

Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde örnek uygulamalar

Case studies in electricity generation with solar energy

İbrahim Timuçin İNCE^{1*}

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
timucinince@arel.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 08.02.2021

Bölüm/Section: Mühendislik-Mimarlık ve Doğa Bilimleri/Makine Mühendisliği

Kabul Tarihi/Accepted: 03.04.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri ve enerji kaynaklarının temeli olan güneş enerjisi, ülkemiz için güneş alma potansiyeli dikkate alındığında enerji üretim kaynakları arasında en baskın olanıdır. Ülkemizde güneş enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretimi konusu oldukça yaygındır. Ayrıca elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisini kullanan birçok Avrupa Birliği ülkesinden daha yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjisinin Türkiye ve Dünya açısından değerlendirilmesi yapılarak elektrik enerjisi üretimindeki yöntemleri vurgulanmıştır. Güneş kuşağında bulunan ülkemizin ışınım değerleri kullanılarak İstanbul'da ve İzmir'de kurulu kobilerdeki elektrik santralinin kendi ihtiyacı olan elektrik enerjisinin üretimi ve tüketemediği enerjinin kalanını şebekeye aktarılması ile ilgili incelemeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Analiz, Elektrik enerjisi, Güneş enerjisi, Uygulama

Abstract

Solar energy, which is one of the renewable energy sources and the main of energy resources, is the most dominant among energy generation sources, considering the solar potential for our country. Our country has advanced in producing electricity using solar energy and has much more solar energy potential than European Union countries that produce electricity from solar energy. In this study solar energy has been examined from the view of Turkey and World and explained the electric energy production methods. Using Turkey solar band sunlight values, for a small and medium sized enterprises electricity demand installed in İstanbul and İzmir has been analysed, dizayned and produced with solar energy and required analysis has been done for unused energy transferred to the main electricity network.

Keywords: Analysis, Electric energy, Solar energy, Application

1. Giriş

Son yıllarda enerji kaynaklarının hızla tükenme noktasına gelmesi ve ayrıca çevre kirliliğine sebep olması nedeniyle yeni, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar hız kazanmış ve teşvik edilmiştir. Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli dikkate alındığında, bu temiz enerji kaynağının kullanılması hem çevre kirliliğine hem de enerji ekonomisine yapacağı katkı bakımından son derece önemlidir. Enerji türleri karşılaştırıldığında güneş enerjisinin diğer enerji türlerine nazaran oldukça çok avantajlara sahiptir.

Güneş enerjisi her şeyden evvel bol, temiz ve yerel uygulamalara elverişlidir. Güneş enerjisini her geçen gün cazip kılan ve bu enerjiden yararlanan sistemlerin sayısını git gide arttıran sebeplerin başında petrol fiyatlarında meydana gelen artışlar gösterilebilir. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde belli başlı olanlar şu şekilde düzenlenebilir.

Aksoy [1] tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi ile oluşturulan hibrit sistem kullanarak elektrik üretimi yapan sisteminin tarımsal sulama amaçlı teorik ve deneysel araştırması yapılmıştır. Hibrit sistem ile pompalanan su damla sulama yöntemi ile sulama sulamaya göre ortalama %50 su tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir.

* Yazışılan yazar/Corresponding author: İbrahim Timuçin İNCE

¹ orcid.org/0000-0003-0256-3619

Fotovoltaik hücrelerin enerji dönüşüm verimleri hakkında araştırmalar çok uzun zamandan beri devam etmektedir. Öztürk [2] bu konuda güneş enerjisinden faydalanarak fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler konusunda bir çalışma yapmıştır.

Kapluhan [3], güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fotovoltaik teknolojisi konusunda Türkiye'deki ve Dünya'daki mevcut durumu belirten ve güneş pili uygulamaları hakkında bilgi veren bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında enerji sektöründe Türkiye'nin etkin bir rol üstlenebilmesi ve ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması; AB'de olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın bir şekilde kullanılmasının teşvik edilmesi, güneş pili kullanılmasının yaygınlaştırılması amacıyla yapılacak çalışmaların desteklenmesi gerektiği sonucuna varmıştır.

Keskin [4] tez çalışmasında 5kW'lık şebekeden bağımsız FV sistem Türkiye'nin farklı bölgelerinde yer alan 7 il için PVSYST 5.0 paket programı aracılığıyla modelleri gerçekleştirilmiştir. 7 yıl için yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde FV sistemde kullanılacak modüllerin seçiminde, ilin yıl içindeki sıcaklık farkları ve bu modüllerin sıcaklıktan kaynaklanacak verimlerdeki düşmelerin göz önünde bulundurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Rüstemli ve Dinçer [5] son yıllardaki güneş enerjisi kullanımı artışından dolayı, Van iline ait mevcut güneş enerjisi potansiyelini göz önüne alarak bir uygulama yapmıştır. Yapılan ölçümler ve çalışmalar neticesinde ülkemizdeki enerji kaynakların sınırlı olması ve ayrıca dışa bağımlılığın giderilmesi için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmemiz gerektiği sonucuna varılmıştır.

Dinçer [7] çalışmasında ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli ile AB ülkelerinin sahip olduğu potansiyel karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve bununla birlikte güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde maliyet analizleri yapmıştır. Ülkemizin, enerji alanında dışa bağımlılığını en düşük seviyelere indirmek ve enerji harcamaları nedeniyle harcama yapmak yerine tüketicilere çeşitli destek ve teşvikler sağlayarak güneş pillerinin kullanımı özendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

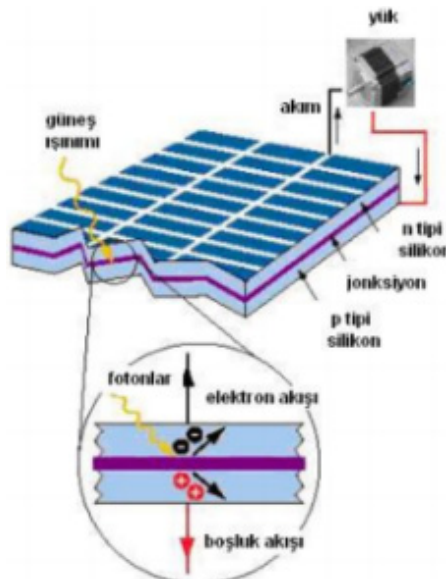
Kılıç [8] tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjisi genel olarak ele alınmış, Türkiye'de güneş enerjisinin mevcut durumu, güneş enerjisi potansiyeli, üretimleri, devlet teşvikleri, kullanım sahaları ve güneş enerjisi teknolojileri incelenmiştir.

2. Güneş enerjisinden elektrik üretimi

Güneş enerjisi ev ve iş yerlerinde iklimlendirme, pişirme, sıcak su ihtiyacı; tarımsal teknolojide, seralarda ısıtma ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında; sanayide, birçok uygulamada; ulaşım ve iletişim araçlarında ve elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar güneş enerjisinden elektrik üretiminin, yenilenebilir enerjinin bütün mikro-makro sistemlerde tercih edildiği günümüzde dünyada oldukça yaygınlaşmakta olduğunu göstermektedir.

2.1. Güneş pilleri

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde, güneş pilleri veya fotovoltaik piller olarak isimlendirilen yarı iletken özelliğe sahip maddeler kullanılmaktadır. Güneş enerjisini doğrudan kullanabilen fotovoltaik piller, güneş hücreleri ya da güneş pilleri diye bilinen cihazlar, üzerlerine gelen foton enerjisini eşit sayıda pozitif ve negatif yükler meydana getirerek yararlı elektrik enerjisine dönüştürürler [2].



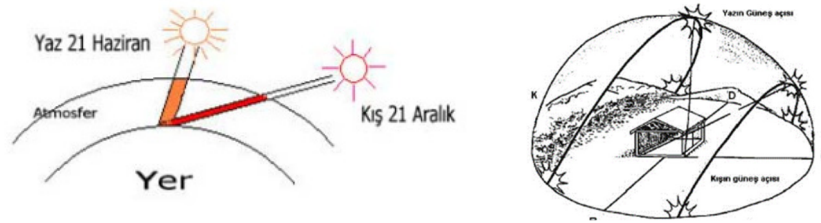
Şekil 1. Bir güneş pilinin fotovoltaik etkisi

Şekil 1’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan güneş pilinin fotovoltaiik etkisi gösterilmiştir. Elektrik akımının üretilmesi güneş ışınımının, güneş paneline gelmesiyle birlikte güneş pilinde bulunan yarı iletken teknolojisi sayesinde meydana gelen elektron alışverişi sonucu sağlanabilmektedir. Güneş pillerinin göze çarpan özellikleri arasında uzun ömürlü olması, dayanıklı olması ve kayda değer bir çevre kirliliğine neden olmayan yarı iletken aygıtlar olduğu söylenebilir. Çalışmaları esnasında herhangi bir elektriksel sorun çıkarmazlar ve bakım gereksinimleri ise oldukça azdır. Çok küçük güç ihtiyaçlarını karşılayabilmelerine karşın, kendi başlarına bir güç üretim merkezi gibi de çalışabilirler.

Güneş pilleri, yapısına bağlı olarak verimleri %5-%20 aralığında güneş enerjisini elektrik enerjisine çevrilebilir. Güneş pillerinin elektrik üretimindeki etkin parametreleri;

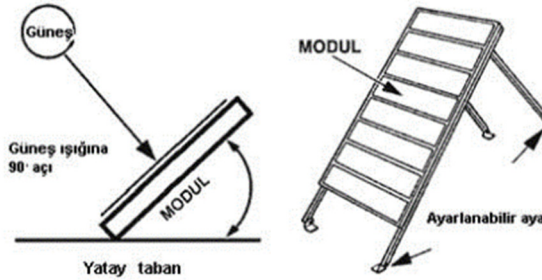
- Güneş ışınımının yoğunluğu
- Güneşlenme zamanı
- Güneşin geliş açısı
- Sıcaklık
- Malzemenin yapısıdır.

Türkiye’nin dünya üzerindeki konumu, 42-36 Kuzey enleminde yer almaktadır. Bu sebeple şekil 2’de gösterildiği gibi kışları ve yazları Güneş ışınımında yaklaşık olarak 30 derece civarlarında bir açı değişimine maruz kalmaktadır. Güneş ışığının geliş açısı yazları, 21 Haziran’dan itibaren yeryüzüne en dik açıyla ulaşmakta, ancak kışın 21 Aralık’tan sonra Güneş ışığı en yatay duruma gelmektedir [3].



Şekil 2. Güneş ışınlarının yeryüzüne geldiği açı

Solar enerji panelini her iki zamanda da öğle saatlerinde güneş ışığına dik bakacak şekilde konumlandırmak verimi artırır. Bu nedenle solar panelleri mümkün olduğu kadar dikey açıda ayarlanmasını kolaylaştıracak bir düzen halinde sabitlemesi gerekir. Mevsimsel açı değişikliği yılın belirli dönemlerinde meydana geleceği için manuel olarak açı ayarlarken bu durum kolaylık sağlar.



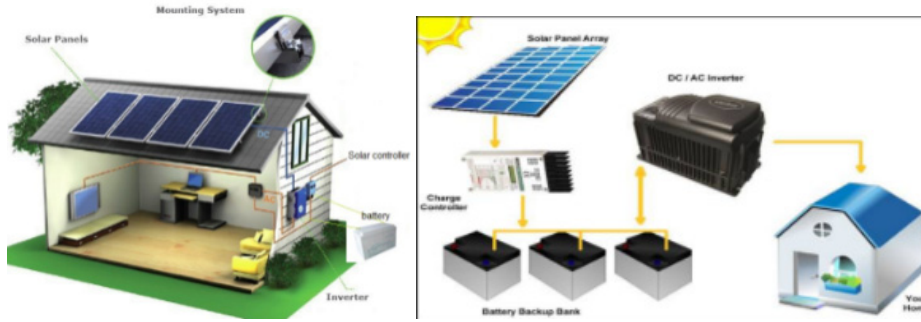
Şekil 3. Güneş panellerinin yerleştirildiği açı

Türkiye’nin yer aldığı enlemler üzerinde yaz sezonunda elde edilen solar enerjinin, kışın yalnızca 1/3 kadarı elde edilir. Bu nedenle güneş paneli enerjisini, kış ve yaz şartlarına göre ayrı ayrı hesaplamak daha doğru sonuca ulaştırır (Şekil 3).

2.2. On-Grid/ Off-Grid sistemler

Güneş ışınlarının atmosferden gelerek solar sistemlere ulaşmasıyla DC elektrik enerjisi üretilir. Bu enerjinin kararlı şekilde şarj temin edebilmesi amacıyla otomatik şarj kontrollüne sahip solar regülatörler ile regüle edilir. Solar regülatörler ile regüle edilen enerji, bir aküde depolanır. Depo edilen DC elektrik enerjisi otomatik kontrollü, yüksek demeraja dayanıklı, tam sinüs sabit çıkış verebilen solar invertörler ile dönüştürülerek 230 Volt AC çıkış elde edilir. Şekil 4’te gösterildiği gibi invertörün çıkışından alınan bu enerji, kullanılmak istenen sistemin girişine bağlanır.

Kullanılması istenen alanın enerji ihtiyacı belirlenerek, kurulması gereken sistem ekipmanları (Şekil 5) tespit edilir. Depolanacak enerji miktarı, günlük ihtiyaç duyulan enerjinin en az 3 katı olarak belirlenir. [4]



Şekil 4. Depolanarak şebekeden bağımsız sistem

Hesaplanan güçte bir elektrik enerjisi üretimi, merkezi şebekeye bağlı elektrik üretim sistemiyle sağlanabilir. Üretilmek istenen enerjinin miktarı tespit edilir. Atmosferden solar sistemler üzerine gelen güneş ışınları DC elektrik enerjisini oluşturur.

Üretilen enerji yüksek çevrim gücü olan, merkezi şebekeye bağlanabilen invertörler ile merkezi şehir şebeke sistemine bağlanarak doğrudan şebeke sistemine yönlendirilmiş olur [4].

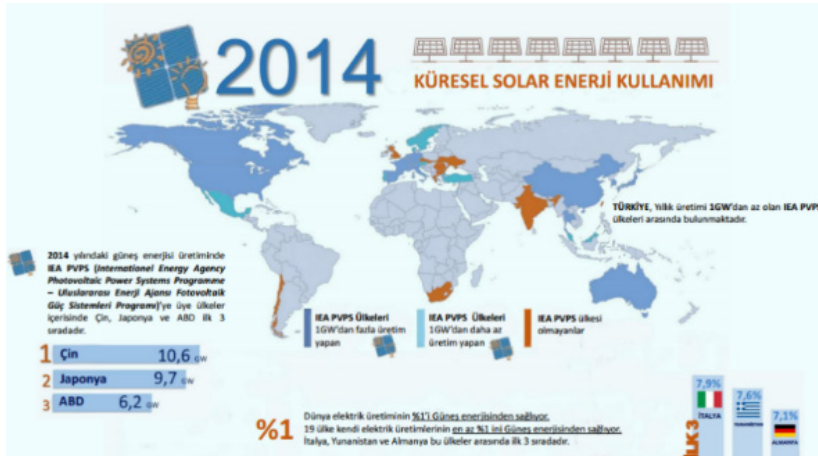
Güneş enerjisiyle elektrik üretimi kurulum açısından en kolay enerji üretim aracı olmasının yanında, en uzun ömürlü, işletme maliyeti olmayan, kolay ve taşınabilir olmasından kaynaklanan kullanım kolaylığı olan bir enerji üretim şeklidir [5].



Şekil 5. On grid sistemde kullanılan teçhizatlar

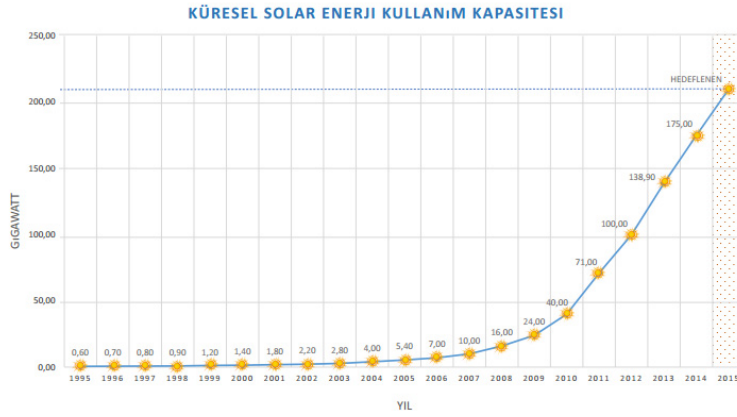
3. Güneş enerjisi potansiyeli

Dünya yüzeyinden yaklaşık 160 km mesafede atmosferin üst sınırında güneş ışınlarının gelme yönüne dik bir yüzeye gelen ortalama güneş enerjisi yoğunluğu diğer bir deyişle güneş sabiti yaklaşık 1.37 kW/m²'dir. Şekil 6'da görüldüğü gibi dünyada güneş enerjisinden yararlanan en iyi bölge, ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan kısımdır. Bu bölgeye “Dünya Güneş Kuşağı” adı verilir. 1 yılda ortalama 2000-3500 saat güneş alır ve güneş potansiyeli 3,5-7 kWh/m²/gün arasında değişir. [6]



Şekil 6. Bölgesel olarak Güneş enerjisinden faydalanma [6]

Şekil 7'de görüldüğü gibi dünya üzerindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı, kurak bölgelerde 2000-2500 kWh/m², daha üst enlemlerde ise 1000-1500 kWh/m² arasındadır. [6]



Şekil 7. Dünya'daki güneş enerjisinin yıla göre kullanım miktarı

Türkiye coğrafi konum olarak, birçok ülkeye göre daha yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu için oldukça şanslı durumdadır. Tablo 1'de verilen illerimizin yıllık güneş alma değerleri görülmektedir. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji geldiği değerlendirilmektedir. Türkiye, 110 gün gibi oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu için Türkiye'de birim metre kare başına yılda ortalama 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretim kapasitesi olduğu belirtilmektedir [8].

Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli Avrupa'nın önde gelen güneş enerjisi yatırımlarına sahip Almanya, İspanya ve Çek Cumhuriyeti gibi ülkelere göre daha fazla olmasına rağmen düşük olan yatırım oranının ilgili düzenlemelerin son zamanlarda yapılmış olmasıyla yakın zamanda bu ülkelerdeki oranlara ulaşılacağı tahmin edilmektedir [8].

Tablo 1. İllerimizin yıllık güneş alma değerleri

İLLERE GÖRE GÜNEŞLENME SÜRELERİ					
İL	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)	Radyasyon Değeri (KWh/m2-yıl)	İL	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)	Radyasyon Değeri (KWh/m2-yıl)
Adana	2,953	1,564	Istanbul	2,446	1,612
Adıyaman	2,961	1,595	İzmir	2,986	1,496
Afyonkarahisar	2,705	1,557	Karabük	2,402	1,369
Ağrı	2,778	1,570	Karaman	3,007	1,660
Aksaray	2,886	1,578	Kars	2,537	1,472
Amasya	2,427	1,392	Kastamonu	2,394	1,364
Ankara	2,611	1,473	Kayseri	2,842	1,588
Antalya	3,011	1,646	Kırkkale	2,648	1,460
Ardahan	2,310	1,472	Kırklareli	2,628	1,321
Artvin	2,124	1,409	Kırşehir	2,769	1,509
Aydın	3,011	1,557	Kilis	2,975	1,575
Balıkesir	2,686	1,418	Kocaeli	2,373	1,329
Bartın	2,376	1,307	Konya	2,898	1,608
Batman	2,873	1,576	Kütahya	2,559	1,490
Bayburt	2,398	1,529	Malatya	2,873	1,599
Bilecik	2,424	1,412	Manisa	2,840	1,486
Bingöl	2,719	1,592	Kahramanmaraş	2,913	1,610
Bitlis	2,690	1,604	Hardin	3,033	1,588
Bolu	2,402	1,416	Huğla	3,040	1,587
Burdur	2,944	1,631	Muş	2,686	1,591
Bursa	2,515	1,393	Nevşehir	2,834	1,537
Çanakkale	2,807	1,375	Niğde	2,930	1,620
Çankırı	2,514	1,432	Ordu	2,263	1,303
Çorum	2,511	1,419	Osmaniye	2,954	1,555
Denizli	2,931	1,591	Rize	2,124	1,403
Diyarbakır	2,613	1,473	Sakarya	2,358	1,342
Düzce	2,362	1,344	Samsun	2,314	1,335
Edirne	2,697	1,319	Sirt	2,828	1,591
Elazığ	2,829	1,588	Sinop	2,347	1,328
Erzincan	2,595	1,555	Sivas	2,653	1,538
Erzurum	2,504	1,393	Tekirdağ	2,606	1,337
Eskişehir	2,479	1,472	Tokat	2,464	1,431
Gaziantep	2,978	1,582	Trabzon	2,132	1,394
Giresun	2,285	1,435	Tunceli	2,716	1,579
Gümüşhane	2,349	1,500	Şanlıurfa	3,033	1,586
Hakkari	3,508	1,610	Şırnak	2,975	1,601
Hatay	2,997	1,536	Uşak	2,789	1,540
İsparta	2,858	1,612	Van	3,070	1,652
İğdir	3,340	1,487	Yalova	2,424	1,342
İçel	3,015	1,614	Yozgat	2,683	1,494
			Zonguldak	2,380	1,313

4. Uygulama / Güneş enerjisi santrali

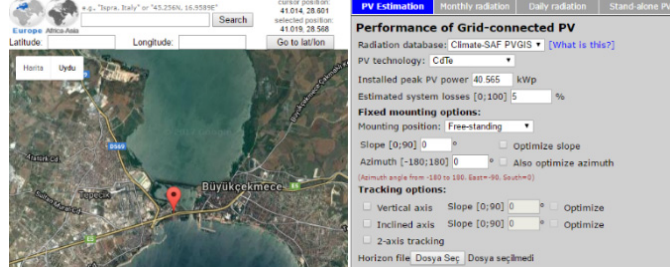
Üretililecek enerji kapasitesi veya üretmek istenen enerjinin miktarı, çatının veya arazinin boyutlarına göre elde edilebilecek ortalama gelir ile hesaplanabilir. Ortalama kurulum maliyetleri ve tahmini geri dönüş süresi, tahmini arazi veya yer ihtiyacı ve kurulumda kullanılacak güneş paneli ve evirici hesabı buna göre yapılabilir.

4.1. Kurulum maliyeti

Güneş enerjisi santrallerinde kurulum maliyetini etkileyen faktörler; kurulum yapılması planlanan sistemin maliyeti, çatı sistemi, yer sistemi, güneş takip sistemi, arazi koşulları, sahanın konumu ve işçilik maliyetlerinin fiyatıdır.

Güneş enerjisi aracılığıyla üretmek istediğiniz elektrik kilowatt değerini Tablo 2’de görüldüğü gibi "PVGIS" tablosuna girdikten sonra kurmak istediğiniz sistem şekli seçilir. Sistem tarafından, kurulmak istenen durum için gerekli alan, gerekli panel ve invertör değerleri belirtilerek enerji sahası maliyeti ortalama olarak hesaplanır.

Tablo 2. PVGIS yıllık üretilen elektrik değerini sunan veri tablosu [9]

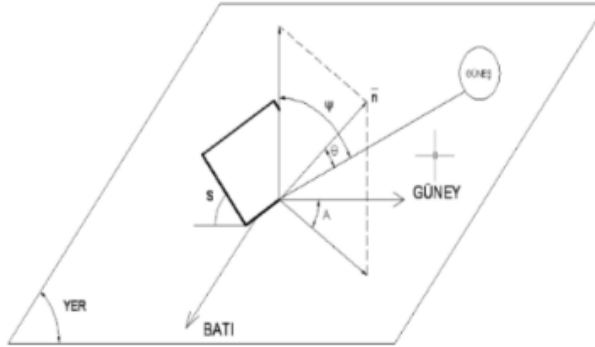


Kullanılacak olan panellerin üretim değeri tabloya girildiğinde yıllık üretilecek elektrik enerjisi verileri elde edilebilir.

4.2 Bir kobi için santral kurulumu ve elektrik üretimi

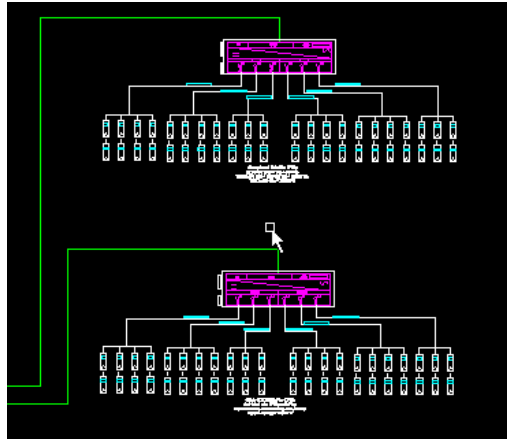
İstanbul’da faaliyet gösteren bir KOBİ için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin, güneş enerjisinden temini için gerekli olacak güneş panellerinin kurulacağı alan tespit edilmiştir. Bu aşamada kurulacak panellerin yerleşeceği alan 1000 m² olduğundan bu alanda üretilebilecek elektrik enerjisi tespit edilmiştir.

Projede uygun solar panel kullanılmıştır. Her bir panel Şekil 8’de görüldüğü gibi 2m*1m olup 30° açılar ile yerleştirilmesi tasarlanıp 1dönüm alana toplamda 528 adet panel yerleştirilmiştir.



Şekil 8. Panellerin yerleştirilme açısı

Şekil 9’da görüldüğü gibi 12 adet panelden 1 (string) grup oluşturulup, 44 adet stringden 1 sıra oluşturulmuştur. Kurulum yapılan alana tam olarak 4 sıra panel yerleştirilmiştir.



Şekil 9. Toplam kurulmuş olan panellerin şematik görünümü

Toplamda 528 adet güneş paneli kurulu olduğundan bir adet panelin üretim gücü 77 Wp’dir.

$77 * 528 = 40,656$ Wp'lik bir günlük en yüksek elektrik üretimi olacağı sonucuna varılmaktadır.

4.3 Güneş enerjisinden elektrik üretiminde pvgis uygulaması

Kurulumun güneş radyasyon veri tabanı: PVGIS-CMSAF[10]

Sitemin nominal gücü: 40.6 kW

Sıcaklık ve düşük parlamadan kaynaklı tahmini kayıplar: -0.9 %

Açısal yansıma etkilerinden kaynaklı tahmini kayıp: 3.5 %

Diğer kayıplar: 5.0 %

Bütünleşik sistem kayıpları: 7.4 %

Tablo 3. Kobi'nin yıllık ortalama üreteceği Elektrik Enerjisi

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	60.70	1880	1.58	49.1
Feb	87.10	2440	2.25	62.9
Mar	145.00	4510	3.76	117
Apr	190.00	5690	4.97	149
May	243.00	7540	6.48	201
Jun	269.00	8070	7.29	219
Jul	276.00	8560	7.45	231
Aug	241.00	7460	6.53	203
Sep	178.00	5340	4.76	143
Oct	119.00	3680	3.12	96.6
Nov	75.60	2270	1.98	59.5
Dec	51.40	1590	1.34	41.7
Year	162.00	4920	4.30	131
Total for year		59000		1570

Tablo 3'te, Ed: Sistemin günlük ortalama elektrik üretimini (kWh), Em: Sistemin aylık elektrik üretimini(kWh), Hd: Yzeyeye düşen günlük güneş enerjisi miktarını (kWh/m²), Hm: Modül tarafından toplanan aylık toplam güneş enerjisi miktarını (kWh/m²) ifade etmektedir.

Buradan aylara göre güneş enerjisinden elde edilen verimi incelediğimizde Mayıs ayında günlük elektrik üretimi en yüksek değerde Aralık'ta ise en düşük değerde olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 3'te grldği gibi kobiye kurulan santralde ortalama aylık üretilen elektrik gücü 59000 kWh/m² olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sistemde kullanılan diğer malzemeler, kartuş sigorta, termik manyetik devre kesici, YG/AG gücü trafosu, mevcut trafo direği, YG prafudr, AG prafudr, Fotovoltaik modül, Kondansatör, AC toplama panosu, DC toplama panosu, Elektronik sayaç, AG akım trafosu, DC/AC evirici, Ampermetre, Voltmetre, harici sigortalı torak ayırıcıdır.

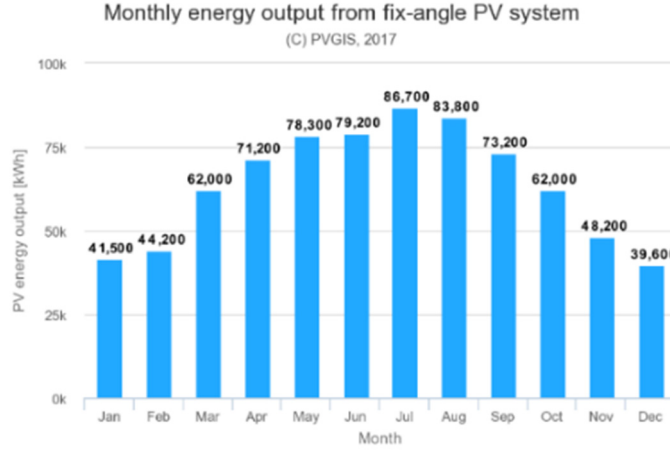
4.4 İzmir'de bulunan bir üretim tesisi için santral kurulumu ve elektrik retimi

İzmir bölgesindeki bir fabrikanın çatısına 500kWlık düz beton zemine delik delmeden güneş enerjisi santrali kurulmuştur. Projede;

- 270 W, 1870 adet polikristalpanel
- 17 adet invertör
- 1x6 mm² PV1-F solar kablo
- Upgrade Enerji - Gürsan Alüminyum tarafından düz beton zemine uygun 25 adet açılı alüminyum destek sistemi kullanılmıştır.



şekil 10. Saha Uygulaması



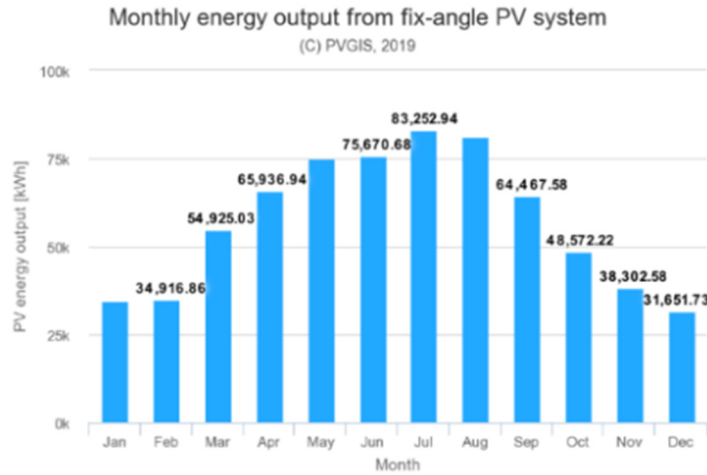
Şekil 11. PV Sistemin Aylık Güneş Enerjisi Yoğunluğu-İzmir Örneği [10]

Tablo 4. Kazanç Tablosu

YIL	Tahmin edilen yıllık elektrik üretimi (kWh)	Tahmin edilen elektrik satış fiyatı(TL)	Yıl sonunda elde edilen gelir (TL)
1	770.000,00	0,50000	385.000,00
2	764.610,00	0,55000	420.535,50
3	759.257,73	0,60500	459.350,93
4	753.942,93	0,66500	501.749,02
5	748.665,33	0,73205	548.060,45
6	743.424,67	0,80526	598.646,43
7	738.220,70	0,88573	653.901,50
8	733.053,15	0,97436	714.256,60
9	727.921,78	1,07179	780.182,49
10	722.828,33	1,17897	852.193,33
11	717.766,54	1,29687	930.850,78
12	712.742,18	1,42656	1.016.768,30
13	707.752,98	1,56921	1.110.615,02
14	702.798,71	1,72614	1.215.125,83
15	697.879,12	1,89875	1.325.097,40
16	692.993,97	2,08862	1.447.403,89
17	688.143,01	2,29749	1.580.999,26
18	683.326,01	2,52724	1.726.925,50
19	678.542,72	2,77996	1.886.320,72
20	673.792,93	3,05795	2.060.428,12
Toplam:	14.417.660,76	kWh	20.212.412,12

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere İzmir bölgesinde ortalama günlük güneşlenme süresi 4,2 saat olup 50 kW bir sistemde yıllık 770.000 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Modül verimliliğinin 20 yılın sonunda ortalama %15 azaldığı göz önüne alınırsa, yıllık elektrik üretimi 673.792,93kWh seviyelerine düşeceği görülmektedir (Tablo 4).

Eğer aynı sistem İstanbul'da kurulmuş olsaydı kurulacak olan PV sistemin alacağı aylık güneş enerjisi yoğunluğu Şekil 12'de görüldüğü gibi olurdu.



Şekil 12. Aylık Güneş Enerjisi Yoğunluğu-İSTANBUL [10]

Tablo 5. Kazanç Tablosu

YIL	Tahmin edilen yıllık elektrik üretimi (kWh)	Tahmin edilen elektrik satış fiyatı(TL)	Yıl sonunda elde edilen gelir (TL)
1	685.000,00	0,50000	342.500,00
2	680.205,00	0,55000	374.112,75
3	675.443,57	0,60500	408.643,36
4	670.715,46	0,66550	446.361,14
5	666.020,45	0,73205	487.560,27
6	661.358,31	0,80526	532.562,08
7	656.728,80	0,88578	581.717,57
8	652.131,70	0,97436	635.410,10
9	647.566,78	1,07179	694.058,45
10	643.033,81	1,17897	758.120,04
11	638.532,57	1,29687	828.094,52
12	634.062,84	1,42656	904.527,65
13	629.624,40	1,56921	988.015,55
14	625.217,03	1,72614	1.079.209,38
15	620.840,51	1,89875	1.178.820,41
16	616.494,63	2,08862	1.287.625,54
17	612.179,17	2,29749	1.406.473,37
18	607.893,91	2,52724	1.536.290,86
19	603.638,66	2,77996	1.678.090,51
20	599.413,19	3,05795	1.832.978,27
Toplam:	12.826.100,80	kWh	17.981.171,82

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere İstanbul bölgesinde ortalama günlük güneşlenme süresi 3.8 saat olup 500 kW bir sistemde yıllık 685.000 kWh elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Modül verimliliğinin 20 yılsonunda ortalama %15 azaldığı göz önüne alınır, yıllık elektrik üretimi 599.413,29 kWh seviyelerine düşeceği görülmektedir (Tablo 5). Kurulum yapılan yerin bir OSB olduğu göz önüne alınarak uygulanan tarife 0.50TL/kWh civarındadır. Yıllık elektrik fiyatı artışı %10 olduğu düşünülürse 20 yıl sonunda 17.91171,82 TL kazanç elde edilmektedir. 1 kW lık bir ges sisteminin maliyetinin 700€ olduğu düşünülürse, toplamda 350.000 € luk bir yatırım maliyeti 5,5 yılsonunda kendini amorti etmektedir.

Eğer iki uygulamayı kıyaslayacak olursak, İzmir bölgesinde kurulan sistemde yıllık 770.00 kW lık bir enerji üretimi sağlanırken, İstanbul bölgesinde bu rakamın 685.000 kW'lar seviyesine düştüğü görülmektedir. Yıllık enerji üretimindeki %12'lik düşüşün sebebi bu iki bölgenin günlük güneşlenme sürelerinin farklılığından kaynaklanmaktadır.

5. Sonuç

Türkiye coğrafi konumu bakımından avantajlı olsa da enerjide önemli bir oranda kendi kendine yeter durumda değildir. Türkiye'nin enerjide kendi kendine yeter duruma gelebilmesi için yapılması gereken diğer işlemlerin yanında mevcut enerji tüketiminde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları ile sürdürülebilir bir enerji politikasına sahip olması bir zorunluluk haline gelmektedir.

Özellikle güneş enerjisi bakımından Türkiye dünyadaki diğer ülkeler içinde en büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkelerden birisidir. Türkiye'de ortalama yıllık güneşlenme süresi 2640 saat civarındadır. Günümüz şartlar içerisinde, böyle bir potansiyele sahip olan ve enerjide kendine yeterli olmada eksiklikleri olan Türkiye'nin mutlaka güneş enerjisinden azami fayda sağlayacak teknolojilere yönelmesi kaçınılmazdır.

Güneş enerjisinin başlangıç maliyeti yüksektir fakat uzun vadede bize maddi açıdan rahatlık sağlayacağı gibi dışa bağımlılığı azaltır ve çevre açısından temiz bir kaynaktır. Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmez bu yüzden güneş enerjisi ile ilgili uygulamalar halk tarafından yaygın kullanılabilir duruma gelmelidir. Özellikle konutlarda dış aydınlatmanın ve ortak elektrik enerjisi tüketiminin güneş enerjisinden sağlanması teşvik edilmelidir. Bu çalışmada yapılan uygulamada görüldüğü üzere, yıllık güneşlenme süresine bağlı olarak 20 yıl sonraki kazanç tahmin edilenden çok daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Ülkemizin, enerjide büyük oranda dışa bağımlılığını azaltmak ve kendine yeter hale gelmesine katkıda bulunmak için tüketicilere çeşitli destek ve teşvikler verilerek güneş enerjisi kullanımı özendirilmelidir.

6. Kaynaklar

- [1] Aksoy MH. Güneş ve rüzgâr enerjisi ile çalışan su pompalama sisteminin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2011.
- [2] Öztürk HH. "Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler". *TMMOB EMO, Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, İzmir, Türkiye, 18–21 Ekim 2017.
- [3] Kapluhan E. "Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: güneş enerjisinin dünya'daki ve Türkiye'deki kullanım durumu". *Coğrafya dergisi*, (29), 70-98, 2014.
- [4] Keskin, E. Türkiye iklim koşullarında fotovoltaik güç sistemlerinin tasarımı ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012

- [5] Rüstemli S. ve Dinçer F. “Van İli Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisinin Mevcut Durumu ve Geleceği”. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 22-33, 2011.
- [6] CBS Akademi “Solar Enerji Potansiyeli Haritası”. [https://cbsakademi.ibb.istanbul/solar-enerji-potansiyeli-haritasi/\(01.03.2021\)](https://cbsakademi.ibb.istanbul/solar-enerji-potansiyeli-haritasi/(01.03.2021))
- [7] Dinçer F. “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve Ab Ülkeleri ile Karşılaştırma Değerlendirme”. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 2011.
- [8] Canka Kılıç F. “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”. *Mühendis ve Makine*, (671), 28-40, 2015.
- [9] Karataş A. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2012.
- [10] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (20.04.2020)