Güneş Termal Enerjili ve Fotovoltaik Destekli "Neredeyse Sıfır Enerjili Binaların" Enerji ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi

Erdem ADIGÜZEL
YTÜ, Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü
İstanbul

Nader JAVANİ
Yrd. Doç. Dr.
YTÜ, Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü
İstanbul
njavani@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, iki katlı müstakil bir evin elektrik enerjisinin ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisiyle karşılanması incelenmiştir. Temel amaç, sıfır enerji bina konseptine Türkiye, Antalya'da bir ev üzerinde ulaşmaya çalışmaktır. Fotovoltaik ve termik güneş enerjisi sistemleri tasarlanmış, ve bilgisayar programlarında sistem farklı senaryolarla simüle edilerek en verimli sisteme ulaşılmak amaçlanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, termik güneş enerjisi sistemi için beklendiği üzere, vakum tüplü kolektörlerin güneydoğuya bakan çatıya yerleştirilmesi en verimli sonucu vermiştir. Güneydoğuya bakan çatı, fotovoltaik sistemler için uygun olsa da, eğer aktif montaj yüzey alanı yeterliyse, kuzeybatı yönlü çatının enerji ihtiyacına cevap verdiği saptanmıştır. Ayrıca montaj yönünün elektrik enerjisi üretimine etkisinin incelenebilmesi için kuzeybatı yönlü ve güneydoğu yönlü aynı panel sayısı bulunan iki fotovoltaik sistem karşılaştırılmıştır. Güneydoğu yönlü sistemin, kuzeybatı yönlü sisteme göre %39.79 daha fazla elektrik enerjisi ürettiği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Güneş Enerjisi, Fotovoltaik, Termik Güneş Enerjisi Sistemi, Net Sıfır Enerjili Binalar.*

Study on Energy and Economy of Solar Thermal Energized and Photovoltaic Supported "Almost Zero Energy Buildings"

ABSTRACT

This research analyses the energy consumption in typical residentails with an emphasize on the role of solar thermal and photovoltaic energy systems. The ultimate idea is to achieve the zero-energy building concept in southern regions of Turkey,Antalya, but it can be modified for other case studies. The electrical energy requirements and hot service water requirements in terms of solar energy effect for an average family house are investigated. A photovoltaic system and a domestic hot water system are designed and simulated with two different softwares. Different scenarios are performed to make an efficient system decision. According to simulation results, south-facing roof orientation with evacuated-tube collectors is suitable for domestic hot water system, as it is expected. However the south facing roof is more suitable for photovoltaic systemi if the active net area is adequate, the North-facing roof can meet the energy demand. Moreover, the direction effect of mountage is analysed. South facing system generates 39.39% much more electricity than north-facing system.

Keywords: *Solar Energy, Photovoltaic, Domestic Hot Water System, Net Zero Energy Buildings.*

Geliş Tarihi : 12.10.2014
Kabul Tarihi : 02.02.2015

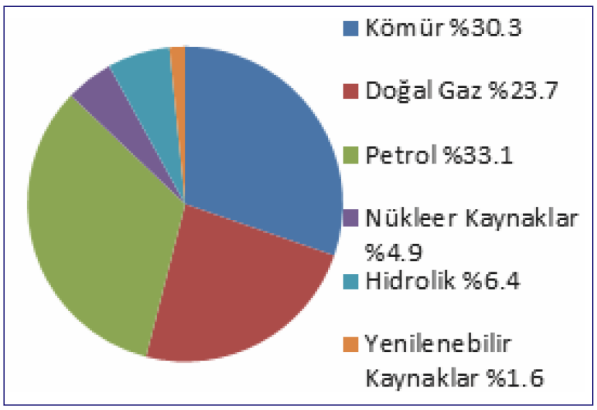
Adıgüzel E., Javani N., "Güneş Termal Enerjili ve Fotovoltaik Destekli "Neredeyse Sıfır Enerjili Binaların" Enerji ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi", Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, s. 1237-1252, 2015.

9-Erdem Adiguzel.indd 87 18.10.2016 11:51

1. GİRİŞ

Günümüzde dünyada birincil enerji %92 fosil yakıtlardan(termik ve nükleer), %6,4 hidrolik enerjiden ve %1,6 yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır.

Şekil 1'de görüldüğü üzere, birincil enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı kısıtlı rezervlere sahip olan fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Çıkarılması ve işlenmesi oldukça pahalı olan bu fosil yakıtlar, aynı zamanda sera gazı emisyonuyla çevre kirliliğine de sebep olmaktadır, insan sağlığını tehdit etmektedir. Tüm bu sebepler göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi günden güne artmaktadır.

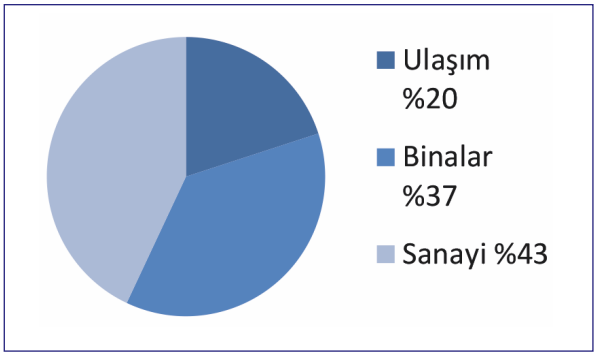


Şekil 1. Birincil Enerji Kaynakları Kullanımı (Koç, E., ve Şenel M.C., Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Durumu, 2013)

Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan araştırmalar, fosil yakıt tüketiminin %40'ının klasik konutların enerji ihtiyacını karşılamak üzere tüketildiği saptanmıştır [1].

Türkiye'de de durum farklı değildir, konutların enerji tüketimi birincil enerji tüketimi göz önüne alındığında, %37'lik bir paya sahiptir. Konutların enerji tüketim paylarının yüksek olması, konutlarda enerji verimliliği ve kendi enerjisini üretebilen konutlar gibi kavramları doğurmuştur. Hükümetler enerji politikalarını yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve verimli enerji üzerine yönlendirmektedir.

Kendi enerjisini üretebilen binalar, bir başka deyişle Net-sıfır enerjili binalar; tükettiği kadar enerjiyi üreten binalara verilen isimdir. Net-sıfır enerjili binalara



Şekil 2. Türkiye'de Birincil Enerji Tüketimi (Yılmaz, Z., Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji)

yaklaşım; evin konumu, etkili bir yalıtım, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilen ekipmanların kullanımı gibi çeşitli bakış açıları ve uygulamalarla mümkündür [3].

Yaklaşık Net Sıfır Enerjili Binalar, ürettiği enerji < tükettiği enerji olarak ifade edilebilir. Bu da enerji ihtiyacının bir kısmını dışarıdan aldığı anlamına gelir.

Avrupa Birliği'nin "Bina Enerji Performansı Yönetmeliği" nin 2020 hedefi, 2020 yılının sonunda tüm yeni yapılan binaların "Neredeyse sıfır enerjili bina" olması yönündedir. ABD Enerji Bakanlığı (DOE)'nın hazırladığı Bina Teknolojileri Programı'na göre, net-sıfır enerjili konutların piyasada satın alınabilir hale gelmesi için öngördüğü tarih 2020 yılı, ticari binalar için bu tarih 2025 olarak belirtilmektedir [1, 3].

Binaların Enerji Performansı Standardı (EN 15316-1; 2007): Binaların tüm enerji kayıp ve kazançlarını tanımlayan bir standarttır. Sağlanan Enerji (EN 15603; 2008): Sistem sınırlarından binaya giren gaz, elektrik gibi enerji miktarlarını tanımlamaktadır. Bu enerji, yenilenebilir enerji kaynağından da üretilmiş olabilir. Satılan Enerji (EN 15603; 2008): Bina içinde üretilen ve dışarıya satılan enerjiyi ifade eder. Primer Enerji: Herhangi bir enerji dönüşümünden henüz geçmemiş, yenilenemeyen veya yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjidir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'nın (DOE) düzenlediği biyanel yarışma Solar Decathlon için hazırlanan net sıfır enerjili ev projesi. Net sıfır

9-Erdem Adiguzel.indd 88 18.10.2016 11:51

eneriji standartlarına ulaşmak için, toplam 6.75 kW güce sahip 30 fotovoltaik panel, evin çatısına projelendirilmiştir. Ayrıca sıcak servis suyu için de termik güneş enerjisi panelleri evin Güneydoğu yönlü çatısına yerleştirilmiştir. Isıtma yükü, taban döşemesi altına yerleştirilen radyant ısıtma sistemiyle sağlanmaktadır. Soğutma yükü için kanalsız mini split klima sistemi düşünülmüştür. Evin dizaynı, çöl iklimine göre yapılmıştır [4].

Bir başka yüksek lisans tezi, net sıfır enerjili konutların enerji performansını incelemekte ve bilgisayar programı yardımıyla ev için tasarlanan sistemi simüle etmektedir. 60 m^2'lik bir alana monokristalin tip fotovoltaik güneş panelleri projelendirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, monokristalin tip fotovoltaik panellerin verimi yaklaşık %10.5 bulunmuştur. Sıcak kullanma suyu için de, termik güneş enerjisi sistemi projelendirilmiştir. Kullanım suyu sıcaklığı 45°C, su deposu hacmi 300 L olarak kabul edilmiştir. DOE standartlarına göre, termik güneş panelleri 4 kişilik bir aile için 3.3 m^2 seçilmiştir [5].

İngiltere'de yapılan sıfır enerjili konutlarla ilgili araştırmada net sıfır enerjiye ulaşabilmek için düzlem kolektörler kullanan termik güneş enerjisi sistemi seçilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre kolektörden geçen suyun debisinin artmasıyla, kolektör veriminde düşüş gözlemlenmektedir. Kolektör alanı 5 m^2, ve su debisi 20 kg/h seçilmiştir. Düzlem kolektörün verimi %35, ve güneş enerjisinden yararlanma oranı (solar fraksiyon) %78.5 olarak tespit edimiştir.

Makalede incelenen sıfır enerjili konutun yıllık dışarıdan karşılanan enerji ihtiyacı 401.7 kWh'tir, ve bunun yaklaşık %21.5'i sıcak kullanma suyu için harcanmaktadır. Elektrik enerjisi ihtiyacı için fotovoltaik sistem ve 2.5 kW güce sahip rüzgar türbini kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre eviricinin (inverter) yıllık güç çıkışı 7305.9 kWh olarak hesaplanmıştır [9].

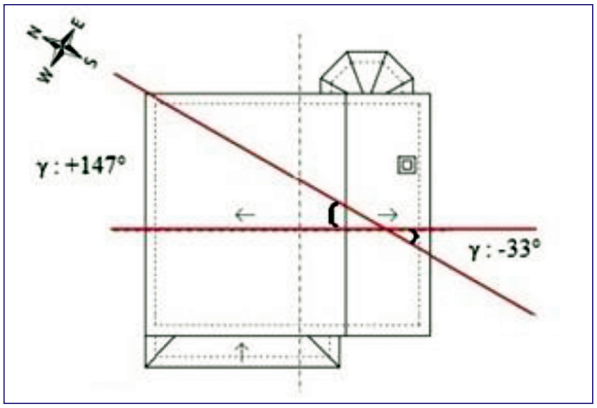
3. SİSTEM TANIMLAMASI

Mercek altına alınan ev, Antalya/Türkiye'de iki katlı ve üç kişilik bir ailenin ikamet edeceği şekilde projelendirilip inşa edilmiştir. Ev, güney cepheden maksimum düzeyde yararlanmak amacıyla asimetrik bir çatıya sahiptir (Şekil 3) ve çatı eğim açısı 24° dir. Neredeyse sıfır enerjiye yaklaşabilmek için, termik güneş enerji sistemi ve fotovoltaik sistem projelendirilecektir. Her iki sistemden de optimum şekilde yarar sağlanması için, panellerin monte edileceği yönün verime etkisi bilgisayar programları yardımıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Simülasyonlarda düzlem kolektör ve vakum tüplü kolektör olmak üzere iki farklı çeşit kolektör kullanılmış ve sistem verimine etkisi incelenmiştir.

122.8 m^2 brüt alana sahip geniş çatı yüzey azimut açısı +147° ile kuzeybatı yönlü iken, 54.4 m^2'lik brüt alana sahip dar çatı -33° yüzey azimut açısı ile güneydoğu'ya bakmaktadır. 54.4 m^2'lik çatıda, 80 cm x 80 cm boyutlarında şömine bacası bulunmaktadır (Şekil 4).

Şekil 3. Ön Cephe – Arka Cephe

9-Erdem Adiguzel.indd 89 18.10.2016 11:51



Şekil 4. Evin Yönü ve Çatıların Yüzey Azimut Açısı

Panellerin çatı saçaklarında oluşan rüzgar türbülanslarından etkilenmemeleri için, çatının dört kenarından 0.5 m pay bırakılarak monte edileceği kabul edilmiştir. Baca ölçüleri ve saçak payları göz önüne alınırsa, net aktif çatı alanları 38,4 m^2 ve 101,6 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Yapılacak hesaplamalarda kullanılmak üzere aylık radyasyon değerleri ve günlük güneşlenme süreleri, aylık ortalama sıcaklık değerleri ilgili kaynaklardan alınmıştır, veriler simülasyon programlarına girilmiştir [7], [2].

3.1 Termik Güneş Enerjisi Sistemi

Piyasadan seçilmiş vakum tüplü ve düzlem kolektörler iki çatıya da yerleştirilerek verim ve solar fraksiyon analizi yapıldı. Sıcak su tüketimi 180 L/gün, istenen su sıcaklığı 50 °C, su deposu hacmi 200 L olan, 1.2 kW güce sahip boyler kullanıldığı kabul edildi. Sıcak kullanım suyu için hazırlanan su tesisatı ise evin iç hacminde 10 m uzunluğunda boru kullanıldığı, dış kısımda 1 m uzunluğunda boru kullanıldığı kabul edildi. Evin bulunduğu coğrafyanın iklim koşulları göz önüne alındığında, yaz sezonunda elektrikli ısıtıcı kullanılmadığı kabul edilmiştir.

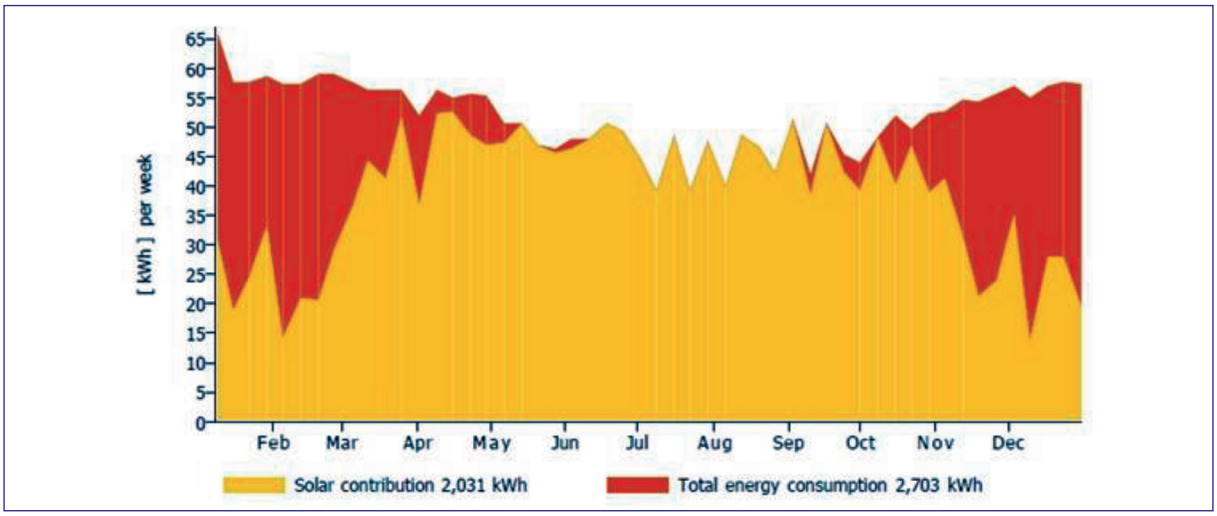
Senaryo-1: Yüzey azimut açısı -33° olan çatıya açıklık alanı 1.86 m^2 olan düzlem kolektörlerden iki adet yerleştirildi.
Senaryo-2: Yüzey azimut açısı -33° olan çatıya açıklık alanı 2 m^2 olan vakum tüplü kolektörlerden iki adet yerleştirildi.
Senaryo-3: Yüzey azimut açısı +147° olan iki adet düzlem kolektör.
Senaryo-4: Yüzey azimut açısı +147° olan iki adet vakum tüplü kolektör.

Solar yararlanma oranı (f) hesabı termik güneş enerjisi sisteminin sıcak su üretimi için sağladığı katkı ile ısıtılacak su için tüketilen enerjiye bölünmesi ile elde edilmektedir, aşağıda verilmiştir;

$$f = \frac{\text{Solar katkı [kWh]}}{\text{Toplam enerji tüketimi [kWh]}} \quad (1)$$

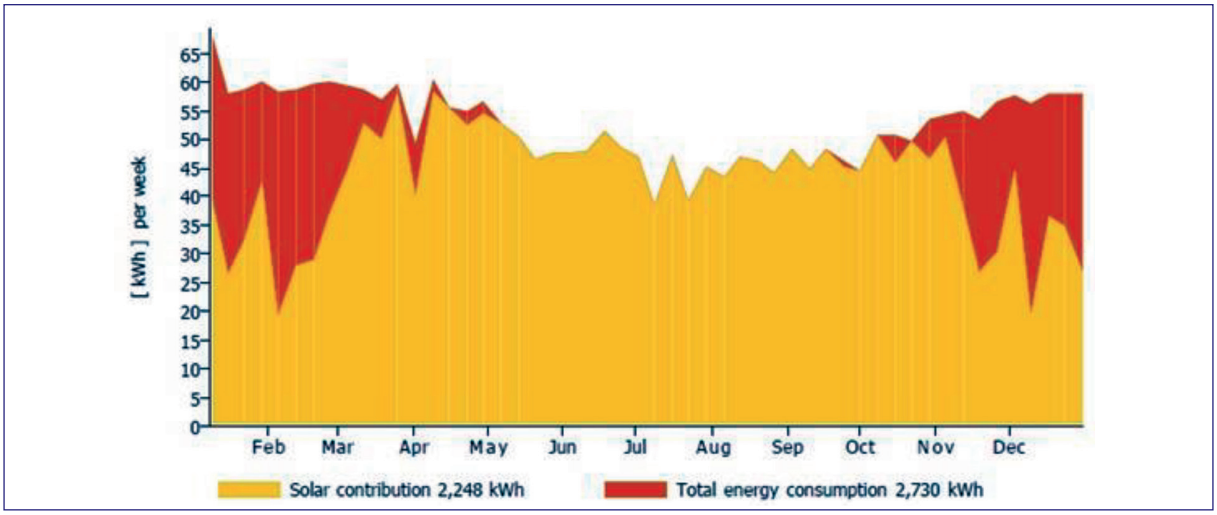
$$E_{\text{elektrikli ısıtıcı.tüketim}} = \text{Toplam enerji tüketimi[kWh]} - \text{Solar katkı[kWh]} \quad (2)$$

Solar katkı-Toplam enerji tüketimi grafikleri tercih edilecek sistem için aşağıda verilmiştir;

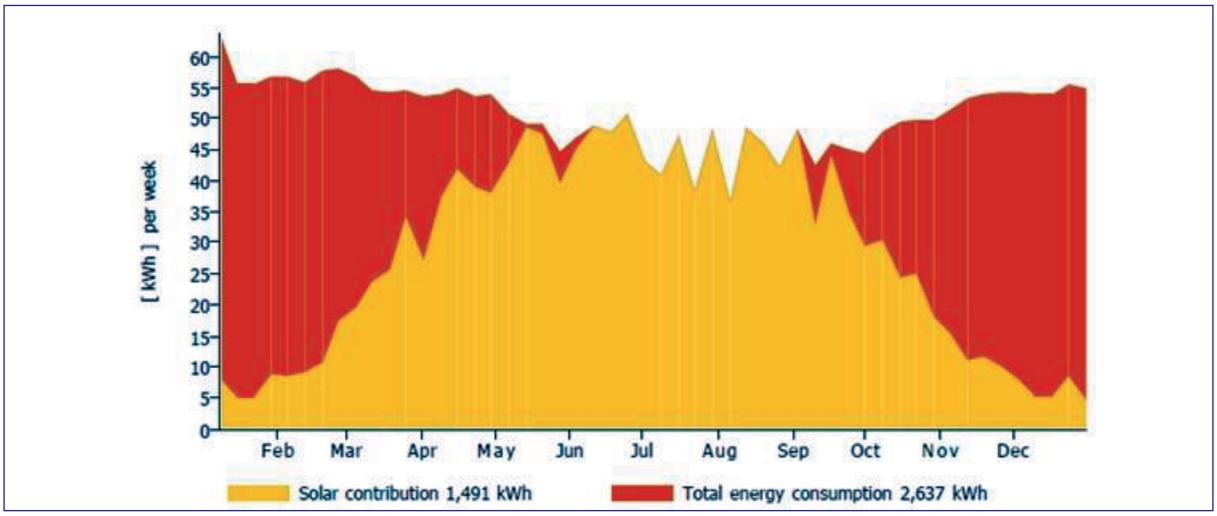


Şekil 5. Senaryo-1 Solar Katkı-Toplam Enerji Tüketimi [kWh]

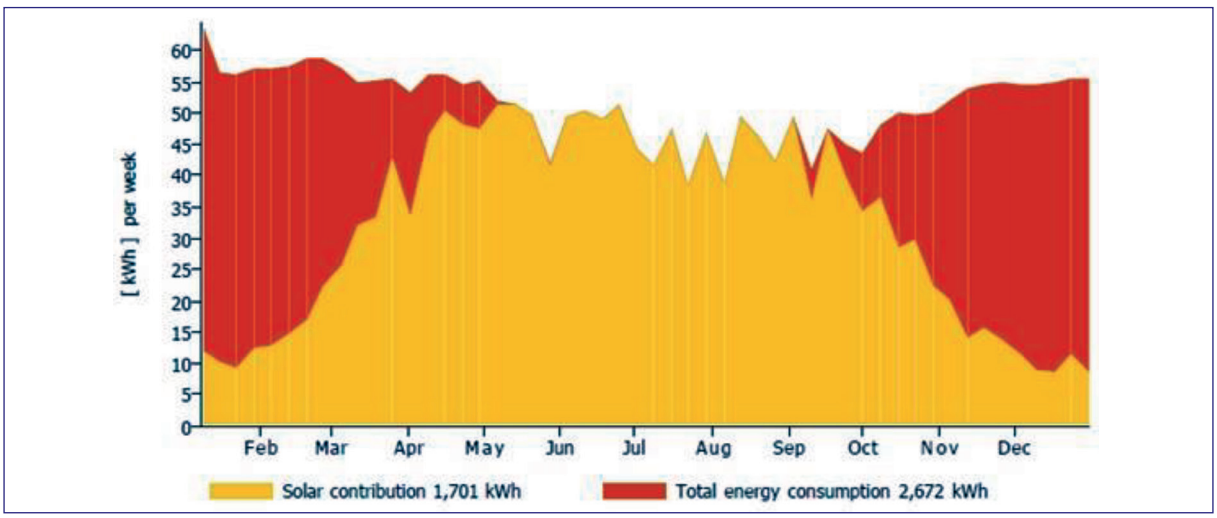
9-Erdem Adiguzel.indd 90 18.10.2016 11:51



Şekil 6. Senaryo-2 Solar Katkı-Toplam Enerji Tüketimi [kWh]



Şekil 7. Senaryo-3 Solar Katkı-Toplam Enerji Tüketimi [kWh]



Şekil 8. Senaryo-4 Solar Katkı-Toplam Enerji Tüketimi [kWh]

9-Erdem Adiguzel.indd 91 18.10.2016 11:51

Denklem (1) ve (2)'ye göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda aşağıdaki tablo oluşturulmuştur,

Tablo 1. Solar Yararlanma Oranı (%)-Yıllık Enerji Tüketimi [kWh]

	Solar Yararlanma Oranı (f)	Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi[kWh]
Senaryo-1	%75.13	672
Senaryo-2	%82.34	482
Senaryo-3	%56.54	1146
Senaryo-4	%63.66	971

Tablo 1'e göre, 2. senaryo; yüzey azimut açısı -33° olan Güneydoğu yönlü çatıya vakum tüplü kolektörün yerleştirilmesi uygun görülmüştür.

3.1.1 Simülasyon Çıktıları-Senaryo-2

Enerji dengesi;

$$E_{\text{irradyasyon.kollektör}} - E_{\text{kayıp.optik.kollektör}} - E_{\text{kayıp.termal.kollektör}} = E_{\text{faydalı.kollektör}} \quad (3)$$

$$E_{\text{faydalı.kollektör}} - E_{\text{kayıp.dış.boru}} - E_{\text{kayıp.iç.boru}} = E_{\text{faydalı.depo}} \quad (4)$$

$$E_{\text{faydalı.depo}} + E_{\text{kayıp.depo}} + E_{\text{elektrikli.ısıtıcı}} = E_{\text{faydalı.su}} \quad (5)$$

$E_{\text{irradyasyon.kollektör}}$: Aktif kolektör yüzeyindeki irradyasyon

$E_{\text{kayıp.optik.kollektör}}$: Kolektörde optik kayıp

$E_{\text{kayıp.termal.kollektör}}$: Kolektörde ısı kaybı

$E_{\text{faydalı.kollektör}}$: Kolektör çıkışında faydalı enerji

$E_{\text{kayıp.dış.boru}}$: 1 m uzunluğunda evin dışındaki borudan olan ısı kaybı

$E_{\text{kayıp.iç.boru}}$: 10 m uzunluğunda iç hacimdeki borulardan olan ısı kaybı

$E_{\text{faydalı.depo}}$: Su deposunun girişindeki faydalı enerji

$E_{\text{kayıp.depo}}$: Su deposundan çevreye olan ısı kaybı

$E_{\text{elektrikli.ısıtıcı}}$: Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan elektrik enerjisi

$E_{\text{faydalı.su}}$: Kullanım suyuna geçen faydalı enerji

Denklem (3)'e göre;

$E_{\text{faydalı,kolektör}} = 3{,}521$ kWh

Denklem (4'e göre;

$E_{\text{faydalı,depo}} = 2{,}511$ kWh

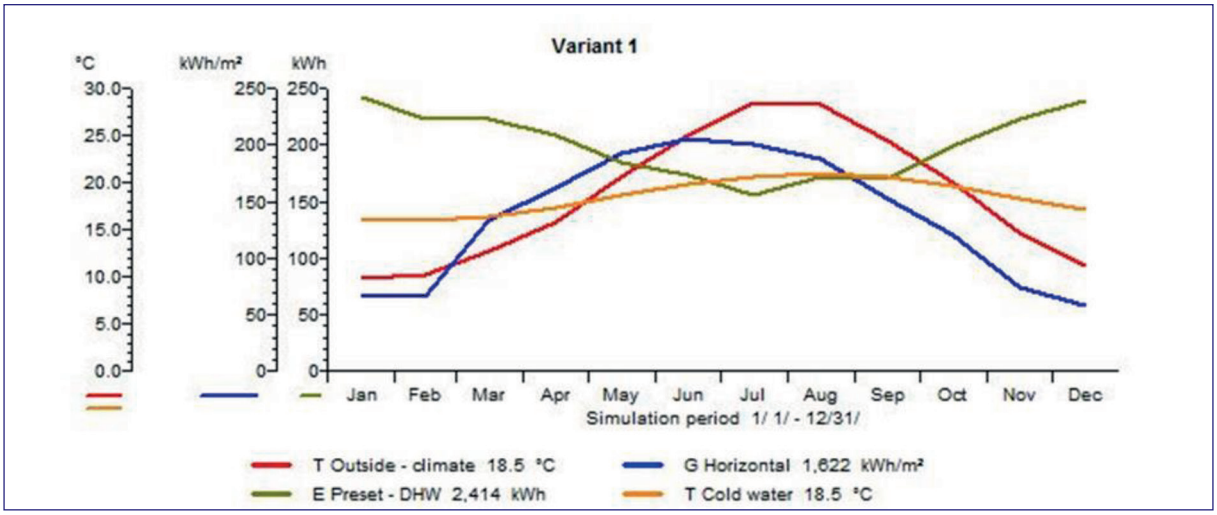
Denklem (5)'e göre;

$E_{\text{faydalı,su}} = 2{,}403$ kWh

Tablo 2. Termik Güneş Enerjisi Sistemi İçin Simülasyon Çıktı Verileri

Yıllık	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
Solar Yararlanma (f) oranı %												
82	57	52	90	97	100	100	100	100	99	94	66	50
Sistem verimi %												
32	42	41	37	34	29	26	24	27	29	36	41	42
Optik Kolektör Kaybı *kWh+												
2642	138	119	226	256	288	297	290	289	253	217	149	119
E(kayıp,dış,boru) *kWh+												
105	5	4	9	10	12	13	13	12	10	8	5	4
E(kayıp,iç,boru) *kWh+												
905	26	23	59	76	105	128	136	129	101	67	33	23
Kolektör ısı kaybı *kWh+												
817	38	33	66	76	93	104	103	95	80	58	37	32
Depo ısı kaybı *kWh+												
590	23	20	46	56	67	69	74	73	62	51	27	21
Elektrikli ısıtıcının enerjisi *kWh+												
482	112	117	23	7	0	0	0	0	1	13	83	127

9-Erdem Adiguzel.indd 92 18.10.2016 11:51



Şekil 9. Aylara Göre Global Radyasyon, Ortalama Sıcaklık, Şebeke Suyu Sıcaklığı ve Termik Güneş Enerjisi Sisteminin Toplam Enerji İhtiyacı

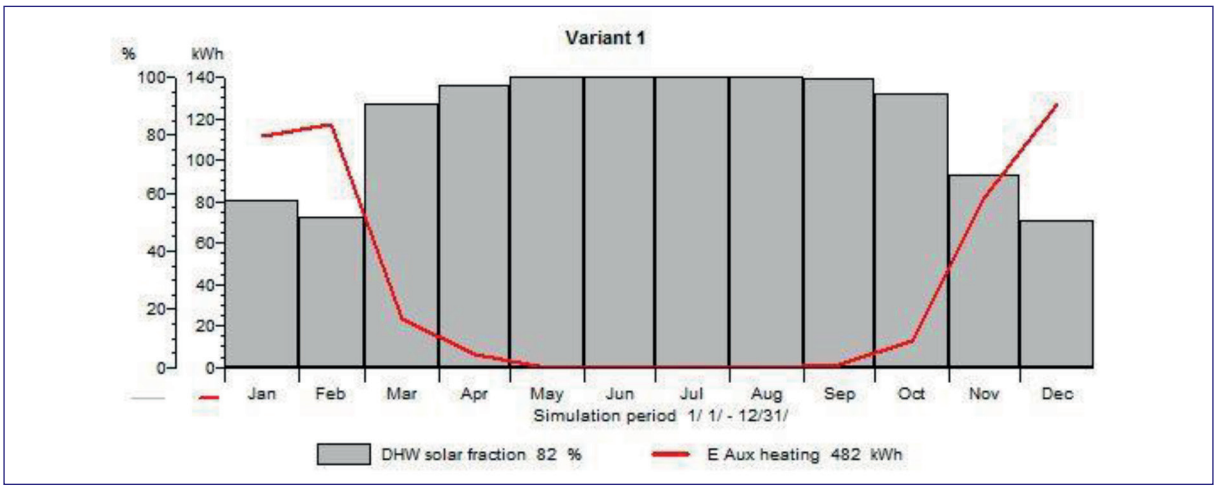
T Outside-climate: ortalama sıcaklık; E Preset-DHW: sistemin toplam enerji ihtiyacı G Horizontal: Global radyasyon; T Cold water: Şebeke suyu sıcaklığı

Şekil 9'da görüldüğü üzere, global radyasyon değerleri ve ortalama sıcaklık değerlerinin artmasıyla, sistemin toplam enerji ihtiyacı azalmaktadır. Bilindiği üzere Kuzey Yarım Küre'de, yaz sezonunda ortalama sıcaklık artmaktadır. Ortalama sıcaklığın ve radyasyon değerlerinin artmasıyla, şebeke suyu sıcaklığı artmakta ve sıcak kullanım suyu, istenilen 50 °C sıcaklığa daha az enerji ihtiyacıyla ulaşmaktadır. Bu öneri aşağıdaki ısı eşitliğiyle anlatılabilir,

$$Q = m.C_p.\Delta T \qquad (6)$$

Şebeke suyu sıcaklığının (T_{in}) artması, sıcaklık farkının (ΔT) azalmasını sağlamakta; böylece ihtiyaç duyulan enerjinin azalmasına sebep olmaktadır.

Solar yararlanma oranı (f) güneş enerjisi katkısının, sistemdeki tüm enerji tüketimine bölünmesiyle elde edilen orandır. Solar yararlanma oranının artmasıyla, elektrikli ısıtıcıdan alınacak olan enerji ihtiyacı düşmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Solar Yararlanma Oranı (f)-Elektrikli Isıtıcının Enerji Tüketimi [kWh]

9-Erdem Adiguzel.indd 93 18.10.2016 11:51

Tablo 3. Simülasyon Çıktısı

Brüt kolektör yüzeyindeki irradyasyon	8 MWh
Toplam brüt alan	4.56 m^2
Toplam aktif alan	3.98 m^2

Tablo 3'teki verilerden, aktif alandaki irradyasyon değeri 6.982 MWh olarak hesaplanmıştır.

Sistem verimi;

$$\eta_{sistem} = \frac{\text{Net Solar Enerji Kazancı}}{\text{Aktif Yüzeydeki İrradyasyon Değeri}} \quad (7)$$

Şekile göre net solar enerji kazancı 2,248 kWh'tir.

Denklem (7)'ye göre;
η_{sist} = %32.1 olarak hesaplanmıştır.

Aylık verimler göz önüne alındığında Şekil 11 aşağıda verilmiştir.

E Solar-DHW: Solar net kazanç [kWh]
G Active sol(CL1): Aktif yüzeydeki irradyasyon değeri [kWh]
Efficiency: Sistem verimi

Şekil 11'de görüldüğü üzere, aktif yüzeydeki irradyasyon değerleri ve solar net kazanç yaz sezonuyla birlikte artış göstermektedir, ancak solar net kazançtaki artış, irradyasyon değerlerinin artışından daha düşüktür. Bu artış miktarının göreceli olarak az olmasından dolayı sistem verimi de düşmektedir.

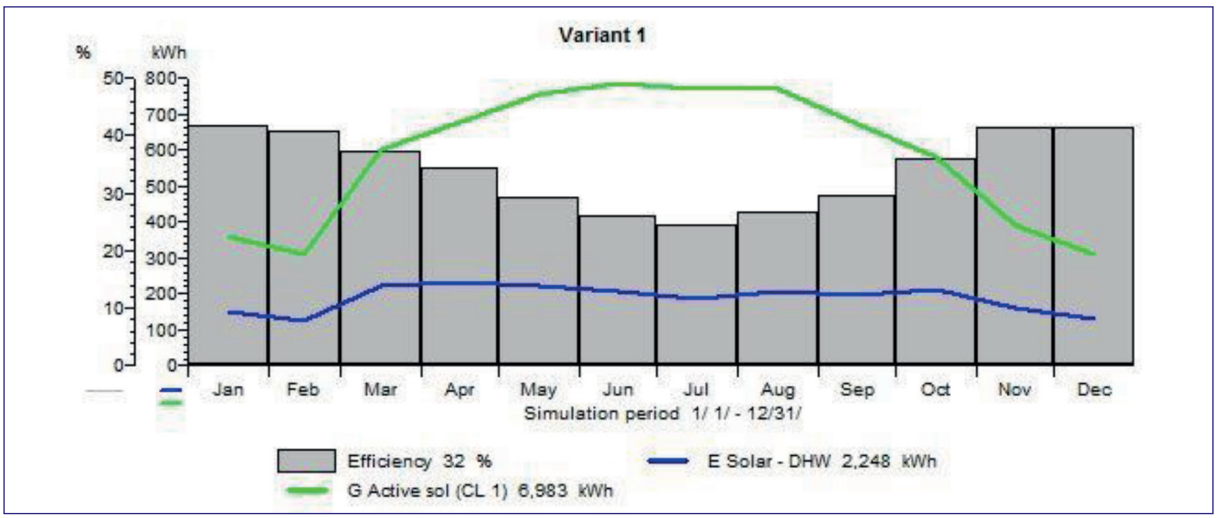
Şekil 9'da görüldüğü üzere, ortalama sıcaklık ve radyasyon değerlerinin artması, sistemin ısı enerjisi ihtiyacını azaltmaktadır. Isı enerjisi ihtiyacının azalması, elektrikli ısıtıcıdan alınacak enerji ihtiyacını da düşürmektedir (Şekil 12).

T Outside-climate: ortalama sıcaklık; G Active sol (CL1): Aktif yüzeydeki irradyasyon değeri
Heat loss coll-optic: Kolektörden çevreye optik enerji kaybı
Heat loss coll-therm: Kolektörden çevreye ısı kaybı

Şekil 13'ten anlaşılacağı üzere, ısı kayıp değerleri, ortalama sıcaklığın ve irradyasyon değerlerinin artmasıyla artmaktadır. Şekil 14'e göre, ısı kayıplarındaki artış, sistem verimini düşürmektedir.

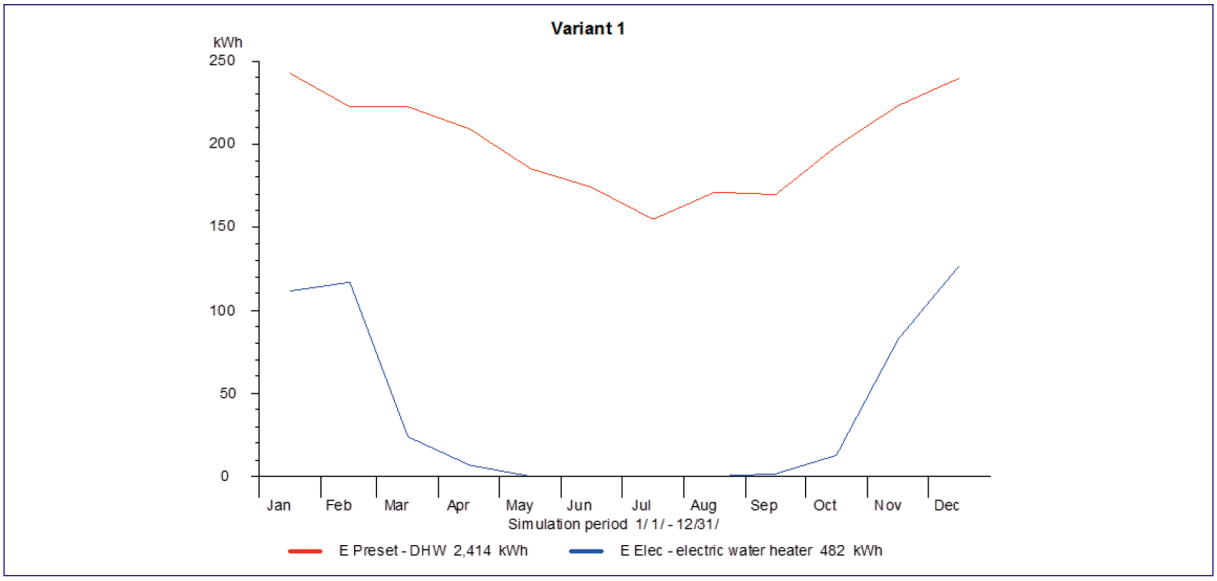
3.1.2 Yatırım Maliyeti ve Geri Ödeme Periyodu

Sistem, paneller haricinde 200 L boyler, iki adet sirkülasyon pompası ve otomasyonu sağlayacak solar kontrol kumandasından oluşmaktadır. Sistem ekipmanlarının yaklaşık değerleri ve maliyet analizi aşağıda yapılmıştır.

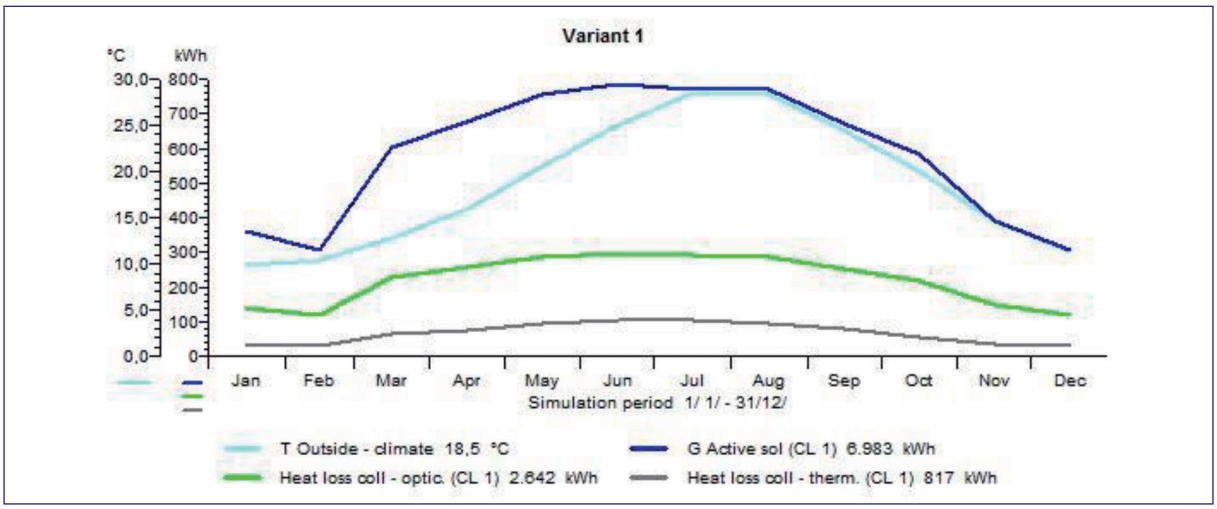


Şekil 11. Net Solar Kazancın ve Aktif Yüzeydeki İrradyasyon Değerlerinin Sistem Verimine Etkisi

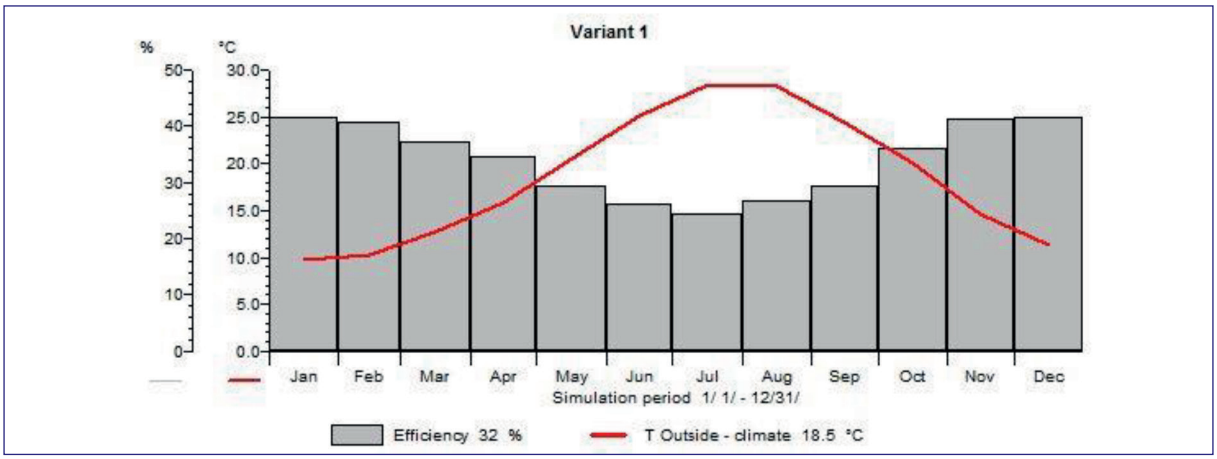
9-Erdem Adiguzel.indd 94 18.10.2016 11:51



Şekil 12. Termik Güneş Enerjisi Sisteminin Toplam Enerji İhtiyacı [kWh] ve Elektrikli Isıtıcının Enerji İhtiyacı [kWh]



Şekil 13. Sistem Kayıplarının Ortalama Sıcaklık ve İrradyasyon Değerleriyle Değişimi



Şekil 14. Ortalama sıcaklık – Sistem verimi

9-Erdem Adiguzel.indd 95 18.10.2016 11:51

Tablo 4. Ekipman Listesi, Yatırım Maliyeti

Vakum tüplü kolektör ($)	# Kolektör	Yatırım maliyeti ($)	Yatırım maliyeti (TL)
520	2	1040	2288
200Lt (Depo) 1.2 kW elektrik ısıtıcılı boyler (TL)	**# Boyler**		
1800	1	-	1800
Sirkülasyon pompası (TL)	**#Pompa**		
224,6	2	-	449,2
Solar kontrol kumandası ($)			
181,75	1	181,75	399,85
			4937,05

Yıllık solar net kazanç düşünüldüğünde, sistem 2,248 kWh enerjiyi elektrikli ısıtıcıdan sağlamak yerine güneş enerjisinden sağlamaktadır. Güneş enerjisinden karşılanan enerji, elektrikli ısıtıcıyla sağlandığı varsayılsın, enerjinin %30'u gündüz saatleri içerisinde, %50'si pik saatler içerisinde, %20'si de gece saatleri içerisinde tüketildiği kabul edilsin. Kasım 2014 elektrik enerjisi birim fiyatlarına göre;

Tablo 5. Kasım 2014 Elektrik Enerjisi Birim Fiyatları

Kasım 2014	TL/kWh
Gündüz saatleri	0,242437
Pik saatleri	0,402427
Gece saatleri	0,126888

($E_{tüketim,\ elekt}$) (kabul edilen %) (birim fiyat TL/kWh) = Tüketim fiyatı

Yıllık elektrik enerjisi tasarrufu yaklaşık olarak 672.85 TL olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Klasik Geri Ödeme Periyodu} = \frac{\text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Yıllık Tasarruf Miktarı}} \quad (8)$$

Denklem (8)'e göre, klasik geri ödeme periyodu 7.33 yıl olarak hesaplanmıştır.

3.2 Fotovoltaik Sistem

Simülasyonda iki çatıda da polikristalin hücre yapısına sahip, 200W gücünde paneller kullanılmıştır. Net güce göre 4.2 kWac ve 12 kWac iki farklı evirici kullanılmıştır.

Senaryo-1: Yüzey azimut açısı -33° olan çatıya fotovoltaik paneller yerleştirilmiştir. Aktif alan 38.4 m^2 hesaplanmıştır. Bu hesaba göre 11 seri 2 paralel sıra olmak üzere 22 fotovoltaik panel projelendirilmiştir. Evirici gücü 4.2 kWac'tir.

Senaryo-2: Yüzey azimut açısı +147° olan çatıya fotovoltaik paneller yerleştirilmiştir. Aktif alan 101.6 m^2 hesaplanmıştır, bu hesaba göre 20 seri, 3 paralel sıra olmak üzere 60 fotovoltaik panel projelendirilmiştir. Evirici gücü 12 kWac'dir.

Senaryo-3: Yüzey azimut açısı +147° olan çatıya, 22 fotovoltaik panel yerleştirilmiştir. Fotovoltaik panellerin yönlerinin elektrik enerjisi üretimine etkisi karşılaştırılmak üzere, Senaryo-1'deki panel sayısı, dizilimi ve evirici gücü kullanılmıştır.

Tablo 6'ya göre 14,179 kWh/yıl elektrik enerjisi üretimi olan Senaryo-2 seçilmiştir.

3.2.1 Yatırım Maliyeti ve Klasik Geri Ödeme Periyodu

Sistem paneller haricinde, 12 kWac net güç çıkışına sahip bir evirici de içermektedir. 1 adet evirici, 60 adet fotovoltaik panel kullanılmıştır. Yaklaşık fiyatlar piyasa araştırmasıyla elde edilmiştir; Evirici için Watt başına 0.71$, fotovoltaik panel için Watt başına 0.7$ ücretlendirme yapılmıştır.

Yıllık elektrik enerjisi üretimi, yıllık tüketimden daha fazla olduğu için; üretilen ihtiyaç fazlası elektrik Yenilenebilir Enerji Kanunu'na ekli I sayılı Cetvel'de "Güneş Enerjisine dayalı üretim tesisi, uygulanacak

9-Erdem Adiguzel.indd 96 18.10.2016 11:51

Tablo 6. Elektrik Enerjisi Üretimi

	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh) Sn-1	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh) Sn-2	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh) Sn-3
Oca.	382	385	139,1
Şub.	421	570	206,9
Mar.	624	1092	399,7
Nis.	654	1449	530,6
May.	767	1878	685,1
Haz.	783	2112	769,7
Tem.	816	2133	777,7
Ağu.	760	1735	634,6
Eyl.	676	1255	460,4
Eki.	568	807	294,3
Kas.	406	443	160,3
Ara.	376	320	115,6
Toplam	7233	14179	5174

Tablo 7. Yatırım Maliyeti

Evirici $/W	**Evirici Gücü (W)**	**#Evirici**	**Fiyat $**	**Fiyat TL**
0,71	12000	1	8520	-
PV panel $/W	**PV Gücü (W)**	**#PV**	**-**	
0,7	200	60	8400	-
			16920	37224

fiyat 13,3 cent USD/kWh" ibaresi referans alınarak şebekeye satılacaktır [6].

Mevzuattaki fiyata 0.133$/kWh göre, ihtiyaç fazlası 7,899 kWh elektrik enerjisi 1,050.567$ olarak satılacaktır. Döviz kuruna göre bu meblağ, 2,311.247 TL olarak hesaplanır.

Yıllık elektrik faturaları toplamı 2.286.1 TL'dir (Tablo 8), üretilen elektrik enerjisi, tüketilen elektrik enerjisinden daha fazla olduğu için, elektrik faturaları da satılan enerjiye ek olarak tasarruf edilen meblağdır. Yıllık toplam tasarruf 4,597.34 TL olarak hesaplanmıştır. Denklem (8)'e göre geri ödeme periyodu 8.09 yıl olarak bulunur.

3.2.2 Fotovoltaik Panel Yönünün Elektrik Enerjisi Üretimine Etkisi

Senaryo-1 ve Senaryo-3 karşılaştırılacak olursa (Tablo 9);

Montaj yönünün etkisi, bu sistem için aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$7{,}233 \text{ kWh} - 5{,}174 \text{ kWh} = 2{,}059 \text{ kWh} \quad (9)$$

$$\frac{2{,}059}{5{,}174} = 0{,}3979 \quad (10)$$

Denklem (10)'a göre Kuzey-Güney doğrultusuna göre, -33° yüzey azimut açısına sahip Güneydoğu yönlü çatıdaki paneller, Kuzeybatı yönlü çatıdaki panellere göre %39.79 daha fazla elektrik enerjisi üretmektedir.

4. SONUÇ

Termik güneş enerjisi sistemi için, Güneydoğu yönlü vakum tüplü kolektör sisteminin güneş enerjisinden yararlanma oranı (f) %82.34, enerji kazancı 2,248 kWh iken, Kuzeybatı yönlü vakum tüplü kolektör sistemine ait değer (f) %63.66, enerji kazancı 1,701 kWh. Beklendiği üzere, Kuzey Yarım Küre'de Güney cepheye bakan Termik güneş enerjsi sistemlerinin daha verimli çalışacağını söyleyebiliriz.

Fotovoltaik sistem için, fotovoltaik panel sayısı aynı kalmak üzere sadece yönleri değiştirilen sistemde

9-Erdem Adiguzel.indd 97 18.10.2016 11:51

Tablo 8. Aylık Elektrik Enerjisi Tüketimi-Üretimi

Dönem	Fatura (TL)	Vergi (TL)	Tüketim (TL)	Aylık Tüketim (kWh)	Aylık Elektrik Enerjisi Üretimi (kWh)	
01/2014	131,4	20,04	111,36	372	385	13
02/2014	133,1	20,31	112,79	375	570	195
03/2014	378,2	57,7	320,5	961	1092	131
04/2014	320,1	48,84	271,26	753	1449	696
05/2014	194,1	29,61	164,49	503	1878	1375
06/2014	92,7	14,1	78,6	274	2112	1838
07/2014	140,9	21,49	119,41	414	2133	1719
08/2014	229,2	34,95	194,25	701	1735	1034
09/2014	267,6	40,81	226,79	798	1255	457
10/2014	150	22,8	127,2	430	807	377
11/2014	98,8	15,07	83,73	269	443	174
12/2014	150	22,8	127,2	430	320	-110
Ortalama			161,465			
Toplam	2286,1		1937,58	6280	14179	7899

Tablo 9. Senaryo-1 ve Senaryo-3 Karşılaştırma

	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh) Sn-1	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh) Sn-3
Oca.	382	139,1
Şub.	421	206,9
Mar.	624	399,7
Nis.	654	530,6
May.	767	685,1
Haz.	783	769,7
Tem.	816	777,7
Ağu.	760	634,6
Eyl.	676	460,4
Eki.	568	294,3
Kas.	406	160,3
Ara.	376	115,6
Toplam	7233	5174

(Senaryo-1 ve Senaryo-3), güney cepheye monte edilen sistemin, kuzey cepheye monte edilen sistemden %39.79 daha fazla elektrik enerjisi ürettiği tespit edilmiştir. Ancak Kuzey cephe için aktif montaj alanı yeterli büyüklükte ise kuzey cepheye kurulacak sistem karlı olabilir. 102 m^2 aktif alana sahip +147° yüzey azimut açılı Kuzeybatı yönlü çatının yıllık ürettiği elektrik enerjisi 14,179 kWh iken, evin yıllık elektrik enerji tüketimi 6,280 kWh'tir.

Sistem verimi ve karı en yüksek senaryo için mali bilançoya baktığımızda elektrik enerjisiyle ısıtılacak kullanım suyununun 2,248 kWh'lik değerini güneş enerjisinden karşılamaktayız. Sistemin yatırım maliyeti yaklaşık 4,937.05 TL olarak hesaplanmıştır, buna göre geri ödeme periyodu ise 7.33 yıl olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistem için, üretilen ihtiyaç fazlası enerji, mevzuata göre 0.133$/kWh'ten şebekeye satıldığında yıllık tasarruf miktarı 4,597.34 TL olarak hesaplanmıştır. Yıllık bilançoya bakıldığında, fotovoltaik sistemin kendini geri ödeme süresi 8.09 yıl olarak hesaplanmıştır.

9-Erdem Adiguzel.indd 98 18.10.2016 11:51

KAYNAKLAR

[1] Baden, S., Fairey, P., Waide, P., T'serclaes, P., Laustsen, J., "Hurdling Financial Barriers to Low Energy Buildings: Experiences from the USA and Europe on Financial Incentives and Monetizing Building Energy Savings in Private Investment Decisions", ACEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2006, Flo Rida.

[2] "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı-Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Antalya verileri" [http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA].

[3] "Measurement Science Roadmap for Net-Zero Energy Buildings", Workshop Summary Report, U.S. Department of Commerce, 2010

[4] Mulepati, S., "A Case Study of Zero Energy Home Built for Solar Decathlon Competition 2013", Master's Thesis, University of Nevada, 2013, Las Vegas.

[5] Muller, A. C., "Analyses of Residential Building Energy System Through TRANSIENT Simulation", Master's Thesis, University of Maryland, 2010, Washington DC [6] "Yenilenebilir Enerji Kanunu'na ekli (I) sayılı Cetvel (YEK)", [http://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k6094.html]

[7] "Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ,Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası", [http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx]

[8] Yılmaz, Z., "Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji", Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:91, s. 7-15, 2006.

[9] Wang, L., Gwilliam, J. And Jones, P., "Case Study of Zero Energy House Design in UK", Energy and Buildings Journal, Issue 41, Pages 1215-1222, 2009.

9-Erdem Adiguzel.indd 99 18.10.2016 11:51