık faydalanma oranı %86 olarak Temmuz'da hesaplanmıştır. Kollektör veriminin aylara göre değişimi Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 3. Ekonomik analizde kullanılan parametreler (The variables used in the economic analyses)

Gösterim	Tanımlama	Değer
C	Ticari olmayan bina	0
C_A	Toplam Alana bağlı maliyet (\$ /m ²)	185
C_E	Kollektör alanından bağımsız toplam teçhizatın maliyeti (sıcak su depolama tankı hariç) (\$)	2844
C_T	Depolama tankı maliyeti (\$/ m ³)	5586
\dot{C}_{FA}	Yardımcı ısıtıcı fiyat oranı (\$/ kWh)	0,17
\bar{t}	Efektif Federal-Devlet gelir vergisi oranı (%)	45
t	Orjinal yatırımın dolar başına emlak vergisi oranı (%)	2
N_E	Ekonomik analiz periyodu (yıl)	20
i_{FCF}	Konvansiyonel yakıt enflasyon oranı (% bir yıl)	9,5
i_g	Genel enflasyon oranı (% bir yıl)	10
D	Market indirim oranı (%)	8
D	Toplam sistem yatırımı için peşinatlar oranı	0,1
M	Mortgage faiz oranı (% bir yıl)	9
M_S	Bir yıllık ekstra sigorta, bakım, vs. (% orjinal yatırım) (%)	1
SAL	İlk yatırım için hurda değer oranı	0,4
V	İlk yıl için güneş enerjisi sistemi değerlendirmesinin sistemin ilk yatırıma oranı	1,0

Tablo 4. Optimum boyutlar ve LCC (Optimum sizes and LCC)

İl	Enlem Boylam	LCC (\$)	A (m ²)	β (°)	V_T (m ³)
Edirne	41° 39' 54'' N 26° 33' 44'' E	11487,494	4,840	35,630	0,200
İzmir	41° 25' 07'' N 27° 07' 43'' E	8837,261	4,500	45,310	0,200
Trabzon	41° 00' 00'' N 39° 43' 59'' E	11440,079	6,120	37,190	0,219
Hakkari	37° 34' 59'' N 43° 43' 57'' E	11230,824	4,690	40,630	0,182
Ankara	39° 55' 14'' N 32° 51' 14'' E	9946,639	4,940	40,630	0,200

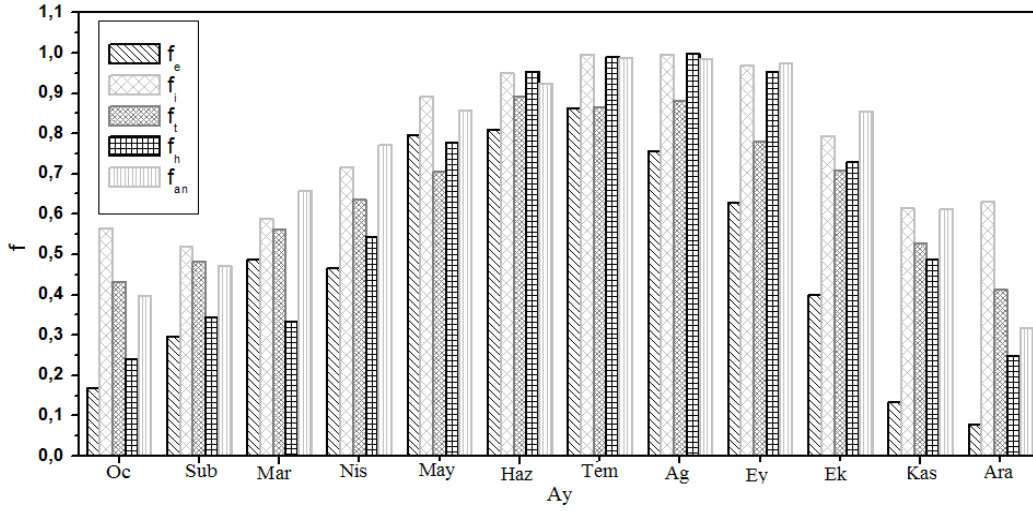
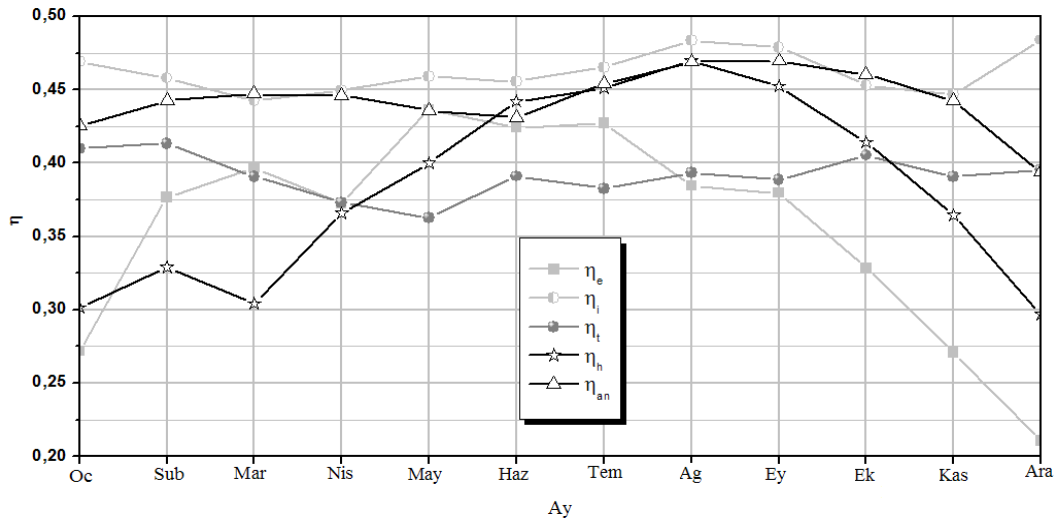
**Şekil 6.** Yardımcı ısıtma yükünün aylara göre değişimi (The variation of the auxiliary heating rate by months)

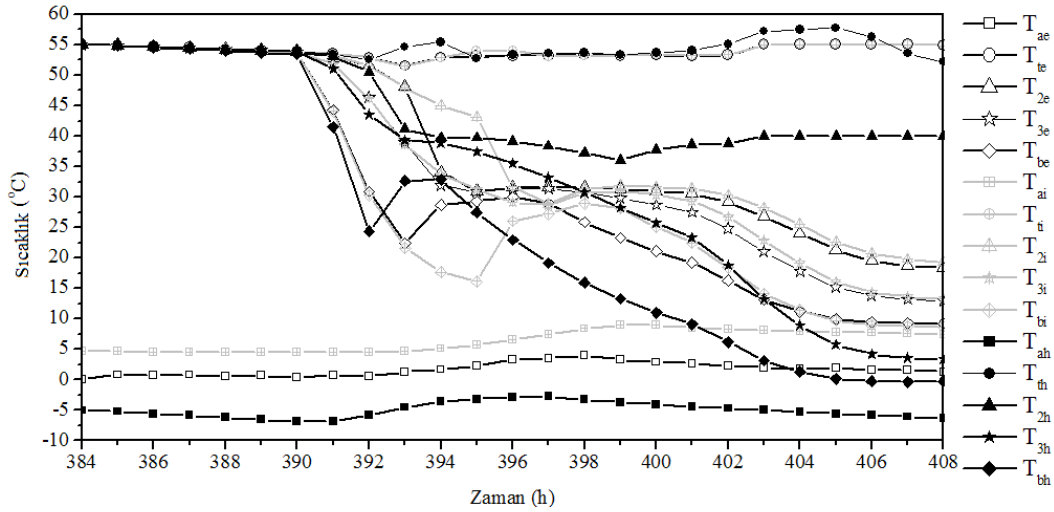
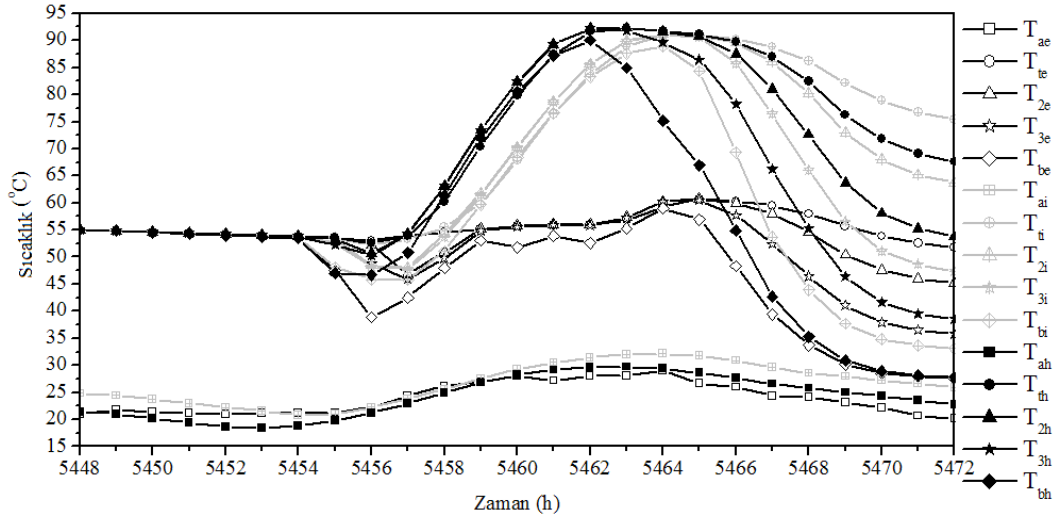
En düşük kolektör verimi Aralık ayında Edirne'de %21, Hakkari'de %30 olarak hesaplanmıştır. Bu ayda kolektör verimi İzmir'de %48 değerindedir. Düşük değerlerin belirlendiği Ocak ayını temsil eden 17 Ocak ve yüksek

değerlerin elde edildiği Ağustos ayını temsil eden 16 Ağustos için su depolama tankı içindeki düğüm noktalarında ve dış hava sıcaklığı sırası ile Şekil 9 ve Şekil 10' da verilmiştir.

Tablo 5. Yıllık değerlendirme (Annual evaluation)

	Edirne	İzmir	Trabzon	Ankara	Hakkari
Yıllık faydalanma oranı (%)	49	77	65	73	62
Yıllık sıcak su yükü (kWh/yıl)	4132,674	4477,946	5004,660	5307,478	5198,431
Yıllık yardımcı ısıtma yükü (kWh/yıl)	2123,432	1044,135	1758,692	1407,855	1997,106
Yardımcı ısıtma yükü ve sirkülasyon pompasının enerji tüketiminin yıllık toplamı (kWh/yıl)	2174,362	1140,375	1835,902	1484,935	2057,156
Yardımcı ısıtma oranının elektrikle karşılanması (\$/yıl)	254,812	125,296	211,043	168,943	239,653
Doğal gaz fiyatı (\$/kWh)	0,0494889	0,0498355	0,0495822	0,0555744	
Yardımcı ısıtma oranının doğalgazla karşılanması (\$/yıl)	105,086	52,035	87,200	78,241	İhale aşamasında
Sıcak su yükünün Direkt doğalgazla karşılanması (\$/yıl)	204,521	223,161	248,142	294,960	
Sıcak su yükünün Direkt elektrikle karşılanması (\$/yıl)	495,92	537,354	600,559	636,897	623,812

**Şekil 7.** Aylık faydalanma oranı (Monthly solar fraction)**Şekil 8.** Kollektör veriminin aylara göre değişimi (The variation of the collector efficiency by months)

Şekil 9. 17 Ocak sıcaklık dağılımı (Temperature variation for the 17th of January)Şekil 10. 16 Ağustos sıcaklık dağılımı (Temperature variation for the 16th of August)

Simülasyon yapılan her il için SDHWS'den yıllık faydalanma oranı Tablo 5'de verilmiştir. En düşük yıllık faydalanma oranı Edirne'de %49 en yüksek faydalanma oranı İzmir'de %77 olarak hesaplanmıştır. Yıllık sıcak su yükü Q_{load} ve yıllık yardımcı ısıtma yükü Q_{aux} hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir. Yardımcı ısıtma yükünün elektrik ve doğal gaz ile karşılanması durumunda yıllık maliyet, gerekli sıcak su yükünün direkt elektrik ve doğalgazla karşılanması durumunda yıllık maliyet değerleri hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir. En soğuk kış aylarında şebeke suyu sıcaklığı Edirne'de en yüksek değerlerde olması nedeni ile yıllık sıcak su yükü en düşük değerdedir. Enerjide yaklaşık %70 dışa bağımlılık oranı göz önüne alındığında, belirlenen faydalanma oranları önemli değerlerdir (Tablo 5). Binalarda sıcak su ihtiyacının SDHW sistemleri ile karşılanması, elektrik ya da doğalgaz kullanımında tasarruf sağlayacaktır. Çünkü Türkiye'de 2009 yılı itibarı ile 80,6 MTEP olan nihai enerji tüketimi içinde

binalar sektörü %37 oranında pay almıştır. Ayrıca toplam birincil enerji arzının %31'ini oluşturan doğalgazda, yerli üretim payının %1,9 oranındadır. Bina sektöründe enerji tüketiminde doğal gaz %24 lük bir pay oluşturmaktadır. Bina sektöründe enerji tüketiminde elektrik %24 lük bir pay almaktadır. Elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında ise; doğalgazın elektrik üretiminin yarısını karşıladığı görülmektedir. Bunu ithal ve yerli kömür santralleri toplam %29 pay ile takip etmektedir. İthalat bağımlılığını azaltacak olan hidrolik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından (biyokütle hariç) yapılan üretim, 2009 yılındaki yerli üretimin %17,4'ünü ve toplam enerji talebinin ise ancak %5'ini karşılamaktadır. Rüzgâr ve jeotermal kaynaklı elektrik üretimi ise 2009 yılındaki toplam arz içinde %1 oranında pay almıştır [1]. Dolayısı ile sıcak su yükünün direkt elektrikle karşılanması durumunda sonuçlar daha kötüdür. SDHWS, enerji arzındaki darboğazı çok büyük ölçüde rahatlatacaktır. Türkiye genelinde, güneş

enerjisi potansiyeli değerlendirilerek binalarda en azından SDHWS arttırılması enerjide dışa bağımlılığı önemli oranda düşürecektir. Medyada, bu tarz sistemlerin reklamlarının yapılması, halkı hem bilinçlendirecek hem de özendirme yolu ile kullanım oranlarını arttıracaktır. Ülkede bu tarz reklamlar eksiktir. Binalarda SDHWS kullanımını arttırmak üzere, binalarda ısı yalıtımında olduğu gibi düşük faiz oranlı banka kredileri devlet tarafından desteklenmelidir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Türkiye'nin belirli iklim bölgelerinde yar alan iller için güneş enerjili sıcak su sisteminin optimizasyonu araştırılmıştır. Belirlenen optimum boyutlar yardımı ile sistemin yıllık simülasyonu yapılmış ve yardımcı ısıtma oranları, aylık faydalanma oranı, kolektör verimi her il için hesaplanmıştır. Yıllık yardımcı ısıtma yükünün elektrik ve doğalgazla karşılanması durumunda, yıllık sıcak su ısıtma yükünün direk elektrik ve doğalgazla karşılanması durumunda maliyetler hesaplanmıştır. Binalarda sıcak su ihtiyacının SDHW sistemleri ile karşılanması, elektrik ya da doğalgaz kullanımında tasarruf sağlayacaktır. Türkiye genelinde, güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilerek binalarda en azından SDHWS arttırılması enerjide dışa bağımlılığı önemli oranda düşürecektir.

6. SİMGELER (SYMBOLS)

A	: Kolektör alanı (m ²)
A _i	: i düğüm noktasındaki tank alanı (m ²)
a ₀	: Optik verim, boyutsuz
a ₁	: Isı kayıp katsayısı 1 (kJ / h m ² K)
a ₂	: Isı kayıp katsayısı 2 (kJ / h m ² K ²)
C	: Ticari olmayan bina
CA	: Toplam Alana bağlı maliyet (\$ /m ²)
CE	: Kolektör alanından bağımsız toplam teçhizatın maliyeti (sıcak su depolama tankı hariç) (\$)
C _{pf}	: Sıvının özgül ısısı (kJ /kg K)
Ç _{FA}	: Yardımcı ısıtıcı fiyat oranı (\$ /kWh)
dE/dt	: Depolanan suyun iç enerjisindeki değişim oranı (kWh/ay)
ΔE	: Tank içindeki enerji değişimi
d	: Market indirim oranı (%)
D	: Toplam sistem yatırımı için peşinatlar oranı
f	: Aylık faydalanma oranı (%)
FR	: Kolektör ısı taşınım faktörü
h/d	: Tank yüksekliğinin çapa oranı, boyutsuz
i _{FCF}	: Konvansiyonel yakıt enflasyon oranı (% bir yıl)
ig	: Genel enflasyon oranı (% bir yıl)
IT	: Eğimli yüzeye gelen toplam ışınım (kJ/hm ²)
m _h	: Sıcak kaynaktan gelen sıvının kütleli debisi (kg/h)
m _L	: Yüke giden sıvının kütleli debisi (kg/h)
MS	: Bir yıllık ekstra sigorta, bakım, vs. (%)
N	: Düğüm noktası sayısı
N _E	: Ekonomik analiz periyodu (yıl)
Q _{aux}	: Yardımcı ısıtıcı yükü (kWh/ay)
Q _{in}	: Sıcak su depolama tankına giren enerji (kWh/ay)
Q _{load}	: Sıcak su yükü (kWh/ay)

Q _{loss}	: Depolama tankından çevresine olan enerji kaybı (kWh/ay)
Q _u	: Kollektörde akışkanın kazandığı faydalı enerji (kWh/ay)
SAL	: İlk yatırım için hurda değer oranı
T	: Sıcaklık (°C, K)
t	: Orjinal yatırımın dolar başına emlak vergisi oranı (%)
τ	: Efektif Federal-Devlet gelir vergisi oranı (%)
UC	: Kollektör genel ısı kayıp katsayısı (kJ / h m ² K)
UT	: Tank genel ısı kayıp katsayısı (kJ / h m ² K)
V	: İlk yıl için güneş enerjisi sistemi değerlendirmesinin sistemin ilk yatırıma oranı
V _T	: Tank hacmi (m ³)
α _i	: Kontrol fonksiyonu
β _i	: Kontrol fonksiyonu
β	: Kollektör eğim açısı (°)
δ _i	: Kontrol fonksiyonu
η	: Kollektör verimi
ρ _f	: Sıvının yoğunluğu (kg /m ³)

İndisler (Subscripts)

a	: Çevre
an	: Ankara
b	: Kaynama noktası
e	: Edirne
h	: Hakkari
H	: Sıcak kaynaktan gelen
i	: İzmir
in	: Giriş
L	: Yüke giden
o	: Çıkış
s	: Yardımcı ısıtıcı set

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazar "Güneş enerjisinden elektrik üretimi" isimli TÜBAP projesinde, TRNSYS programının lisanlı olarak alınmasını sağlayan Trakya Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2020, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Temmuz 2011.
2. Atia D.M., Fahmy F.H., Ahmed N.M, Dorrah H.T., Optimal sizing of a solar water heating system based on a genetic algorithm for an aquaculture system, *Mathematical and Computer Modeling*, 55, 1436-1449, 2012.
3. Gürsu B., Optimum overcurrent relay coordination via Genetic algorithm method stopped by penalty function in substations, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (4), 665-676, 2014.
4. Ekici B.B, Aksoy U.T., Experimental investigation of the variation of solar heat gain factors due to orientations for Elazığ province, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 39-46, 2016.

5. Comaklı K., Cakır U., Kaya M., Bakirci K., The relation of collector and storage tank size in solar heating system, *Energy Conversion and Management*, 63, 112-117, 2012.
6. Rodriguez-Hidalgo M.C., Rodriguez-Aumente P.A., Lecuona A., Legrand M., Ventas R., Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank, *Applied Energy*, 97, 897-906, 2012.
7. Kim Y.D., Thu K., Bhatia H.K., Bhatia C.S., Ng K.C., Thermal analysis and performance optimization of a solar hot water plant with economic evaluation, *Solar Energy*, 86, 1378-1395, 2012.
8. Araújo A., Pereira V., Solar thermal modeling for rapid estimation of auxiliary energy requirements in domestic hot water production: On-off flow rate control, *Energy*, 119, 637- 651, 2017.
9. Nhut L.M., Park Y.C., A study on automatic optimal operation of a pump for solar domestic hot water system, *Solar Energy*, 98, 448-457, 2013.
10. TRNSYS 17, Transient System Simulation Program, Kullanım Kılavuzu TRNSYS Version 17.01.0025, Solar Energy Laboratory, website: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>, University of Wisconsin-Madison, 2013.
11. GenOpt, Generic Optimization Program, Kullanım Kılavuzu Version 3.0.0, Lawrence Berkeley National Laboratory, GenOpt website: <http://SimulationResearch.lbl.gov>, Berkeley, 2012.
12. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, Erişim 2017.
13. Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü, www.mgm.gov.tr, cd bilgi temini, 2002.
14. Buckles W. E., Klein S. A., Analysis of solar domestic hot water heaters, *Solar Energy*, 25, 417-424, 1980.
15. Duffie J.A., Beckman W.A., *Solar Engineering of thermal processes*, second ed. John Wiley& Sons, New York, 1991.
16. Brandemuhl M.J., Beckman W. A., Economic evaluation and optimization of solar heating system, *Solar Energy*, 23, 1-10, 1979.

