

KONUT ÖLÇEĞİNDE ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PERFORMANS VE EKONOMİK ANALİZİ

Hacer ŞEKERCİ*¹, Nurdan YILDIRIM²

*¹Dr. Öğrt. Üyesi, Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir
e-posta: hacer.sekerci@yasar.edu.tr

²Doç. Dr., Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir
e-posta: nurdan.yildirim@yasar.edu.tr

KONUT ÖLÇEĞİNDE ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PERFORMANS VE EKONOMİK ANALİZİ

ÖZET

Artan enerji maliyetleri ve çevresel problemler nedeniyle yenilenebilir enerjiye yönelim önem kazanarak değişik alanlarda kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda, söz konusu çalışmada 117 m² kullanım alanına sahip, İzmir ilinde bulunan 4 kişilik bir ailenin yaşadığı müstakil bir konutun iklimlendirme sistemleri de dahil olmak üzere gerekli elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaik sistemden karşılanması teorik ve ekonomik olarak incelenmiştir. Bu amaçla 3 kW'lık fotovoltaik sistemin evin çatısına kurulması öngörülerek saatlik elektrik üretim değerleri hesaplanmış ve evin saatlik elektrik enerjisi ihtiyacı DesignBuilder programında yapılan simülasyonlar sonucu bulunmuştur. Konutun yıllık elektrik tüketimi 2.481,1 kWh, ve fotovoltaik sistemin yıllık elektrik üretim değeri ise 4.532,6 kWh olarak gerçekleşmektedir. 3 zamanlı tarifeye göre aylık fatura toplamları yıl boyunca hesaplanarak, aylık mahsuplaşma yöntemi uygulandığında FV sisteminin basit geri ödeme süresi TL ve dolar cinsinden yapılan hesaplamalar ile sırasıyla 10,8 ve 14,1 yıl olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş enerjisi, Konut, Ekonomik analiz, DesignBuilder

ABSTRACT

Because of increased energy costs and environmental problems, the orientation to renewable energy is gaining importance day by day and increasing of its usage in different fields. In this scope, a house whose usage area of 117 m² including the air-conditioning systems with a family of 4 people in İzmir province was examined the electricity demand of house and energy generation of PV as theoretically and economically. For this purpose, 3 kW photovoltaic system to be established on the roof of the house are calculated hourly electricity generation of PV system and the hourly electrical energy requirement of the house was found as a result of the simulations made in the DesignBuilder program. The annual electricity consumption of the house is 2,481,1 kWh, and the annual electricity production value of the photovoltaic system is 4,532.6 kWh. When the monthly invoice totals are calculated during the year according to the 3-time tariff and the monthly offsetting method is applied, the simple payback time of the PV system is calculated as 10.8 and 14.1 years with the calculations made in TL and dollar, respectively.

Keywords: Photovoltaics, Solar Energy, Residence, Economic Analysis, DesignBuilder

1. GİRİŞ

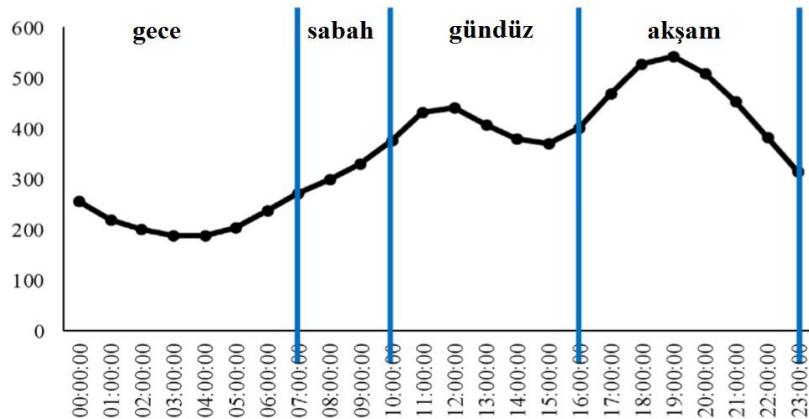
Yaşamın olmazsa olmazı enerji ve hayatın her alanında en yaygın olan enerji türü de elektrik enerjisidir. 2018 yılında elektrik üretimimizin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir [1]. İthal kömür ve doğal gaz elektrik enerjisinde üretimin yarısından fazlasını karşılamaktadır. Enerjideki dışa bağımlılık, döviz kurlarındaki değişimler ve benzeri bazı nedenlerle elektrik enerji maliyeti sürekli olarak artmaktadır. Bu

çalışmada referans alınan 2018 yılında elektrik enerjisine 1 Ocak 2018 ile 1 Ekim 2018 arasında 5 kez zam gelip, toplam fiyat artışı %44,97 olmuştur [2]. Bu kadar büyük maliyet artışları daha çevreci ve bireysel farklı çözüm yöntemleri aramayı zorunlu kılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayınladığı *İstatistiklerle Aile 2018* raporunda ülkemizde sadece %24,7'lik oranın kiracı olduğu, %59,1'lik kısmın ev sahibi, geriye kalanların ise aile konutu veya lojman tarzı yerlerde yaşadığı belirtilmektedir. Konutların yarıdan fazlasının kişisel mülk olması bireysel çözüm arama konusunda umut verici görülmektedir. Bu amaçla söz konusu çalışmada 4 kişilik çekirdek bir ailenin elektrik enerjisi maliyetini düşürmek adına çatı tipi fotovoltaik (FV) kullanılması planlanmıştır.

Bu çalışma özelinde öncelikle konut için yük profilinin bilinmesi oldukça önemlidir. Yapılan literatür araştırmalarında günlük yük profilini çıkarabilmek için ülkeler bazında yapılan birçok detaylı çalışma görülmüştür. Pflugrad ve arkadaşı emekli, işsiz, ofis çalışanı ve vardiyalı çalışan farklı yaşam döngüsüne sahip kişilerin kullandığı evler için, tek kişi veya aile ayrımını da dikkate alarak üstelik kişilerin farklı alışkanlıklarını, hobilerini de kapsayan bir modelleme yapmışlar ve devamında bir yazılım geliştirmişlerdir [3]. Farklı çalışma şartları ve kişisel alışkanlıklar, tercihler gündeme geldiğinde yük profilinin değiştiğini görmüşlerdir.

Hayn ve arkadaşları [4] Avrupa'nın elektrik tüketiminin %29'luk kısmını kapsayan evlerin özellikleri (büyüklük, oda sayısı vs), yaşayanların yaş aralığı, gelir düzeyleri, sosyal demografik faktörlerin etkisi, evlerde bulunan mevcut elektrikli cihazların türleri ve yeni teknolojiye sahip olması gibi birçok kriterin tüketimi nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Ayrıca oluşturdukları 6 farklı senaryoya bir de bu evlere FV sistemler ile FV + akü grubu da ekleyerek analizler yapmışlardır. Sonuç olarak yük profilini etkileyen en önemli üç parametrenin, evin büyüklüğü, hane halkının gelir düzeyi ve çalışma şartlarının olduğunu görmüşlerdir.

İsviçre'de 656 ev üzerinde bir yıl süre ile akıllı elektrik sayacı ile yapılan ölçümler sonucunda 24 saatlik yük profilinin dört ayrı grupta toplandığı görülmüştür [5]. Şekil 1'de görülen bu grafik W olarak yük talebine karşılık 24 saatlik zaman diliminde verilmiştir. Bu grafik ülkemizde de kullanılan 3 zamanlı tarifenin uygulanma zaman aralıklarının doğruluğunu göstermektedir.



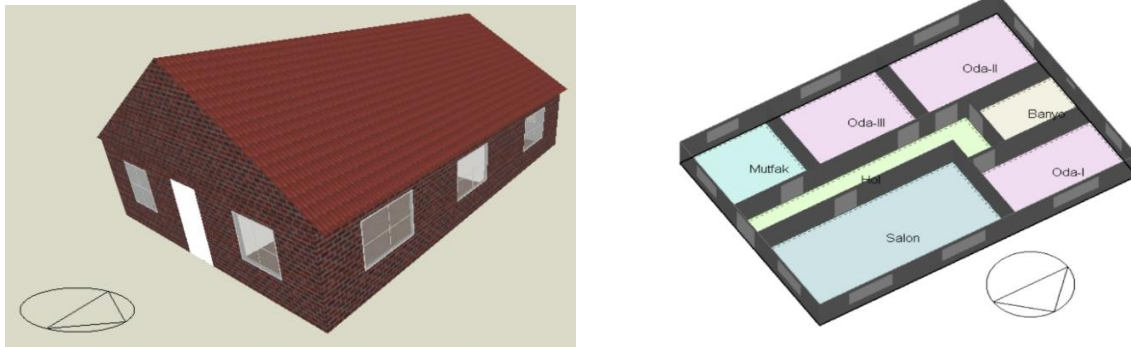
Şekil 1. 656 konut üzerinde yapılan ölçüm sonucu ortalama gücün (W) zaman aralıklarına göre dağılımı

Asya'nın en küçük krallığı olan Bhutan'da büyüklüğü 27 m² ile 111 m² arasında değişen 70 konut üzerinde 2012-2014 yılları arasında iki tam yıl süren ölçümler alınarak kişi sayısı (K) ile elektrik tüketimi (ET) arasında $ET = 17,747xK + 96,162$ şeklinde ve evin büyüklüğü (EB) ile elektrik tüketimi arasında da $ET = 0,9181xEB + 106,56$ şeklinde ilişki olduğu olduğu gözlenmiştir [6].

İsveç'te mevcut 2104 konutun yük profili ölçülüp modellendikten sonra, bu evler için 122 farklı FV ve lityum ion akü güçleri belirlenip bir optimizasyon yapılarak evlerin kendi ihtiyaç duyduğu enerjiyi üretebilmesi incelenmiştir. 7 kW FV kurulumu ve 15-24 kWh akü kapasitesi ile incelenen evlerin %18-48'lik oranının kendi ihtiyacını karşılayabileceği görülmüştür [7].

2. SİSTEM TANITIMI

Bu çalışmada İzmir ilinde bulunan 117 m² kullanım alanına ve 2,5 m kat yüksekliğine sahip müstakil tek katlı bir konutun güneye bakan çatısına FV panellerin monte edilmesi ile 3 zamanlı elektrik tarifisine bağlı olan bu konutun elektrik enerjisi tüketiminin ne ölçüde FV sistemden sağlanacağı ve de sistemin basit geri ödeme süresinin ne olacağı incelenmiştir. Ele alınan konut Designbuilder programında [8] simule edilerek, saatlik elektrik tüketimleri belirlenmiştir. Şekil 2'de incelenen konutun mimarisi ve kat planının Desigbuilder da oluşturulan şematik görüntüleri verilmektedir.



Şekil 2. Konutun şematik gösterimi

Şekil 2'deki kat planından görüleceği üzere konut 3 oda ve 1 salondan oluşmaktadır. Konutun mimari özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Konutun bina kabuğu yapı elemanlarının ısı transfer katsayıları (U) için TS 825 standardına [9] göre izin verilen maksimum değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 1. Konutun mimari özellikleri

Bina Yapı Elemanı	Alan (m ²)					Toplam
	Kuzey	Doğu	Güney	Batı		
Dış duvar	25,5	19,0	26,5	19,0		90,0
Pencere	7,0	3,5	6,0	3,5		20,0
Döşeme						117
Tavan						117
Dış kapı		2,5				

Tablo 2. Konutun bina kabuğu yapı elemanlarının U değerleri (W/m²K)

Dış Duvar	Çatı/Tavan	Döşeme	Pencere
0,70	0,45	0,70	2,4

Konutta 4 kişilik bir ailenin yaşadığı ve ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını split klima ile karşıladıkları varsayılmıştır. Klimanın ısıtma ve soğutma COP değerleri sırasıyla 2,35 ve 1,80 olarak alınmıştır. Kullanıcılar ve ısıtma-soğutma sistemi için Designbuilder programındaki konutlar için oluşturulan takvimler kullanılarak, iç hava tasarım sıcaklığı ısıtma modu için 22°C, soğutma modu için ise 24 °C alınarak konut aydınlatma, ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrikli aletlere ait enerji tüketimlerinin belirlenmesi için Designbuilder programında saatlik olarak simule edilmiştir. Konutun enerji tüketimlerini belirlemek için yapılan kabullerden bazıları Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. Konutun enerji tüketiminin belirlenmesinde kullanılan parametreler

Aydınlatma	Işık şiddeti (lux)	150
Sıcak su	Kullanım oranı (l/m ² -gün)	0,72
	Sıcaklığı (°C)	65
Elektrikli aletler	Birim tüketimi (W/m ²)	3

3. MATERYAL VE METOT

Konutun güneye bakan 72 m² alanı ve 30° eğimi olan çatısına 280 W birim gücünde olan 11 adet fotovoltaik panelin monte edileceği öngörülmüştür. Çalışma kapsamında ele alınan fotovoltaik panellere ait teknik özellikler Tablo 4’de sunulmaktadır.

Tablo 4. Fotovoltaik panel teknik özellikleri [10]

Özellik	Değer	Birim
Maksimum güç	280	W
Dönüşüm verimi ($\eta_{mp,ref}$)	16,9	%
Maksimum güç için sıcaklık katsayısı (μ_{mp})	-0,44	%/°C
Panel alanı (A_{PV})	1,655	m ²
Referans sıcaklığı (T_{ref})	25	°C
Referans koşullardaki güneş ışınımı (G_{ref})	1000	W/m ²

Tablo 4’te verilen parametreler ile aşağıda verilen denklem takımları [11] kullanılarak fotovoltaik sistemin elektrik enerjisi üretimi Matlab programında yazılan bir kod ile saatlik olarak hesaplanmıştır. İzmir iline ait dış hava sıcaklığı ve güneş ışınım değerleri Meteonorm [12] programından alınmıştır.

- Eğimli fotovoltaik panele gelen saatlik ışınım; \bar{I}_T :

$$\bar{I}_T = (\bar{I}_G - \bar{I}_d)R_b + \bar{I}_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \bar{I}_G \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1)$$

$$If |w| > |w_s| \rightarrow \bar{I}_T = 0$$

- Günbatımı saat açısı (w_s):

$$w_s = \min \left[\begin{array}{l} \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \\ \arccos(-\tan(\phi - \beta) \tan\delta) \end{array} \right] \quad (2)$$

- Saat açısı (w)

$$w = (\text{Güneş saati} - 12) \times 15^\circ \quad (3)$$

- Sapma (deklinasyon) açısı (δ):

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (4)$$

Kuzey yarımkürede güneye yönlendirilen ($\gamma = 0$) bir toplayıcı için eğimli yüzeydeki ışın radyasyonunun yatay bir yüzeye oranı (R_b):

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos\delta \cos w + \sin(\phi - \beta) \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta \cos w + \sin\phi \sin\delta} \quad (5)$$

• Saatlik fotovoltaik panel verimi; $\bar{\eta}_i$

$$\bar{\eta}_i = \eta_{mp,ref} \times \left(1 - \mu_{mp}(T_c - T_{ref}) + \delta \cdot \ln \left(\frac{\bar{I}_T}{G_{ref}} \right) \right) \quad (6)$$

Hücre sıcaklığı (T_c) [13]:

$$T_c = T_a + k \times \bar{I}_T \quad (7)$$

k parametresi için iyi soğutulan fotovoltaik paneller varsayımı ile 0.02 alınmıştır. Fotovoltaik panellerin güneş ışınım katsayısı (δ) 0.052 olarak alınmıştır [14].

• Fotovoltaik panelin saatlik elektrik üretimi; \bar{E}_i

$$\bar{E}_i = \bar{\eta}_i \times n_{PV} \times A_{PV} \times \bar{I}_T \times \eta_e \quad (8)$$

Fotovoltaik panellerin eğim açısı $\beta = 30^\circ$ çatının eğimi ile aynı alınmıştır ($\beta = 30^\circ$). η_e FV sistemin kablo, invertör vs. kayıpları öngören sistem verimidir ve %80 olarak kabul edilmiştir.

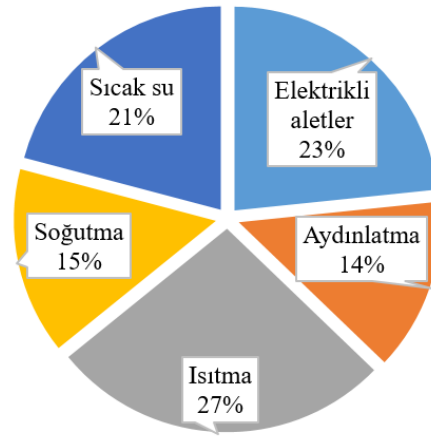
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4 kişilik bir ailenin yaşadığı müstakil tek katlı evin İzmir ili için yukarıda açıklanan kabuller ve sabit değerler dikkate alınarak ailenin hafta içi saat 9:00-14:00 arası konutta olmadığı ve

bu saatlerde klimaların çalıştırılmadığı varsayımı ile yıl boyunca yapılan saatlik simülasyonlar sonucunda elde edilen aylık enerji tüketim değerleri Tablo 5’de yıllık enerji tüketiminin oranları ise Şekil 3’de sunulmaktadır.

Tablo 5. Konutun aylık elektrik tüketim değerleri

	Elektrikli Aletler	Aydınlatma	Isıtma	Soğutma	Sıcak Su	Toplam
Ocak	87,4	52,1	272,9	-	78,8	491,2
Şubat	79,6	47,1	255,2	-	71,2	453,0
Mart	89,1	52,2	167,0	-	78,8	387,0
Nisan	84,9	50,4	54,7	-	76,2	266,3
Mayıs	87,5	52,1	2,9	33,2	78,8	254,5
Haziran	86,4	50,5	-	155,1	76,2	368,2
Temmuz	87,5	52,1	-	192,0	78,8	410,3
Ağustos	88,3	52,1	-	179,7	78,8	398,9
Eylül	85,6	50,5	-	100,7	76,2	313,0
Ekim	87,4	52,1	15,1	2,5	78,8	235,9
Kasım	85,6	50,5	159,7	-	76,2	372,1
Aralık	88,3	52,1	271,4	-	78,8	490,6
Toplam	1.037,57	613,77	1.198,85	2.850,2	927,54	4.441,07



Şekil 3. Konutun yıllık enerji tüketiminin türlerine göre dağılımları

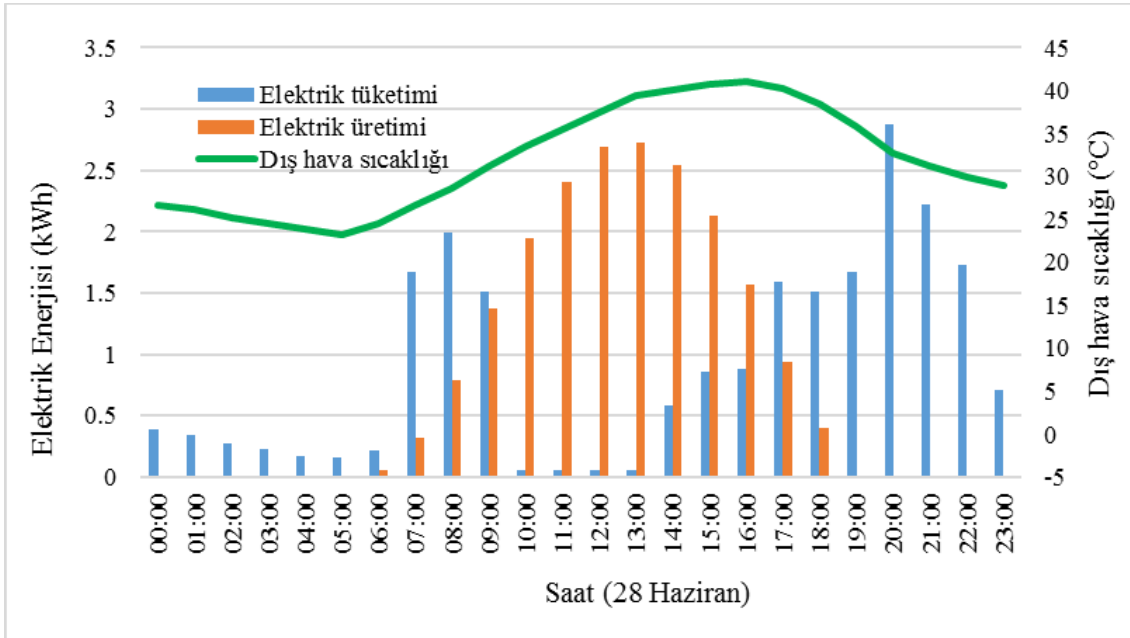
Bu çalışmada örnek alınan konut ve konutun kullanım şekli ile yapılan kabullere göre ortaya çıkan analiz sonuçları İzmir ili ve 2018 yılı için en yüksek elektrik kullanımı ısıtma, en düşük elektrik kullanımı ise aydınlatma için ayrıldığı görülmektedir, Isıtma-soğutma, aydınlatma ve kullanılan diğer elektrikli aletlerin yüksek verimlilik sınıfına sahip ekipmanlar ile değiştirilmesi durumunda bu tablodaki oranların değişmesi beklenmektedir,

Yapılması gereken bir başka inceleme ise, konutun 3 zamanlı tarife aralıklarında tüketeceği elektrik ile FV sistemin üreteceği elektriğin aylara göre analizidir, Bu çalışma Tablo 6’da görülmektedir, 2018 yılı için önerilen 3 kW FV sistem 4.532,6 kWh enerji üretirken, model konutun ihtiyacının 4.441,1 kWh olduğu görülmektedir,

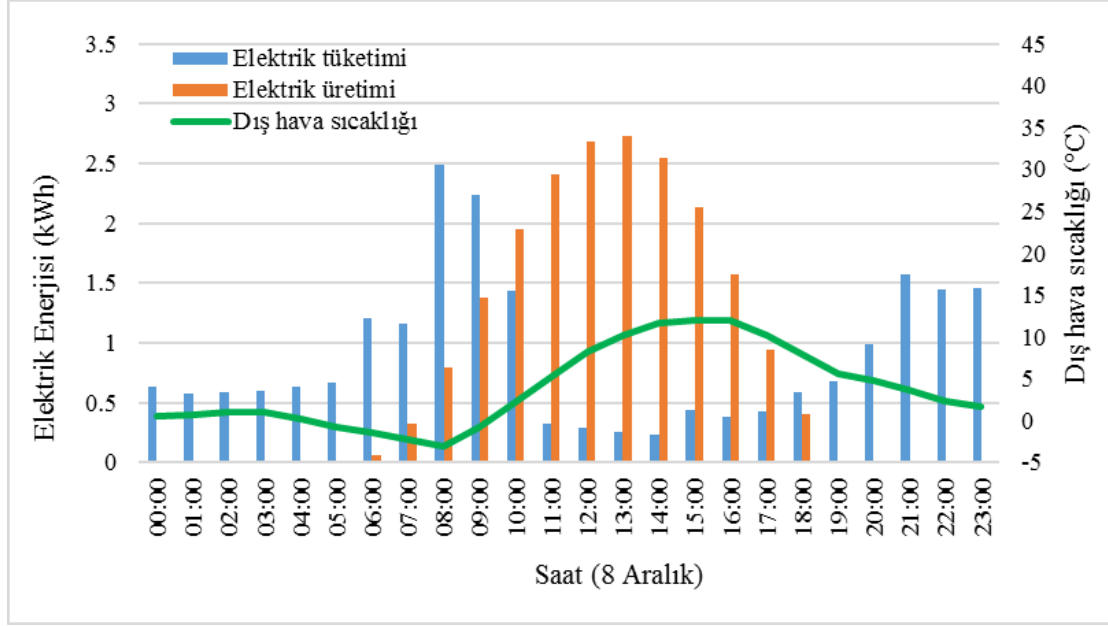
Tablo 6, 3 zamanlı tarifeye göre aylık FV sistemin elektrik üretimi ve konutun elektrik tüketimi (kWh)

Saat Aralığı	06:00-17:00		17:00-22:00		22:00-06:00		Toplam	
Aylar	FV Elektrik Üretimi	Elektrik tüketimi	FV Elektrik Üretimi	Elektrik tüketimi	FV Elektrik Üretimi	Elektrik tüketimi	FV Elektrik Üretimi	Elektrik tüketimi
Ocak	191,3	212,3	0,0	140,1	0,0	139,4	191,3	491,8
Şubat	232,5	194,4	0,0	127,5	0,0	131,1	232,5	453,0
Mart	344,9	180,5	1,4	100,5	0,0	105,5	346,3	386,5
Nisan	353,2	136,1	5,4	87,9	0,2	42,4	358,7	266,4
Mayıs	479,2	144,6	8,8	100,2	1,1	9,6	489,0	254,3
Haziran	537,2	188,7	11,1	161,7	1,8	17,9	550,0	368,3
Temmuz	562,2	202,1	11,4	189,1	1,0	19,0	574,5	410,2
Ağustos	550,6	200,4	8,7	183,9	0,3	14,8	559,6	399,0
Eylül	487,7	168,0	2,9	135,6	0,0	9,3	490,6	312,9
Ekim	349,5	128,8	0,0	74,3	0,0	32,9	349,5	236,0
Kasım	242,4	172,6	0,0	100,8	0,0	98,8	242,4	372,2
Aralık	148,1	209,6	0,0	144,3	0,0	136,5	148,1	490,4
Toplam	4.478,8	2.138,1	49,6	1.545,9	4,3	757,1	4.532,6	4.441,1

Tablo 6'nın direk sonuçlarına bakıldığında FV sistem konutun ihtiyacından yıllık olarak 91,6 kWh fazla enerji üretmektedir. Ancak süreci birde en sıcak yaz günü (28 Haziran 2018, 41°C) ve en soğuk kış günü (8 Aralık 2018, -3°C olarak) için 24 saatlik dönemi analiz etmek üretim ile tüketim arasındaki ilişkiyi görmek için oldukça önemlidir. 28 Haziran ve 8 Aralık günleri için 24 saatlik üretim ve tüketimin saatlik değerleri ile dış hava sıcaklığı Şekil 4 ve Şekil 5'de sırasıyla verilmiştir.

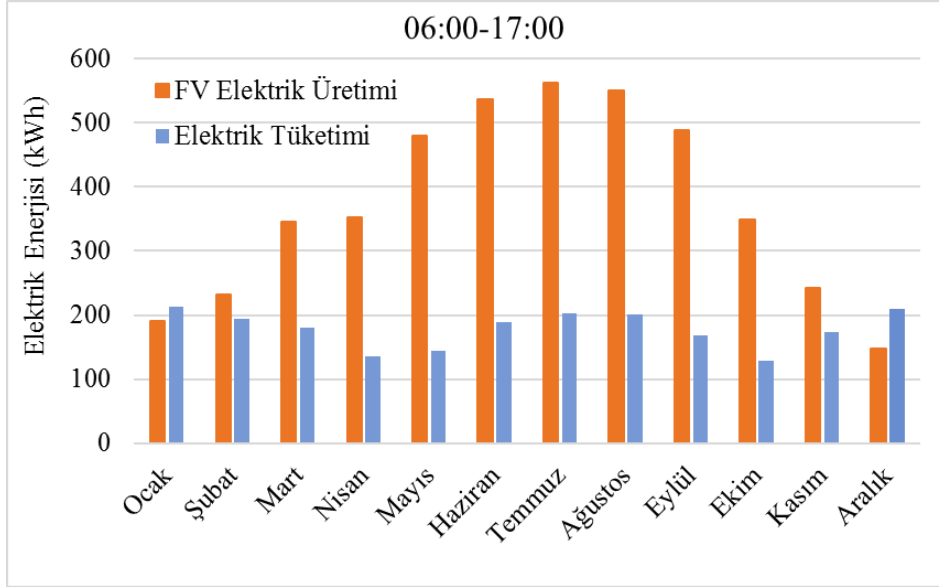


Şekil 4. 28 Haziran 2018 için konutun ihtiyaç duyduğu ve FV sistemin ürettiği enerji

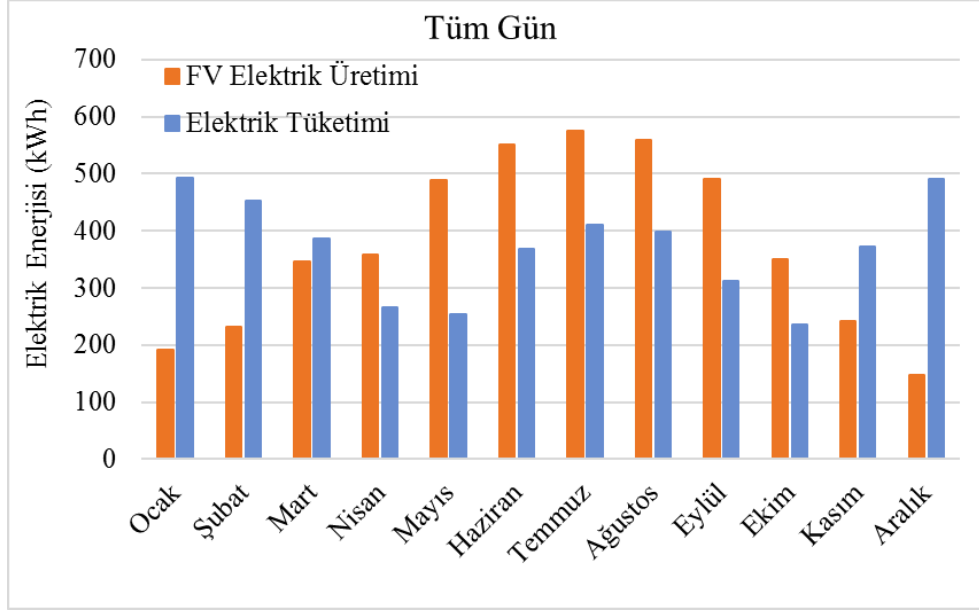


Şekil 5. 8 Aralık 2018 için konutun ihtiyaç duyduğu ve FV sistemin ürettiği enerji

Bu şekillere ek olarak FV sistemin enerji üreteceği gün zaman dilimi (06:00-17:00) aralığı ile 24 saatlik verilerin aylık ortalamaları konutun tüketimi ve FV'in üretimi şeklinde Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Özellikle yaz aylarında FV sistem konutun tüketiminin çok üzerinde enerji üretmektedir.



Şekil 6. Gündüz vakti üretim ve tüketim verilerinin aylık toplam değeri



Şekil 7. Tüm gün için üretim ve tüketim verilerinin aylık toplam değeri

Tüm bu şekillerden de görüleceği üzere gündüz kullanılmayan konutların en düşük enerji ihtiyacının olduğu zaman diliminde FV sistem en yüksek verimle çalışmaktadır. Bu tür bir yaşam döngüsüne sahip olan konutlar için on-grid bağlantı sözkonusu ise çift yönlü sayaç ile sürekli olarak şebekeye enerji satışı ve şebekeden enerji alışı söz konusu olacaktır. Bu durumda her ay mahsuplaşılarak elektrik fatura bedeli belirlenmektedir. Ancak konut off-grid olarak FV sistemi kuruyorsa ilk yatırım maliyetini arttırmakla birlikte, akülü FV sistemlerin tercih edilmesi gerektiği açıkça görülmektedir.

2018 yılı alçak gerilimden bağlanan ve dağıtım şirketinden enerji alan mesken elektrik fiyatları (aktif enerji ve dağıtım bedeli) krş/kWh olarak Tablo 7’de görülmektedir. 1 Nisan 2018 tarihinden itibaren enerji üretim bedeli ile dağıtım bedeli ayrılarak tüketilen her kWh için iki ayrı ücret kalemi faturalara yansımaktadır. Elektrik faturasından enerji üretim ve dağıtım bedellerine ek olarak bazı ek vergiler mevcuttur. Bunlar %1 enerji fonu, %2 TRT payı, %5 elektrik tüketim vergisi ve bu eklemeler yapıldıktan sonra toplam üzerinden %18 KDV şeklinde bir hesaplama yöntemi söz konusudur. Tablo 7’deki ücretlendirme ile bahsedilen vergiler eklendikten sonra elde edilen elektrik birim fiyatları Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 7. 2018 yılı krş/kWh olarak elektrik enerjisi fiyatları [2]

Zaman aralığı	Tek zamanlı	Gündüz	Puant	Gece	Dağıtım Bedeli
1 Ocak / 1 Nisan	36,1371	35,9890	54,0844	22,9162	–
1 Nisan / 1 Ağustos	24,4666	24,3097	43,4817	10,6691	12,6585
1 Ağustos / 1 Eylül	26,7294	27,2436	45,9710	12,2674	11,5546
1 Eylül / 1 Ekim	30,2732	30,8337	51,2465	14,5096	13,7387
1 Ekim / 31 Aralık	34,5298	35,1408	57,3907	17,3475	13,3206

Tablo 8. 2018 yılı krş/kWh olarak vergiler dahil nihai birim elektrik enerjisi fiyatları

Zaman aralığı	Tek zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
1 Ocak / 1 Nisan	46,0531	45,8644	68,9252	29,2044
1 Nisan / 1 Ağustos	46,1173	45,9173	70,3501	28,5337
1 Ağustos / 1 Eylül	47,6984	48,3537	72,2199	29,2680
1 Eylül / 1 Ekim	54,7918	55,5061	81,5202	34,7027
1 Ekim / 31 Aralık	59,7231	60,5017	88,8570	37,8260

Tablo 5’deki üretim tüketim bilgileri ve de Tablo 8’deki birim fiyatlar kullanılarak 2018 yılı aylık fatura bedelleri hesaplanarak Tablo 9’da sunulmuştur,

Tablo 9. 3 zamanlı tarifeye göre aylık FV sistemin elektrik üretimi ve konutun elektrik tüketiminin fatura bedelleri (TL)

Aylar	Gündüz (06:00-17:00)	Puant (17:00-22:00)	Gece (22:00-06:00)	Toplam
Ocak	97,4	96,5	40,7	234,6
Şubat	89,2	87,9	38,3	215,3
Mart	82,8	69,2	30,8	182,8
Nisan	62,5	61,8	12,1	136,4
Mayıs	66,4	70,5	2,7	139,6
Haziran	86,6	113,8	5,1	205,5
Temmuz	92,8	133,1	5,4	231,3
Ağustos	96,9	132,8	4,3	234,0
Eylül	93,3	110,5	3,2	207,0
Ekim	77,9	66,0	12,4	156,4
Kasım	104,5	89,5	37,4	231,4
Aralık	126,8	128,3	51,6	306,7
Toplam	2.138,1	1.545,9	757,1	2.481,1

FV panellerin kurulabilmesi için gerekli olan donanım ve malzeme Tablo 10’da verilmiştir [15, 16].

Tablo 10. Çatı tipi 3 kW FV sistem kurulumu için gerekli malzeme ve cihaz listesi

Malzeme/Cihaz	Adet	Birim	Maliyet
Solar PV Panel Polikristal 280 W 24 V	11	Adet	1500 \$
GW 3 kW on grid inverter	1	Adet	1350 \$
Kontrol ve İzleme Sistemi (Scada)	1	Adet	600 \$
Sabit Montaj Yapısı	1	Set	550 \$
DC Solar kablo 6mm (yaklaşık)	100	Metre	
MC4 Konektör Seti - Tekli Bağlantı - 1 Dişi 1 Erkek	1	Set	
Toplama Panosu	1	Set	1000 \$
Topraklama	1	Set	
AC Kablo NYY 4x6mm (yaklaşık)	20	Metre	
Yasal izinler ve işçilik	1	Set	1500 \$

Toplam	6500 \$
---------------	----------------

Söz konusu çalışmadaki sistemin 2 Ocak 2018’de kurulmuş olduğu kabulü ile bu tarihteki 3,76 TL olan dolar kuru üzerinden 6500 \$ maliyet hesabı yapıldığında 24.440 TL gibi bir maliyeti olacağı belirlenmiş olup TL üzerinden ekonomik analiz için bu değer kullanılacaktır. Diğer yandan ülkemizdeki döviz dalgalanmalarını da dikkate almak adına ekonomik analiz dolar kuru üzerinden de yapılacaktır. Bu nedenle her ayın takribi 15, gününe ait Merkez Bankası efektif dolar satış değerleri [17] alınmıştır ve Tablo 11’de listelenmiştir.

Tablo 11, 2018 yılı aylık dolar kurları baz alınarak konutun elektrik tüketiminin fatura bedellerinin dolar karşılığı

Ay	Dolar kuru (TL/\$)	Fatura Bedeli (TL)	Fatura Bedeli (\$)
Ocak	3,7717	234,6	62,2
Şubat	3,7845	215,3	56,9
Mart	3,9004	182,8	46,9
Nisan	4,1095	136,4	33,2
Mayıs	4,409	139,6	31,7
Haziran	4,7307	205,5	43,4
Temmuz	4,8516	231,2	47,7
Ağustos	6,1563	234,0	38,0
Eylül	6,2814	207,0	33,0
Ekim	5,8305	156,4	26,8
Kasım	5,4357	231,4	42,6
Aralık	5,3943	306,7	56,9
Toplam		2.481,1	519,2

Ülkemizde lisanssız elektrik üretimlerinde mahsuplaşma yapılmaktadır, 10 kW ve altı mesken çatı ve cephe uygulamalı güneş enerjisi projelerinde aylık mahsuplaşma yapılmaktadır. Tüketim ile üretimin aynı yerde olması aranan bu FV uygulamalarında üretilen fazla enerji şebekeye verilir. Üretimin olmadığı saatlerde ise şebekeden enerji tüketilir ve üretim ve tüketim değerleri çift yönlü sayaç ile kaydedilir. Eğer konutun enerji tüketimi FV üretiminden fazla ise fazla olan kısım mevcut tarifeden satın alınır. FV üretiminin konut enerji tüketiminden fazla olması durumunda ise fazla olan kısım mevcut satın aldığı kWh bedeli üzerinden şebekeye satılır [18]. Çatı tipi 3 kW kurulu kapasite FV sistemine sahip olan konutun aylık mahsuplaşma yöntemi sonucunda FV sisteminin basit ödeme süresi TL cinsinden değerler alındığında 10,8 yıl, dolar cinsinden hesaplama yapıldığında ise 14,1 yıl olarak bulunmuştur (Tablo 12).

Tablo 12, Çatı tipi 3 kW kurulu kapasite FV sisteminin basit geri ödeme süresi,

Parametre	TL	\$
İlk yatırım bedeli	24.440	6.500
Yıllık Fatura Bedeli	2.481,1	519,2
Mahsuplaşma sonucu yıllık fatura bedeli	220,3	58,7
Yıllık kar	2.260,8	460,4
Basit geri ödeme süresi (yıl)	10,8	14,1

6, SONUÇLAR

Bu çalışmada İzmir ilinde bulunan 4 kişilik bir ailenin yaşadığı, tek katlı, 117 m² kullanım alanına sahip, split klima ile ısıtma ve soğutması sağlanan bir konutun elektrik enerjisi tüketiminin, konutun çatısına kurulan yaklaşık 3 kW kurulu güce sahip fotovoltaik panel sistemi ile ne oranda karşılanacağı ve de öngörülen bu sistemin 3 zamanlı elektrik tarifesine göre yaklaşık geri ödeme süresinin ne olacağı araştırılmıştır.

Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda listelenmiştir,

- Konutun yıllık elektrik tüketimi 2.441,1 kWh olarak belirlenmiştir. Bu tüketimin % 27'si ısıtmadan dolayı, %23'ü evsel elektrikli aletlerden kaynaklanmaktadır. Soğutma, aydınlatma ve sıcak su ihtiyacı nedeniyle olan tüketimler sırasıyla yıllık tüketimin %15, %14 ve %21'i kadardır.
- FV sistemin yıllık elektrik üretimi 2.582,5 kWh'tir.
- 3 zamanlı tarifeye göre konutun yıllık elektrik fatura bedeli 2.481,1 TL olurken, aylık dolar kuru dikkate alınarak yapılan analizde ise bu değer 519,2 \$'a karşılık gelmektedir.
- 11 adet 280 W'lık fotovoltaik panelden oluşan çatı üstü sistemin anahtar teslim maliyeti 6.500 \$, 2018 yılı Ocak ayı dolar kuru ile de 24.440 TL olmaktadır.
- Aylık mahsuplaşma yöntemi uygulanarak fotovoltaik sistemin basit geri ödeme süresi TL cinsinden hesaplama ile 10, 8 yıl olurken, hesaplama dolar cinsinden yapılırsa geri ödeme süresi 14,1 yıla çıkmaktadır.

SEMBOLLER

- A_{PV} : FV panel alanı (m²)
 \bar{E}_i : Saatlik elektrik üretimi (kWh)
 \bar{I}_d : Yayılmış (difüz) ışınım (W/m²)
 \bar{I}_G : Global ışınım (W/m²)
 \bar{I}_T : Eğimli yüzeye gelen saatlik ışınım (W/m²)
 n : Gün sayısı (-)
 n_{PV} : FV panel sayısı (-)
 R_b : Eğik bir düzlemdeki ışınlarının ölçüm düzlemindeki ışınma oranı (-)
 T_a : Dış hava sıcaklığı (°C)
 T_c : Hücre sıcaklığı (°C)
 T_{ref} : Referans sıcaklık (°C)
 U : Toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K)
 w : Saat açısı (°)
 w_s : Günbatımı saat açısı (°)

Yunan harfleri:

- β : PV panel eğim açısı (°)
 δ : Sapma açısı (°), güneş ışınım katsayısı
 $\bar{\eta}_i$: i saati için aylık ortalama FV panel verimi (%)
 $\eta_{mp,ref}$: Referans maksimum güç verimi (%)
 μ_{mp} : Maksimum güç verimi için sıcaklık katsayısı (%/°C)
 ρ_g : zemin yansıtıcılığı (-)
 \emptyset : enlem (°)

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (Erişim tarihi: 18.09.2019)
- [2] <https://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim tarihi: 18.09.2019)
- [3] Pflugradt N., Muntwyler U., Synthesizing residential load profiles using behavior simulation, CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, Lausanne, Switzerland, 6-8 September 2017.
- [4] Hayn M., Bertsch V., Fichtner W., Electricity load profiles in Europe: The importance of household segmentation, Energy Research & Social Science, No.3, pp. 30-45, 2014.
- [5] Yılmaz S., Chambers J., Patel M. K., Comparison of clustering approaches for domestic electricity load profile characterization- Implications for demand side management, Energy, No.180, pp.665-677, 2019.
- [6] Chodon P., Lhendup T., Residential electricity use load profile using monthly electricity consumption, WEENTECH Proceedings in Energy RESD 2015, Royal University of Bhutan, 15-17 June 2015.
- [7] Nyholm E., Goop J., Odenberger M., Johnsson F., Solar photovoltaic-battery systems in Swedish households-Self-consumption and self-sufficiency, Applied Energy, No. 183, pp. 148-159, 2016.
- [8] Design Builder & Energy Plus software programs, Design Builder Software Ltd., United Kingdom, Design Builder& Energy Plus software library; 2019, <<https://www.designbuilder.co.uk/>> (Erişim tarihi: 01.10.2019).
- [9] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Türk Standardı, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf?tipi=68. 1998.
- [10] Mitsubishi Electric, https://www.mitsubishielectricsolar.com/images/uploads/documents/specs/MLE_280.pdf (Erişim tarihi: 10.10.2019).
- [11] Bilir, L., Yıldırım, N., Modeling and performance analysis of a hybrid system for a residential application, Energy, No. 163, pp. 555-569, 2018.
- [12] Meteonorm, <https://meteonorm.com/en/> (Erişim tarihi: 05.09.2019).
- [13] Slimani MEA, Amirat M., Kurucz I., Bahria S., Hamidat A., Chaouch WB., A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and

photovoltaic (PV) module: comparative study under Algiers climatic conditions, Energy Convers Manag, No.133, pp. 458-76, 2017.

[14] D'Orazio M., Di Perna C., E,Di Giuseppe., Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean climate, Energy Procedia, No.42, pp. 183-92, 2013,

[15] <https://www.gunesdukkani.com/3-kw-%C5%9Febeke-baglanti-cati-uygulamasi> (Erişim tarihi: 18.09.2019)

[16] <https://morfikirler.com/catilara-gunes-paneli-kurmak-maliyeti/> (Erişim tarihi: 18.09.2019)

[17] <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/istatistikler/doviz+kurlari/gosterge+niteligindeki+merkez+bankasi+kurlari> (Erişim tarihi: 10.10.2019)

[18] Korkmaz, H., Güneş enerjisinden elektrik üretim mevzuatı, <http://www.guyad.org/Eklenti/125.gunes-enerjisinden-elektrik-uretimi-guncelmevzuatipdf.pdf?0>, (Erişim tarihi: 14.10.2019)

ÖZGEÇMİŐ

Hacer ŞEKERCİ 1986 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 1989 yılında aynı Üniversite'de Yüksek Lisans ve 1998 yılında da Doktora çalışmasını tamamladı. Akademik yaşamına 2009 yılına kadar DEÜ'de devam etti. 2009 yılında Yaşar Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaya başlayarak halen burada çalışmasını sürdürmektedir. TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şube'de değişik dönemlerde Yönetim Kurulu üyeliği yapan Şekerci řu anda da Yönetim Kurulu yazman üye görevini sürdürmektedir. Enerji Yöneticisi sertifikası sahibi olup, elektrik motorları, enerji, enerji kalitesi, enerji verimliliği, yüksek gerilim, iletim ve dağıtım konularında çalışmalarını yürütmektedir.

Nurdan YILDIRIM 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. 2014 yılında Yaşar Üniversitesi'nde Yardımcı Doçent olarak göreve başlayan Dr, Yıldırım, halen Yaşar Üniversitesi'nde Makina 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, iklimlendirme sistemleri ile enerji verimliliği alanlarında çalışmalarını yürütmektedir.