

Deniz Suyu Kaynaklı Isı Pompası ile Sıhhi Sıcak Su Temini Uygulamasında Solar Fotovoltaik Desteğinin İncelenmesi

Investigation of Solar Photovoltaic Support in Sanitary Hot Water Supply Application with Sea Water Source Heat Pump

Gülsüm Çengel¹, Adile Şenel¹, Sezgi Koçak Soylu², İbrahim Atmaca¹



¹Makine Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

²Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya Bilim Üniversitesi, Antalya, Türkiye

guulsumcengel@gmail.com, seneladile@gmail.com, sezgi.kocak@antalya.edu.tr,
atmaca@akdeniz.edu.tr

Öz

Bu çalışmada ilk olarak Antalya ili Belek ilçesine inşa edilmesi düşünülen otelin, sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması için bir ısı pompası tasarlanmıştır. İkinci olarak ise tasarlanan ısı pompasının elektrik tüketimi için solar fotovoltaik desteği incelenmiştir. Otelin sıcak su ihtiyacı 27.930 L/gün, boiler kapasitesi ise 9 m³ olarak belirlenmiştir.

Solar fotovoltaik desteği incelenirken, güneş panellerinin 36° eğimli ve yatay olarak yerleştirildiği iki farklı durum için fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. Güneş ışınımı, pik saat ve sistem kayıpları hesaplanmıştır. Otel çatısına 36° eğim ile yerleştirilen tasarımda, 950 adet fotovoltaik panel yerleşimi yapılarak yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 394.865,9 kWh/yıl olabileceği ve otelin ısı pompası elektrik tüketiminin %92,8'ini karşılayabileceği tespit edilmiştir. Diğer tasarımda ise 1805 adet fotovoltaik panel yerleşimi yapılarak yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 696.912,7 kWh/yıl olabileceği ve bu sefer elektrik tüketiminin tamamını karşılayabileceği tespit edilmiştir. Her iki sistem için de amortisman süresi yaklaşık 8 yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Isı pompası, boiler, pompa, güneş enerjisi, fotovoltaik.

Abstract

In this study, a heat pump was designed to meet the hot water needs of the hotel, which was originally intended to be built in Belek district of Antalya province. Secondly, solar photovoltaic support for electricity consumption of the designed heat pump was examined. Hot water requirement of the hotel is calculated as 27.930 L/day and the capacity of the boiler is determined as 9 m³.

While examining solar photovoltaic support, photovoltaic system design was made for two different situations in which solar panels were placed horizontally and inclined to 36°. Solar radiation, peak time and system losses were calculated. With the design placed on the roof of the hotel with a slope of 36°, it was determined that annual electricity generation could be approximately 394,865.9 kWh/year by installing 950 photovoltaic panels and this production could cover 92.8% of the hotel's heat pump electricity consumption. In the other design, it was determined that the annual electricity production could be approximately 696.912.7 kWh/year and this time it could meet the full electricity consumption by 1805 photovoltaic panels. The depreciation period for both systems is calculated as approximately 8 years.

Key Words: Heat pump, boiler, pump, solar energy, photovoltaic.

1. Giriş

Isı pompası sistemleri hem çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalar hem de konutlarda farklı kaynaklardan ısı geri kazanımı için ekonomik alternatifler sunar. Enerji maliyeti yükselmeye devam ettikçe, enerji tasarrufu sağlamak ve genel enerji verimliliğini artırmak zorunlu hale gelmektedir. Bu doğrultuda, ısı pompası, enerji tasarrufu için büyük potansiyeli olan bir enerji geri kazanım sisteminde kilit bir bileşendir [1]. Isı pompaları elektrikli ısıtmaya nazaran, ısı alınan kaynak tipine bağlı olarak 2 ile 6 kat daha avantajlı olmaları, çevre kirliliğine neden olmamaları, ihtiyaca bağlı olarak istenildiğinde hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılabilmesi sayesinde ilgi çekmektedir. Isı pompaları ilk yatırım maliyetleri açısından diğer ısıtma sistemlerinden daha pahalı olsa da uzun vadeli kullanımlarda daha avantajlıdır [2]. Isı pompaları bir mahalın ısıtılması ve soğutulmasında, sıcak su ihtiyacının karşılanmasında, yerden ısıtma sistemlerinde, havuz ısıtılmasında kullanılabilir. Endüstriyel uygulamalarda ise çeşitli kurutma, buharlaştırma, damıtma işlemlerinde ve gıda endüstrisinde tercih edilebilmektedir. Isı pompası sistemlerinde evaporatörün ısı çektiği ortam kaynak olarak adlandırılır. Isı pompaları hava, su, toprak ve güneş enerjisi olmak üzere faydalandıkları kaynağa göre 4 gruba ayrılabilirler [3]. Bu çalışmada söz konusu otelin sıcak su ihtiyacının karşılanması için su kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır.

Diğer yandan enerji kaynaklarının tükenmesi, fosil yakıtlarının çevreyi kirlenmesi ve elektrik fiyatlarındaki artış nedeniyle, ilgili araştırmalar çevreye zararı olmayan yeni enerji kaynaklarının kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Güneş, diğer alternatif enerji kaynakları arasında bir adım öne çıkmaktadır. Bunun nedeni, güneşin yapısı itibarıyla sınırsız ve kullanımı ile çevreye zarar vermeyen bir enerji kaynağı olmasıdır [4]. Ülkemizin coğrafi konumu sayesinde sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli, Türkiye'nin birçok ülkeye göre çok daha avantajlı olmasını sağlar. Ancak, Türkiye'nin güneş kuşağı içinde yer almasına rağmen, güneş enerjisi eldesi ve kullanımı öngörülenden çok daha azdır. Bu nedenle, yakın gelecekte enerji gereksinimlerinin karşılanmasında, yenilenebilir enerjiler bünyesinde yer alan güneş enerjisinin de önemli bir çözüm alternatifi olarak etkili ve sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilmesi gerekmektedir [5].

Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı güneş kolektörü vasıtasıyla sıcak su eldesi olsa da elektrik üretimi, mahal ısıtma ve hatta sebze, meyvelerin kurutulmasında dahi güneş enerjisi kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden temel olarak ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. İlk olarak güneş enerjisi güneş kolektörleri vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürülür ve bu enerji ile binalarda, endüstriyel işletmelerde, seralarda ısıtma ve sıcak su eldesi uygulamaları gerçekleştirilir. Fotovoltaik sistemlerde ise güneş enerjisi fotovoltaik paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür ve bir yandan elektrik ihtiyacı karşılanırken bir yandan da küresel olarak iklim değişikliğine sebep olunmaz, doğaya zarar verilmesi önlenir.

2. Isı Pompası Sistem Tasarımı

Çalışmanın bu kısmında Antalya Belek'e inşa edileceği düşünülen bir otelin sıcak su ihtiyacını karşılamaya yönelik su kaynaklı ısı pompası sistem tasarımı yapılmıştır. İnşa edilecek otel için sistemde istenen su sıcaklığı 45°C'dir. Otelin sıcak su ihtiyacının bulunması için armatür sayıları bulunmuş, her bir armatür çeşidine karşılık harcanan su miktarları ve toplam su ihtiyacı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Otelin günlük su ihtiyacı

Armatürler	Armatür Sayısı	Harcanan Su (L/gün)	Toplam (L/gün)
Duş	400	50	20000
Ortak Duş	15	50	750
Lavabo	400	5	2000
Ortak Lavabo	50	15	750
Büyük Bulaşık M.	3	850	2550
Bulaşık Makinesi	3	60	180
Tek Gözlü Eviye	6	50	300
Çift Gözlü Eviye	10	100	1000
Çamaşır Makinesi	5	80	400

Otelin günlük su ihtiyacı toplam 27930 L/gün olarak tespit edilmiştir. Fakat ihtiyaç duyulan suyun hepsi bir anda kullanılmayacağından kullanım faktörü 0,75 ile çarpılırsa;

$$27930 \times 0,75 = 20947 \text{ L/gün} = 20,947 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olarak su ihtiyacı belirlenmiştir. Isı pompası sistem tasarımı hesabında kullanılan eşitlikler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Isı pompası sistem tasarımı hesabında kullanılan eşitlikler [6]

Açıklama	Eşitlik
Gerekli Olan Su Debisi	$m = m_1 + m_2$
Depolanan Su Debisi	$m_2 = \frac{V_{depo}}{d}$
Isı Pompası Kapasitesi	$Q_{IP} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$
Kompresör Gücü	$Q_{KOMP} = \frac{Q_{IP}}{COP}$
Pompa Debisi	$Q = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$
Dalgıç Pompa Debisi	$\frac{Q_{IP}}{COP} + Q_{IP} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t$

1.1 Isı Pompası ve Boyler Hesabı

Otelin mekanik odasındaki yer göz önünde bulundurmuş ve ihtiyaç duyulan suyun yaklaşık yarısının depolanması uygun görüldüğünden her biri 5 kW güçte ısıtıcı 3 m³'lük 3 adet boyler öngörülmüştür. Depo hacmi $V_{depo} = 9 \text{ m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Günlük ihtiyaç duyulan su miktarının 3 saatte ısıtılması beklenmektedir. Dolayısıyla gerekli olan su debisi yaklaşık $m = 7 \text{ m}^3/\text{h}$ ve depolanan su miktarı $m_2 = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre;

$$m = m_1 + m_2 \quad 7 = m_1 + 3$$

Saatte ısıtılması gereken su debisi $m_1 = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak hesaplanmıştır. Isı pompası kapasitesi hesabında sıcaklık farkı alınırken sistemde istenilen sıcaklık ve en düşük şebeke suyu sıcaklığı göz önünde bulundurulmuştur.

$$Q_{IP} = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (45 - 15)$$

$Q_{IP} \cong 140 \text{ kW}$ olarak bulunmuş ve her biri 36 kW kapasitede COP'si 5 olan 4 adet ısı pompası uygun görülmüştür. Isı pompasının kompresör gücü;

$$Q_{komp} = \frac{Q_{IP}}{COP} = \frac{36 \times 4}{5}$$

$$Q_{komp} = 28,8 \text{ kW} \cong 29 \text{ kW} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

2.2. Diğer Pompa Hesapları

Diğer pompa debi ve güçleri Tablo 2'de verilen eşitlikler ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Pompaların debi, basma yüksekliği ve güçleri

Diğer Pompalar	Debi (m ³ /h)	Basma Yüksekliği (mSS)	Güç (kW)
Dalgıç Pompa	30	34	6
Pompa (eşanjörden ısı pompasına basan)	25	15	2
Pompa (ısı pompasından boylere basan)	25	12	2

3. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Fotovoltaik sistem Antalya Belek'e inşa edileceği düşünülen otel çatısına kurulacaktır. Kuzey yarım kürede güneş panelleri belirli bir eğim açısı ile tam güneye bakacak şekilde yerleştirilmektedir.

Seçilen eğim açısı güneş panellerinin performansını oldukça etkilemektedir. Kış aylarında kolektörün optimum eğim açısı yaklaşık olarak enlem +15° iken, yaz aylarında ise güneş ışınlarının daha dik gelişinden dolayı enlem -15° olarak alınabilir. Eğer sistem tüm yıl boyunca kullanılacaksa eğim açısı o yerin enlemi olarak alınmalıdır. Bu çalışmada otel çatısının en verimli şekilde kullanılması ve ısı pompası elektrik tüketiminin en iyi şekilde karşılanabilmesi için iki farklı fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. Tüm yıl elektrik tüketimi istendiği için eğim açısı 36° olarak alınmalıdır. Ancak 36° eğim açısında yatay yerleşime göre gölgelemeden kaynaklı olarak iki panel arasında oldukça fazla boşluk bırakılması gerekmektedir. Bu nedenle ilk sistemde optimum açı olarak belirtilen 36°, ikinci sistemde ise gölgeleme etkilerini en aza indirmek adına 0° ile güneş paneli yerleşimi yapılarak sonuçlar incelenmiştir [7].

3.1 Fotovoltaik Sistem için Güneş Işınımı Hesabı

Belek için rakım ve enlem değerleri sırasıyla 9 m ve 36,51° dir. Otel üzerine iki farklı fotovoltaik sistem tasarlandığı için ışınım değerleri atmosfer dışından başlanarak yatay yüzeye gelen (0°) ve 36° eğimli yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam olarak hesaplanmıştır. Işınım hesabında kullanılan eşitlikler ve açıklamaları Tablo 4'te verilmiştir. Fotovoltaik sistem için hesaplanan ışınım değerleri tüm yıl için Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Güneş ışınımı hesabında kullanılan temel eşitlikler [8]

Açıklama	Eşitlik
Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Günlük Güneş Işınımı (H ₀)	$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] x \left[\cos\theta \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\theta \sin\delta \right]$
Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı Hesabı	$\frac{H}{H_0} = \left(a + b \frac{n}{N} \right)$ a= 0.103 + 0.000017Z + 0.198cos(θ - δ) b= 0.533-0.165cos(θ - δ)
Eğik Düzleme Düşen Aylık Ortalama Günlük Toplam Işınım (H _T)	$H_T = H \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) \frac{1}{R_b} + H_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + H\rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$

Tablo 5. Antalya Belek için aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı

Ay	H (Wh/m ²)	H _T (36°) (Wh/m ²)	$\bar{R} = H_T / H$
Ocak	2111	3105	1,47
Şubat	2880	3761	1,30
Mart	3885	4447	1,14
Nisan	5098	5110	1,00
Mayıs	6292	5694	0,90
Haziran	6959	5977	0,85
Temmuz	6973	6118	0,87
Ağustos	6415	6192	0,96
Eylül	5171	5773	1,11
Ekim	3722	4857	1,30
Kasım	2694	4056	1,50
Aralık	1994	3068	1,53

$\bar{R} = H_T / H$; Eğik düzleme (36°) düşen aylık ortalama günlük toplam ışınımın, yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınımına oranını göstermektedir. Seçilen 36° lik eğim açısında ocak, şubat, mart, eylül, ekim, kasım, aralık aylarında güneş panelleri yatay düzleme gelen ışınımdan daha çok ışınım almaktadır.

3.2 Aylara Göre Elektrik Tüketimi Hesabı

Otel ısı pompası ekipmanları; bir adet 29 kW kompresör, üç adet 5 kW elektrik ısıtıcı boyler, bir adet 6 kW dalgıç pompa, bir adet 2 kW pompa (eşanjörden ısı pompasına basan), bir adet 2 kW pompa (ısı pompasından boylere basan) olarak sıralanabilir. Isı pompası ekipmanlarının günlük çalışma saati, gücü ve aydaki çalıştığı gün sayısından yararlanılarak elektrik tüketimi hesaplanmış, mayıs ayı için Tablo 6 ve tüm yıl için Tablo 7'de verilmiştir.

3.3 Güneş Paneli Seçimi

Günümüzde panel verimi ve fiyatı açısından en yaygın olarak kullanılan panel gücü aralığı 300-315 W dır. Panel gücü artıkça verimdeki artışa karşılık panelin fiyatı da artmaktadır. Bu nedenle panel gücü ve fiyatlar karşılaştırılarak 310 W güce , %18,94 verime ve 1,6368 m² alana sahip monokristal güneş panelleri tercih edilmiştir.

Bu çalışmada iki farklı fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. İki tasarımda da aynı özelliklere sahip güneş panelleri ve inverterler kullanılmıştır.

1. *Tasarım*; Güneş panelleri 36° eğimli yerleştirilmiştir.
2. *Tasarım*; Güneş panelleri yatay olarak yerleştirilmiştir.

Tablo 6. Mayıs ayı için elektrik tüketimi

Cihazlar	Güç (kW)	Günlük çalışma saati (h)	Aydaki çalıştığı gün sayısı (gün)	Tüketim (kWh/ay)
Kompresör	29	22	31	19778
Elektrik ısıtıcı boyler	15	22	31	10230
Dalgıç pompa	6	22	31	4092
Pompa (Eşanjörden ısı pompasına basan)	2	22	31	1364
Pompa (Isı pompasından boylere basan)	2	22	31	1364
Toplam tüketim (kWh/ay)				36828

Tablo 7. Aylara göre toplam elektrik tüketimi

Aylar	Tüketim (kWh/ay)
Ocak	36828
Şubat	33264
Mart	36828
Nisan	35640
Mayıs	36828
Haziran	35640
Temmuz	36828
Ağustos	36828
Eylül	35640
Ekim	36828
Kasım	35640
Aralık	36828

3.3.1. Güneş Panellerinin 36° Eğimli Yerleştirildiği Sistemle Üretilen Elektrik Enerjisi

Otel çatı alanı 5000 m² dir. Bu sistemde güneş panelleri 36° eğimle güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. 36° eğim açısında iki sıra arasında 3,62 m mesafe bırakılması gerektiği 1 ve 2 numaralı eşitliklerle hesaplanmıştır. b panel boyu seçilen panel için 1,65 m dir. Her iki panel arasına montaj için 2 cm ve her iki sıra arasında 3,62 m gölgeleme için boşluk bırakıldığında otel üzerine 950 adet panel yerleştirilebileceği bulunmuştur. Bu paneller çatı üzerinde toplam 1258 m² yer kaplamaktadır.

$$F = D/b \quad (1)$$

$$D = a + b x \cos \alpha \quad (2)$$

Pik Saat

Panel üzerine düşen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımına göre pik saat aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$Pik\ Saat = \frac{Radyasyon \left(\frac{kWh}{m^2\ g\ un} \right)}{1\ kW/m^2} \quad (3)$$

36° eğimli yüzey için aylık pik saat değerleri hesaplanarak Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Aylara göre pik saat değerleri

Ay	Pik saat (h)
Ocak	3,105
Şubat	3,761
Mart	4,447
Nisan	5,110
Mayıs	5,694
Haziran	5,977
Temmuz	6,118
Ağustos	6,192
Eylül	5,773
Ekim	4,857
Kasım	4,056
Aralık	3,068

Bir panelin alanı = 1,650 × 0,992 = 1,6368 m² dir. Otel üzerine yerleştirilen 950 adet güneş panelinin toplam alanı yaklaşık 1555 m² dir. Bu fotovoltaik sistem için doğru akım çıkış gücü 295 kW olarak 4 numaralı eşitlikten hesaplanmıştır.

$$P_{dc} = \text{Güneş radyasyonu} \times \text{Toplam PV Alanı} \times \text{PV Verim} \quad (4)$$

$$P_{dc} = 295\ kW$$

Fotovoltaik sistem için %99 verime, 10 kW güce sahip toplam 32 adet inverter seçimi yapılmıştır. Fotovoltaik sistemin ürettiği enerji birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; sistemin coğrafi konumu, fotovoltaik sistem etrafındaki yapılar, uyumsuzluk, spektrum, inverter, kablo kayıpları olarak sıralanabilir. Ancak her sistemde bu kayıplar aynı olmayacaktır. Bu sistem için toplam kayıp %23,8 , inverter verimi %99 ve P_{dc} yardımıyla P_{ac} = 223 kW olarak bulunmuştur. [9]

$$P_{ac} = P_{dc} \times \text{İnverter verimi} \times (1 - \text{kayıplar}) \quad (5)$$

Aylık Elektrik Enerjisi Üretimi

Tasarlanan fotovoltaik sistem yardımıyla aylık üretilen elektrik enerjisi tüm yıl için hesaplanarak Tablo 9’da verilmiştir.

Yıllık toplam 394865,9 kWh/yıl elektrik enerjisi üretimi yapılabileceği bulunmuştur.

Tablo 9. Aylara göre aylık toplam elektrik enerjisi üretimi kWh/ay

Aylar	Elektrik üretimi (kWh/ay)
Ocak	21464,87
Şubat	23483,68
Mart	30742,11
Nisan	34185,9
Mayıs	39362,62
Haziran	39986,13
Temmuz	42293,73
Ağustos	42805,3
Eylül	38621,37
Ekim	33576,44
Kasım	27134,64
Aralık	21209,08
Yıllık toplam elektrik üretimi	394865,9 (kWh/yıl)

Fotovoltaik Sistem Amortisman Süresi Hesabı

Amortisman süresi aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanabilir;

$$Amortisman\ Süresi = \frac{Toplam\ maliyet}{Gelir - Gider} \quad (6)$$

Otel yıllık 394865,9 kWh elektriği şebekeden almayı kendi üreteceği için yıllık 394865,9 x 0,715 = 282329 TL gelir elde edilmesi beklenmektedir.

Fotovoltaik sistem ekipmanları ve fiyatları Tablo 10’da verilmiştir. Böyle bir sistemin toplam maliyeti 1.982.670 TL dir.

Tablo 10. Fotovoltaik sistem maliyeti

Ekipmanlar	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Fotovoltaik panel	950	1.131	1.074.450
İnverter	32	17.210	550.720
Diğer (kablo, inşaat, kurulum, işçilik)			357.500
TOPLAM			1.982.670

$$Amortisman\ süresi = (1.982.670\ TL)/(282.329 - 20.000)$$

Amortisman süresi = 7,56 yıl ≈ 8 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bu sistem için öngörülemez giderler 20.000 TL olarak alınarak fotovoltaik sistem amortisman süresi yaklaşık 8 yıl olarak bulunmuştur. Otel ısı pompası elektrik tüketimi yıllık 433.620 kWh, fotovoltaik sistem tarafından üretilmesi beklenen elektrik ise yıllık 394.865,9 kWh olduğu için fotovoltaik sistemin ısı pompası elektrik tüketiminin %91.06'sını karşılayabileceği bulunmuştur.

3.3.2. Güneş Panellerinin Yatay Olarak Yerleştirildiği Sistemle Üretilen Elektrik Enerjisi

Bu sistemde de birinci sistemle aynı güneş panelleri tercih edilmiştir. Birinci sistemden farklı güneş panellerinin yatay olarak konumlandırılmış olmasıdır. İlk olarak güneş panellerinin yerleşimi yapılarak panel sayısı ve toplam panel alanı hesaplanmıştır. Yatay şekilde yerleşimi yapılan güneş panellerinin aralarına montaj için 2 cm boşluk bırakılmıştır. Her sıradan sonra panellere kolay ulaşabilmek için 80 cm boşluk bırakılmıştır. Bir panelin alanı = $1,650 \times 0,992 = 1,6368 \text{ m}^2$ dir. Otel üzerine 1805 adet panel yerleştirilmiştir.

Yatay yüzey için aylık pik saat hesabı 3 numaralı eşitlik ile hesaplanıp Tablo 11'de verilmiştir.

Bir güneş panelinin alanının $1,6368 \text{ m}^2$ olduğu bilinmektedir. Otel üzerine yerleştirilen 1805 adet güneş panelinin toplam alanı 2954 m^2 dir. Toplam panel alanı, panel verimi ve güneş radyasyonu ile fotovoltaik sistem için $P_{dc} = 560 \text{ kW}$ olarak 4 numaralı eşitlikten hesaplanmıştır.

Fotovoltaik sistem için %99 verime, 10 kW güce sahip toplam 58 adet inverter seçimi yapılmıştır. Fotovoltaik sistem için toplam kayıp %23,8, inverter verimi %99 ve P_{dc} yardımıyla 5 numaralı eşitlikten $P_{ac} = 422 \text{ kW}$ olarak bulunmuştur.

Tablo 11. Aylara göre pik saat

Ay	Pik saat (h)
Ocak	2,111
Şubat	2,880
Mart	3,885
Nisan	5,098
Mayıs	6,292
Haziran	6,959
Temmuz	6,973
Ağustos	6,415
Eylül	5,171
Ekim	3,722
Kasım	2,694
Aralık	1,994

Aylık Elektrik Enerjisi Üretimi

Tasarlanan fotovoltaik sistem yardımıyla aylık üretilen elektrik enerjisi tüm yıl için hesaplanarak Tablo 12'de verilmiştir. Yıllık toplam $696912,7 \text{ kWh/yıl}$ elektrik enerjisi üretimi yapılabileceği bulunmuştur.

Tablo 12. Aylara göre aylık toplam elektrik üretimi kWh/ay

Aylar	Elektrik üretimi (kWh/ay)
Ocak	27616,1
Şubat	34030,08
Mart	50823,57
Nisan	64540,68
Mayıs	82311,94
Haziran	88100,94
Temmuz	91220,79
Ağustos	83921,03
Eylül	65464,86
Ekim	48691,2
Kasım	34106,04
Aralık	26085,51
Yıllık toplam elektrik üretimi	696912,7 (kWh/yıl)

Fotovoltaik Sistem Amortisman Süresi Hesabı

Tasarlanan fotovoltaik sistemle yapılması beklenen elektrik üretimi tüm yıl için hesaplanmıştır. Otel yıllık $696912,7 \text{ kWh}$ elektriği şebekeden almayı kendi üreteceği için yıllık $696912,7 \times 0,715 = 498292,6 \text{ TL}$ gelir elde edilmesi beklenmektedir.

Fotovoltaik sistem ekipmanları ve fiyatları Tablo 13'de verilmiştir. Fotovoltaik sistemin toplam maliyeti $3.709.635 \text{ TL}$ dir.

Tablo 13. Fotovoltaik sistem maliyeti

Ekipmanlar	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Fotovoltaik panel	1805	1.131	2.041.455
İnverter	58	17.210	998.180
Diğer (kablo, kontstrüksiyon, kurulum, işçilik)			670.000
TOPLAM			3.709.635

$$\text{Amortisman süresi} = (3.709.635 \text{ TL}) / (498.292,6 - 30000)$$

$$\text{Amortisman süresi} = 7,92 \text{ yıl} \approx 8 \text{ yıl olarak hesaplanmıştır.}$$

Fotovoltaik sistem amortisman süresi yaklaşık 8 yıl olarak bulunmuştur. Otel ısı pompası elektrik tüketimi yıllık 433.620 kWh, fotovoltaik sistem tarafından üretilmesi beklenen elektrik ise yıllık 696912,7 kWh/yıl dir. Fotovoltaikler yatay olarak yerleştirildiğinde otel ısı pompası elektrik tüketiminin tamamı fotovoltaik sistem tarafından karşılanabileceği bulunmuştur. Üretilen fazla elektrik otelin diğer elektrik tüketim kalemlerinde kullanılabilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Antalya ili Belek ilçesine inşa edilmesi düşünülen otelin sıcak kullanım suyu ısı pompası ile karşılanması için bir ısı pompası tasarımı yapılmıştır ve tasarlanan ısı pompası elektrik tüketimini karşılayacak şekilde güneş panellerinin 36° eğimli ve yatay olarak yerleştirildiği iki farklı fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında ısı pompası tasarımında otel sıcak su ihtiyacı hesaplanmıştır. Ayrıca ihtiyaç olan suyun depolanması gereken boyler kapasitesi, dalgıç pompa ve gerekli diğer pompaların basma yüksekliği debisi hesaplanıp seçilmiştir. Ve tüm ısı pompası ekipmanlarının güçleri belirtilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Antalya Belek için güneş ışınımı, pik saat ve sistem kayıpları hesaplanmıştır. Her iki fotovoltaik sistem için de kullanılan paneller 310 W gücündedir. Otel çatısına 36° eğim ile yerleştirilen fotovoltaik sistem tasarımında yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 394.865,9 kWh/yıl olabileceği ve otelin ısı pompası elektrik tüketiminin %92,8'ini karşılayabileceği tespit edilmiştir. Otel çatısına yatay yerleştirilen fotovoltaik sistem tasarımında yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 696.912,7 kWh/yıl olabileceği ve otelin ısı pompası elektrik tüketiminin tamamını karşılayabileceği tespit edilmiştir. Her iki sistem için de amortisman süresi yaklaşık 8 yıl olarak hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Chua, K.J., Chou, S.K. and Yang, W.M., "Advances in heat pump systems: A review", Applied Energy, 87: 3611-3624, 2010.
- [2] Bakırcı, K. ve Yüksel, B., "Güneş kaynaklı ısı pompaları" Tesisat Mühendisliği Dergisi, 75, 2003.
- [3] Koçak S., "Hacim Isıtma Amaçlı Güneş Enerjisi Destekli Su Kaynaklı Isı Pompası Çevriminin Teorik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 2012.
- [4] Yaşar A. T., Orhan B., Güngör A., "Aile Tipi Bir Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalı Su Isıtıcısı Sisteminin Tasarımı", 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 06-09 Mayıs 2009.

[5] Kılıç, F. Ç., "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri", Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40, 2015.

[6] Doğan, V., "Isıtma", Kahraman Neşriyat Ofset San, 2010.

[7] İbrahim, D., "Güneş Enerjisi Uygulamaları", Bilişim Yayıncılık, 2006.

[8] Yiğit, A. ve Atmaca, İ., "Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları", Dora, 2018.

[9] Deniz, E. "Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar", 3. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 1-3, 2013.

Semboller

m	Gerekli su debisi [m ³ /h]
m ₁	Isıtılması gereken su debisi [m ³ /h]
m ₂	Depolanması gereken su debisi [m ³ /h]
V _{depo}	Depo hacmi [m ³]
d	Gerekli sıcak suyun hazırlanması için gereken zaman [h]
Q _{IP}	Isı pompası kapasitesi [kW]
Q _{KOMP.}	Kompresör gücü [kW]
V	Pompa debisi [m ³ /h]
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
c _p	Sabit basınçta özgül ısı [kJ/kg.K]
Δt	Sıcaklık farkı
H	Yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınım [W/m ²]
H _d	Yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam difüz ışınım [W/m ²]
H _o	Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı [W/m ²]
H _T	Eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı [W/m ²]
G _{sc}	Güneş sabiti [=1367 W/m ²]
n	Ocak' dan itibaren gün sayısı
n/N	İzafi güneşlenme süresi [h]
Z	Rakım [m]
ρ	Yerin yansıtma oranı
φ	Enlem açısı
ω _s	Güneş batış saat açısı
δ	Deklınasyon açısı
β	Eğim açısı
\bar{R}	Eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınımın, yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınım oranı
F, D	Güneş paneli yerleşiminde geometrik büyüklükler
P _{ac}	Alternatif akım çıkış gücü

Sezgi KOÇAK SOYLU



1985 yılında Ankara'da doğmuştur. 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan ise 2012 ve 2018 yıllarında sırasıyla yüksek lisans ve doktora derecelerini almıştır. 2019 yılından beri Antalya Bilim Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Nanoakışkanların ısı transfer uygulamaları, ısı pompaları, güneş enerjisi, ısı konfor ve enerji verimliliği konularında çalışmalar yapmaktadır.

İbrahim ATMACA



1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atandı, 2014 yılında Doçent, 2020 yılında Profesör oldu. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda ısı konfor ve iç hava kalitesi, nanoakışkanların çeşitli ısı uygulama alanları, binalarda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, termoelektrik soğutuculu damıtma sistemleri, evaporatif soğutma ile iklimlendirme sistem verimlerinin iyileştirilmesi konularında çalışmalar yapmaktadır. Halen Akdeniz Üniversitesinde Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı olarak görevini sürdürmekte ve Makine Mühendisleri Odası Antalya Şube Yönetim Kurulu Başkanlığını yürütmektedir.

Gülsüm ÇENGEL



2018 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisidir.

Adile ŞENEL



1995 yılında Burdur'da doğdu. 2017 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisidir. İlgi alanları soğutma tekniği ve güneş enerjisiyle elektrik üretimidir.