

# YEŞİL EV TASARIMI VE ENERJİ ANALİZİ İÇİN UYGULAMA ÖRNEĞİ

**Uğur Bayar\***

ÇSGB İSGGM, Ankara,  
ugur-bayar88@hotmail.com

**Ali İbrahim Atılğan**

Yrd. Doç. Dr.,  
Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara  
atilgan@gazi.edu.tr

## ÖZ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak bir konutun enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan tasarım çalışması incelenmiştir. Konutun, yeşil bina özelliklerini taşıyabilmesi için gereken ısı yalıtımının yapılmasına, düşük enerji sınıfında yer alan elektrikli ev aletlerinin kullanımına, geri dönüşümü olan ve çevreye zarar vermeyen malzemelerden faydalanılmasına dikkat edilmiştir. Elektrik enerjisi için fotovoltaik güneş panelleri, ısıtma-soğutma ve sıcak su eldesi için toprak kaynaklı ısı pompası ve güneş kollektörleri, kullanım suyu için ise yağmur suyu depolama sistemleri kullanılmıştır. Elektrik için şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin ekonomik açıdan daha avantajlı olacağı belirlendiği için bu sistem, tasarımda kullanılmıştır. Sağlanan enerji tasarrufunun ortaya çıkardığı maliyet incelenmiş ve sistemler ekonomik yönden analiz edilmiştir. Yeşil evde kullanılan sistemlerin geri ödeme süreleri hesaplanmış ve bu sürelerin makul olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan analiz neticesinde, yeşil evin tasarımının doğru olduğu ve yeşil ev kurulmasının uygulanabilir olduğu izah edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, yeşil ev, çevreci bina, enerji tasarrufu

# APPLYCATIONS FOR THE GREEN HOME DESIGN AND ENERGY ANALYSIS

## ABSTRACT

In this article, a design work which aimed to fulfill residential energy demand with benefiting from renewable energy sources was investigated. In order to have the green building features of this residential house; making the necessary heat insulation, using of electrical appliances in the low-energy class, utilization of materials that recycling and do not harm the environment have been paid attention. Fotovoltaic solar panels were used for electric power, ground source heat pumps and solar collectors were used for heating-cooling and hot water supply, rain water storage system was used for water. It was determined that on-grid system would be more economically advantageous so this system is used in design. It was determined the cost of providing energy saving and the systems were analysed for economical perspective. The systems which are used in green home were estimated payback periods and they were examined the reasonableness of this duration. The analysis concluded that the green home design has been right and it has been described as feasible of green house construction.

**Keywords:** Renewable energy, green house, environmental building, energy saving

\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 17.08.2015  
Kabul tarihi : 03.12.2015

Bayar, U., Atılğan, A. İ. 2015. "Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi İçin Uygulama Örneği," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 41-52.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, Dünya'nın enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Enerji ihtiyacının her geçen gün artması fosil yakıtların ömrünü de aynı hızla kısaltmaktadır. Enerji üretiminde fosil yakıtlara bağımlılıktan kurtulmak, içinde bulunduğumuz yüzyıl içinde bir zorunluluğa dönüşmüştür. Bu sebeple, son yıllarda enerji alanında yapılan çalışmalar vasıtasıyla alternatif ve yenilenebilir kaynaklarına yönelme olmuştur. Dünya'da tüketilen fosil yakıtların %35-40'ının binalarda kullanıldığı düşünüldüğünde, binalarda kullanılan enerjinin azaltılması enerji tasarrufu ve enerji verimliliği açısından çok önemlidir. Bu doğrultuda, binalarda yenilenebilir enerji kullanımının artırma ve mümkün olduğunca bu kaynaklara yönelme, yeşil ev uygulamaları üzerine çalışılmayı gerekli kılmaktadır [1].

Evlerde ısınma, aydınlatma, sulama gibi temel ihtiyaçların karşılanmasında kullanılacak uygulamalar ile her türlü yalıtım ve enerji tasarrufu uygulamalarının evin ilk yatırım maliyetini %5-10 arasında artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak yeşil binaların enerji tasarrufunda %50-70'e varan sistemleri göz önüne alındığında, önemli kazanımlar elde edildiği görülmektedir [1].

Genel olarak yeşil ev tasarım esasları; inşaat aşamasında ekolojik malzemelerin kullanılmasına özen gösterilmesi, alan ısıtma ve soğutması ve su ısıtma yüklerinin minimize edilerek enerji yüklerinin düşürülmesi, ısıtma ve soğutma sisteminin en yüksek verimde olması, evin enerji ihtiyacına uygun ideal fotovoltaik panel seçimi, sıcak su temini için güneş enerjili sıcak su sisteminin kurulumu, yağmur sularının depolanabileceği bir oluk sistemi ile temiz su eldesi, yüksek enerji verimine sahip elektrikli ev aletleri ve aydınlatma sistemlerinin kullanılması ile bu aletlerin ve aydınlatma sistemlerinin kullanılmadıkları sürelerde kapatılması olarak sıralanabilir. Sadece enerji sistemlerinin dönüşümünü içermeyen bu esaslar aynı zamanda mimari projelerin ve kullanılan malzemelerin önemini de göstermektedir. Sarf edilen enerjinin minimize edilmesi için belirtilen tedbirler ile yeşil ev tasarımının ve kullanımının ne kadar detaylı bir çalışma gerektirdiği görülmektedir. Bu uygulamalar vasıtasıyla yeşil evlerin enerji verimliliği maksimum düzeye çıkarılmaktadır [1-3].

Ankara'da yeşil bina modeli ile tasarlanarak inşa edilen Eser Yeşil Binası'nda elektrik enerjisi üretmek amacıyla 6,126 kW kapasiteli güneş pilleri, 1 kW kapasiteli rüzgâr türbini mevcuttur. Sıcak su eldesi 4 adet güneş kollektöründen sağlanmaktadır. Isıtma ve soğutma için 60 kW güçte ısı pompası, 90 kW güçte kojenerasyon ünitesi, 20 lt kapasiteli ısıtma ve soğutma su tankları ile 1 adet buz tankı mevcuttur. Binada ayrıca, yağmur suyu depolama ve damla sulama sisteminden de faydalanılmaktadır [4].

Aykal ve arkadaşları, Diyarbakır Güneş Evi'nde kurulu bulu-

nan 3,88 kW'lık 24 adet PV güneş panelinin enerji tasarrufu potansiyelini araştırmışlardır. Diyarbakır için eşit büyüklükte bir yapının hesaplanan ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri için yıllık ısıtma enerji ihtiyacı 2142 kWh, yıllık soğutma enerji ihtiyacı ise 2071 kWh olarak tespit edilmiştir. Haziran 2008-Ocak 2009 dönemleri arasında yapılan inceleme sonucu, güneş evinden yılda ortalama 8078 kWh enerji tasarruf edildiği tespit edilmiştir [5].

Mazlum ve arkadaşları, Florida ve Nevada'da kurulu bulunan yeşil evleri incelemiş olup, sağladıkları enerji tasarruflarını açıklamışlardır. Florida Sıfır Enerji Evi bir yıl incelenmiş olup, 6960 kW elektrik enerji tükettiği gözlenmiştir. Bu miktar, standart bir ev için 22600 kW olarak belirlenmiştir. Yüksek verimli klima ile %28, yüksek performanslı pencereler ile %19, beyaz çatı ile %16, dahili montajlanmış kanallar ile %14, kanal kalınlığı ile %9, 91 cm çatı uzatması ile %7, R-10 duvarlar ile %4, ev kalınlığı ile %3 olmak üzere sıfır enerji evinin toplam enerji tasarrufu %70 olarak tespit edilmiştir. Nevada Sıfır Enerji Evi incelendiğinde ise standart ev ile yıllık bazda kıyaslandığında %59,8'lik enerji tasarrufu elde edildiği, elektrik enerjisi özelinde bakıldığında ise %52,6 oranında düşüş yaşandığı görülmektedir. Kullanılan enerji miktarları; alan ısıtmada %96, alan soğutmada ise %72 oranlarında azalmıştır. Tüm enerji tasarrufu uygulamaları ile %105 oranında elektrik enerjisinden tasarruf edilebileceği bu inceleme sonunda gözlemlenmiştir [3].

Saitoh ve Fujino; Harbeman Evi ve konveksiyonel bir evi kıyaslamış olup, konveksiyonel evin yıllık enerji ihtiyacı karşısında ödediği miktarın 7549\$ olduğunu, Harbeman Evi'nin yakıt giderinin ise 1188\$ olduğunu tespit etmişlerdir. Harbeman Evi'nin fosil yakıt tüketimi konveksiyonel evin yaklaşık yedide biri düzeyindedir. Bu sayede, Harbeman Evi'nde %84 oranında daha az karbondioksit salınımı gerçekleşmektedir [6].

Galloway, Berkeley Evi'nde yaptığı çalışma ile MicroPas 2.0 bilgisayar simülasyonu sayesinde evin ısı kazanımının her an hesaplanabildiğini, sistem performansı incelenerek gereken iyileştirmelerin yapılabildiğini açıklamıştır. 45° eğimli çatıya yerleştirilen 6 adet ASE-300 PV kollektör ile evdeki yıllık elektrik giderinin vergiler dahil 296,78\$ olduğunu göstermiştir [7].

## 2. MATERYAL VE TASARIM

Tasarımı yapılan yeşil binada elektrik enerjisi için fotovoltaik güneş panellerinden, ısıtma ve soğutma ile sıcak su eldesi için ısı pompası ve güneş kollektörlerinden, temiz su temini için ise yağmur suyu depolama sistemlerinden faydalanılması uygun bulunmuştur. Bu tasarımın yapılması için gereken bazı bilgiler aşağıda yer almaktadır:

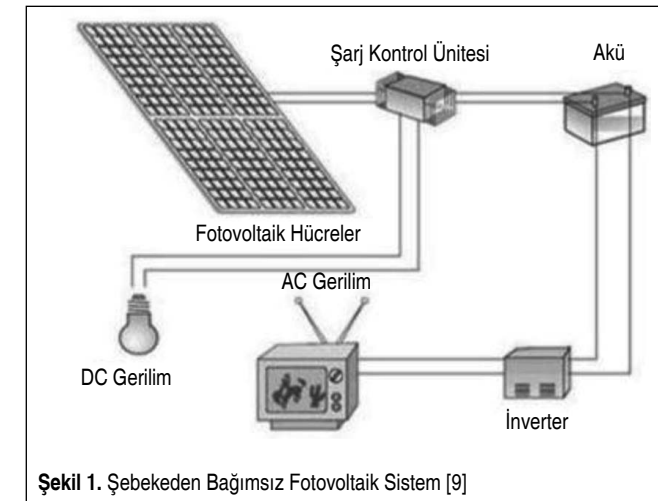
- Bina Ankara ilinde, betonarme olarak inşa edilmiştir.
- Binanın bulunduğu arsanın eni 25 m, boyu da 40 m olacak şekilde toplam alanı bir dönümdür.
- Villa, zemin kat ve birinci kat dahil olmak üzere iki katlı olup, müstakil konumdadır. Bina içinin toplam kullanım alanı 100 metrekaredir. Binanın çatısı betonarme olup, izolasyon bulunmaktadır.
- Binanın zemin katında bulunan ana giriş kapısının yönü kuzeybatı doğrultusundadır.
- Bölgede şehir şebekesi bağlantılı su, su deposu, basınçlandırma sistemi, kanalizasyon, ulaşım, trafo, elektrik, doğalgaz gibi altyapı imkânları mevcuttur.
- Isı yalıtım kurallarına uygun olan yapı elemanları ve ısı yalıtım bileşenleri kullanılarak enerjinin etkin tüketimi sağlanmaya uğraşmıştır.
- Tesisatın otomatik kontrolü, kullanılan ısı pompası üzerindeki dış hava kompenzasyonlu panel vasıtasıyla yönlendirilmektedir. Buna ek olarak herhangi bir otomatik kontrol paneli kullanılmamıştır.

### 2.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

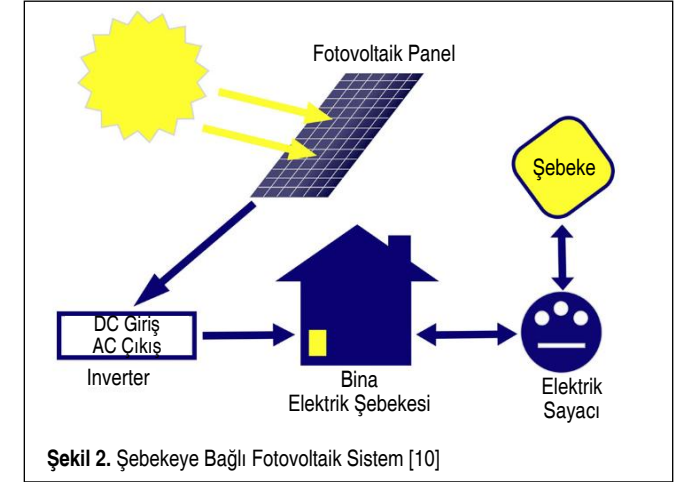
Elektrik üretimi amacıyla kullanılacak olan fotovoltaik güneş panellerinin şebekeden bağımsız olması halinde çalışma düzeni Şekil 1'de, şebekeye bağlı olması durumu ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Maliyet açısından yapılan incelemenin ardından tasarımda kullanılacak sisteme karar verilmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verileri incelendiğinde, Ankara'nın yıllık ortalama güneşlenme miktarının 1476,5 kWh/m<sup>2</sup> ve yıllık ortalama güneşlenme süresinin 2616 saat olduğu görülmüştür [8].

Tablo 1'de ise bir evde kullanılan elektrikli temel ev aletleri ve bunların harcadıkları enerji miktarları yer almaktadır.



Şekil 1. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem [9]



Şekil 2. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem [10]

dır. Tablo 1'de görüldüğü üzere, evde kullanılan elektrikle çalışan cihazların sarf ettikleri elektrik, piyasada satılmakta olan yüksek enerji sınıfına dahil cihazlar arasında yapılan inceleme sonunda tespit edilmiştir. Fotovoltaik güneş panellerinin evin temel ihtiyaçlar doğrultusunda tasarlanması uygun görülmüştür. Evin; buzdolabı, aydınlatma, televizyon ve bilgisayardan kaynaklanan elektrik tüketimi toplamının bulunması gerekmektedir. Buzdolabının günde 24 saat, televizyonun günde 5 saat ve bilgisayarın günde 3 saat çalıştığı öngörülmüştür. İç aydınlatmada kullanılan 20 adet tasarruflu ampulün aynı anda en fazla 8 tanesinin (salonda 6 ve mutfakta 2 adet) kullanılacağı ve dış aydınlatmada yer alan 5 adet 7 W güce sahip LED güneş enerjili ampulden ise aynı anda yararlanılacağı kabul edilmiştir. İç aydınlatma 6 saat, dış aydınlatma ise 12 saat kullanılmıştır. İç aydınlatma için; 23 W, beyaz ışıklı, A enerji sınıfı, ekonomi ampulleri seçilmiş olup,

Tablo 1. Elektrikli Ev Aletlerin Saatlik Harcadıkları Elektrik Enerjisi

| CİHAZ              | GÜÇ (Watt) |
|--------------------|------------|
| Buzdolabı          | 25         |
| Çamaşır Makinesi   | 1000       |
| Bulaşık Makinesi   | 1000       |
| Bilgisayar (PC)    | 200        |
| Elektrikli Fırın   | 1000       |
| Ütü                | 1000       |
| Televizyon (LCD)   | 135        |
| Elektrik Süpürgesi | 900        |
| İç Aydınlatma      | 184        |
| Dış Aydınlatma     | 35         |

bu ampuller, klasik 100 W güçteki ampullere eşdeğerdir. %80 oranında enerji tasarrufu sağlayabilen bu ampuller yeşil evlerde rahatlıkla kullanılabilir. Elektrik tüketimleri yaklaşık aynı (1000 W) olan bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, elektrikli fırın ile ütünün güneşlenme süresi içinde çalıştırılacağı ve aynı anda çalıştırılmayacağı düşünülmüştür. Haftalık çalışma günleri, bulaşık makinesi için 3 gün, çamaşır makinesi için 2 gün, ütü için 1 gün ve elektrikli fırın için 1 gün olarak kabul edilerek günlük 2 saat çalışacakları öngörülmüştür. Bu durumda, her gün bu makinelerin kullanılmasını nedeniyle 2000 W elektrik tüketimi gerçekleşir. Böylece, elektrikli ev aletlerinin toplam günlük elektrik sarfiyatı 5400 W olarak bulunmuştur.

Evde elektrikli ev aletlerin yanında, ısı pompası kullanımı da tasarlanmıştır. Tasarımda kullanılan ısı pompasına ait katalog değerleri Tablo 5'te yer almaktadır. Burada ısı pompasının elektrik sarfiyatının ısıtma için 3,6 kW, soğutma için ise 3,8 kW olduğu tespit edilmiştir. Isı pompasının; Ankara şartlarında kış aylarında toplam 1400 saat ısıtma amacıyla ve yaz aylarında da toplam 600 saat soğutma amacıyla olmak üzere yılda 2000 saat kullanılacağı kabul edilmiştir. Böylece ısı pompasının günlük elektrik sarfiyatı ortalaması 20055 W olarak belirlenmiştir. Evin toplam elektrik sarfiyatı ise elektrikli ev aletleri ile ısı pompasının günlük elektrik harcaması olan 25455 W olarak tespit edilmiştir.

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem için akü kullanılması gerektiğinden, akü kaybı 0,75 ve invertör kaybı da 0,96 olarak kabul edilmiştir. Şebekeye bağlı sistem için yalnızca invertör kaybı mevcuttur. Yeşil evin bir günlük elektrik gereksinimini karşılamak için şebekeden bağımsız sistemde 20 adet, şebekeye bağlı sistemde ise 15 adet fotovoltaik güneş paneline ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemde güneş enerjisinin depolanması ve gerektiğinde kullanılabilmesi amacıyla kullanılacak olan akü; 12 V ve 150 Ah HD değerlerine sahiptir. Kullanılacak akü sayısının bulunması için enerjinin aküden sağlanacağı gün miktarının, deşarj derinliğinin, batarya sıcaklık katsayısının ve günlük batarya kapasitesi ihtiyacının belirlenmesi gerekir. Enerjinin aküden sağlanacağı gün sayısı, yeşil evler için önemlidir. Havanın tamamen kapalı olduğu veya güneş ışınlarının yeterli olmadığı dönemler de düşünüldüğünde, Ankara için bu süre 2 gün olarak tercih edilmiştir. Batarya sıcaklık katsayısı 1,16 olarak belirlenmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, Ankara'nın ortalama sıcaklığı 12 °C olarak görülmektedir. Deşarj derinliği ise akünün %100 dolu durumdan tam boşalma durumuna kadar olan deşarj edilme oranı olup, batarya türüne göre değişim göstermektedir. Bu veri, yapılan hesaplamalarda genellikle 0,5 olarak kabul edilmektedir. Eşitlik 1 ile yeşil ev için gereken akü miktarı hesaplanmıştır.

$$\left\{ \frac{\text{Günlük harcanan elektrik enerjisi (W)}}{\text{Akü gerilimi (V)} \times 1,16 \times 2 \times 0,5} \right\} / \text{Akü akımı (A)} \quad (1)$$

Eşitlik 1 vasıtasıyla yeşil ev için gereken akü miktarı 23 olarak bulunmuştur. Akülerdeki doğru akımı, evde kullanılacak olan alternatif akıma çevirmek amacıyla invertör kullanılmaktadır. İnvertörden, şebekeye bağlı sistemde de benzer şekilde faydalanılır. İnvertörler, 12, 24 veya 48 V gerilim üreten güneş panelleri ile şarj edilen akülerdeki 12/24 V gerilimi elektrikli cihazlar için 220-230 V AC gerilime çıkararak kullanılabilir hale getirmektedir. Kare dalga ve tam sinüs dalga invertörler olarak iki ana gruba ayrılırlar. Kare dalga invertörlerin ucuz olmaları ve daha küçük aletler için kullanılmalari; tam sinüs dalga invertörlerin ise evdeki şebeke çıkışı benzeri olması, temiz, düzgün ve sorunsuz olması genel özellikleri olarak gözlemlenmiştir. Bu sebeple, tam sinüs invertör kullanımı tercih edilerek 1 adet invertör, sistem için uygun görülmüştür. Şebekeye bağlı sistem için ise bu sistemin gereksinimini karşılamak üzere bir adet on-grid invertör kullanımı uygun bulunmuştur. Şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan şarj regülatörleri ise güneş paneli ile üretilen elektriğin aküyü doğru bir şekilde şarj edilmesini kontrol etmek için kullanılan ekipmandır. Akülerin maksimum 14,4 V ile şarj edilebilmele-ri sebebiyle şarj regülatörleri bu değer in üstünde geçişi engeller. Regülatör seçimindeki en önemli nokta, regülatörün gereken maksimum akıma dayanıklı olmasıdır. Regülatörler, akü durumunu devamlı kontrol ederek batarya ömrünü uzatmaya yardımcı olur. Tercih edilen akünün maksimum voltajı 90 V, maksimum giriş ve çıkış akımı ise 45 A olarak tespit edilmiştir. Bu durumda, 8,39 A değerinde olan güneş panellerinden 20 adet kullanılması göz önünde bulundurulduğunda, 4 adet şarj regülatörü kullanımının yeterli olacağı görülmüştür.

## 2.2 Binaya ait Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesapları

Yeşil evin ısınması ve soğutulması için gereken enerji miktarlarının hesaplanabilmesi için binanın ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapılmıştır. Bu hesap neticesinde, istenilen güçte bir sistem ile yeşil evin ısıtılması ve soğutulması sağlanabilir.

### 2.2.1 Isı Kaybı Hesabı

Isı kaybı hesaplaması yapılırken kullanılacak olan temel veriler, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı ve TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları'nda yer almaktadır. Bu standartlar doğrultusunda, Ankara için dış sıcaklık değerinin -12 (rüzgârlı) olduğu tespit edilmiştir.

Bir yapı bileşeninin ısı iletim katsayısı, yüzeyel iç ve dış ısı taşınım direnci ile ısı geçirgenlik direncine bağlıdır. Isı iletim katsayıları, yapı bileşenleri için TS 825'te belirtilmiş olup, ısı geçiş katsayılarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Aşağıda yer alan Eşitlik 2 yardımıyla toplam ısı geçiş katsayıları bulunmuştur [11].

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (2)$$

Dış duvar, teras çatı, döşeme-tavan, toprak temaslı döşeme, iç duvar, çift cam pencere ve kapıların ısı geçiş katsayıları bulunarak zamsız ısı kayıpları Eşitlik 3 vasıtasıyla hesaplanmıştır [11].

$$q_o = AU\Delta T \quad (3)$$

Isı kaybının önemli faktörlerinden biri de zamlar olarak tarif edilmektedir. Burada ( $Z_D$ ) birleştirilmiş artırım katsayısı, ( $Z_H$ ) yön artırım katsayısı, ( $Z_W$ ) kat yüksekliği artırım katsayıları olarak yer almaktadır. Konutlar için birleştirilmiş artırım katsayısı 7'dir. Yön artırım katsayısı; kuzeye bakan yönler için -5 olup, güneye bakan yönler için +5'tir. Binada yüksek kat durumu bulunmaması nedeniyle yüksek kat artırımı mevcut değildir. Zamların da eklenmesiyle artırılmış ısı kaybı aşağıda yer alan Eşitlik 4 yardımıyla bulunur [11].

$$q_i = q_o (1 + \% Z_D + \% Z_H) \quad (4)$$

Binalarda artırılmış ısı kaybının yanı sıra, hava sızıntısı ısı kaybı da mevcuttur. Kapatılmış durumda olan pencere ve kapıların açılan kanatlarının veya kasalarının tam olarak otur- maması ile arada kalan boşluktan içeri soğuk hava sızıntısı olmaktadır. Bu soğuk hava sızıntısının ısıtılması için gereken ısı miktarı enfiltrasyon (hava sızıntısı) ısı kaybı olarak adlandırılır ve Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$q_s = \sum_0 (aI)_{dis} R H \Delta T Z_e \quad (5)$$

Bu değerler TS 2164'te yer alan tablolardan elde edilmektedir. Hava sızıntısı ısı kaybı ile iletim ve taşınım ile olan ısı kaybının toplamı ise toplam ısı kaybını vermekte olup, Eşitlik 6'da verilmiştir [11].

Tablo 2. Yeşil Evin Toplam Isı Kaybı Tablosu

|               |             |                  |
|---------------|-------------|------------------|
| Z - 01        | Salon       | 2685,5 W         |
| Z - 02        | WC          | 443,3 W          |
| Z - 03        | Antre       | 587 W            |
| Z - 04        | Mutfak      | 386 W            |
| 1 - 01        | Yatak Odası | 1373,5 W         |
| 1 - 02        | Banyo       | 601,4 W          |
| 1 - 03        | Yatak Odası | 1527,2 W         |
| 1 - 04        | Merdiven    | 203,9 W          |
| 1 - 05        | Yatak Odası | 1055,8 W         |
| 1 - 06        | Banyo       | 943,5 W          |
| 1 - 07        | Hol         | 11,8 W           |
| 2 - 01        | Çatı Katı   | 911,4 W          |
| <b>TOPLAM</b> |             | <b>10730,3 W</b> |

$$q_h = q_i + q_s \quad (6)$$

Yeşil evin ısı kaybı, yukarıda yer verilen eşitlikler yardımıyla bulunmuş olup, Tablo 2'de gösterilmiştir.

### 2.2.2 Isı Kazancı Hesabı

Toplam ısı kazancı belirlenirken, klimatize edilecek mahal için bir tasarım günü seçilir. Bu günün özelliği; kuru ve yaş termometre sıcaklıklarının en yüksek değere ulaştığı, güneşten gelen ışınımın en fazla olduğu ve iç yüklerin hepsinin normal olduğu gün olarak tanımlanabilir.

Ankara'nın projelendirme şartları incelendiğinde, kuru termometre sıcaklığının 34 °C, yaş termometre sıcaklığının 20 °C olduğu belirlenmiştir. Tasarımı yapılan binanın ev olması sebebiyle normal şartlar tercih edilmiş olup, kuru termometre sıcaklığı 25,5 °C ve nemi ise %48 olarak belirlenmiştir. Tasarımı yapılan binanın projelendirme günü ve saatini belirlemek için ise güneş radyasyonu ile ısı kazancı sağlayan pencerelerin coğrafi yönlerinin tayin edilmesi ve pencere alanlarının tespit edilmesi gerekmiştir. Bu tespitten ardından, pencere alanı en geniş olan cephe tercih edilir. Mimari proje incelendiğinde, güneydoğu cephesindeki pencere alanının daha geniş olması nedeniyle, güneydoğu için pik yükün olduğu tarih olan 23 Ekim, saat 10:00 projelendirme tarihi olarak seçilmiştir.

Camlardan güneş radyasyonu ile gelen ısı kazancı için Eşitlik 7'den, iletim ve taşınım yoluyla gelen ısı kazancı hesabında ise Eşitlik 8'den faydalanılır [12].

$$Q_{12} = A \left( \frac{A_R}{A} \right) q_G \quad (7)$$

$$Q_{1K} = KA(T_d - T_i) \quad (8)$$

Dış duvarlar ve çatıdan gelen ısı kazancı hesaplanırken Eşitlik 9; iç bölmelerden, tavadan veya döşemeden oluşan ısı kazancı hesabında ise Eşitlik 10 kullanılmıştır.

$$Q_2 = KA\Delta T_{es} \quad (9)$$

$$Q_3 = KA(T_K - T_I) \quad (10)$$

İnsanlardan gelen ısı kazancı, duyulur ve gizli ısı olarak iki kısma ayrılmaktadır. Duyulur ve gizli ısının toplamı, yapılan aktivitenin türüne, içinde buldukları ortamın sıcaklığına ve giysi durumlarına göre değişiklik göstermektedir. Duyulur ısı kazancı ve gizli ısı kazancı insan sayısı ile doğru orantılı olup, yeşil evde yaşayan sayısı ortalama bir aile nüfusu olarak 4 kişi şeklinde kabul edilmiştir.

Yeşil bina bir konut olması sebebiyle aydınlatmadan gelen ısı kazancı ihmal edilmiştir. Diğer cihazlardan gelen ısı kazançları ise mutfak için; buzdolabı 290 W, çaydanlık 180 W ve elektrik ocağı 220 W olarak tespit edilmiş olup, banyo için ise çama-

şır makinesi 1500 W olarak duyulur ısı kazancı belirlenmiştir. Bunlardan çaydanlığın 70, elektrik ocağının 280 ve çamaşır makinesinin ise 1500 W gizli ısı kazancı mevcuttur [12].

Bir evde yaşayan ortalama bir ailedeki birey sayısı göz önünde bulundurularak yeşil evde yaşayan sayısı 4 olarak kabul edilmiştir. İnsanlardan kaynaklanan duyulur ve gizli ısı kazancına ilişkin veriler; 26 °C oda sıcaklığı ve apatmanlar, evlerde günlük, hafif ve rutin işler yapan insanlar için seçilmiştir. Duvarın birim ağırlığı değeri olarak 500 kg/m<sup>2</sup>, çatının birim ağırlığı ise 300 kg/m<sup>2</sup> olarak seçilmiş olup, bu değerlere denk düşen verilerden faydalanılmıştır. Tablo 3'te yeşil evde gerçekleşen ısı kazancı miktarı gösterilmiştir.

Tablo 3. Mahallerde Oluşan Toplam Isı Kazançları

|               |             |                |
|---------------|-------------|----------------|
| Z - 01        | Salon       | 3729,3 W       |
| Z - 02        | WC          | 104,2 W        |
| Z - 03        | Antre       | 299,4 W        |
| Z - 04        | Mutfak      | 1300,8 W       |
| 1 - 01        | Yatak Odası | 1454,3 W       |
| 1 - 02        | Banyo       | 241,6 W        |
| 1 - 03        | Yatak Odası | 1555,2 W       |
| 1 - 04        | Merdiven    | 117,6 W        |
| 1 - 05        | Yatak Odası | 252,7 W        |
| 1 - 06        | Banyo       | 3111,5 W       |
| 1 - 07        | Hol         | 61,5 W         |
| 2 - 01        | Çatı Katı   | 212,8 W        |
| <b>TOPLAM</b> |             | <b>12441 W</b> |

### 2.3 Isı Pompası Seçimi ve Hesabı

Isı pompası seçimi yapılırken Tablo 4'te yer alan kriterler göz önünde tutulmuş olup, yeşil ev için uygun olan ısı pompası-

Tablo 4. Isı Pompalarının Karşılaştırma Tablosu [13]

| Kriter                          | Toprak Kaynaklı Isı Pompası (Sondaj) | Toprak Kaynaklı Isı Pompası (Yer Kolektörü) | Hava Kaynaklı Isı Pompası     | Su Kaynaklı Isı Pompası   |
|---------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Uygulanabilirlik                | Kolayca mümkün                       | Büyük bahçeye ihtiyaç var                   | Kolayca mümkün                | Yer altı suyunun kalitesi ve devamlılığı zor bulunuyor                |
| Ortalama COP                    | COP = 4                              | COP = 4                                     | COP = 3                       | COP = 5   |
| Verim                           | Yüksek                               | Yüksek                                      | Orta                          | En yüksek   |
| Isı kaynağına bağlantı maliyeti | Sondaj ve borulama maliyeti yüksek   | Harfiyat ve borulama maliyeti yüksek        | Hava kanalları maliyeti düşük | Su kalitesi uygun değilse, ilave pompa ve ara eşanjör maliyeti yüksek |
| Bakım maliyeti                  | Düşük                                | Düşük                                       | Düşük                         | Yüksek  |
| Doğal soğutma                   | Mümkün                               | Mümkün                                      | Mümkün değil                  | Mümkün  |
| Aktif soğutma                   | Mümkün                               | Mümkün                                      | Mümkün                        | Mümkün  |

nın yatay borulu toprak kaynaklı ısı pompası olduğu gözlemlenmiştir. Yatay borulamanın tercih edilme sebebi ise düşük borulamaya nazaran daha fazla boru kullanılmasına rağmen, maliyet açısından daha makul olmasındandır. Sistemde kullanılacak ısı pompası olarak Vitocal 300 antifriz/su ısı pompası (iki kademeli) BW 216 tercih edilmiştir. Seçilen ısı pompasına ait teknik veriler Tablo 5'te yer almaktadır.

Seçilen ısı pompasının tasarımının yapılabilmesi amacıyla sistemde kullanılan tasarım kriterleri doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Bu doğrultuda ilk önce, toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma için gereken ısı değiştirici uzunluğu Eşitlik 11'de, soğutma için gereken boru uzunluğu ise Eşitlik 12'de verilmiştir.

$$L_H = \frac{Q_H \frac{(COP_H - 1)}{COP_H} [R_p + (R_s \cdot F_H)]}{T_d - T_{EWT, min}} \quad (11)$$

$$L_C = \frac{Q_C \frac{(COP_C + 1)}{COP_C} [R_p + (R_s \cdot F_C)]}{T_{EWT, max} - T_Y} \quad (12)$$

Bu değerler için elektrik sarfiyatının az olması gerekliliği göz önünde bulundurularak işletme noktası olarak B0/W35 tercih edilmiştir. Buna göre, antifriz giriş sıcaklığı 0 °C, ısıtma suyu çıkış sıcaklığı ise 35 °C olarak tespit edilmiştir. Bu durumda, ısı pompasının ısıtma gücü 16,6 kW, soğutma gücü 13 kW, elektrik sarfiyatı 3,6 kW, ısıtma için COP değeri 4,6 ve soğutma için ise 3,8 olarak belirlenmiştir.

Eşitlik 11 ve Eşitlik 12'de yer alan değerlerin bulunması ile ısıtma için gereken ısı değiştiricisi uzunluğu 552 m, soğutma için gereken ise 483 m olarak tespit edilmiştir. Bu durum neticesinde, 552 m uzunluk dikkate alınmakta olup, 600 metrelik bir ısı değiştiricisi uzunluğu gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yeşil

evin bulunduğu arazinin 1000 m<sup>2</sup> olması, her biri 100 m olan 6 adet boru döngüsünün yerleşimi yapılabileceğini göstermiştir. Mevcut toprak türünün kumlu ve nemli toprak olması sebebiyle, topraktan çekilecek enerji miktarının yeterli seviyede olabilmesi için gereken minimum alan olan 743 m<sup>2</sup>'nin oldukça üzerinde olan ev arazisinde ısı pompası kurulumunun yapılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Toprak altında dayanımı uzun, kimyasal maddelere karşı dirençli, darbe ve çatlak dayanımı yüksek olan ve bitki ve ağaç köklerinin içine girmesine imkân bulunmayan polietilen (PE) boruların kullanımının tasarım için uygun olduğu görülmüştür. Bu nedenle de PE 32 x 2,9 mm PN 10 polietilen boru cinsi tasarım amacıyla kullanılmıştır. Besleme hattı için ise PE 50 x 4,6 mm PN 10 boru tipi kullanımı uygun bulunmuştur.

Isı pompasına ait teknik katalog incelendiğinde, debisinin 4200 lt/h olarak görülmüştür. Her bir boru döngüsü için debi; 4200 lt/h'in 6 döngüye bölünmesiyle 700 lt/h olarak bulunmuştur. Armatürlerde ve ısı pompasında bulunan ısı taşıyıcı akışkan da dahil olmak üzere 400 lt'lik akışkan miktarının ihtiyacı karşılayacak seviyede olduğu belirlenmiştir. Boru döngüsünde ve besleme hattında yaşanacak basınç kayıpları da göz önünde bulundurulmuş ve toplam basınç kaybının 7,85 mSS olduğu tespit edilmiştir. Isı pompasının teknik veriler katalogu incelendiğinde, maksimum işletme basıncının 4 bar olduğu görülmüştür. Bu durumda, 3,8 mSS basınç sağlayarak sisteme akışkan basabilen 3 adet sirkülasyon pompası yerleştirilmesinin yeterli olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Isı Pompası Katalog Değerleri [14]

| Kapasite Değerleri Tip BW 216 |        |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| İşletme Noktası               | B0/W35 | B2/W45 | B2/W55 |
| Isıtma Gücü (kW)              | 16,6   | 17     | 16,2   |
| Soğutma Gücü (kW)             | 13     | 12,5   | 10,6   |
| Elektrik Sarfiyatı (kW)       | 3,6    | 4,5    | 5,5    |
| COP Değeri (ε)                | 4,6    | 3,76   | 2,94   |

Primer genişleme tankı hacminin bulunması için ise Eşitlik 13'ten faydalanılmıştır.

$$V_N = \frac{V_Z + V_V}{P_e - P_{st}} (P_e + 1) \quad (13)$$

Tank hacminin bulunması esnasında kullanılan değerlerden; emniyet ventili tahliye basıncı 3 bar, azot ön basıncı 1,5 bar ve emniyet akışkanı (Tyfocor) hacmi 3 lt olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, primer genişleme tankı hacmi 25 lt olarak belirlenmiştir.

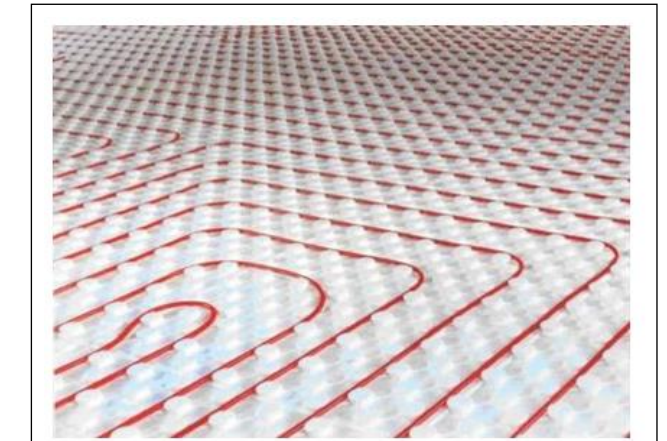
Isıtma suyunun dolaştığı tesisat, sekonder devreyi oluştur-

makta olup, ısınan suyun genişmesi ile oluşan hacmi, devrede bulunan kapalı genişleme deposu dengelemektedir. Yeşil evde kullanılan ısıtma sistemi döşemeden ısıtma olduğu için TS 2164'te yer alan ısıtma tipi katsayısı 18,5 lt/kW olarak belirlenmiştir. Bu durumda, sistemin toplam su hacmi 307,1 lt olarak bulunmuştur. Suyun ısı pompasındaki maksimum sıcaklığı, sekonder devre için ısı pompası teknik katalogunda verilmiş olup, bu değer 55 °C'dir. Isı pompası kapalı halde iken 10 °C olması sebebiyle suyun genişleme katsayısı 0,0195 olarak tespit edilmiştir.

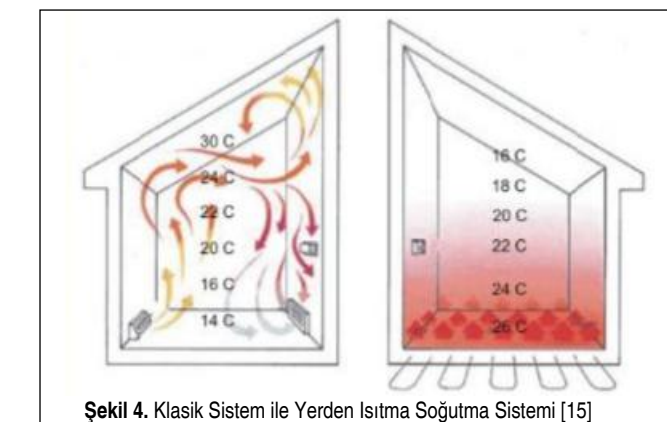
Toplam su hacmi de göz önünde bulundurulduğunda, genişleyen suyun hacminin 6 lt olduğu bulunmuştur. Kullanma katsayısının 0,5 olduğu tespit edildiği için 12 lt'lik genişleme deposu kapasitesinin tasarım için yeterli düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

### 2.4 Yerden Isıtma ve Soğutma Sistemi

Yerden ısıtma ve soğutma sistemi, odanın ısı ihtiyacı göz önünde bulundurularak döşeme altına yerleştirilen ve içinden su geçen plastik boru tesisatının genel adıdır. Şekil 3'te bu sistemin genel şeması, Şekil 4'te ise klasik sistem ile yerden ısıtmanın farkı gösterilmiştir. Kullanılan plastik boruların ısı



Şekil 3. Yerden Isıtma Soğutma Sisteminin Görünüşü [15]



Şekil 4. Klasik Sistem ile Yerden Isıtma Soğutma Sistemi [15]

genleşme katsayısı beton ve döşeme malzemesine oranla daha fazladır. Bu borular, korozyona dayanıklı ve ucuz olup, kolay döşenebilmeleri sebebiyle yerden ısıtma sisteminde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Yerden ısıtma sisteminde, istenilen konfora ulaşabilmek ve hijyen kurallarını uygun olması açısından zemin sıcaklığının 27 °C üzerine çıkması doğru olmamaktadır. Düşük sıcaklıkla çalışan bu sistemlerde zeminin zarar görmemesi açısından su sıcaklığının 50 °C'nin altında tutulmasına özen gösterilir. Geniş ısıtma yüzeylerinin bulunması nedeniyle düşük sıcaklıkta-ki suyla istenilen sıcaklık elde edilmektedir [15-16].

Soğutma halinde zeminde yoğunlaşma yaşanmaması için 14 °C sınır olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, mevcut sınır değerin altına düşmeyecek şekilde tasarım yapılmaktadır. Dış hava sıcaklığının 35–40 °C aralığında olduğu zamanlarda sistemden geçen su sıcaklığı 17 – 18 °C'ye kadar soğutularak oda için gereken ideal şartlar olan 20 –22 °C aralığına ulaşılmaktadır. Bu durumda, termal konfor şartları rahatlıkla sağlanabilmektedir.

Tasarımı yapılan binanın yerden ısıtma soğutma sistemi için projelendirme aşamasında “OVplan” isimli program kullanılmıştır. Burada kullanılan gidiş suyu sıcaklığı değeri 45 °C, dönüş suyu sıcaklığı değeri ise 35 °C olarak alınmıştır. Binada yer alan ve ısıtılacak tüm mahallerin alanı ve çevresi, oda sıcaklıkları, ısı yükleri programa girilmiş ve böylece gerekli hesaplamalar elde edilmiştir. Isıtma ve soğutma boru ağına ilişkin hesaplamaları içeren bu yazılım ile vana ön ayar değerleri, pompa basma yüksekliği, boru anma çapları ve sistem için gereken malzeme listesi elde edilmiştir. Bu doğrultuda, binada kullanılan boru uzunluğu 736 metre olarak tespit edilmiştir.

## 2.5 Sıcak Su Kullanım Miktarı ve Boyler Hesabı

Tasarımı yapılan evin mutfak ve banyolarında kullanılacak olan sıcak su ihtiyacının hesaplanması için TS 1258 “Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları”nda bulunan değerlerden faydalanılmıştır. Tasarımı yapılan ev için; mutfakta 1 adet eviye, tuvalette 1 adet lavabo, iki banyoda da 1'er adet lavabo, banyolardan birinde 1 adet duş ve diğerinde de 1 adet küvet bulunmaktadır. Ayrıca mutfakta bulaşık makinesi ve banyoda çamaşır makinesi mevcuttur. Konutun sıcak su ihtiyacı bu doğrultuda bulunmuş olup, bunu karşılayacak olan boyler hacminin 350 lt olması yeterlidir. Kullanılacak olan boyler için alınacak olan sıcaklıklar ısı pompasında kullanılan değerlerle aynı olup, su giriş sıcaklığı 10 °C, su çıkış sıcaklığı ise 55 °C olarak belirlenmiştir. Bu sebeple, ısıtıcı ekipmanın kapasitesinin en az 8 kW olması gerektiği ortaya çıkmıştır.

## 2.6 Güneş Kollektörü Sayısının Belirlenmesi

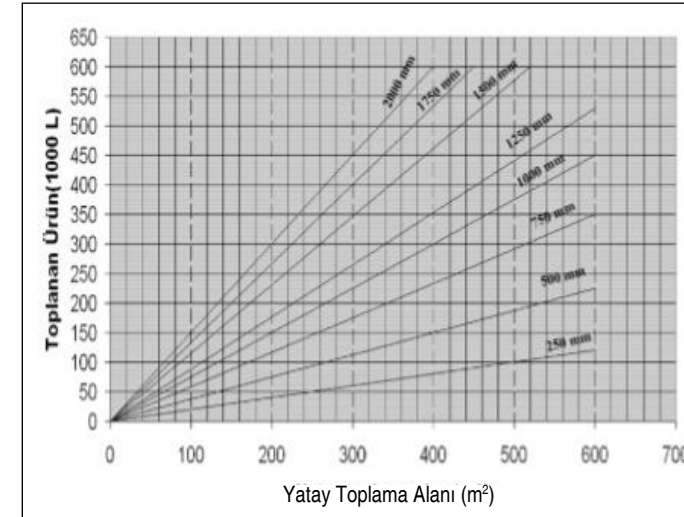
Güneş kollektörü; evin sıcak su ihtiyacının karşılanması ve

mahal ısıtmasına yardımcı olması amacıyla sisteme dahil edilmektedir. Yapılacak olan hesaplamada öncelik sıcak su temini olmuştur. Seçilmiş olan kollektöre ait veriler incelendiğinde, bir kollektörün yüzey alanının da 2,06 m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Günlük kullanılan sıcak suyu miktarı göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde, 2,77 m<sup>2</sup> güneş kollektörü yüzey alanının yeterli olacağı tespit edilmiştir. Bu sebeple, gerekli yüzey alanı için 2 adet kollektör temin etmek yeterli olacağı anlaşılmıştır. Hesaplanan kollektör alanı ve buna bağlı olarak kollektör sayısı sıcak su temini için geçerlidir. Güneş kollektörlerinin bina ısıtmasında da kullanılabilmesi için sayısının artırılması öngörülebilir. Ancak yapılmış olan bilimsel çalışmalarda, kollektör sayısının artırılmasına rağmen, binadaki mahal ısıtma desteğine verdiği katkının çok düşük seviyede kaldığı anlaşılmıştır [16-17]. 8 kollektörlü sistemin mahal ısıtmasına verdiği katkı, yalnızca %2,8'de kalmış olup, karşılaştırılan 14 kollektörlü sistemde ise bu oran %6,7 olmuştur. Sıcak su kullanımına verdikleri katkı ise 8 kollektörün %78, 14 kollektörün ise %82 seviyesindedir. [16] Ortaya çıkan netice, 6 kollektörlük artışın mahal ısıtmasına yeterli katkı vermediği yönündedir. Burada belirleyici olan nokta, güneşin yetersiz olduğu kış ayları için kollektör sayısını artırmanın bir anlam ifade etmediği yönündedir. Yaz ayları için ise binanın ısıtma ihtiyacı zaten bulunmamaktadır. Benzer bir tasarım evinde, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kullanılan sıcak su ihtiyacının tamamının, Nisan ayında ise kullanılan miktarın yaklaşık %95'inin 4 adet güneş kollektörü ile ısıtılacağı tespit edilmiştir. 4 adet güneş kollektörünün yıllık sıcak su ihtiyacının %71'ini karşıladığı görülmüştür. [17] Bu oran, makul bir seviyedir. Bu sebeple, kullanılan kolektör sayısının artırılmasının ilk yatırım maliyetini olumsuz yönde etkilemesine rağmen, verdiği enerji katkısının önemli bir düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, 4 adet kolektör kullanımının yeterli olacağı öngörülmüştür [16-17].

## 2.7 Yağmur Suyu Depolama

Yağmur suyu kullanımı, yeşil binalar için özellikle tuvalet rezervuarlarında ve bahçe sulamada kullanılmakta olup, bu sayede şebekeden kullanılan sudan ciddi miktarda tasarruf elde edilmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, son 25 yıllık sürede Ankara'ya düşen yıllık alansal yağış miktarı ortalaması 409,6 mm olarak ölçülmüştür. Tasarımı yapılan yeşil binanın çatısının yatay toplama alanı 101,56 m<sup>2</sup> olarak mimari projeden belirlenmiştir. Şekil 5'teki grafik ile yıllık yağış miktarı ve yatay toplama alanına karşılık toplanan yağmur suyu miktarı bulunabilmektedir. Bu Tablo'da verilen değerler doğrultusunda, yıllık toplanan yağmur suyu miktarının yaklaşık 35000 lt civarında olduğu görülmüştür.

Tasarımı yapılan evde 2 adet banyo ve 1 adet tuvalet bulun-



Şekil 5. Yıllık Yağış Miktarı ve Yatay Depolama Alanına Karşılık Yağmur Suyu Miktarı [18]

makta olup, evin su tüketiminin %30'unun tuvalet rezervuarında, %4'ünün de bahçe sulamada kullanıldığı bilinmektedir. Klasik tuvalet rezervuarlarının kapasitesi 16 lt olup, her kullanışta ciddi miktarda suyun israf edildiği görülmektedir. Bu sebeple, yeşil binada kullanılan tuvalet rezervuarlarının kapasitesi 7 lt olarak tercih edilmiştir. 4 kişilik bir aile, 16 litrelik tuvalet rezervuarı ile tuvalette ayda 7 ton su tüketirken, 7 litrelik tuvalet rezervuarı ile aylık su tüketimi 2,5–3 ton civarında azalma göstermektedir.

Bir kişinin günde 3 kez tuvaleti kullandığı ve evde 4 kişinin yaşadığı düşünülürse, evde günlük 84 lt su, tuvalet rezervuarında kullanılmaktadır. Bahçe sulama için ise günlük su kullanım miktarı 11,2 lt olarak belirlenmiştir. Böylece, günlük 95,2 lt olan su tüketimi yılda 34748 lt olarak gerçekleşmektedir. Bu durum neticesinde, tuvalet rezervuarı ve bahçe sulamada kullanılan suyun yağmur suyundan karşılanabileceği görülmüştür.

Ankara'da yağışın en fazla Mayıs ayında olduğu Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden tespit edilmiştir. Mayıs ayının ortalama yağış miktarının 49,7 lt/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Yağışın pik yaptığı ilkbahar ayları göz önünde bulundurulduğunda, seçilecek olan depolama tankının kapasitesinin 6000 lt olarak belirlenmesi uygun olacaktır.

## 3. ENERJİ VE MALİYET ANALİZİ

### 3.1 Kurulum Maliyetleri

Yeşil evde kullanılan tüm sistemlerin kurulum maliyetleri incelenmiş olup, burada yer alan sistem elemanlarının katalog değerleri ve fiyatları piyasa araştırması yapılmak suretiyle bulunmuştur. Yapılan hesaplamada, elektrik ve doğalgaz birim fiyatlarındaki değişim ihmal edilmiştir. Kullanılan sistemlerin

herhangi bir hurda değerinin olmadığı kabul edilmiş olup, bakım onarım maliyetlerinin çok düşük miktarlarda olması sebebiyle hesaba dahil edilmemiştir [19].

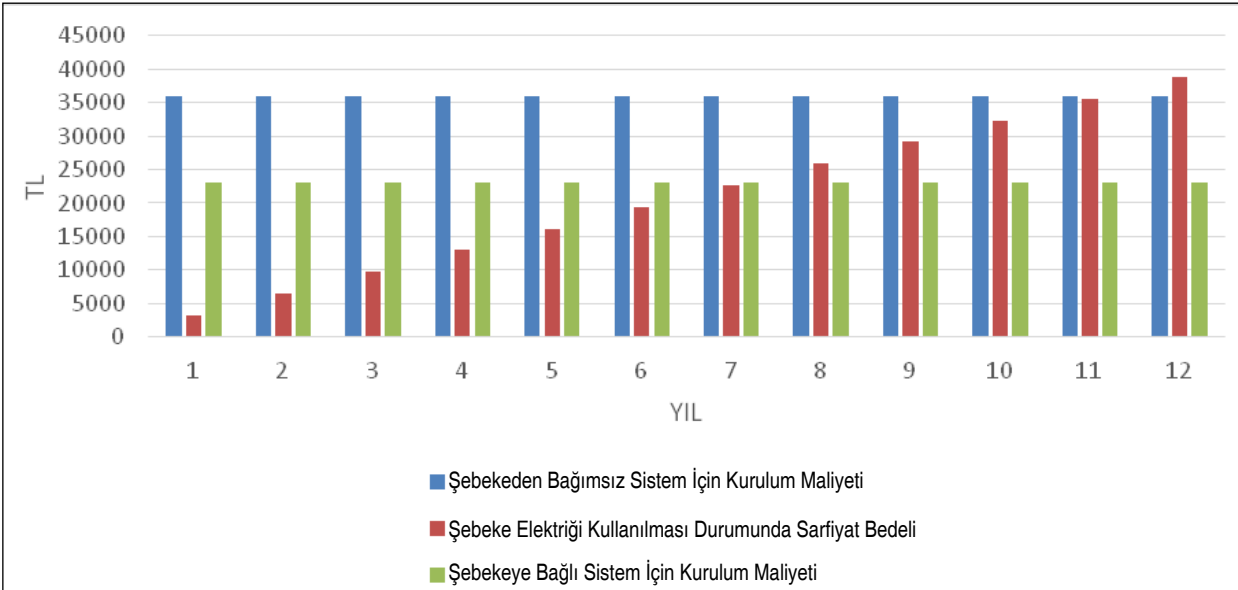
PV güneş panellerinin şebekeden bağımsız sistem için 20 adet, şebekeye bağlı sistem için 15 adet kullanılacak olması daha önceden belirtilmiştir. PV panel fiyatının 958 TL olduğu görülmüştür. Bu nedenle, şebekeden bağımsız sistemde fotovoltaik panel maliyeti 19160 TL iken şebekeye bağlı sistemde 14370 TL'dir. Akünün bir adedinin maliyetinin 346 TL olduğu bilinmektedir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, 23 adet akünün kullanılması uygun görülmüştür. Toplam akü maliyeti ise 7958 TL'dir. Sistemde kullanılan dört adet şarj regülatörünün toplam fiyatı 3280 TL, bir adet invertörün fiyatı ise şebekeden bağımsız sistem için 5640 TL, şebekeye bağlı (on-grid) sistem için 8700 TL olarak tespit edilmiştir. Böylece, elektrik enerjisi eldesi için gereken toplam maliyet, şebekeden bağımsız sistemde 36038 TL, şebekeye bağlı sistemde ise 23070 TL olarak bulunmuştur.

Yeşil evde ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılan ısı pompası ve güneş kollektörü sisteminin kurulum maliyeti incelendiğinde ise 4 adet güneş kollektörünün tüm sistem elemanlarıyla 7000 TL değerinde olduğu tespit edilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompasının 17500 TL, sisteme entegre olarak çalışacak olan 350 lt kapasiteli boylerin maliyeti 1900 TL olarak belirlenmiştir. Sistemin diğer bileşenleri olan primer ve sekonder genleşme tankları, sensörler, karışım vanaları, emniyet grubu, pompa vb. ekipmanlar için tespit edilen fiyat ise 1750 TL civarındadır. Hafriyat ve toprak altı borulama maliyetinin 15000 TL, ısı taşıyıcı akışkanın 6500 TL ve yeşil binada kullanılacak olan yerden ısıtma soğutma sistemi borularının ise 750 m boru uzunluğu için 700 TL ortalama piyasa değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Böylelikle ısıtma, soğutma ve sıcak su eldesi amacıyla kurulan sistemin toplam maliyetinin 50350 TL olduğu görülmüştür.

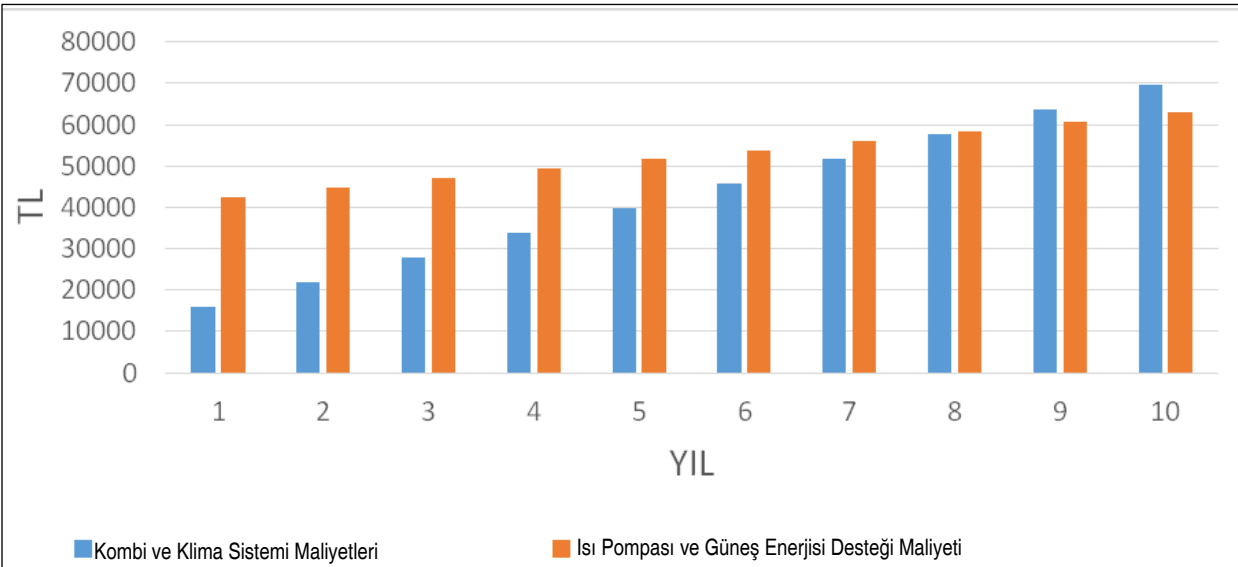
### 3.2 İşletme Maliyetleri

Yeşil evin yıllık harcadığı elektrik enerji miktarı 9145,9 kWh olarak tespit edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun verilerine göre, 2014 yılı Ocak-Haziran ayları için 1 kWh elektrik bedeli konutlarda 0,354 TL'dir. Yıllık enerji ihtiyacının şebeke elektriğinden çekilmesi durumunda 3237,6 TL, 2014 yılı için ödeme yapılması gerekmektedir. Bu veri vasıtasıyla, PV güneş panellerinin kurulum maliyeti göz önünde bulundurulacak geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Şebekeden bağımsız sistem kurulması halinde, sistemin geri ödeme süresi 11,13 yıl; şebekeye bağlı sistem kurulması halinde ise sistemin geri ödeme süresi 7,13 yıl olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da, elektrik enerjisi için geri ödeme süresi grafiği gösterilmiştir.

Isıtma, soğutma ve sıcak su eldesi amacıyla klasik tasarımlı evlerde kullanılan kombi ve klima sistemleri ile yeşil evde



Şekil 6. Elektrik Enerjisi İçin Geri Ödeme Süresi Grafiği



Şekil 7. Isıtma-Soğutma ve Sıcak Su Eldesi Sisteminin Geri Ödeme Süresi Grafiği

kullanılan ısı pompası ve güneş kolektörü sistemi kıyaslanarak yeşil evde kullanılan sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, 1 adet kombi ve her oda ile salona birer adet olmak üzere toplam 4 tane klima kullanılması halinde ortaya çıkan maliyet hesaplanmıştır. Doğalgazlı yoğuşmalı hermetik duvar tipi kombi ve tesisatının ortalama fiyatı 2000 TL, 4 adet alınması gereken duvar tipi split klimanın tanesi ise ortalama 2000 TL olarak tespit edilmiştir. Bu cihazların toplam kurulum maliyeti ise 10.000 TL olarak ortaya çıkmıştır.

Başkentgaz verileri doğrultusunda, 2015 yılı itibarıyla, konutlarda kullanılan bir metreküp doğalgaz için ödenen bedel 1,07

TL olarak belirlenmiştir. Elektrik için ise 0,354 TL olduğu tespiti daha önceden yapılmıştır. Kombi için yıllık işletme süresi Ankara şartlarında 1400 saat, güneş enerjisi desteğinin ısıtma sistemine verdiği katkı %2,5 ve sıcak su eldesine verdiği katkı ise %71 olarak kabul edilmiştir. Klima için ise yıllık işletme süresi, yaz aylarında Ankara şartlarında klima kullanımı göz önünde bulundurularak 600 saat olarak kabul edilmiştir.

Kombinin yıllık yakıt tüketimi kombi teknik özellikleri ve kullanım miktarı da göz önünde bulundurulduğunda, 5185,2 m<sup>3</sup> yıl olarak tespit edilmiştir. Bu da 5548 TL/yıl doğalgaz maliyetini ortaya koymuştur. Kombinin kullandığı elektriğin

maliyeti ise 64,4 TL'dir. Klimanın ise yıllık 984 kW'lık enerji tüketimine karşı, yıllık 348 TL elektrik enerjisi harcadığı tespit edilmiştir. Böylece klasik bir evin ısıtma, soğutma ve sıcak su eldesi için toplam enerji gideri yılda 5960,4 TL olarak belirlenmiştir.

Isı pompası ve güneş kolektörü sisteminin yıllık toplam işletme süresinin 2000 saat olacağı belirlenmiştir. Toplam 7200 kWh olan enerji kullanımının 828 kW'lık kısmı güneş enerjisinden sağlanan tasarruftur. Bu sebeple, yıllık kullanılan enerji miktarı 6372 kWh olup, bu enerjinin yıllık maliyeti ise 2255,6 TL olarak tespit edilmiştir. Şekil 7'de, ısıtma-soğutma ve sıcak su eldesi sisteminin geri ödeme süresi grafiği gösterilmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, kombi ve klima kullanılan bir evin ısıtma ve soğutma için yaptığı harcama ile yeşil evde kullanılan ısı pompası ve güneş kolektörü sisteminin harcaması karşılaştırıldığında, ısı pompası ve güneş kolektörü sisteminin geri ödeme süresi 8,19 yıl olarak belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak bir yeşil ev uygulaması analiz edilmiştir. Yeşil evde; elektrik için fotovoltaik güneş panellerinden, ısıtma ve soğutma için ısı pompası ve güneş kolektörü desteğinden, kullanım suyu için ise yağmur suyu depolama sisteminden faydalanılmıştır. Elektrik eldesinde kullanılan sistemin şebekeye bağlı olup olmaması durumuna maliyet analizi ile karar verilmiştir. Şebekeden bağımsız sistemin ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, sistemin geri ödeme süresini uzatmıştır. Ayrıca sistemde akü ve şarj regülatörü gibi elemanların yer alması, hem sistemi daha karmaşık hale getirmekte hem de fazladan alan ihtiyacı doğurmaktadır. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin maliyetinin daha düşük olması sebebiyle geri ödeme süresi ise oldukça kısadır. Bu sebeple, yeşil evde şebekeye bağlı fotovoltaik sistem kullanılması uygun bulunmuştur. Isı pompası ve güneş kolektörü destekli ısıtma ve soğutma sisteminin geri ödeme süresi ise literatürde yer alan çalışmalarla benzerlik göstermekte olup, makul bir seviyededir. Belirtilen tasarım kriterleri doğrultusunda yapılan hesaplamalar neticesinde, yeşil evin toplam kurulum maliyeti ise 75920 TL olarak tespit edilmiştir. Bu maliyet, yapılan tasarımın doğru ve yeşil evin kurulumunun uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Türkiye'de yeşil binalar; üniversitelerin araştırma merkezlerinin kurduğu evler, holding binaları, alışveriş merkezleri veya özel kuruluşlarda görülmektedir. Bu durum, yeşil binaların sayıca çok az olduğunu ve spesifik bazı binalarla sınırlı kaldığını göstermektedir. Lüks ve modern site tipi konut komplekslerinde kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarının daha küçük ölçekli bina ve evlere de yayılabilmesi için devlet teşvikli yapılması uygun olacaktır. Yenilenebilir enerji sistem-

lerinin satışı esnasında alınan vergilerde indirim uygulanması maliyetleri olumlu yönde etkileyecektir. Kentsel dönüşümü yapılan binalarda ve devletin yaptığı toplu konut projelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi gereklidir.

Eski tip ve çok enerji sarf eden elektrikli ev aletlerinin geri dönüşüme sokulması gerekmektedir. Bu aletler, yeni teknolojiye sahip yüksek enerji sınıfındaki enerji verimliliğine sahip olanlar ile değiştirilmelidir. Bu durumu teşvik edici düzenlemelerin hayata geçirilmesi önem arz etmektedir.

Bina yapımı esnasında kullanılan malzemelerin doğa dostu ve geri dönüştürülebilir malzemelerden olması sağlanmalıdır. Bir dönem ısı yalıtım malzemesi olarak sıklıkla kullanılan ve kanserojen olduğu ortaya çıkınca Türkiye'de ve neredeyse tüm dünyada kullanımı yasaklanan asbest gibi malzemelerin kullanılmasına engel olunmalıdır. Bu gibi maddelerin kullanıldıktan sonra temizlenmesinin ve imha edilmesinin ne kadar zor olduğu unutulmamalıdır.

Türkiye'nin enerji konusunda dışa bağımlı olması nedeniyle ekonomik anlamda dönem dönem sıkıntı yaşamakta olduğu bilinmektedir. Ülkemizde bulunan fosil yakıtların yetersizliğinin enerji üretimi noktasında yarattığı sıkıntıyı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ile atlatılabileceği bilinmektedir. Bu alanda yapılacak her çalışma, ülke ekonomisine katkı sağlayacağı gibi, kişilerin refah ve gelir seviyelerinde de doğrudan iyileşmeye neden olacaktır. Evlerde kullanılan enerjinin mümkün olduğu kadar yenilenebilir sistemlerden karşılanması ile ortaya çıkan büyük maliyetlerden kurtulması mümkün olabilir. Bu durumun yanı sıra, çevre dostu, kirletici özelliği bulunmayan ve gelecek nesillerin daha güzel bir dünyada yaşamasına olanak sağlayabilecek enerji kaynakları ile insanların yaşam kalitesinin korunması sağlanabilecektir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin ve potansiyeli yüksek bir ülke olması, bu alanda daha çok gelişmeye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Ülkemizde bulunan yaklaşık 7 milyon konutun enerji verimliliği koşullarına uygun olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanması ile ülkemizde doğa dostu, ekonomik ve kaliteli enerji kullanılacak ve enerji ile alakalı mevcut problemler ortadan kalkacaktır.

#### SEMBOLLER

|                  |  |
|------------------|--|
| U                | Yapı bileşeninin toplam ısı geçiş katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) |
| 1/α <sub>i</sub> | İç yüzey ısı taşınım direnci (m <sup>2</sup> K/W)                |
| d <sub>n</sub>   | Yapı bileşeninin kalınlığı (m)                                   |
| λ <sub>n</sub>   | Isı iletim katsayısı (W/mK)                                      |
| 1/α <sub>d</sub> | Dış yüzey ısı taşınım direnci (m <sup>2</sup> K/W)               |
| q <sub>o</sub>   | Zamsız ısı kaybı miktarı (W)                                     |
| A                | Toplam alan (m <sup>2</sup> )                                    |

|                 |   |
|-----------------|---|
| $\Delta T$      | Sıcaklık farkı (°C)   |
| $a$             | Birim aralık sızdırganlığı (m <sup>3</sup> /mh)                                   |
| $l$             | Sızıntı aralık çevre uzunluğu (m)   |
| $R$             | Oda özelliği  |
| $Z_e$           | Köşe artırım katsayısı  |
| $H$             | Yapının ısı özelliği (Wh/ m <sup>3</sup> K)                                       |
| $q_s$           | Hava sızıntısı ısı kaybı (W)  |
| $q_i$           | İletim ve taşınım ile olan ısı kaybı (W)  |
| $q_h$           | Toplam ısı kaybı (W)  |
| $A_R/A$         | Pencerenin radyasyon geçirme oranı (W/m <sup>2</sup> )                            |
| $q_G$           | Düzeltilme ve gölgeleme faktörü   |
| $K$             | Pencerenin, duvar veya çatının toplam ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) |
| $T_d$           | Dış ortam sıcaklığı (°C)  |
| $T_i$           | İç sıcaklık (°C)  |
| $\Delta T_{es}$ | Eşdeğer sıcaklık farkı (°C)   |
| $T_K$           | Komşu hacmin sıcaklığı (°C)   |
| $T_d$           | Minimum toprak sıcaklığı (°C)   |
| $T_y$           | Maksimum toprak sıcaklığı (°C)  |
| $R_p$           | Boru ısı direnci (m°C/W)  |
| $R_s$           | Toprak ısı direnci (m°C/W)  |
| $F_H$           | Isıtma çalışma faktörü  |
| $F_C$           | Soğutma çalışma faktörü   |
| $F_{EWT, max}$  | Cihaza giren maksimum tasarım su-antifriz sıcaklığı °C                            |
| $F_{EWT, min}$  | Cihaza giren minimum tasarım su-antifriz sıcaklığı °C                             |
| $COP_H/COP_C$   | Kapasite katsayısı  |
| $L_H$           | Isıtma için gereken ısı değiştiricisi uzunluğu (m)                                |
| $L_C$           | Soğutma için gereken ısı değiştiricisi uzunluğu (m)                               |
| $V_N$           | Genleşme tankı anma hacmi (lt)  |
| $V_Z$           | Sistem ısındığında hacmin artması (lt)  |
| $V_V$           | Emniyet akışkanı (Tyfocor) hacmi (lt)   |
| $P_e$           | Maksimum çalışma basıncı (bar)  |
| $P_{si}$        | Emniyet ventili tahliye basıncı = 3 bar   |
| $P_{st}$        | Azot ön basıncı = 1,5 bar   |

## KAYNAKÇA

1. **Yıldırım, U., Güngör, A.** 2011. "Yeşil Evler ve Türkiye'deki Uygulamaları," TMMOB Makina Mühendisleri Odası 5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, yayın no: E/2011/562, Ankara, s. 66-67.
2. **Erten, D.** 2011. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). Yeşil Binalar, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-V, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, s. 5-16.
3. **Mazlum, H., Üçgül, İ., Acar, M.** 2011. "Sıfır Enerji Evi Tasarım Esasları ve Örnek Uygulamalar," TMMOB Makina Mühendisleri Odası 5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, yayın no: E/2011/562, Ankara, s. 74-80.
4. <http://www.eseryesilbina.com/>, son erişim tarihi: 12.06.2015.
5. <http://www.gunesevi.org/>, son erişim tarihi: 12.05.2014.
6. **Saitoh, T. S., Fujino, T.** 2000. "Advanced Energy-Efficient House (Harbeman House) with Solar Thermal, Photovoltaic, and Sky Radiation Energies (Experimental Results)," Solar Energy, vol. 70, issue 1.
7. **Galloway, T.** 2011. Tasarımcılar için Güneş Evi, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, yayın no: EG/2011/1, Ankara, s. 19-160.
8. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. 2015. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, son erişim tarihi: 13.11.2014.
9. <http://www.bilgiustam.com/gunes-enerjisinden-nasil-elektirik-elde-edilir/>, son erişim tarihi: 10.11.2014.
10. <http://www.shunttech.com/fotovoltaik-sistem-nedir/>, son erişim tarihi: 13.11.2015.
11. **Genceli, O., Parmaksızoğlu, C.** 2008. Kalorifer Tesisatı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, yayın no: MMO/352/5, İstanbul, s. 15-261.
12. **Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N.** 2012. İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları, Dora Yayınları, Bursa, s. 81-288.
13. **Yoldaş, T., Durmaz, Ş.** 2007. "Isı Pompası Sistemleri ve Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompasının Bir Villaya Uygulanması," <http://3denerji.com/villalarda-isi-pompasi-sistemleri-2/>, son erişim tarihi: 25.03.2015
14. Viessmann. 2005. Vitocal 300/350, Teknik Bilgi Föyü, Viessmann Isı Teknikleri Ticaret A.Ş.
15. [http://www.yerdenisitma.com/sulu\\_yerdenisitma.html](http://www.yerdenisitma.com/sulu_yerdenisitma.html), son erişim tarihi: 25.03.2015.
16. **Doğan, A. R.** 2012. "Güneş Enerjisi Destekli Alternatif Isıtma Sistemlerinin Enerji ve Ekonomi Yönünden Karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
17. **Ceylan, T.** 2010. "İki Katlı Bir Binanın, Güneş Enerjisi Destekli Hava Kaynaklı Isı Pompasıyla Isıtılması ve Sıcak Su El-desinin Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
18. **Kantaroglu, Ö.** 2009. "Yağmur Suyu Hasadı Plan ve Hesaplama Prensipleri," TMMOB Makina Mühendisleri Odası IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 6-9 Mayıs 2009, İzmir, s. 1147-1151.
19. **Öztürk, M., Bozkurt, Ç. B., Özek, N.** 2012. "Evsel Fotovoltaik Sistemlerin Ömür Boyu Maliyet Analizi," Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 18, sayı 1, s. 1-11.