



Isparta ili için güneş enerjisi santrali (fotovoltaik) çatı uygulamasından elde edilen simülasyon verilerinin ekonomik analizi

Economic analysis of simulation data obtained from solar power plant (photovoltaic) roof application for Isparta province

Adnan Çalık¹, Önder Emre²

*1) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye,

ORCID: 0000-0002-4991-9048, adnancalik@isparta.edu.tr,

2) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye,

ORCID: 0000-0003-4748-2273, onderemre1988@gmail.com

Geliş Tarihi: 27/05/2022 – **Kabul Tarihi:** 11/09/2022

DOI: 10.55205/joctensa.12202261

ATIF: Çalık, A., ve Emre Ö. (2022). Isparta ili için güneş enerjisi santrali (fotovoltaik) çatı uygulamasından elde edilen simülasyon verilerinin ekonomik analizi. Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(1), 12-35.

Öz

Güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu yapılmadan önce ciddi bir ekonomik analiz yapılması gerekmektedir. Ekonomik analiz GES kurulumu için gerekli finansman giderlerin kendisini ne zaman amorti edeceği, yapılan yatırımın ne zaman kâra geçeceğini ortaya koyar. İyi yapılan bir ekonomik analiz sonucunda yatırımın yapılıp yapılmayacağına karar verilmelidir. Bu çalışmada Isparta ilinin merkez ilçesinde bir kamu binası çatısına 10kW gücünde bir GES kurulumu yapılmadan önce PV*SOL simülasyon programı kullanılarak GES için bir fizibilite çalışmasının yapılması ve bu projede kullanılması gereken ekipmanların belirlenmesi ve ekonomik olarak yapılan yatırımların değerlendirilmesi gibi faktörler incelenmiştir. PV*SOL simülasyon programı aracılığı ile GES için kullanılması gereken fotovoltaik güneş panellerinin özelliği, kullanılacak doğru akım (DC) kablo kesiti ve kullanılacak invertör seçimi yapılmıştır. Ayrıca GES'in tasarlanması düşünülen lokasyon belirlenerek kamu binası çatısının uygun cephesine GES kurulumu tamamlandıktan sonra kurulumu tamamlanan bu GES'in aylık ve yıllık olarak üretim miktarı incelenerek bir ekonomik analiz sonucunda yıl bazında kazancın değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylece projelendirilmiş olan GES yatırımının kendisini 4 yıl gibi bir sürede amorti edebileceği ve ilerleyen yıllarda ekonomik bir kazanç sağlanabileceği gözlemlenmiştir.

Anhtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş paneli, PV*SOL, Ekonomik analiz, Isparta.

* Sorumlu Yazar: adnancalik@isparta.edu.tr

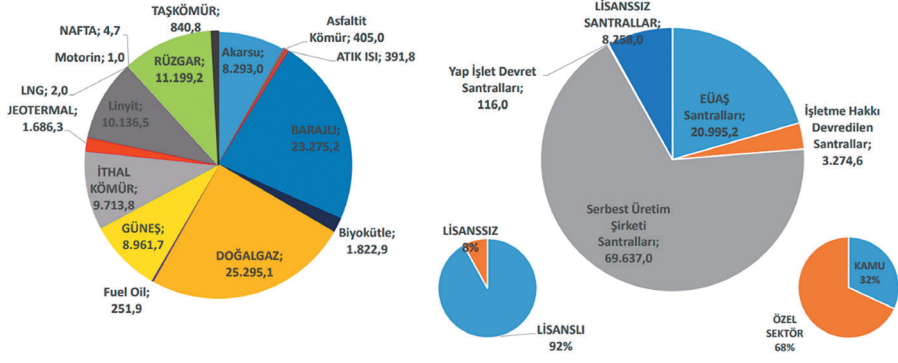
Abstract

A serious economic analysis is required before installing a solar power plant (SPP). The economic analysis reveals when the financing expenses required for the installation of the SPP will pay off and when the investment will turn into a profit. As a result of a good economic analysis, it should be decided whether to invest or not. In this study, factors such as carrying out a feasibility study for the SPP using the PV*SOL simulation program, determining the equipment to be used in this project and evaluating the economically made investments were examined before a 10kW SPP was installed on the roof of a public building in the central district of Isparta province. By means of the PV*SOL simulation program, the characteristics of the photovoltaic solar panels to be used for the SPP, the direct current (DC) cable section to be used and the inverter to be used were selected. In addition, the location where the SPP is planned to be designed was determined, and the monthly and annual production amount of this SPP, whose installation was completed after the installation of the SPP on the appropriate façade of the public building roof, was examined and the annual earnings were evaluated as a result of an economic analysis. Thus, it has been observed that the projected SPP investment can pay for itself in a period of four years and an economic gain can be achieved in the following years.

Keywords: Photovoltaic, Solar panel, PV*SOL, Economic analysis, Isparta.

GİRİŞ

Günümüzde yaşayan insan nüfusunun artması ve teknolojinin de gelişmesiyle birlikte enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Ülkeler arasında savaşların yapılmasıyla birlikte ciddi enerji krizleri yaşanmaktadır. Öyle ki ülkemizde enerji anlamında maalesef dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Dolayısı ile enerjide dışa bağımlı olmanın bir sonucu olarak ülkeler arasında enerji transferi gibi olumsuz etkilerden Türkiye doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedir. Ülkemizin böylesi enerji krizlerinden etkilenmemesi veya daha az etkilenmesi anlamında yapılması gereken kendi öz kaynaklarımız ile enerji üretimini artırmaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak elektrik enerjisi üretilmesi ülkemizin enerji anlamında dışa bağımlılığını azaltacaktır. Böylece kendi elektrik enerjimizi üretebileceğimiz gibi ekonomik anlamda kalkınmanın yolu da açılmış olacaktır. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) 2022 Eylül kurulu güç raporuna göre ülkemizde elektrik enerjisi üretimi için kurulu gücünün yaklaşık %55'i yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanırken geriye kalan yaklaşık %45'i de yenilenemeyen enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Kaynaklara ve kuruluşlara göre Eylül 2022 kurulu güç raporu Şekil 1'de gösterilmektedir (Anonim, 2022). Elektrik enerjisinin üretiminde fosil kaynaklar yerine yenilenebilir kaynakların kullanılması enerjide dışa bağımlılığı azaltmada bir hayli etkili olmaktadır. Ayrıca fosil kaynakların çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak için de yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretiminin gün geçtikçe artması gerektiği görülmektedir. Fosil enerji kaynakları terk edilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması hem ülkemizin geleceğini korumak hem de dünyanın geleceğini korumak için oldukça önemlidir. Gelecek nesillere daha temiz ve yaşanılabilir bir dünya bırakmak adına yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak elektrik enerjisi üretimi kaçınılmaz bir gerçektir.



Şekil 1

Kaynaklara ve Kuruluşlara Göre Eylül 2022 Kurulu Güç (Anonim, 2022)

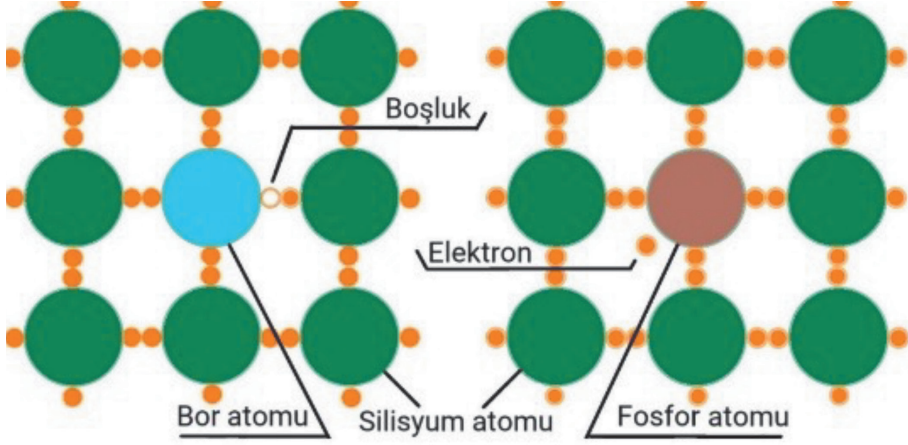
Elektrik enerjisinin üretilmesi ve tüketilmesi insanlar için oldukça önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Elektrik enerjisinin tüketiminin artması aynı zamanda üretiminin de buna paralel olarak artmasını gerekli kılmıştır. Elektrik enerjisinin tüketimi arttıkça farklı elektrik enerjisi üretme yöntemleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam edilmektedir. Elektrik enerjisi üretimi genel olarak fosil yakıtlarla sağlanmakta ve bu yakıtlarla enerji üretimi gerçekleştirilirken doğaya ciddi zararlar verilmektedir. Fosil yakıtların hem tükenir (yenilenemeyen) hem de elektrik enerjisi üretimi sırasında çevreye zararlı atıklar bırakması alternatif enerji kaynaklarına olan yönelimi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğal yaşam içerisinde kendini yenileyebilmesi ve çevreye fosil kaynaklar gibi ciddi zararlar vermemesi yenilenebilir kaynakları ile elektrik enerjisi üretimini kaçınılmaz bir hale getirmektedir. Güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretmek ise yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli ve vazgeçilemez bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumun sebepleri arasında güneş enerjisi ile elektrik üretimi sırasında çevre kirliliği oluşturmaması, sessiz çalışması ve montajının ve bir yerden başka bir yere taşınmasının oldukça kolay olması sayılabilmektedir.

Yaşam kaynağı olan güneş hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. 1 milyon °C'den fazla bir sıcaklıkta hidrojenin izo-

toplari olan döteryum ve trityum bir araya gelerek helyum çekirdeklerini oluştururken çok yüksek bir enerji ortaya çıkar. Güneşte füzyon adı verilen tepkime sayesinde dört hidrojen çekirdeği bir helyum çekirdeğini meydana getirir. Güneşin yüzey sıcaklığı 6 bin °C iken merkezine doğru bu sıcaklık 20 milyon °C değerlerine ulaşmaktadır. Güneşin merkezinde saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşür. Bu dönüşüm sırasında aradaki 4 milyon ton fark ısı ve ışık enerjisi olarak uzaya yayılmaktadır. Bu tepkime sonucunda oluşan ısı enerjisi ile dünyamız ısınırken yayılan radyasyon (ışınım) enerjisi ile de dünyamız aydınlanmaktadır. Güneş enerjisinin en önemli faydalarından biri ise dünya üzerinde bulunan bitkilerin fotosentez yapabilmelerini sağlamasıdır (Ceylan & Gürel, 2018). Güneş enerjisinin şiddeti watt cinsinden belirtilirse yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir. Atmosfer katmanlarından tamamı yeryüzüne ulaşamayan bu enerjinin sadece 0-1100 W/m² değerinde olan kısmı ulaşmaktadır. Buna rağmen güneşten yeryüzüne gelen güneş radyasyonunu şu an insanlığın tükettiği enerjiden çok çok fazladır (Onay, 2019).

Aslında uzun yıllardan beri güneş insanlar tarafından bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktaydı. Önceleri insanlar güneş enerjisi ile ısınma ve sıcak su elde etmek amacı ile faydalanırken günümüzde ise güneş kolektörleri ile sıcak su elde edebilirken fotovoltaik (PV) paneller sayesinde elektrik enerjisi üretmekte ve fotovoltaik termal paneller ile de hem sıcak su hem de elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Fotovoltaik hücreler güneş radyasyonunu doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneşten fotovoltaik hücre üzerine düşen ışık (foton) fotovoltaik hücre tarafından soğurularak elektrik akımını oluşturmaktadır. Fotovoltaik hücre temel olarak pozitif (P) ve negatif (N) katmandan oluşurlar. Örneğin silisyum (Si) fotovoltaik hücrelere silisyum yarıiletkenine bor (B) atomu katılarak (doping) elektron eksikliği oluşturulur ve böylece P tipi katman elde edilir. Yine silisyum yarıiletken atomuna fosfor (P) yarıiletken atomu doping edilerek elektron fazlalığı oluşturulur ve böylece N tipi katman oluşturulur. Güneş radyasyonu fotovoltaik güneş hücreleri üzerine düşmesi ile N tipi katmandan P tipi katmana doğru bir elektron akışı oluşur. Böylece elektrik akımı oluşmuş olur. Bor ve fosfor atomu doping edilmiş silisyum fotovoltaik hücre yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir (Öztürk, 2016; Haselhuhn, 2012).



Şekil 2

Doping Yapılmış Silisyum Fotovoltaik Hücre Yapısı

Fotovoltaik hücre ilk kez 1957 yılında Bell laboratuvarlarında üretilmiştir. Ancak fotovoltaik hücreden laboratuvar ortamında elde edilen verim %6 seviyelerindedir. Bu durum fotovoltaik hücrenin ticarileşmesi önünde büyük bir engel oluşturmuştur. Zaman içerisinde fotovoltaik hücelere ilgi bir hayli artmış ve bu alanda çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde ise %20 verimli fotovoltaik paneller üretilmeye başlanmıştır. Bu çalışmaların artmasıyla daha yüksek verimli fotovoltaik güneş panelleri üretilmekle birlikte güneş enerjisi santralının (GES) de sayısı giderek artmaktadır. Öyle ki büyük güçte GES'in yanı sıra daha küçük güçte GES'in kurulumları da gerçekleşmiştir. Gerek şebekeye entegre santraller gerekse şebekeden bağımsız santraller kurulabildiği içinde elektrik şebekesinin olmadığı bölgelerde bireysel olarak insanlar kendi elektrik enerjisini üretip kullanabildiklerinden dolayı GES oldukça fazla tercih edilir olmuştur.

GES kurulurken genel olarak kullanılan yöntemler on-grid ve off-grid sistem olmak üzere santral kurulumu yapılabilir. Bu iki tip santralin birbirine göre avantajları olmakla birlikte dezavantajları da bulunmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajların başında iki santral tipi arasında elbette ki ihtiyaç belirleme gelmektedir. Ayrıca maliyet ve şebekeye olan mesafe de oldukça belirleyici olmaktadır. Bulunan bölgenin şebekeye olan uzaklığı, maliyet,

istek ve ihtiyaçlara göre şebekeye entegre (on-grid) veya şebekeden ayrıık (off-grid) sistem tasarımı yapılabilir. On-grid sistemde güneş ışınımının olduğu durumlarda elektrik enerjisi ihtiyacı güneş panellerinden üretilen enerji ile karşılanırken, güneş ışınımının olmadığı durumlarda ise elektrik enerjisi ihtiyacı şebekeden karşılanmaktadır. Off-grid sistemlerde ise güneş ışınımının olduğu durumlarda elektrik enerjisi ihtiyacı güneş panellerinden üretilen enerji ile karşılanırken, güneş ışınımının olmadığı durumlarda ise elektrik enerjisi ihtiyacı sisteme entegre edilen ve güneş panelleri sayesinde doldurulan akümülatörler (akü) yardımıyla karşılanmaktadır. GES de kullanılan başlıca elektronik devre elamanları ve makineleri fotovoltaiik (PV) güneş panelleri, invertör, akümülatör, şarj kontrol cihazı ve transformatör gibi elektronik devre elemanlarıdır. Bir GES'in çalışması incelendiğinde on-grid sitemler düşünöldüğünde fotovoltaiik (PV) paneller sayesinde üretilen doğru akım (DC) invertörler aracılığı ile alternatif akıma (AC) dönüştürölür. Elde edilen AC elektrik enerjisi transformatörler aracılığı ile uygun gerilim elde edilerek şebekeye aktarılmış olur. Off-grid sitemlerde ise fotovoltaiik (PV) paneller aracılığı ile üretilen DC elektrik enerjisi bir şarj kontrol cihazına bağlanır ve şarj kontrol cihazından akümülatörlere ve invertöre bağlantı yapılır. Böylece elde edilen elektrik enerjisi istenildiğinde AC elektrik enerjisine dönüştürölerek kullanılırken ihtiyaç fazlası olan elektrik enerjisi ise akümülatörlerde depolanarak daha güneş ışığının olmadığı saatlerde kullanılmak üzere depolanır. On-grid sistemler şebeke elektriğinin bulunduğu bölgelerde tasarlanırken off-grid sistemler ise şebeke elektriğinin olmadığı yerde tasarlanmaktadır.

Fotovoltaiik (PV) güneş enerjisi santralleri 4 yıl gibi bir zaman diliminde kendilerini amorti etmelerinin yanında ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Haliyle büyük yatırımların yapıldığı bir ortamda kurulum aşamasında ve sonrasında olacakları tahmin edebilmek bir hayli önem arz etmektedir. Bunun içindir ki yüksek miktarlarda yatırım yapılacağı zaman GES kurulacak bölgenin iyi araştırılması gerekmektedir. GES kurulacak bölgenin güneş ışınımı (radyasyon) değerleri, günlük güneşlenme süreleri, rüzgâr hızı, yağmur ve kar yükü gibi doğa şartlarının iyi incelenmesi ve o doğrultuda bir GES tasarlanması olası hataların önüne geçebileceği gibi kurulum maliyeti anlamında da oldukça önemli rol oynamaktadır. Özellikle GES yatırımı yapılmadan önce ilk yatırım maliyetinin ne olacağını ve daha sonra bu yatırımın ne kadar sürede karşılanabileceğini bilmek kurulumu



gerçekleştirilecek GES için oldukça önem arz etmektedir. İşte bu gibi etkenleri önceden tahmin edebilmek adına birçok simülasyon programı geliştirilmiştir. Bu simülasyon programları aracılığı ile GES yatırımı yapılacak bölgede kurulmak istenilen GES'in istenilen değerlerde bir simülasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Bu simülasyon aracılığı ile kurulması istenilen GES'in ilk kurulum maliyetini ve kaç yıl içerisinde kendisini amorti edeceği öğrenilebilmektedir.

Ülkemizde günlük güneşlenme süreleri ve güneş radyasyon değerleri oldukça yeterli düzeydedir. Genel olarak araziye kurulabilecek GES'in yanı sıra çatı alanlarının değerlendirilmesi küçük güçlü GES'in kurulması da oldukça önemlidir. Böylelikle bina çatılarında kalan boş alanlar değerlendirileceği gibi binanın kendi elektrik ihtiyacını da karşılaması söz konusudur. Çatı alanlarına kurulan GES binanın kendi öz tüketimini karşılamakla birlikte ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini de şebekeye satarak ekonomik olarak kâr sağlanabilmektedir. Çatı GES kurmak için yeterli çatı alanı bulunan her binanın çatısına kurulabilmektedir. Ancak elektrik enerjisi tüketiminin fazla olduğu sanayi tesislerinde veya kamu binalarında kurulması daha kârlı bir yatırım olacaktır. Bir çatı uygulaması olarak tasarlanan fotovoltaik güneş enerjisi santralinden elde edilen elektrik enerjisi ihtiyaç olan elektrik enerjisinin tamamına karşılamayabilir. Ancak kurulacak olan sistem elektrik enerjisi ihtiyacının bir kısmını karşılasa bile şebekeden alınan elektrik enerjisi azalacaktır. Böylece elektrik enerjisine ödenen maliyet azalmış olacaktır.

Bu çalışmada bir PV*SOL simülasyon programı aracılığı ile Isparta ilinde bulunan bir kamu binasına 10 kW gücünde olacak şekilde kurulması istenilen GES'in ilk yatırım maliyeti ve kaç yıl içerisinde kendini amorti edebileceği ekonomik açıdan araştırılacaktır. 2022 yılı itibarıyla GES kurulumu kW başına yaklaşık olarak 22.200 TL olarak belirtilmektedir. Kurulması istenilen GES 10kW güce sahip olduğundan yaklaşık maliyetinin 222.000 TL olacağı söylenebilir. Bu değerlere göre PV*SOL simülasyon programı kullanılarak bir proje tasarlanacaktır. Tasarlanan projeden elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kamu binalarına kurulan bir GES'in ekonomik açıdan olumlu ve olumsuz yönleri değerlendirilecek ve bir sonuç elde edilecektir.

GES PROJESİ VE SİMÜLASYONUN YAPILIŞI

GES arazi uygulaması şeklinde yapılabildiği gibi çatı cephe uygulaması şeklinde de karşımıza çıkmaktadır. Çatı cephe uygulaması yapılırken genel olarak çatı alanları kullanılırken bazı uygulamalarda ise binanın pencere olmayan kör cepheleri de kullanılabilir. Cephe uygulamalarında yapılan güneş enerjisi santrali elektrik enerjisi üretmenin yanı sıra aynı zamanda ısı ve ses yalıtım görevi de görmektedir (Mutlu, 2010). Öncelikle bir GES projesine başlarken GES'in kurulması istenilen bölgenin matematik konumunun iyi bilinmesi gerekmektedir. GES kurulacak bölgenin güneş radyasyon değerlerini, günlük güneşlenme sürelerinin, yağmur ve kar yükü gibi iklim olaylarının bilinmesi GES kurulması için önceden yapılması gereken çalışmalar arasındadır. Ayrıca GES kurulacak bina çatı alanının etrafında bulunan gölge oluşturabilecek engellerin bilinmesi gerekir. Bu istenilen değerleri simülasyon yapmak için kullanılacak olan PV*SOL programı yazılımsal olarak kendisi gerçekleştirip bir sonuç elde etmektedir. Tasarımı yapılan GES projesi Isparta ilinin merkez ilçesinde bulunan bir kamu binası çatısı üzerine 10kW gücünde olacak şekilde simüle edilmiştir. Bu sistemin tasarlanmasında PV*SOL GES simülasyon programı kullanılmıştır. PV*SOL simülasyon programından elde edilen veriler sayesinde ekonomik olarak bir analiz yapılarak bir sonuç elde edilmiştir.

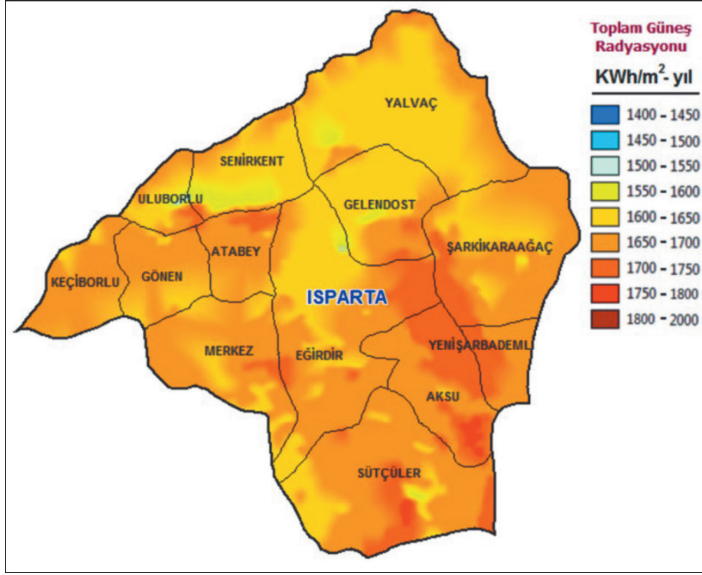
PV*SOL Programı

PV*SOL programı ülkelere ve bölgelere göre güneş radyasyon değerlerini, bölge haritalarını, GES kurulabilmesi için gerekli olan fotovoltaik güneş panel marka ve çeşitlerini, invertör üretici firma ve çeşitlerini içerisinde barındıran ve kurulması istenilen bir GES için ekonomik analizler yapabilen bir GES simülasyon programıdır. Valentin Software firmasının dinamik yazılımı olan PV*SOL, off-grid ya da on-grid olmak üzere iki farklı fotovoltaik sistem tasarımı yapabilen ve tasarlanan sistemde etrafta oluşabilecek gölgelenme etkisini veya herhangi bir verim kaybını hesaplayabilmektedir. Üç boyutlu bir tasarım yapılabilen PV*SOL programında doğru ve kesin sonuçlar elde edilebilir (Anonim, 2022).

Isparta İlinin Güneş Radyasyonu Değerleri

Genel olarak ülkemiz güneş radyasyonu değerleri bakımından iyi bir coğrafi konumda yer almaktadır. Özellikle ülkemizin güneyinde yer alan

Akdeniz bölgesinin radyasyon değerleri oldukça yüksektir. Isparta ili de Akdeniz bölgesinde yer aldığından ülkemizdeki şehirler arasında güneş radyasyon değerleri arasında en yüksek güneş radyasyon değerine sahip iller arasında yer almaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün oluşturduğu güneş enerjisi potansiyel atlasının oluşturduğu Isparta ilinin güneş radyasyon haritası Şekil 3'te gösterilmiştir.

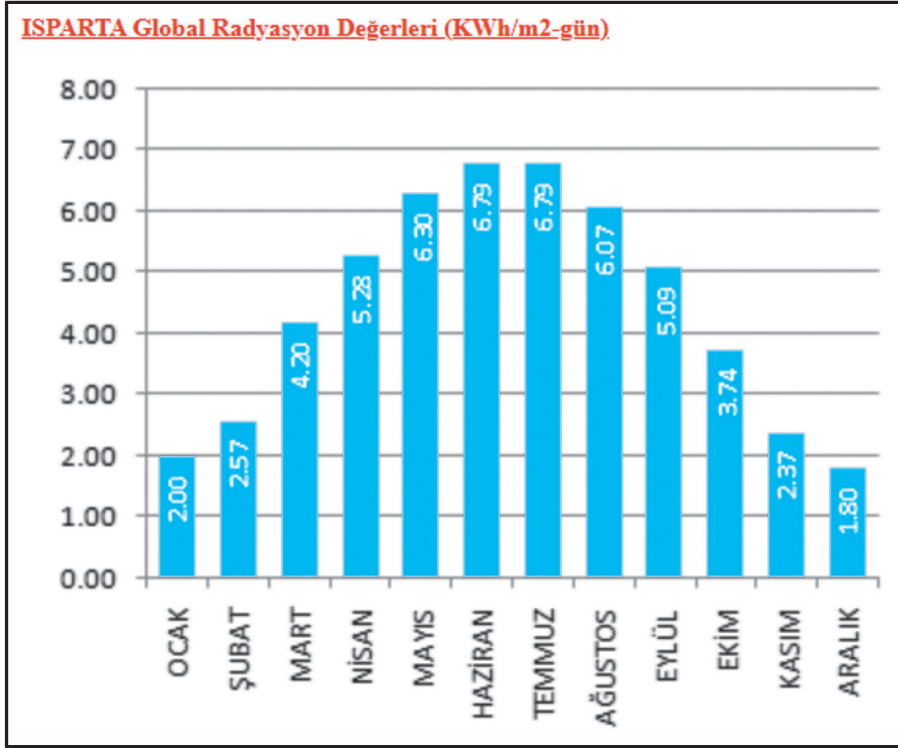


Şekil 3

Isparta İlinin Güneş Radyasyon Haritası (Anonim, 2020)

Isparta ili güneş radyasyon haritası incelendiğinde Isparta ilinin birçok bölgesinin güneş radyasyonu açısından oldukça iyi değerlerde olduğu görülecektir. Güneş radyasyon değerlerinin iyi olduğu Isparta bölgesi GES kurulumu yapmak için verimlilik açısından ideal bir konumda yer almaktadır. Şekil 3'te verilen Isparta ilinin güneş radyasyon haritasına göre bakıldığında yıl içerisinde toplam güneş radyasyon değerleri 1600 – 2000 kWh/m²-yıl aralığında olduğu gözlemlenmektedir. Bu aralık ise GES kurulması için oldukça yeterli bir seviyeyi temsil etmektedir. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün güneş enerjisi potansiyel atlası şeklinde oluşturduğu Isparta ilinin global radyasyon değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Isparta ilinin global rad-

yasyon değerleri incelendiğinde en fazla güneş radyasyon değerlerinin yaz aylarında olduğu görülecektir. Güneş radyasyon değerlerinin yaz aylarında daha fazla olması ülkemizin yaz aylarında güneşe daha yakın ve güneş ışınlarını daha dik açı ile almasından kaynaklanmaktadır. Kış aylarında ise güneş radyasyon değerlerinin az olması hem güneş ışınlarının yaz aylarına nazaran daha eğimli bir açı ile gelmesi hem de kapalı havalar yüzünden güneşli gün sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır. Yıl içerisinde en fazla güneş radyasyon değeri $6.79\text{kWh/m}^2\text{-gün}$ ile haziran ve temmuz aylarında görülürken en düşük güneş radyasyon değeri ise $1.80\text{kWh/m}^2\text{-gün}$ ile aralık ayında görülmektedir.



Şekil 4

Isparta İlinin Global Radyasyon Değerleri (Anonim, 2020)

Projenin Tasarlanması

1MWp kapasiteli çatı tipi dağıtık güneş enerji santralinin tasarımı ve simülasyon uygulaması adlı çalışmada GES santrali yatırımı yapılmadan önce simülasyon çalışmalarının hem fizibilite çalışmalarında hem de daha uygun bir yerleşim planı oluşturmada faydalı bir yöntem olabileceği gözlemlenmiştir (Turan, 2022). Ülkemizde fotovoltaik güneş panellerinden en iyi verimi alabilmek için optimum eğimde ve tam güneşe bakacak şekilde konumlandırılmalıdır. Ancak çatılarda GES uygulaması yapılırken fotovoltaik güneş panelleri istenilen eğimde yerleştirilemezler çünkü mevcut çatı eğimine uyulmak zorunda kalınır. Ayrıca bina çatı alanı tam güney olmaya bilir bu durumda ise en uygun alan tercih edilmelidir. Projede kullanılacak olan malzeme listesi Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tür	Üretici	İsim	Miktar	Birim
PV modülü	CW Enerji Müh. Ticaret ve San. Ltd. Şti.	CWT675-132PM12-V	15	Adet
İnvertörler	GoodWe Solar Inverter	GW10KT-DT	1	Adet
Kablolar		AC kabloları 3-fazlı 6 mm ² Bakır	25	m
Kablolar		Dizi Kablosu 4 mm ² Alüminyum	25	m
Bileşenler		Üretim sayacı	1	Adet
Bileşenler		Devre kesicisi B 25A	2	Adet
Bileşenler		Artık-akım cihazı (FI/RCD) B 20A/30mA	1	Adet


Tablo 1

Projede Kullanılacak Malzeme Listesi

Tablo 1’de malzeme listesinde verilen malzemeler özellik ve miktarına dikkat edilerek seçilmiştir. Tasarımı yapılacak projede CW Enerji Müh. Ticaret ve San. Ltd. firmasına ait CWT675-132PM12-V model numarasına sahip olan 675Wp 15 adet monokristal hulf-cut (yarım kesim) fotovoltaik güneş paneli kullanılacaktır. Ayrıca GoodWe Solar Inverter firmasına ait olan GW10KT-DT model numarasına sahip 1 adet 10kW solar invertör kullanılacaktır. Kullanılan diğer malzemeler ise alternatif akım (AC) kabloları

bölgenin enlem açısı ile aynı olmalıdır. Sistemin sadece yazın kullanılması gerekli ise eğim açısı bölgenin enlem açısından 15° düşük olmalıdır. Eğer sistemin sadece kışın kullanılması gerekli ise eğim açısını bölgenin enlem açısından 15° yüksek olmalıdır. Çünkü güneş ışınları yaz aylarında kış aylarına nazaran daha dik açı ile geldiğinden böyle bir yöntem tercih edilmektedir (Anonim, 2012). Bir diğer yaklaşıma göre ise kurulumu yapılacak GES için optimum eğim açısının GES kurulacak bölgenin enlem açısının 0.69 katının 3.7 fazlası optimum eğim açısı olarak seçilmelidir. İki yaklaşım karşılaştırıldığında yılın her ayın da kullanılabilir bir sistem tasarlanmak istendiğinde ikinci yaklaşımın daha kullanılabilir olduğu söylenebilir (Ceylan & Gürel, 2021). Isparta ili 37° kuzey enleminde yer almaktadır. Bunun

1. Modül Alanı - Bina 01-Çatı Alanı Güney Batı	
PV jeneratörü, 1. Modül Alanı - Bina 01-Çatı Alanı Güney Batı	
İsim	Bina 01-Çatı Alanı Güney Batı
PV modülleri	15 x CWT675-132PM12-V (v1)
Üretici	CW Enerji Müh. Ticaret ve San. Ltd. Şti.
Eğim	33°
Yerleşim Yönü	Güneybatı 243°
Montaj Türü	Çatı paraleli - iyi hava aldırır
PV jeneratör yüzeyi	46,6 m ²



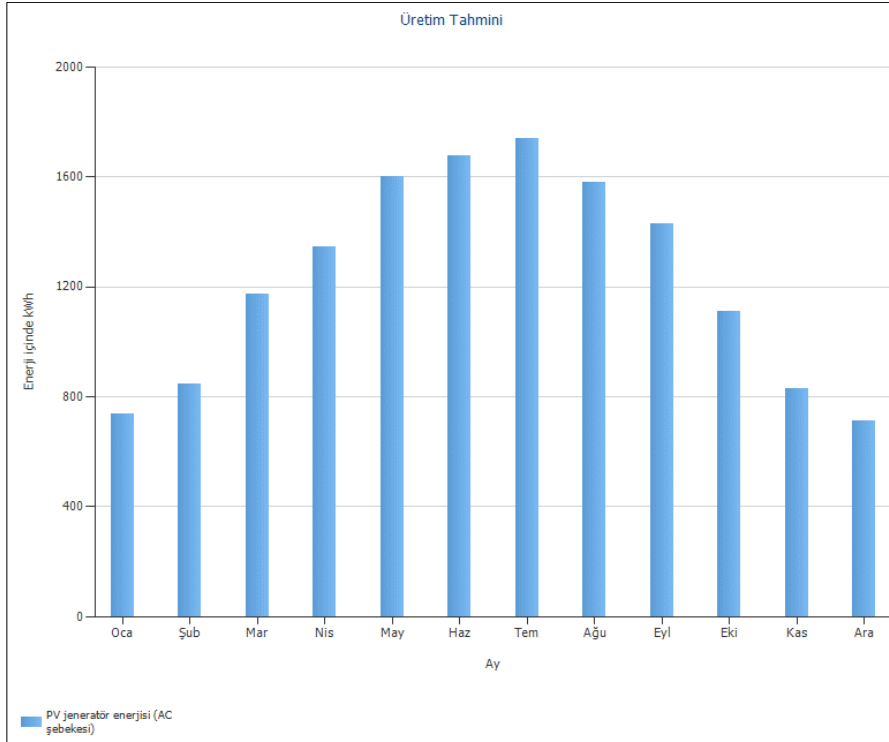
Resim: 1. Modül Alanı - Bina 01-Çatı Alanı Güney Batı

Şekil 6

Bina Çatısı ve Fotovoltaik Panel Yerleşimi

yanı sıra Çatı GES kurulumlarında çatı eğimine bağlı kalınacağından optimum eğimde bir kurulum yapılamayabilir. Bu çalışmada Isparta ilinde GES kurulumu yapmak için seçilen kamu binasının çatı eğimi ise 33° olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte çatı yönü ise güney batı olarak seçilmek zorunda kalmıştır. GES projesinin PV*SOL programı kullanılarak tasarlanmış görseli Şekil 6'da gösterilmiştir.

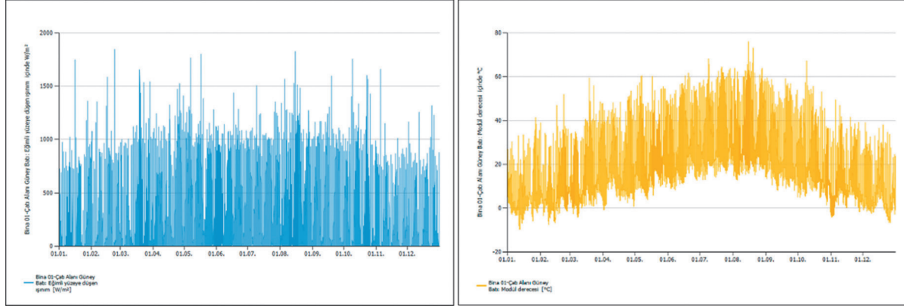
Şekil 6 incelendiğinde PV*SOL simülasyon programı aracılığı ile tasarlanan projenin çatı alanı ve fotovoltaik güneş panellerinin yerleşim planının nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 6 da 15 adet fotovoltaik güneş panelinin kullanıldığı, fotovoltaik güneş paneli üretici firmasının kim olduğu, çatı eğiminin 33° olduğu, fotovoltaik güneş panelinin yerleşim yönünün 243° güney batı olduğu ve fotovoltaik güneş panellerinin $46,6\text{m}^2$ aralan kapladığı gibi bilgilere de yer verilmektedir. Çatı alanına fotovoltaik güneş panelleri dikey olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bütün



Şekil 7
Bir Yıllık Üretim Tahmini

bu değerler dikkate alınarak tasarlanan projenin simülasyonu yapıldığında 10kW gücündeki fotovoltaik güneş santralının bir yıl içerisinde her aya ait üretim verilerini kWh olarak simülasyon aracılığı ile elde edilebilmektedir. Şekil 7 de bir yıllık üretim tahmini grafik olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte istenirse PV*SOL simülasyonu aracılığı ile daha hassas verilere ulaşabilmek için günlük olarak da üretim tahminleri verisi de elde edilebilmektedir. Ancak bu çalışmada aylık olarak üretim tahmini verileri göz önünde bulundurularak bir simülasyon tasarımı yapılmaktadır.

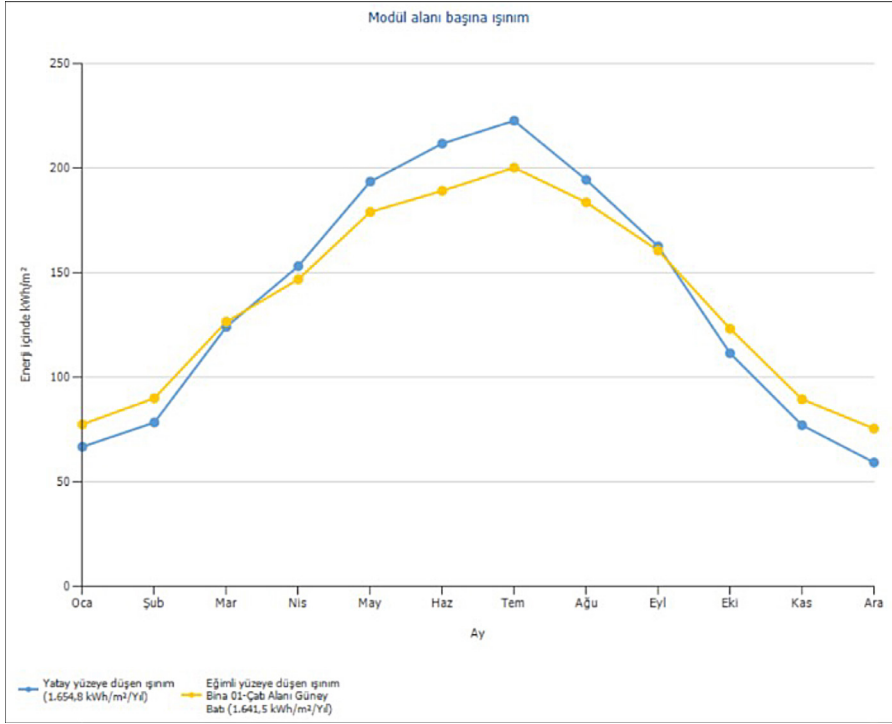
Şekil 7 incelendiğinde bir yıl içerisinde her ayın üretim tahmini kWh cinsinden gösterilmektedir. PV*SOL simülasyonundan elde edilen bu veriler gösteriyor ki yaz aylarında günlük güneşlenme sürelerinin artması, güneşin fotovoltaik güneş panelleri üzerine daha dik bir açı ile gelmesi ve buna bağlı olarak da fotovoltaik güneş panelleri üzerine düşen güneş radyasyonunun artması ile birlikte yaz aylarında üretim sonbahar ve kış aylarına nazaran bir hayli artış göstermiştir. Son bahar ve kış aylarında fotovoltaik güneş panellerinin üzerinin karla kaplı olması durumunda üretim durmaktadır. Ayrıca yağmur sularının da verime geçerli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir (Sadıkoğlu, 2018). Fotovoltaik güneş panelleri üzerine düşen güneş radyasyonu ne kadar fazla ve ne kadar dik açı ile gelirse elektrik enerjisi üretim miktarı da ona göre artacaktır. Şekil 8 (a)'da simülasyonu yapılan çatı güney batı yönünde eğimli yüzeye düşen ışınım grafiği gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde yaz aylarında eğimli yüzeye düşen güneş radyasyon miktarında artışlar gözlemlenmektedir. Yaz aylarında güneşli gün sayısının fazla olması ve güneş ışınlarının daha dik açı ile gelmesi bu durumun temel nedenleri arasında yer almaktadır. Burada ışınım miktarı güneş radyasyonunun eğimli yüzeye geliş açısına, yönüne ve güneşlenme süresine göre değişmektedir. Simülasyonu yapılan binanın çatı alanı yönü güneybatı olmak yerine tam güneye bakan bir cephe olsaydı eğimli yüzeye düşen güneş radyasyonu miktarı da artmış olacaktı. Eğimli yüzeye düşen güneş radyasyon miktarının artması ve eğimli yüzeye daha dik bir açı ile gelmesi sonucunda elektrik enerjisi üretimi artarken fotovoltaik güneş hücrelerinin iç sıcaklıkları da artmaktadır. Bu artış ısınmaya bağlı olarak direncin artması ile verimi belirli bir miktar düşürmektedir. Yapılan bu simülasyonda bina çatısı güney batı yönüne montajı yapılan fotovoltaik güneş hücrelerinin iç sıcaklıkları yaz aylarında 70°C düzeylerine kadar çıkmaktadır. Şekil 8 (b)'de güney batı çatı alanı modül sıcaklık derecesi gösterilmiştir.

**Şekil 8**

(a) Çatı Alanı Güney Batı Eğimli Yüzeye Düşen Işınım

(b) Çatı Alanı Güney Batı Modül Derecesi

Şekil 8 (a) ve Şekil 8 (b) karşılaştırıldığında görülecektir ki fotovoltaik güneş panelleri üzerine düşen ışınım ile fotovoltaik güneş modüllerinin iç sıcaklığı arasında pozitif bir korelasyon vardır. Buradan da anlaşılmalıdır ki güneş radyasyon miktarı arttıkça fotovoltaik güneş modülleri sıcaklıkları artmakta bu sıcaklığın artışı ile birlikte ise fotovoltaik güneş hücrelerinin direncinin artmasına bağlı olarak elektrik enerjisi üretimi düşmektedir. Fotovoltaik güneş panellerinin elektrik enerjisi üretiminde verimi artırmak çatı kurulumlarında eğimli çatı yüzeyi ile fotovoltaik güneş panelleri arasında belirli bir yükseklik bırakılması gerekir. Çatı yüzeyi ile fotovoltaik güneş paneli arasında kalan boşlukta bir hava sirkülasyonu olacağından panellerin aşırı ısınması da önlenmiş olacaktır. Böylece ısınmanın verime olan olumsuz etkisi azaltılmış olacaktır. Eğimli yüzeyde fotovoltaik güneş panelleri üzerine üç farklı güneş ışınımı düşebilmektedir. Bu ışınımalar direkt, yansıyan ve difüz ışınım olarak tanımlanabilir. Direkt ışınım güneşten doğrudan fotovoltaik güneş panelleri üzerine düşen, yansıyan ışınım bir yüzeye çarptıktan sonra fotovoltaik güneş panelleri üzerine düşen ve difüz ışınım ise atmosferdeki bulutlar ve tozlardan geçerek saçılma uğradıktan sonra fotovoltaik güneş panelleri üzerine düşen güneş ışınımıdır (Abuşka, 2014). PV*SOL programı ile yapılan simülasyon sonucunda elde edilen on iki aya ait modül alanı başına ışınım değerleri kWh/m² olarak Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9

Modül Alanı Başına Işınım

Şekil 9 incelendiğinde yatay yüzeye düşen ışınımın yaz aylarında arttığı, kış aylarında ise azaldığı gözlemlenebilmektedir. Yine aynı şekilde eğimli yüzeye düşen ışınım miktarının da yaz aylarında artış gözlemlenirken, kış aylarında ise azaldığı gözlemlenmektedir. Güneş ışınlarının geliş açısı yaz aylarında kış aylarına nazaran daha dik bir açı ile geldiğinden güneş radyasyon değerlerinde yaz aylarında artış görülürken kış aylarında ise azalma görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 9'da verilen grafik incelendiğinde en fazla güneş radyasyon değerinin temmuz ayında olduğu gözlemlenirken, en düşük güneş radyasyon değerinin ise aralık ayında olduğu gözlemlenmektedir.

Projenin Ekonomik Analizi

PV*SOL simülasyon programı aracılığı ile yıllık, aylık hatta günlük verilere de ulaşılabilmektedir. Elde edilen bu veriler ile simülasyon programı içerisinde algoritmik olarak değerlendirme yaparak bir ekonomik analiz gerçekleştirilir. Bu ekonomik analiz, simülasyonu yapılan GES'in günlük, aylık ve yıllık olarak üretilen elektrik enerjisinden ne kadar kâr sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. GES ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da kendisini belirli bir süre sonra amorti etmesinden ve yenilenebilir enerji kaynağı olmasından dolayı tercih sebebi olmaktadır.

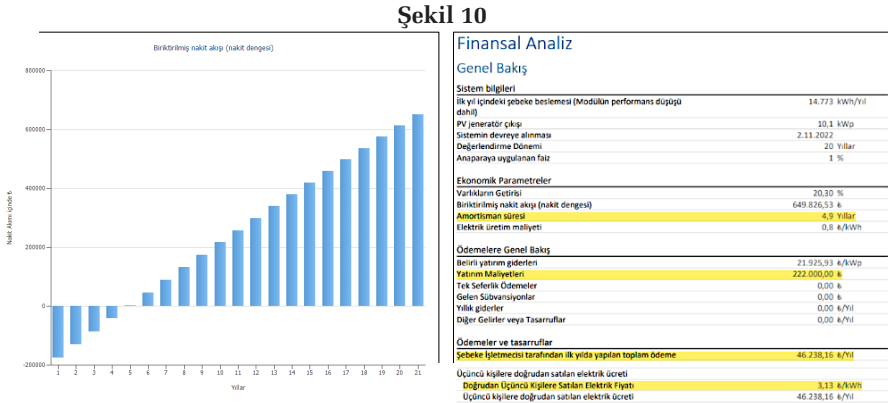
Dinçer (2020), 10 kW Kurulu Güce Sahip Güneş Enerjisi Santrali Çatı Tasarımı ve Maliyet Analizi adlı çalışmasında Antalya da bulunan iki çocuklu bir ailenin yaşadığı konut çatısına PV*SOL programını kullanarak 10 kW kurulu gücü olan bir GES simülasyonu yapmıştır. Yapılan bu simülasyon sonucunda herhangi bir yere GES kurulmak istenildiğinde GES'in kurulmasının yapılmadan önce karşılaşılabilecek sorunları önceden görmeye yardımcı olacağı ve elektrik enerjisi üretim değerlerinin önceden görülebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Al-Shagea (2021), Lisanssız elektrik üretiminde şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin performans analizi adlı çalışmada, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği binasının çatısında bulunan GES gerçek verileri ile simülasyon verilerini karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmada birden farklı program kullanılmıştır. Kullanılan programlar incelendiğinde 2018-2019 yılları arasında üretim verileri ile PVsyst verilerine göre %87.5-%91, global solar atlası (GSA) performans yüzdesinin %96.6- %100 aralığında ve PVSOL verilerine göre ise %97.3-%98.1 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda daha sonra yapılacak çalışmalarda PV*SOL simülasyon programının kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Kumluoğlu ve Ateş (2022), İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi çatısına için 60 kWp/60 kW Çatı GES tasarımını PVGIS, PVSOL, PVSyst isimli üç farklı simülasyon programı kullanarak gerçekleştirmiştir. Projesi yapılan GES'in güncel fiyatlar kullanılarak bir kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılan yatırımın kendisini 4.9 yılda amorti edebildiği ve 38 ton karbon salınımının da önüne geçileceği ispatlamıştır.

Ayrıca elde edilen sonuçlar uluslararası enerji ajans kaynakları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda yapılan çalışmanın tutarlılığı ispatlanmıştır.

Bu çalışmada Isparta ilinde merkez ilçesinde bir kamu binası çatısına kurulan 10 kW güce sahip olan GES'in PV*SOL programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. PV*SOL ile yapılan projede 2022 yılına ait güncel fiyatlar kullanılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. PV*SOL programının 2022 yılına ait simülasyonundan elde edilen veriler incelenerek ekonomik bir analiz yapılmıştır. Simülasyonu yapılan GES'in 4.9 yıl gibi bir sürede kendini amorti ettiği ve daha sonraki yıllarda kâr elde ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 10 (a)'da biriktirilmiş nakit akışı grafiği ve Şekil 10 (b)'de finansal analiz genel bakışı gösterilmiştir.



Şekil 10 (a)'da biriktirilmiş nakit akış grafiği incelendiğinde simülasyonu gerçekleştirilen GES'in dördüncü yılın sonlarına doğru yatırım maliyetini amorti ettiği gözlemlenmektedir. Şekil 10 (b) incelendiğinde ise kurulması düşünülen GES'in yatırım maliyetinin 222.000 TL olduğu ve elektrik enerjisinin satışının kW başına 3,13 TL olduğu buna bağlı olarak yıllık kazancın 46.238,16 TL olduğu görülmektedir. Simülasyonu yapılan GES'in yıllık kazancının her yıl sabit olduğu var sayıldığından GES'in 4.9 yılda kendisini amorti edeceği görülmektedir. Görüldüğü üzere 10 kW gibi küçük güçlü bir GES'in bile ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Bu açıdan bakıldığında

ilk yatırım maliyetinin yüksek olması bir dezavantaj olarak söylenebilir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasında fotovoltaik hücre üretiminde kullanılan bazı maddelerin ithal edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ülkemizde kurulan fotovoltaik hücre üreten fabrikaların sayısı arttıkça ve fotovoltaik hücre üretim teknolojisi geliştikçe ilk yatırım maliyetinin daha aşağılara çekilebileceği bir gerçektir. Burada dikkat edilmesi gereken simülasyon programının elektrik enerjisinin satış işlemini sabit bırakması sonucu oluşan hata payıdır. Elektrik enerjisi satışı her zaman sabit değildir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) her dönem belirlediği tarife tutarı bir önceki döneme göre artarak devam etmektedir. PV*SOL simülasyon programı ise elektrik enerjisi satış değerini her geçen yıl değiştirmeyip sabit tutmaktadır. Bu açıdan bakıldığında elektrik enerjisi satış ücretinin sabit tutulmasının bir eksiklik olduğu söylenebilir. Elektrik enerjisi satışı her dönem için bir önceki döneme göre daha fazla olacağı hesaba katıldığında simülasyonu yapılan GES'in kendisini 4 yıl belki de 4 yılın da altına amorti edebilmesi mümkündür. Elektrik enerjisini dağıtım şirketine satarken, simülasyonun yapıldığı gün itibarıyla kWh başına değeri 3,13 TL'dir. Ancak elektrik enerjisini dağıtım şirketinden alırken kWh başına alınan 3,13 TL'nin üzerine bir de vergiler bindiğinden elektrik enerjisi alım ücreti 3,13 TL değerinden daha fazla olacaktır. Burada satılan elektrik enerjisinden ziyade kullanılan elektrik enerjisinden daha fazla kâr sağlandığı görülmektedir. Böylece GES kurulacak olan kamu binası kendi elektrik enerjisini ürettiği için şebekeden elektrik enerjisi almadığı miktar kadar da vergilendirilmeden muaf olacağından daha da fazla kâr sağlanacağı görülmektedir. Durum böyle iken kurulması düşünülen GES'in amortisman süresi simülasyonda hesap edilen 4.9 yıldan daha kısa zamanda gerçekleşecektir. Kendisini amorti ettikten sonra ise üretilen elektrik enerjisi tamamen kâr olarak kullanılmasının yanında üretim fazlası oluşması durumunda ise gerekli anlaşmaların yapılması ile ilgili dağıtım şirketine satılması mümkün olmaktadır. Ülkemizde dağıtım şirketleri ile yapılan anlaşmalar 10 yıl ile sınırlı olmaktadır. 10 yıl için imzalanan sözleşme süresi geçtikten sonra uygun şartların oluşması ve gerekli revizyonların yapılması durumunda ise yeniden elektrik enerjisi satışı için yeni bir sözleşme imzalanarak elektrik satışına devam edilebilmektedir.

Simülasyonu yapılan GES'in 4 yıl gibi bir sürede kendisini amorti ettiği görülmektedir. Fotovoltaik hücre üretim teknolojisi geliştikçe fotovoltaik hücre verimliliği artacaktır. Fotovoltaik hücre verimliliğinin artması ile bir-



likte fotovoltaik güneş panelleri daha az alan kaplayacaktır. Yani daha küçük bir alandan daha fazla elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Bu gibi teknolojik gelişmelerin ülkemizde ve dünyada artmasıyla birlikte fotovoltaik güneş paneli üretim maliyeti düşecektir. GES yatırımında en büyük maliyeti oluşturan fotovoltaik güneş panellerinin üretim maliyetinin düşmesi ilk yatırım maliyetini de düşürecektir. Böylece kurulacak GES'in amortisman süreleri daha aşağılara çekilebilecektir. Ancak şu an ki durumda GES'in amortisman süresi 4 yıl gibi bir zaman almaktadır. 4 yıl amortisman süresi için biraz fazla görülse de daha sonraki yıllarda elektrik enerjisi tüketimine para harcanmayacağı gibi üretilen fazla elektrik satılabileceğinden oldukça kârlı bir yatırım olarak görülmektedir. Ayrıca elektrik enerjisi ihtiyacı fosil kaynaklar yerine yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisinden karşılanmış olacaktır.

Sonuç

Bu çalışmada PV*SOL simülasyon programı kullanılarak Isparta ilinde merkez ilçesinde bir kamu binası çatısına 10kW gücünde bir GES kurulumu yapılmıştır. 2022 yılında yapılan bu simülasyon sonucunda oluşan veriler ekonomik olarak analiz edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde simülasyonu yapılan GES bugün ki elektrik satış fiyatları dikkate alındığında bir yılda toplam 45690 TL kazandırmaktadır. Sistemin bu doğrultuda çalışması durumunda amortisman süresinin 4,9 yıl olduğu anlaşılmaktadır. Ancak elektrik satış ücreti sabit olmayıp belirli aralıklarla zam yapılması söz konusudur. Durum böyle iken üretilen elektrik enerjisi yıl bazında kWh olarak kayda değer bir değişim göstermezken her yılın kazanç miktarı TL bazında aynı olmayacak ve her yıl elde edilen kazanç bir önceki elektrik enerjisi satış dönemine göre fazla olacağından simülasyonu yapılan GES'in amortisman süresinin daha kısa olacağı görülmektedir. Ayrıca elektrik enerjisinin şebekeden alınması durumunda alınan elektrik enerjisine vergilerinde eklenmesi söz konusudur. Yani dağıtım şirketinden elektrik enerjisi satın alırken projenin tasarlandığı gün itibariyle 3,13 TL olan elektrik enerjisi fiyatının üzerine vergilerinde binmesiyle 3,13 TL'den daha fazla bir değerde satın alınmış olmaktadır. Oysa ki bir GES kurulumu yapıldığında kendi elektrik enerjisi ihtiyacını kendisi karşılayan bir sistem kurulduğundan bahsedilen vergilerinde alınmayacağından bu konuda da bir avantaj sağlanmış olacaktır. Hal böyle iken kurulumu yapılan

GES'in amortisman süresinin 4 yıl belki de 4 yılın altında olacağı görülmektedir. Yani bir kamu binası ya da herhangi bir konut çatısına yapılacak olan GES kendisini 4 yıl gibi bir sürede amorti ederek sonraki yıllarda ise yıllık yaklaşık olarak 14.000 kW elektrik enerjisi tüketen kamu binası veya herhangi bir konutun tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabileceği gözlemlenmiştir. Yapılan bu sistem ile doğadaki sera gazı emisyonunu salınımı engellendiğinden daha temiz ve daha yaşanılabilir bir dünyaya katkıda bulunulurken hem de maddi kazanç sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmada görüldüğü üzere bir GES kurulmadan önce santralin kurulması istenilen bölgede, PV*SOL simülasyon programı aracılığı ile bir proje tasarlanmıştır. GES'in kurulum maliyeti, amortisman süresi ve ilerleyen yıllarda elde edilecek kazanç hesaplanmıştır. Kurulması istenilen bir GES için PV*SOL veya benzeri programların kullanılması, yatırım yapılmadan önce karşılaşılabilecek sorunları ve bu sorunları giderme anlamında oldukça faydalı olacağı görülmüştür.

Kaynaklar

- Anonim (2022). Güneş. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (Son erişim tarihi: 03.011.2022)
- Anonim (2020). Güneş. <https://gepa.enerji.gov.tr/> (Son erişim tarihi: 03.011.2022)
- Anonim (2022). Fotovoltaik Sistemler Tasarım Yazılımı. <https://catakli-enerji.com/pv-sol-software/> (Son erişim tarihi:10.11.2022)
- Abuşka, M. (2014). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksekokulu.
- Anonim (2022). Panel, A. A. G., & Kurulması, S. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri.
- Al-Shagea, E. (2021). Lisanssız Elektrik Üretiminde Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemlerin Performans Analizi (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ceylan, İ., & Gürel, A. E. (2018). Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı. Bursa: Dora basım-yayın dağıtım.
- Ceylan, İ., & Gürel, A. E. (2021). Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı. Bursa: Dora basım-yayın dağıtım.
- Diñçer, F. (2020). 10 kW Kurulu Güce Sahip Güneş Enerjisi Santrali Çatı Tasarımı ve Maliyet Analizi. *Recent Advances in Science and Technology*, 237.
- Haselhuhn, R., & Hemmerle, C. (2012). Temeller: Fotovoltaik sistemler. Editörler: Çataklı, M., Çataklı Enerji Yayıncılık, İstanbul
- Kumluoğlu, L. C., & Ateş, S. B. (2022). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve İskenderun için Örnek Üretim Projeksiyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 293-305.
- Mutlu, A. (2010). Fotovoltaik çatı sistemlerinin tasarımı için bir model önerisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Onay, E. (2019). Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılmasında otomasyon sistemli su soğutma uygulaması: Antalya örneği. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Öztürk, H. H. Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler.
- Sadıkoğlu, F. (2018). 1 MWp şebekeye bağlı güneş enerjisi santrali performans analizi (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Turan, O. 1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(2), 609-626.

Yazar Katkıları

Çalışmanın her aşamasında tüm yazarlar ortak katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Fonlama

Bu çalışma için herhangi bir finansman desteği alınmamıştır.

Not

“Isparta ili için güneş enerjisi santrali (fotovoltaik) çatı uygulamasından elde edilen saha verileri ile simülasyon verilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi” İsimli yazılmakta olan yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Etik Bildirim

Çalışma Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.