



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

URLA-İZMİR'DE BULUNAN MÜSTAKİL BİR EV İÇİN BÜTÜNLEŞİK HİBRİT SİSTEM ANALİZİ

**CANER ESER
FARUK ÖNER
OĞUZ BAŞOĞLU
LEVENT BİLİR
NURDAN YILDIRIM ÖZCAN
HÜSEYİN GÜNHAN ÖZCAN
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**

URLA-İZMİR'DE BULUNAN MÜSTAKİL BİR EV İÇİN BÜTÜNLEŞİK HİBRİT SİSTEM ANALİZİ

Analysis Of Integrated Hybrid System For A Single Family House In Urla-Izmir

Caner ESER
Faruk ÖNER
Oğuz BAŞOĞLU
Levent BİLİR
Nurdan YILDIRIM ÖZCAN
Hüseyin Günhan ÖZCAN

ÖZET

Günümüzde enerjiye olan talep artan nüfus ve gelişen teknoloji ile giderek artmakta olup, bu enerji talebini karşılamak için çoğunlukla çevresel açıdan zararlı etkileri bulunan fosil yakıtlara yönelim söz konusudur. Bu çalışma ile sürdürülebilir ve çevre dostu olan fotovoltaik paneller, bir rüzgâr türbini ve hava kaynaklı bir ısı pompasından oluşan hibrit sistem aracılığı ile İzmir, Urla'da 3 kişinin yaşadığı, 150 m² alana sahip, iki katlı, müstakil bir evin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amaçlanmaktadır. Kullanılan fotovoltaik panel ve rüzgâr türbini kapasitesi sırasıyla 5.46 kW ve 3 kW'tir. Evin iklimlendirme ihtiyacı TSE2164 ve ASHRAE standartlarına uygun şekilde hesaplanmış, aydınlatma için gerekli elektrik ihtiyacı ise Design Builder ve Energy Plus yazılımı ile hesaplanmıştır. Güneş enerjisi ile ilgili hesaplamalar için MatLab ve PVSol programları, rüzgâr enerjisi hesapları için ise Weibull dağılım fonksiyonu hesaplanarak MatLab programı kullanılmıştır. Güneş ve rüzgâr enerjilerinden bir tanesi yeterli enerjiyi üretmediği zaman açıkta kalan elektrik enerji ihtiyacı diğer kaynaktan sağlanabilir. En kötü senaryoda, elektrik şebekeden satın alınacaktır. Fazla üretim olduğu zaman ise elektrik şebekeye verilecektir. Çalışma sonucunda evin enerji ihtiyacının aylık ve yıllık olarak hibrit sistemden karşılanma oranları ortaya konulmuştur. Sistemin mart ile kasım ayları arasında evin tüm ihtiyacını karşıladığı gibi ihtiyaç fazlası elektrik ürettiği hesaplanmış, aralık ile şubat ayları arasında ise evin ihtiyacına yeterli üretimi gerçekleştirmediği görülmüştür. Yıllık bazda sistem evin ihtiyacının %50.9'u fazla elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Söz konusu bu fazla elektrik şebekeye satılarak finansal getiri elde edilebilecektir. Bu finansal getiri ile sistem kendisini yaklaşık 7 buçuk yılda geri ödeyebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Fotovoltaik Panel, Hibrit Sistem, Isıtma, Soğutma, Havalandırma, İklimlendirme, Isı Pompası, Karşılama Oranı

ABSTRACT

Energy requirement is increasing day by day with especially increasing population, developing industry and technology. In order to meet this increasing demand, fossil fuels, which have environmental effects, are used frequently. In this study, an environmental friendly and sustainable hybrid system, which consists of solar photovoltaic panels, a wind turbine and an air source heat pump, is evaluated for a three people living, two storey detached house with a floor area of 150 m² in Urla, İzmir. The capacities of the PV system and the wind turbine are determined as 5.46 kW and 3 kW, respectively. The aim is to meet the electrical energy demand of the house. Heating and cooling calculations are performed according to TSE2164 and ASHRAE standards and the lighting requirement of the house is determined using Design Builder and Energy Plus softwares. For solar calculations MatLab and PVSol programs and for wind energy calculations MatLab program with Weibull distribution function are used. When one of the used renewable source cannot provide

sufficient energy, the other one will cover the lack and in the worst scenario the necessary electrical energy will be provided from the grid. In the case of surplus energy generation, the unneeded part will be fed to the grid. At the end of the study, monthly and yearly coverage ratio of the house energy demand by the proposed hybrid system are summarized. It is seen that the system will cover all electricity demand between march and november and even it generates a surplus energy. However, the electricity generation is not at a desired level in order to meet the demand of the house between december and february. The hybrid system provide 50.9% surplus electrical energy in yearly basis. This surplus energy can be sold to the grid in order to provide a financial income. The simple payback time of the system is determined as seven and a half years.

Keywords: Solar Energy, Wind Energy, Photovoltaic Panels, Hybrid System, Heating, Cooling, Ventilating, Air Conditioning, Heat Pump, Coverage Ratio

1.GİRİŞ

Küreselleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olarak enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Enerji üretiminde en çok petrol ve kömür kaynaklı fosil yakıtlar kullanılmaktadır [1]. Bu tür yakıtlar çevresel etkilerinden dolayı dünyamızı tehdit eder ve birçok probleme neden olur. Bu nedenle, fosil yakıt kullanan konvansiyonel enerji sistemlerinin yerini alacak alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmak ve kullanmak Dünya açısından çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Bununla beraber yenilenebilir enerjinin, konvansiyonel enerjinin yerini tamamen alamamasına neden olan bazı olumsuz durumları vardır [2]. Bu olumsuz durumlardan biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikliliği ve bu nedenle enerji üretiminin istenildiği şekilde kontrol edilemeyeşidir. Bu olumsuz durum, iki enerji kaynağının bir arada işletildiği, melez (hibrit) enerji sistemlerinin kullanılmasına sebep olur. Melez sistemlerde, yenilenebilir enerji sistemlerinden biri elektrik üretmediği veya az ürettiği zaman diğer enerji sisteminden yararlanarak eksikliğin kapatılması mümkün olabilmektedir. Ayrıca, elektrik bir yerden bir yere transfer edilirken kayıplar meydana gelir [3]. Bu sorunu çözmek için elektrik üretimi, tüketimin olduğu yerlerin yakınında olmalıdır. Bu nedenle evlerin kendi elektriğini üretmeleri kayıpları önlemek için çok önemlidir. Hibrit sistemler kendi elektriğini üreten evler için en uygun yöntemdir. Bu tür hibrit sistemleri inceleyen araştırmaların birçok örneği mevcuttur. Li ve ark. Bina çatılarına kurulabilecek rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin ısı pompası ile birlikte kullanımının temel parametrelerini göstermiştir [4]. Gokcol ve ark. hibrit sistemlerinin performansını ve ekonomik fizibilitesini etkileyen önemli değişkenleri incelemiştir [5]. Li ve ark. fotovoltaik (PV) dizisi, rüzgar türbinleri ve sistem için depolama kapasitesinin gerekli grup sayısını belirlemek için basit bir algoritma oluşturmuştur [6]. Choudara ve ark. tarafından farklı melez birimler için farklı enerji yönetimi teknikleri geliştirilmiştir [7]. Sichilalu ve ark. bir rüzgar enerjisi – fotovoltaik – grid sistemi tarafından sağlanan bir ısı pompası su ısıtıcısının en uygun kontrol modelinin maliyeti en aza indirmek için geliştirilmesini incelemiştir [8]. Tagliafico ve ark. düzlemsel güneş kolektörleri ile çalışan bir su-su ısı pompası sistemi için bir model geliştirmiştir [9]. Mokheimer ve ark. Suudi Arabistan'da uzak bir alan için bir hibrit PV / rüzgar enerjisi üretimini boyutlandırmak ve optimize etmek için kullanılabilecek bir matematiksel model ve hesaplama kodu geliştirmiştir [10]. Dhrab ve Sopian PV ve rüzgar enerjisinden kullanılan bir hibrit sistem üzerine çalışılmıştır [11]. Yukarıda örneği verilen çalışmalardan da görülebileceği üzere fotovoltaik paneller ve rüzgar türbinlerinin birlikte kullanıldığı hibrit sistemler yaygındır.

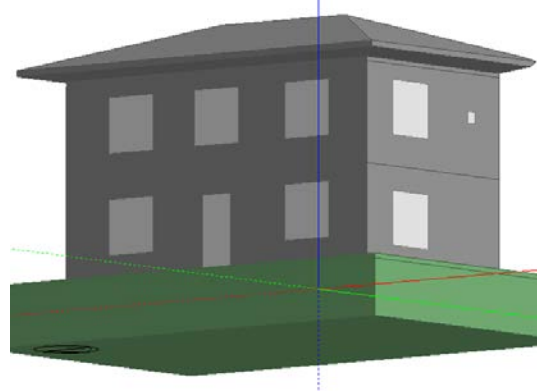
Bu araştırma, İzmir - Urla'da 150 m² kapalı alana sahip bir bina için rüzgar türbini, PV panelleri ve hava kaynaklı ısı pompasından oluşan bir hibrit sistem tasarımı üzerine yoğunlaşmıştır. İlk olarak evin aylık ve yıllık elektrik enerjisinin belirlenmesi amacıyla evin ısıtma ve soğutma ihtiyacının hesabı gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar yapılırken TSE2164 standardı kullanılarak her duvar ve bileşen için toplam ısı transferi katsayısı (U) değerleri belirlenmiştir. Öte yandan, Design Builder yazılımı ile evin 3 boyutlu olarak modellenmesi ve Energy Plus yazılımı ile binanın ısıtma ve soğutma yükünün hesaplanması da gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Evin iklimlendirme ihtiyacı bir hava kaynaklı ısı pompası tarafından karşılanacaktır. Bu ısı pompasının etkinlik katsayısı (COP) 3.5 olarak alınmıştır. Sonuç olarak ısı pompasının ihtiyacı olan elektrik enerjisi kurulacak olan hibrit sistem elemanları olan PV paneller ve rüzgar türbini tarafından karşılanacaktır. Binanın çatısının güney cephesine bakan bölümüne yerleştirilecek olan 21 PV panelin enerji üretimini belirlemek için

MatLab programı kullanılarak matematiksel model geliştirilmiştir. Yatay bir yüzey üzerindeki ortalama güneş radyasyonu, saatlik ortalama ortam sıcaklığı değerleri, güneş enerjisi için matematiksel modeli değerlendirmek için girdi parametreleri olarak alınmıştır. Buna ilaveten kullanılan PV panellerin ürettiği elektrik enerjisi PVSol programı ile de hesaplanarak bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Rüzgar enerjisi hesaplamaları için de MatLab programının kullanılması ve Weibull dağılım fonksiyonunun kullanımı ile bir matematiksel model geliştirilmiştir. Rüzgar enerjisi modellenmesinde, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan rüzgar hızı verileri girdi parametresi olarak alınmıştır. Son olarak güneş ve rüzgar enerji sistemlerinin üretimlerinden elde edilecek kazanç sayesinde sistemin kendisini ne kadar sürede amorti edeceği hesaplanmıştır.

Sonuç olarak incelenen hibrit sistemin aylık bazda evin tüm elektrik ihtiyacını mart ile kasım ayları arasında karşılayıp daha fazla elektrik ürettiği, aralık ile şubat ayları arasında ise tüm ihtiyacı karşılayamadığı gözlemlenmiştir. En yüksek karşılama oranı 359.4% ile mayıs ayında, en düşük karşılama oranı ise % 62.8 ile ocak ayında görülmüştür. Yıllık bazda değerlendirme sonucunda hibrit sistemin evin yıllık ihtiyacından % 50.9 daha fazla elektrik üretimi gerçekleştirdiği hesaplanmıştır. Elde edilen bu fazla enerji şebekeye verilerek finansal olarak getiri elde edilebilecektir.

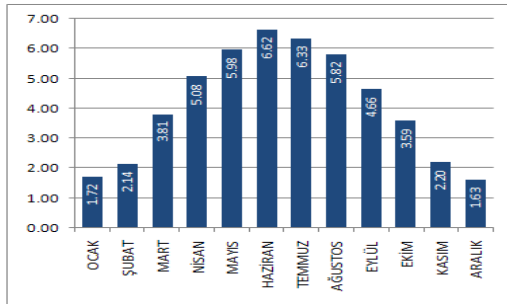
2. SİSTEM TANIMLAMA

Şekil 1'de Design Builder programında çizilmiş hali verilmekte olan incelenen ev Güvendik, Urla, İzmir, Türkiye'de ($38^{\circ} 23''K$, $26^{\circ} 43''D$) bulunmaktadır.

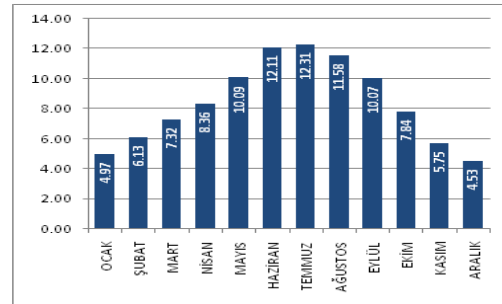


Şekil 1: İncelenen evin Design Builder programında 3 boyutlu çizimi.

Urla'da, bir yılda alınan güneş enerjisi ve rüzgâr, Türkiye ortalamasının üstündedir. İncelenen evin seçilmesinin asıl amacı güneşli günün ve rüzgârın bolluğudur. Öte yandan, ev HVAC sistemi kurmak için uygundur. Şekil 2'de Urla'daki güneş ışınımı ve güneşlenme saati belirtilmektedir. Görüldüğü üzere bölgede özellikle Mart-Ekim ayları arasında hem radyasyon miktarı hem de güneşlenme süreleri yüksektir.



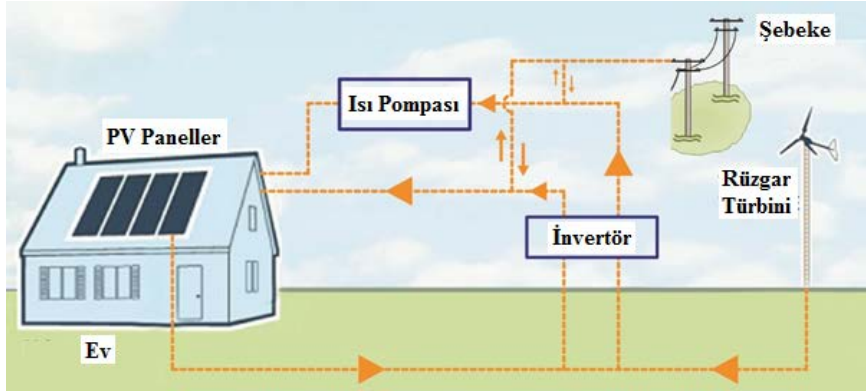
(a)



(b)

Şekil 2a: Urla'da global radyasyon miktarı (kWh/m²/gün) [12] 2b: Urla'da güneşlenme süresi (saat). [12]

Tasarlanan hibrit sistem altı ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar PV paneller, rüzgar türbini, ısı pompası, invertör, ev ve elektrik şebekesi. İncelenen sistemin şematik görünüşü Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3: Sistem diyagramı.

Güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri, yük miktarına ve kaynaklarına göre evin gerekli elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için hibrit bir sistem olarak birlikte çalışabilir. Güç üniteleri gerekli elektrik üretilmiyorsa, enerji elektrik şebekesinden alınabilir. Bu durum, bulutlu veya rüzgârsız günlerde görülebilir. Bununla birlikte, bu kötü senaryoya rağmen, gereksinime göre daha fazla enerji üretmek mümkündür. Bu durumda, kullanılmayan enerji elektrik şebekesine satılır. Ayrıca, güç ünitelerinden birisi üretim yapamayabilir. Bu durumda, enerji diğer ünitelerden veya şebekeden sağlanabilir. Üretilen enerji invertöre gelir. İntertör, doğru akımın (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi için kullanılır. İntertör hem ev hem de ısı pompasını desteklemektedir. Evin bağlı olduğu hat evsel kullanım içindir. Isı pompasına bağlı hat ise ısı pompasının eve gerekli ısıtma/soğutmayı sağlayabilmesi için ihtiyacı bulunan elektriğin sağlanması için görev yapmaktadır. Isı pompası hem yaz hem de kış aylarında iklimlendirme için kullanılır. Daha önce de belirtildiği gibi ev ve ısı pompası şebekeden elektrik alıp çalıştırılabilir. İhtiyaç fazlası üretim olduğu zaman, invertörden gelen elektriğin şebekeye besleyebileceği unutulmamalıdır.

Seçilen JKM 260M mono kristal PV panellerin özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: Seçilen PV panellerin özellikleri [13].

Özellik	Değer
Maksimum Güç	260W
Modül Verimliliği (%)	15.89%
Çalışma Sıcaklık Aralığı (°C)	-40°C~+85°C
Sıcaklık katsayısı (P_{maks})	-0.40%/°C
Nominal hücre çalışma sıcaklığı (NOCT)	45±2°C

Hibrit sistemde kullanılacak diğer bileşen olan Aelos H-3kW küçük ölçekli rüzgar türbininin özellikleri de Tablo 2'de özetlenmektedir.

Tablo 2: Seçilen rüzgar türbininin özellikleri [14].

Özellik	Değer
Devreye Girme Rüzgar Hızı	2.5m/s
Devreden Çıkma Rüzgar Hızı	25 m/s
Nominal Rüzgar Hızı	12 m/s
Nominal Güç	3kW
Hub Yüksekliği	12m

3. Materyal ve Metot

Hesaplamalara ilk olarak incelenmekte olan evin ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması ile başlanılmıştır. Buradan elde edilen veriler ışığında evin ve evin iklimlendirilmesinde kullanılan ısı pompasının aylık ve yıllık enerji ihtiyaçları belirlenmiş, göz önüne alınan PV paneller ve rüzgâr türbininin bu elektrik ihtiyacının ne kadarını karşılayabildikleri hesaplanmıştır.

3.1. Isıtma ve Soğutma Yükü Hesaplamaları

Isıtma yükü hesabı için gerekli olan tüm hesaplamalar TSE2164'e göre yapılmıştır. Soğutma yükü için ise ASHRAE standartlarından ve tablolarında yararlanılmıştır. Evin tüm bileşenleri, toplam alanları, ısı iletim ve taşınım katsayıları, bileşen kalınlıkları ve evin yönü belirlenerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda ısıtma ve soğutma tasarım iç hava sıcaklıkları sırasıyla 20°C ve 24°C olarak alınmıştır.

3.1.1. Yıllık Isıtma İhtiyacının Hesabı

TSE2164 standardı kullanılarak evin aylık ısıtma ihtiyacı belirlenebilir. Isıtma sezonu için aylık ısıtma ihtiyaçlarının toplamı evin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını vermektedir.

$$Q_{ay} = [H \times (T_{i,ay} - T_{d,ay}) - \eta_{ay} \times (\phi_{t,ay} + \phi_{g,ay})] \times t \quad (1)$$

Burada H binanın özgül ısı kaybını temsil etmekte olup bina bileşenlerinden olan kayıplar (H_i) ve havalandırmadan dolayı olan kayıp (H_h) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

$$H = H_i + H_h \quad (2)$$

$$H_i = \sum A \times U \quad (3)$$

$$H_h = 0.33 \times n_h \times V_h \quad (4)$$

Ayrıca güneş radyasyonu nedeniyle olan ısı kazancı da hesaplamalar da göz önüne alınmıştır. Bu etkinin hesaplanması amacıyla aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (5)$$

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (6)$$

$$KKO_{ay} = (\phi_{t,ay} + \phi_{g,ay}) / H \times (T_{i,ay} - T_{d,ay}) \quad (7)$$

3.1.2. Yıllık Soğutma İhtiyacının Hesabı

Soğutma yükü hesabında ise ASHRAE el kitabının 17. bölümü referans alınarak opak yüzeylerden, şeffaf pencerelerden, sızdırma ve havalandırmadan dolayı ve diğer iç kazançlardan olan ısı kazançları aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$q_{opak} = A \times CF_{opak} \quad (8)$$

$$CF_{opak} = U \times (OF_t \times \Delta T + OF_b + OF_r \times DR) \quad (9)$$

$$CF_{fen} = U \times (\Delta T - 0.46 \times DR) + PXI \times SHGC \times IAC \times FF_s \quad (10)$$

$$PXI = T_x \times E_t \quad (11)$$

$$IAC = I + F_{cl} \times (IAC_{cl} - 1) \quad (12)$$

$$q_s = C_s \times Q \times \Delta T \quad (13)$$

$$Q = Q_v + Q_i \quad (14)$$

$$Q_i = ACH \times V / 3.6 \quad (15)$$

$$q_{ig,s} = 136 + 2.2 \times A_{cf} + 22 \times N_{oc} \quad (16)$$

Bunun yanı sıra gizli ısı kazancı da aşağıdaki denklemler kullanılarak göz önüne alınmıştır.

$$q_{gizli} = q_{ig,l} + q_{vi,l} \quad (17)$$

$$q_{ig,l} = 20 + 0.22 \times A_{cf} + 12 \times N_{oc} \quad (18)$$

$$q_{vi,l} = C_l \times Q \times \Delta w \quad (19)$$

3.2. Fotovoltaik Panellerin Güç Üretimi Hesabı

Fotovoltaik panellerin güç üretimi aşağıdaki üç adımda özetlenmiştir [15];

- Paneller üzerine düşen güneş ışınımını hesabı

$$\bar{I}_T = \bar{K}_T \bar{H}_o \left[\left(r_t - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} r_d \right) R_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} r_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g r_t \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (20)$$

- İlgili modül veriminin hesabı

$$\bar{\eta}_i = \eta_{mp,ref} \times \left(1 - \mu_{mp} (T_c - T_{ref}) \right) \quad (21)$$

$$T_c = T_a + k \times \bar{I}_T \quad (22)$$

- PV elektrik üretiminin hesabı

$$\bar{E}_i = \frac{\bar{\eta}_i \times \text{Modül sayısı} \times \text{Tek modül alanı} \times \bar{I}_T}{3600} \quad (23)$$

3.3. Rüzgâr Enerjisi Hesaplamaları

Rüzgâr türbininin her ay için ortalama güç üretimi aşağıdaki denklem 24 ile verilmiştir [16].

$$\bar{P}_T = P_R \times \left[\frac{\exp \left[- \left(\frac{U_{ci}}{c} \right)^k \right] - \exp \left[- \left(\frac{U_R}{c} \right)^k \right]}{\left(\frac{U_R}{c} \right)^k - \left(\frac{U_{ci}}{c} \right)^k} \right] - \exp \left[- \left(\frac{U_{co}}{c} \right)^k \right] \quad (24)$$

Denklem 24'te yer alan k (Şekil parametresi) ve c (Ölçek parametresi) parametrelerini bulmak için Maximum Likelihood Metodu uygulanmıştır. Bu amaçla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmış olan 1 yıllık rüzgâr hızları kullanılmıştır.

3.4. Ekonomik Analiz

Sistemin toplam kurulum ve bakım maliyetleri göz önüne alınarak sistemin kendisini geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi; sistemin kurulum maliyetinin, sistemin işletim giderleri göz önüne alındıktan sonra elde edilen yıllık getirisine bölünerek belirlenmiştir.

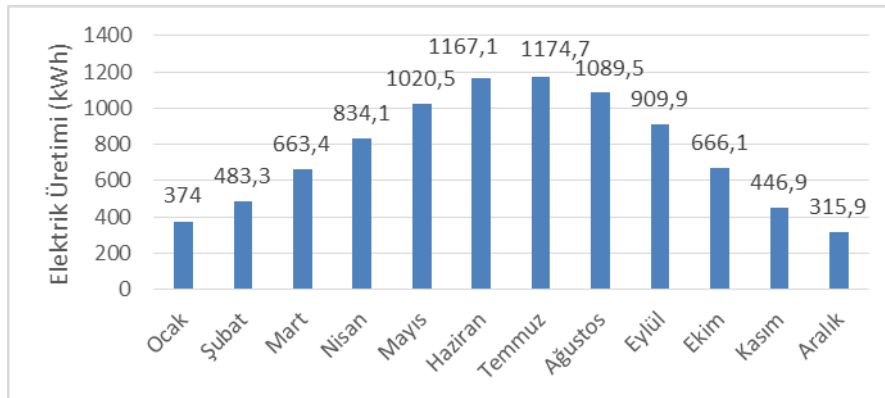
4. Sonuçlar ve Tartışma

Yukarıdaki bölümde belirtilmiş şekilde evin ısıtma ve soğutma ihtiyacı her ay için hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir. Sonuç olarak Urla, İzmir'deki incelenen ev için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 15002.27kWh ve soğutma enerjisi ihtiyacı 6507.92 kWh olarak bulunmuştur.

Evin ve müştemilat çatısının güneye bakan kısımlarına yerleştirilen fotovoltaik panellerin aylık elektrik üretimi bir önceki bölümde özetlendiği şekilde hesaplanarak Şekil 4'te verilmiştir. Panellerin çatının güney tarafına monte edilmesinin nedeni, enerji üretim miktarını artırmaktır. Çatıların güney yüzlerinin toplam alanı 51.54 m² (27.24 m² ev-24.39 m² müştemilat) olup, çatıya toplamda 21 adet PV panel takılmıştır. Bu 21 PV panelin 11 tanesi evin çatısına ve geriye kalan 10 tanesi de müştemilatın çatısına yerleştirilmiştir. Elektrik üretiminin analizi iki farklı metot kullanılarak yapılmıştır. Bu metotlardan biri MatLab programı kullanmak ve bir diğeri de PVSol programını kullanmaktır.

Tablo 3: Evin yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı.

Aylar	Isı Kaybı (kWh)	Isı Kazancı (kWh)	Aylar	Isı Kaybı (kWh)	Isı Kazancı (kWh)
Ocak	3619.9	-	Temmuz	-	3026.4
Şubat	3088.9	-	Ağustos	-	2423.3
Mart	2242.	-	Eylül	-	-
Nisan	870.2	-	Ekim	297.6	-
Mayıs	-	-	Kasım	1744.8	-
Haziran	-	1058.2	Aralık	3138.7	-
Toplam			15002.3	6507.9	



Şekil 4: Fotovoltaik panellerin aylık elektrik üretimi (MatLab programı kullanılarak).

MatLab programı ile elde edilen değerler incelendiğinde en yüksek elektrik üretimi Temmuz ayında 1174.654 kWh ile gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, Aralık ayında PV panelleri yalnızca 315.92 kWh ile en düşük değerini üretmiştir. Toplamda, PV panelleri bir yılda 9145.34kWh elektrik enerjisi üretebilmektedir. İkinci olarak PVSol programı ile modelleme yapılmıştır ve yıllık 8.275 kWh'lık enerji üretimi hesaplanmıştır. PVSol programı kullanımı sonucu aylık elektrik üretimi Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5: Fotovoltaik panellerin aylık elektrik üretimi (PVSol programı kullanılarak).

MatLab ile hesaplanan değerler ile PVSol değerleri arasında bazı küçük farklılıklar vardır. Bu küçük farklılıkların sebepleri PVSol Ve MATLAB'da yapılan varsayımların farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

PV panellerin yanı sıra kullanılan küçük ölçekli rüzgar türbininin de aylık ortalama enerji üretim değerleri MatLab programı kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan rüzgar türbini Aeolos-H 3kW'dir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te özetlenmektedir.

Tablo 4: Rüzgâr türbininin aylık elektrik üretimi.

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Güç (kW)	0.828	0.602	1.180	0.600	1.031	0.965	1.279	1.124	1.089	0.982	0.907	1.026
k	1.917	2.069	2.026	2.322	2.119	2.063	2.053	2.064	2.045	1.888	2.005	1.844
c (m/s)	2.630	2.385	3.104	2.439	2.907	2.823	3.243	3.184	2.981	2.830	2.743	2.887
Enerji (kWh)	596.5	433.3	849.8	429.1	742.2	695.4	921.5	892.1	784.3	707.4	652.8	738.8

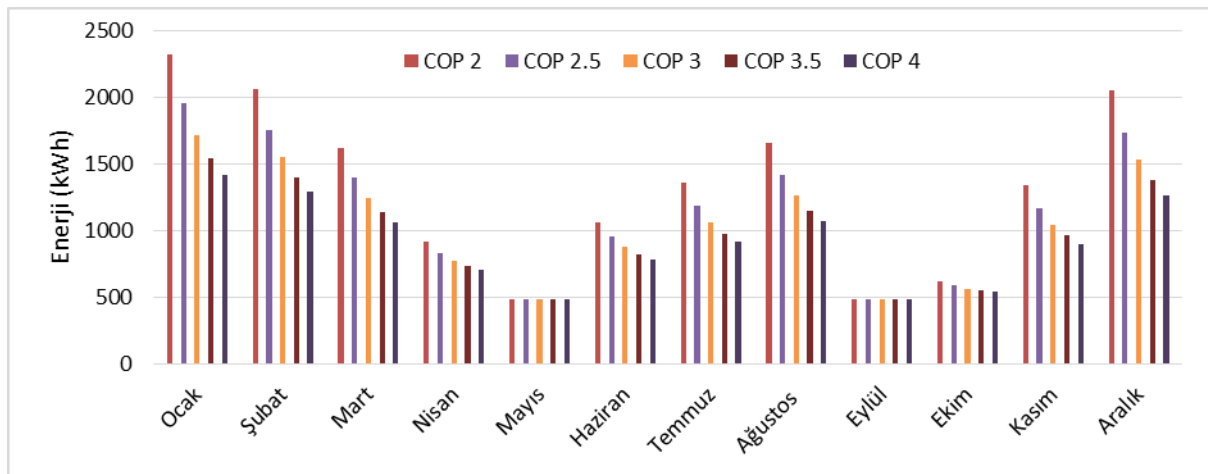
Sonuç olarak seçilen küçük ölçekli türbinin yıllık enerji üretimi 8443.37 kWh olarak belirlenmiştir.

Her iki hibrit sitem bileşeninin aylık ve yıllık ürettiği elektrik enerjisi miktarı hesaplandıktan sonra etkinlik katsayısı (COP) değeri 3.5 olan ısı pompası ile evin ısıtma ve soğutması için gereken elektrik ihtiyacını ve buna ilaveten evin aydınlatma elektrik ihtiyacının ne oranda karşılandığı aylık ve yıllık bazda hesaplanarak Tablo 5'te sunulmaktadır. Evin aydınlatma ihtiyacı Design Builder ve Energy Plus yazılımlarının kullanılması ile tespit edilmiştir.

Tablo 5: Elektrik Gereksiniminin Karşılama Oranı

Aylar	Isıtma Elektrik Enerji İhtiyacı (kWh)	Soğutma Elektrik Enerji İhtiyacı (kWh)	Aydınlatma ve Diğer Evsel Elektrik Enerji İhtiyacı (kWh)	Toplam Elektrik Enerji İhtiyacı (kWh)	PV Elektrik Enerji Üretimi (kWh)	Rüzgar Türbini Elektrik Enerji Üretimi (kWh)	PV'lerin İhtiyacı Karşılama Oranı (%)	Rüzgar Türbininin İhtiyacı Karşılama Oranı (%)	Hibrit Sistemin (PV+Rüzgar Türbini) İhtiyacı Karşılama Oranı (%)
Ocak	1034.2	–	512.2	1546.4	374.0	596.5	24.2	38.6	62.8
Şubat	882.6	–	520.8	1403.4	483.3	433.3	34.4	30.9	65.3
Mart	640.6	–	501.3	1141.9	663.4	849.8	58.1	74.4	132.5
Nisan	248.6	–	485.5	734.1	834.1	429.1	113.6	58.5	172.1
Mayıs	–	–	490.4	490.4	1020.5	742.2	208.1	151.3	359.4
Haziran	–	325.5	496.5	822.0	1167.1	695.4	142.0	84.6	226.6
Temmuz	–	509.0	470.8	979.8	1174.7	921.5	119.9	94.0	213.9
Ağustos	–	672.5	479.4	1151.9	1089.5	892.2	94.6	77.5	172.0
Eylül	–	–	486.2	486.2	909.9	784.3	187.1	161.3	348.5
Ekim	85.0	–	468.1	553.1	666.1	707.4	120.4	127.9	248.3
Kasım	498.5	–	465.8	964.3	446.9	652.8	46.3	67.7	114.0
Aralık	896.8	–	483.9	1380.7	315.9	738.8	22.9	53.5	76.4
Toplam	4286.4	1507.1	5860.9	11654.4	9145.3	8443.4	78.5	72.4	150.9

Tablo 5'ten görülebileceği üzere göz önüne alınan hibrit sistem Ocak, Şubat ve Aralık aylarında evin toplam elektrik ihtiyacını tamamıyla karşılayamamaktadır. Bu aylarda eksik olan enerji şebekeden alınmalıdır. Hâlbuki Mart-Kasım ayları arasında sistem evin ihtiyacını tamamıyla karşılamasının yanı sıra ihtiyaçtan fazla elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Bu aylardaki fazla enerji ise şebekeye verilebilir. Aylık bazda en yüksek karşılama oranı % 359.4 ile Mayıs ayında, en düşük karşılama oranı ise % 62.8 ile Aralık ayında görülmektedir. Yıllık bazda sistem evin ihtiyacından %50.9 daha fazla enerji üretmektedir. Dolayısıyla sistem şebekeye elektrik satarak aynı zamanda finansal getiri sağlayabilecektir.

**Şekil 6:** COP Değişiminin Aylık Enerji Tüketimine Etkisi

COP değişiminin evin aylık enerji ihtiyacına nasıl yansıdığı Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre COP 2 iken bütün aylarda tüketilen enerji miktarı maksimum seviyeye ulaşmıştır fakat COP değeri arttığı zaman tüketilen enerji miktarı her ay için minimum seviyeye düşmüştür. Mayıs ve Eylül ayına ait ortalama sıcaklık değerleri konfor sıcaklığında olduğu için ısıtma ve soğutma yapılmamaktadır. Bu sebeple COP'nin etkisi bu iki ayda görülmemektedir.

5. Ekonomik Analiz

5.46 kW kapasitesinde PV ve 3 kW kapasitede rüzgar türbininden oluşan hibrit sistemin toplam ilk yatırım maliyeti panel maliyetleri, invertör maliyetleri, rüzgar türbin maliyeti, parafadur, kablolama ve çatının statik raporu gibi giderler göz önüne alınarak 55000 TL olarak belirlenmiştir. Konutun yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı 11654.4 kWh olmasına rağmen PV sistemi yıllık 9145.3 kWh, rüzgar türbini ise 8443.4 kWh elektrik üretmektedir. İhtiyaç fazlası elektriğin şebekeye satılacağı öngörülmüştür. Elektrik satış bedeli için devlet tarafından belirlenen birim teşvik değerleri (PV için 0.133 \$/kWh, rüzgar enerjisi için 0.073 \$/kWh) kullanılmış ve şebekeye rüzgar ve PV sisteminin eşit oranda enerji aktardığı kabul edilerek sistemin yıllık getirisi 7450 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değerler göz önüne alındığı zaman, sistemin geri ödeme süresi yaklaşık olarak 7 buçuk sene olmaktadır.

6. Kapanış

Bu projede 150 m² kullanım alanlı bir binanın ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacını karşılamak üzere hibrit sistem tasarlanmıştır. Yapı İzmir-Urla'da bulunmaktadır. Şebeke bağlantılı hibrit sistem, PV panelleri, rüzgar türbini ve hava kaynaklı ısı pompasından oluşmaktadır. PV sistemi ve rüzgar türbini kapasiteleri sırasıyla 5.46 kW ve 3kW olarak belirlenmiştir. Panellerin kurulduğu çatının eğimi 18.3°'dir. PV sisteminin ve 12 m yüksekliğindeki rüzgar türbininin aylık ve yıllık elektrik üretimi Matlab'daki yazılı kodlarla hesaplanmış, aynı zamanda PV panel elektrik üretiminin sonuçları PVSol simülasyon yazılımı ile kontrol edilmiştir. Evin ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı, TSE2164 ve ASHRAE standartlarıyla hesaplanmıştır. Bu değerlerler dikkate alınarak ve kullanılan ısı pompasının COP değeri 3.5 alınarak evin yıllık ısıtma ve soğutma elektriği gereksinimi değerleri sırasıyla 4286.4 kWh ve 1507.1 kWh olarak hesaplanmıştır. Evin yıllık elektrik ihtiyacı aydınlatma ve konut ekipmanı da dâhil olmak üzere 10793.5 kWh olarak tahmin edilmiştir. Hibrit sistemin toplam elektrik üretimi, 9145.3kWh PV ve 8443.4 kWh rüzgar türbini elektrik üretimi ile 17588.7 kWh olarak hesaplanmıştır. Sistem aylık bazda mart ile kasım ayları arasında evin ihtiyacını karşılayıp, bu ihtiyaçtan daha fazla elektrik üretmekte, aralık ile şubat ayları arasında ise yeterli elektrik üretimi sağlayamamaktadır. Yıllık olarak ise hibrit sistem evin ihtiyacından %50.9 fazla elektrik üretmektedir. Bu sonuç dikkate alındığında şebekeye bağlı olarak tasarlanan sistem için yıllık bazda net şebekeye elektrik satışı gerçekleştirilebilmekte ve finansal açıdan getiri sağlanabilmektedir. Elektrik üretiminin yetersiz kaldığı üç ay boyunca eksik kısım şebekeden alınabilmektedir. Bu sistemin finansal olarak kendini 7 buçuk sene gibi bir süre içerisinde geri ödemesi beklenmektedir.

**Semboller**

A:	Net yüzey alanı (m^2)
A_{cf}:	Soğutma yüzeyi (m^2)
ACH:	Hava değişim miktarı (h^{-1})
A_i:	"i" Yöne göre toplam pencere alanı (m^2)
c:	Ölçü parametresi (m/s)
CF_{fen}:	Pencere faktörü (W/m^2)
CF_{opak}:	Soğutma faktörü (W/m^2)
C_i:	Hava gizli ısı faktörü ($W/l.s$)
C_e:	Duyulur hava ısı kazancı ($W.s/l.K$)
DR:	Günlük sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)
E_t:	Toplam ışınlam miktarı (W/m^2)
F_{ol}:	Kapalı gölge oranı
FFs:	Pencere güneş yük faktörü
FF_g:	Güneş yük faktörü
$g_{i,ay}$:	"i" elemanların güneş geçirme faktörü
GUF_{ay}:	Kazanç faktörü
H:	Binanın özgül ısı kaybı (W/K)
\bar{H}:	Günlük ışıma değeri (J/m^2)
H_i:	Binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (W/K)
H_h:	Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (W/K)
IAC:	İç gölgelenme zayıflatma katsayısı(-)
$I_{i,ay}$:	"i" yöne göre aylık güneş ışınlamı (J/m^2)
I_p:	Saatlik uzay ışınlam miktarı (J/m^2)
\bar{I}_T:	Eğik düzlemdeki bir saatlik ışınlam miktarı (J/m^2)
k:	Şekil parametresi
KKO_{ay}:	Kazanç kayıp oranı
K_T:	Açıklık indeksi
\bar{k}_T:	Günlük açıklık indeksi
n_{ay}:	Aylık kazanç faktörü
n_h:	Hava değişim katsayısı (h^{-1})
N_{oc}:	Mahalde yaşayan kişi sayısı
OF_b:	Gelen güneş ısı kazancı katsayısı
OF_e:	Yapı katsayısı
OF_f:	Isı depolama etkisi katsayısı
P_R:	Nominal güç (W)
\bar{P}_T:	Ortalama güç (W)
PXI:	Maksimum dış yüzey ışınlamı (W/m^2)
Q:	Hava akış debisi (l/s)
Q_{ay}:	Aylık ısıtma enerji ihtiyacı (J)
Q_{gizli}:	Gizli ısı kazancı (W)
Q_i:	Infiltrasyon kaybı (W)
$Q_{ig,i}$:	Gizli iç ısı kazancı (W)
$Q_{ig,s}$:	Duyulur iç ısı kazancı (W)
Q_{opak}:	Opak yüzey için soğutma yükü (W)
Q_v:	Havalandırma yükü (W)
$Q_{v,i,l}$:	Havalandırma ve infiltrasyon ısı kazancı (W)
R_b:	Eğik düzlem üzerindeki ışınlamın ölçüm düzlemindeki ışınlama oranı
r_d:	Bir saatlik difüz ışınlamın günlük difüz ışınlama oranı.
$r_{i,ay}$:	"i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
r_T:	Saatlik toplam ışınlamın günlük toplam ışınlama oranı
SHGC:	Güneş ısı kazanım katsayısı
t:	Zaman (s)

$T_{d,ay}$:	Aylık ortalama dış sıcaklık (°C)
$T_{i,ay}$:	Aylık ortalama iç sıcaklık (°C)
T_x :	Dış gölgeleme elemanı geçirgenlik katsayısı
U :	Toplam ısı transfer katsayısı (W/m ² K)
U_{ci} :	Devreye alma hızı (m/s)
U_{co} :	Devreden çıkma hızı (m/s)
U_R :	Nominal hız (m/s)
V_h :	Havalandırılan hacim (m ³)
ΔT :	Sıcaklık farkı (K, °C)
Δw :	Hava özgül nem oranı farkı (kg su/kg kuru hava)
$\bar{\eta}_i$:	Saatlik modül verimi
ρ_g :	Yansıtma katsayısı
$Q_{i,ay}$:	Aylık iç ısı kazancı (W)
$Q_{g,ay}$:	Aylık güneş kazancı (W)

7. Kaynaklar

- [1]. U.S. Energy Information Administration, "International Energy Outlook 2016" U.S. Energy Information Administration, 2016.
- [2]. Union of Concerned Scientists, «Benefits of Renewable Energy Use,» <http://www.ucsusa.org/clean-energy/renewable-energy/public-benefits-of-renewable-power#.WF.CG1OLTDD>. [Erişim tarihi: 28 12 2016].
- [3]. The World Bank, «Electric power transmission and distribution losses,» 2014. <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>. [Erişim tarihi: 28 12 2016].
- [4]. Q.-Y. Li, Q. Chen ve X. Zhang, «Performance analysis of a rooftop wind solar hybrid heat pump system for buildings,» Energy and Buildings, cilt. 65, pp. 75 - 83, 2013.
- [5]. C. Gokcol, I. Umut, E. Ucar ve S. Kocabey, «Techno-Economic Evaluation of a Hybrid PV—Wind Power Generation System,» International Journal of Green Energy, cilt 2, no. 10, pp. 117 - 136, 2013.
- [6]. J. Li, W. Wei ve J. Xiang, «A simple sizing algorithm for stand-alone PV/wind/battery hybrid microgrids. Energies,» Energies, cilt 5, no. 12, pp. 5307 - 5323, 2012.
- [7]. A.Choudara, D. Boukhetalaa, S. Barkatc ve J.-M. Brucker, «A local energy management of a hybrid PV-storage based distributed generation for microgrids,» Energy Conversion and Management, cilt. 90, pp. 21 - 33, 2015.
- [8]. S. Sichilalu, T. Mathaba ve X. Xia, «Optimal control of a wind–PV-hybrid powered heat pump water heater,» Applied Energy, cilt 2, no. 185, p. 1173 – 1184, 2015.
- [9]. L. A. Tagliaficoa, F. Scarpaa, G. Tagliaficob ve F. Valsuani, «An approach to energy saving assessment of solar assisted heat pumps for swimming pool water heating,» Energy and Buildings, cilt. 55, p. 833 – 840, 2012.
- [10]. E. M. A. Mokheimer, A. Al-Sharafi, M. A. Habib ve I. Alzaharnah, «A new study for hybrid PV/wind off-grid power generation systems with the comparison of results from homer,» International Journal of Green Energy, cilt 5, no. 12, pp. 526 - 542, 2015.
- [11]. S. S. Dihrab ve K. Sopian, «Electricity generation of hybrid PV/wind systems in Iraq,» Renewable Energy, cilt 6, no. 35, pp. 1303 - 1307, 2010.
- [12]. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, «Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası» <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/35.aspx> [Erişim tarihi: 28 12 2016].
- [13]. JinKO Solar, «JKM265P-60, 245-265 Watt, Poly Crystalline Module (Catalog) », 2015.
- [14]. Aelos Wind Turbine, «Aeolos-H 3KW, Grid - on (Catalog)», 2014.
- [15]. J. A. Duffie ve W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, New York, 2013.
- [16]. G.L. Johnson, Wind energy systems. University Reprints, 2006.



ÖZGEÇMİŞ

Caner ESER

1992 yılı İzmir - Ödemiş doğumludur. 2011 senesinde Tevfik Fikret Lisesi'nden mezun olduktan sonra Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliğini kazanmıştır. Halen bölümüne son sınıf öğrencisi olarak devam etmektedir. Yaşar Üniversitesi Enerji Verimliliği ve Yönetimi Topluluğu'nun kurucu ekibinde yer almış ve yönetim kurulu üyesi olarak görev yapmıştır. Bölümüyle ilgili ilgi alanları; modern fizik, yeşil bina teknolojileri, yenilebilir enerji ve iklimlendirme teknolojileridir. Öğrenim hayatıyla birlikte amatör olarak sporla ilgilenmektedir.

Faruk ÖNER

1994 yılı Ankara doğumludur. 2012 senesinde MEV Koleji Özel Güzelbahçe Fen Lisesi'nden mezun olduktan sonra Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliğini kazanmıştır. Halen bölümüne son sınıf öğrencisi olarak devam etmektedir. Bölümüyle ilgili ilgi alanları; modern fizik, yeşil bina teknolojileri, yenilebilir enerji ve iklimlendirme teknolojileridir. Derinuzay Bilim ve Teknoloji Laboratuvarları Araştırma ve Geliştirme Derneği'nde de çalışmalar da bulunmuştur. Öğrencilikle birlikte spor yaşantısını da Urla Belediyesi Gençlik ve Spor Kulübü adına, Taekwondo ve KickBoks branşlarında sürdürmektedir.

Oğuz BAŞOĞLU

1994 yılı, İzmir doğumludur. Süleyman Demirel Anadolu Lisesi'nden 2012 yılında mezun olduktan sonra. Lisans eğitimine Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde son sınıf öğrencisi olarak devam etmektedir. Yaşar Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden çift ana dal programına kabul edilmiştir. Elektrik, Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne üçüncü sınıf öğrencisi olarak devam etmektedir. Yaşar Üniversitesi Enerji Verimliliği ve Yönetimi Topluluğu'nun kurucu ekibinde yer almış ve başkan yardımcısı olarak görev yapmıştır. Bölümüyle ilgili ilgi alanları; modern fizik, yeşil bina teknolojileri, yenilebilir enerji, elektrik ve yazılımdır.

Levent BİLİR

1977 yılı, İzmir doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden lisans derecesini 1999 yılında, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği bölümünden yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla 2003 ve 2009 yıllarında almıştır. Araştırma konuları arasında enerji depolama, faz değişimli ısı transferi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, rüzgâr ve güneş enerjisi bulunmaktadır. Halen Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yardımcı doçent doktor olarak görev almaktadır.

Nurdan YILDIRIM ÖZCAN

1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Mühendis, 2010 yılında da Doktor ünvanını aldı. 2000-2010 yılları arasında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Şubat 2010-Mart 2013 tarihleri arasında İzmirde özel bir firmada enerji bölümünde Proje Müdürü olarak çalıştı. Halen Yaşar Üniversitesi'nde Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2002 yılında İzlanda Hükümeti ve Birleşmiş Milletler bursu ile İzlanda'daki 6 aylık Birleşmiş Milletler Üniversitesi Jeotermal Eğitim Programına katıldı. Daha sonra 2004-2005 yılları arasında da NATO bursu ile Belçika'daki dünyaca ünlü Von Karman Institute'teki 9 aylık akışkan dinamiği konusundaki Diploma Kursu'na katıldı. Başta Enerji Yöneticisi sertifikası olmak üzere Doğalgaz İç Tesisat, Mekanik Tesisat, Soğutma Tesisatı, Havalandırma Tesisatı ve Klima Tesisatı Uzman Mühendis Yetki Belgelerine sahiptir. Başta jeotermal enerji olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları ve uygulamaları ile enerji verimliliği alanlarında çalışmalarını yürütmekte olup, evli ve 2 çocuk annesidir.

**Hüseyin Günhan ÖZCAN**

1985 yılında Bodrum'da doğmuştur. Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden 2009 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl bahar döneminde Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik yüksek lisans programına başlamış ve 2013 güz döneminde ilgili programdan mezun olmuştur. Takip eden bahar döneminde ise Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik doktora programına başlamış ve halen ilgili programda tez aşamasında öğrenimine devam etmektedir. 2012 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme fakültesini bitirmiştir. SAFKAR Ege Soğutmacılık firmasında Ar-Ge mühendisi olarak çalışmıştır. Halen Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev almaktadır.