

AKÜ FEMÜBİD 18(2018) 015201 (895-903)  
DOI: 10.5578/fmbd.67547

AKU J. Sci.Eng.18 (2018) 015201 (895-903)

Araştırma Makalesi / Research Article

## Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi

Ozan CEYLAN<sup>1</sup>, Kubilay TAŞDELEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Elmalı Meslek Yüksekokulu, Antalya.

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta.

e-posta: ozanceylan@akdeniz.edu.tr, kubilaytasdelen@isparta.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.02.2018 ; Kabul Tarihi: 18.10.2018

### Özet

Fotovoltaik (FV) sistem tasarımcıları için, simülasyon programlarının kullanımı sistem kurulumunun yapılacağı coğrafi bölge, enerji talebi ve sistem güvenilirliği parametrelerine göre en uygun şekilde seçilebilir olması gibi sunduğu detaylı analiz yapabilme özellikleri ile oldukça önemlidir. Bu çalışmada, simülasyon ortamında PV \* SOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS, PV simülasyon programları kullanılarak iklim verilerinin, yük taleplerinin ve temel sistem bileşenlerinin simüle edilmesi ve kurulu 1MW güneş enerji santralinin genel özelliklerinin görselleştirilmesi amaçlanmıştır. Simülasyonlarda kullanılan veriler, ulusal ve uluslararası kaynaklardan gerçek ölçülen değerlerden ve / veya güvenilir veri tabanlarından yararlanarak elde edilmiştir. Ayrıca, FV enerji santrali tarafından üretilen elektrik miktarı bilgisayar ortamına aktarılıp, FV sisteminin simülasyon verileri gerçek çevre verileri ile karşılaştırılarak simülasyon programlarının doğruluğu incelenmiştir. Simülasyon programları arasında karşılaştırma yapıldığında, Helioscope programının gerçek çevre verilerine en yakın sonucu vermede en az hata oranına sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, en az hata oranını vermesi bakımından diğer simülasyon programlarının sırası ise PVGIS, Polysun Online ve PV \* SOL' dur. Böylelikle, FV simülasyon programlarının, gelecekte azalan hata oranlarıyla birlikte gelecek çalışmalar için daha fazla altyapı sağlayabildiği düşünülmektedir.

### Anahtar kelimeler

Güneş Enerjisi;FV  
Simülasyon  
Programları;  
Helioscope;PV\*SOL;  
PVGIS; Polysun

## Investigation of TheAccuracy of Photovoltaic Programs SimulationResultsfor Isparta City

### Abstract

For photovoltaic (PV) system designers, the use of simulation programs is very important with the ability to perform detailed analysis such as the geographical area where the system installation will be performed, the optimum selection according to parameters such as energy demand and system reliability. In this study, it was aimed to simulate the climate data, load demand and basic system components by using PV\*SOL, Helioscope, Polysun and PVGIS, PV simulation programs in the simulation environment and to visualize the general characteristics of the 1MW installed solar power plant in Isparta. The data used in the simulations were measured using simulation programs obtained from actual measured values from national and international sources and / or from reliable databases. In addition, the amount of electricity generated by the PV power plant was transferred to the PC environment and the simulation data of the PV system was compared with the real environment data, so the accuracy of the simulation programs was examined. When the comparison is made among the simulation programs, it is observed that it was observed that Helioscope has the least error rate in terms of giving the closest result to the real environment data. Moreover, the sequence of the other simulation programs in terms of giving the least error rate is as PVGIS, Polysun Online, and PV \* SOL. Thus, FV simulation programs are thought to be able to provide further infrastructures for future work together with reduced error rates.

### Keywords

Solar Energy; PV  
SimulationPrograms;  
Helioscope; PV\*SOL;  
PVGIS; Polysun

## 1. Giriş

Günümüzde teknoloji ve sanayi ile ilgili yenilikler, dünyada insan nüfusunun giderek artması gibi gelişmelerle birlikte elektrik ve elektronik cihazların kullanımına olan talep giderek artmaktadır (Gomes de Brito MA *et al.* 2013). Toplumun ihtiyaçları da bu doğrultuda değişkenlik göstermektedir. İhtiyaç duyulan enerji talebinin büyük bir bölümü petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil ve nükleer yakıtlardan elde edilmektedir (Villa LFL *et al.* 2013). Bu yakıtlar yenilenemediği için bir gün tükeneceğinin düşünülmesi ve hava kirliliği, küresel ısınma gibi çevreye verdiği zararlarda göz önünde bulundurularak, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde tehdit oluşturabileceği düşünülmektedir. Tehditlerin önüne geçilebilmesi için alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunup geliştirilmesine yönelik çalışmalar hızla artarak önemli bir hale gelmiştir (Sundareswaran *et al.* 2014).

Bu çalışmalar ışığında güneş enerjisinin sürekli bulunabilir olması, yakıt maliyetinin olmaması ve çevreye verdiği zararların yok denecek kadar az olması güneş enerjisini diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha önemli bir konumda tutmaktadır. Özellikle fotovoltaik (FV) sistemler ile güneş enerjisinden elektrik elde edebilmek için gereken bileşen teknolojilerinin hızla gelişimi, FV sistemlerin enerji üretimi ihtiyaçlarında tercih edilmesine imkan tanımaktadır (Suda vd., 2016, Kaplan, 2012).

Gelişen güneş enerjisi teknolojisi ile birlikte günümüzde FV sistemlerin performans tahmin uygulamalarının analizleri için sanal ortamda çeşitli simülasyon programlarının tasarımlarının yapıldığı gözlemlenmiştir.

Bu simülasyon programları FV sistemlerin enerji üretim değerlerinin verimliliğini temel olarak tahmin edebilmekte olup, aynı zamanda çalışma davranışını da tahmin edebilmede önemli bir

özelliğdir. Güneş enerjisi simülasyon programları ile birçok çeşitte güneş enerjisi sistemi tasarımı yapılabilir. Simülasyon programları ile 3D sistem tasarımı, program üzerinde yerleştirerek güneş panellerine düşen gölgelenmeler gerçek ortam ile eş zamanlı görülebilir. Simülasyon programları sayesinde FV sistem tasarımcıları sistemin farklı bileşenlerini kurulumun yapılacağı coğrafi bölgeye, enerji talebine ve sistem güvenilirliği gibi parametrelere göre en uygun şekilde seçebilir (Kıyanççek, 2013).

Tüm bunlar bir arada düşünüldüğünde simülasyon programlarının endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaya aday olduğu görülmektedir.

Gümüş ve Haydaroğlu (2016)'na göre yaptıkları çalışmada, FV Güneş enerjisi santralinin (GES) tasarımında ve analizinde simülasyon programlarının kullanımının oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. PVsyst simülasyon programı, FV sistem simülasyonu için sunduğu araçlar ile detaylı analiz yapabilme özelliğiyle simülasyon programları içerisinde öne çıktığını söylemişlerdir. Çalışmada Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulmuş olan 250 kWp'lik GES'in simülasyonu PVsyst V6.39 simülasyon programı ile yapılmış ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performans analizinin yapıldığını ve aynı zamanda santralin Aralık 2015 ile Nisan 2016 dönemi arasındaki üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırdığını belirtmişlerdir.

Mangan vd. (2013)'e göre yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk iklim bölgelerine yönelik enerji simülasyonları yapmışlar, mevcut enerji tüketimlerinin ve CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması için senaryolar geliştirmişlerdir. Her bir senaryo için enerji simülasyonları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmış ve uygun seçeneğin belirlenmesini amaçlamışlardır. Enerji simülasyonlarını, EnergyPlus dinamik termal simülasyon motorunun kapsamlı arayüzü olan Design Builder ve PV\*SOL Expert programlarını kullanarak yapmışlardır. Enerji simülasyon

programı aracılığı ile elde edilen hesaplama sonuçlarını tartışarak, enerjinin etkin yaklaşımına dayalı ileriye dönük yapılacak çalışmalara ışık tutulmasını hedeflemiştir.

Kandasamyet *al.* (2013)'e göre yaptıkları çalışmalarında, şebekeye bağlı FV güneş enerjisi sisteminin performansını simülasyon ortamında PVsyst paket programı kullanarak değerlendirmişlerdir. FV güneş enerjisi sisteminin performans oranını ve çeşitli güç kayıplarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak Hindistan'da bulunan Tamil Nadu eyaletinin güneyindeki belirli yerlerde 1 MW güneş enerjisi sisteminin uygulanabilirliği, güneş enerjisi üretimi ve yaşam döngüsüne katkısı tartışılarak karşılaştırmışlardır.

Saueret *al.* (2015)'e göre yaptıkları çalışmalarında, FV sistemlerde FV modülün performansını etkileyen güneş ışınımı ve FV modül sıcaklığına göre doğru modelin seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Standart FV modülü için en yakın sıcaklık ve ışınım verileri uygulanarak, modülün gücünü PVsyst simülasyon programında arttırmışlardır. Bu gelişmelerin, enerji verimi tahmini için kullanılan PVsyst programının proje maliyeti hakkında alınacak kararlar için önemli olacağını belirtmişlerdir.

Kothariet *al.* (2010)'e göre yaptıkları çalışmalarında, günümüze kadar mevcut FV simülasyon program senaryolarının mevcut olduğunu ve bazı programların FV uygulamalar ve ek yenilenebilir enerji simülasyonu özellikleri için özellikle tasarlandığını belirtmişlerdir. FV simülasyon programlarını tanımlamak için birçok araştırma yapmışlardır. Genel kriterlere göre tanımlanan simülasyon programlarını değerlendirmişlerdir.

Sharmaet *al.* (2014)'e göre yaptıkları çalışmada, günümüze kadar eğitim ve araştırma amaçlı olduğu kadar ticari uygulama için de FV simülasyon yazılımlarının sunulduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla, çalışmalarında sunulan FV simülasyon yazılımının tüm detaylarını sağlamak için kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Araştırılan simülasyon yazılımını ticari ve eğitsel kullanılabilirliği ve

maliyeti, çalışma platformları, çalışma kapasiteleri, kapsamı ve çıktıları, bunların güncellenebilirliği vb. kriterlere göre değerlendirmişlerdir.

JainandTiwari (2012)'e göre yaptıkları çalışmada, çoğu gelişmekte olan ülkede, sürdürülebilir elektrik üretimi ve temini için ana çözümün, yenilenebilir güneş enerjisinin doğru kullanımından geçtiğini belirtmişlerdir. Fosil yakıt temelli enerjiye bağımlılığın üstesinden gelebilecek bir çözüm için, 16 daireden oluşan ve toplam 576 m<sup>2</sup> toplam çatı alanına sahip olan Jaipur (Hindistan) MalviyaNagar'ın bir konut binası için güneş FV hücresinin optimizasyonunu yapmışlardır. FV hücrenin tüm sistemini HOMER simülasyon programı kullanarak optimize ve simüle etmişlerdir. Optimizasyon sonucu, toplam 160 kW FV hücrenin gerekli olduğunu ve elektrik üretimi maliyetinin 0,184 \$ olacağını bildirilmişlerdir.

Karkiet *al.* (2012)'e göre yaptıkları çalışmada, fotovoltaik hücrenin performansının, mevcut enerjiyi kullanmak için uygulanan coğrafi konuma ve bileşen teknolojisine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Nepal, kuzey enleminin 30° kuzey paraleli boyunca yer aldığını ve yılda ortalama 300 gün güneş ışığı ulaşmasına rağmen, farklı kaynaklardan elde edilen toplam elektrik enerjisinin talep edilen enerjiyi karşılayamamakta olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla Nepal'in, mevcut enerji krizini en aza indirmek amacıyla güneş enerjisi üretmek için araştırma ve geliştirme yaparak çeşitli fotovoltaik teknolojilerinin uygulanması için yüksek potansiyele sahip olduğunun savunulmasının çeşitli nedenlerinin olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında PVsyst programını kullanarak, Katmandu ve Berlin'de bulunan şebeke bağlantılı FV sistemlerin karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Şebeke bağlantılı FV dizileri tarafından üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı ve sistemlerde oluşan farklı kayıpların analiz edildiğini ve sonuçların grafiksel olarak görselleştirildiğini belirtmişlerdir.

Axaopouloset *al.* (2014)'e göre yaptıkları çalışmalarında, gün geçtikçe güneş enerjisi sistemlerine yatırım yapan daha fazla sayıda ticari

ve bireysel kullanıcılar sayesinde FV kullanımını yaygınlaştırdığını belirtmişlerdir. FV sistemlerin montajcılar tarafından planlanması ve performans tahmini amacıyla kullanılan paket yazılım programları için büyük taleplerin olduğunu söylemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, TRNSYS, Archelios, Polysun, PVSyst, PV\*SOL ve PVGIS'in hesaplama doğruluğunu, bir şebekeye bağlantılı 19.8kWp FV sistemin ürettiği elektrik enerjisi verilerinin kıyaslanmasını incelemişlerdir. Değerlendirmeyi, aynı takvim yılı boyunca gerçek iklim verileri kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, yazılım paketlerinin, FV modüllere genel ışınımı tahmin etmede yaklaşık sonuçlar verdiğini, ancak sistem kurulumu tarafından üretilen elektrik enerjisini halen önemli ölçüde hafife aldığını belirtmişlerdir.

Kumar and Sudhakar (2015)'e göre yaptıkları çalışmada, gelişmekte olan ülkelerde artan enerji talebi, enerji güvenliği sorununu tetiklemesi, bu yenilenebilir kaynakların kullanılmayan potansiyelini kullanmayı gerekli hale getirdiğini ve şebekeye bağlı FV sistemlerin büyük oranda yenilenebilir enerjide en iyi alternatifler haline geldiğini belirtmişlerdir. Şebekeye bağlı tesislerin performans analizinin, yeni şebekeye bağlı sistemlerin tasarımında, işletilmesinde ve bakımında yardımcı olabildiğini belirtmişlerdir.

Hindistan Ramagundam'da devreye giren 10 MW'lık FV şebekeye bağlı elektrik santralının, 4.97kWh/m<sup>2</sup>/gün ve yaklaşık 27.3°C yıllık ortalama sıcaklığa sahip olan en büyük GES'lerden biri olduğunu, mevsimlik bir eğimle çalışacak şekilde tasarlandığını söylemişlerdir. Çalışmalarında güneş enerjisi tesisatının tasarım özelliklerini ve yıllık performansını detaylandırmışlardır. Çeşitli güç kayıp türleri ve performans oranını da hesaplamışlardır. Tesisin performans sonuçlarını, PVSyst ve PVGIS yazılımından elde edilen simülasyon değerleri ile de karşılaştırmışlardır.

## **2. Isparta'da Bulunan Bir GES'in Farklı Simülasyon Programları İle Enerji Analizi**

Güneş enerjisi santralinde 3784 adet Hanwha Q Cells Şirketinin ürettiği 265 W nominal güç kapasitesine sahip olan polikristal teknoloji güneş paneli, 15 adet SMA şirketinin ürettiği nominal gücü 60kW olan Sunny Tripower trifaze evirici, farklı kesitlerde ve uzunlukta bakır enerji kablosu kullanılmıştır.

Bir GES'in yıllık enerji üretimi, ekonomik analizinin en önemli parçalarından biri olarak belirtilmektedir. Bu bağlamda, yıllık enerji üretimi ile ilgili çalışmalar yapılırken hassasiyetin mümkün olduğunca artırılabilmesi için dünya üzerinde de çok yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılım programları kullanılarak enerji analizi yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında da Helioscope, PVGIS, Polysun ve PV\*SOL simülasyon programları tercih edilmiştir.

### **2.1 PV\*SOL**

PV\*SOL simülasyon programı ile 5000 adet FV modüle kadar monte edilmiş tüm FV sistemlerin gölgelendirmelerini hesaplayabilmektedir. PV\*SOL simülasyon programında 3D menü navigasyonu da bulunmaktadır. Bu menü, arazi görünümü, nesne görünümü, modül kapsama alanı, modül montajı, modül konfigürasyonu ve kablo planı seçenekleri ile 6 bölümden oluşmakta olup kullanılan iklim veritabanı MeteSyn' dir.

### **2.2 PVGIS**

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) güneş radyasyon haritalarına göre Avrupa, Afrika ve Asya'daki FV sistem ve tesislerinin güneş enerjisi üretim değerlerini hesaplayan çevrimiçi online ücretsiz FV enerji hesaplayıcı simülasyon programıdır. PVGIS simülasyon programında iklim veri tabanı olarak Google kullanılmaktadır. Bu uygulama kullanıcı tarafından, harita üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, FV modülün çeşidi ve toplam kapasiteleri, sistem performans oranı, modül montaj özellikleri ve açıları, izleme özellikleri gibi parametrelerin belirlenmesiyle bir FV sistemin aylık ve yıllık, güneş

ışınım değerlerini kWh/m<sup>2</sup>, potansiyel elektrik üretimini kWh cinsinden hesaplar (IntKyn. 1).

### 2.3 Polysun

Polysunyazılımı, yenilenebilir enerji alanında doğru güncel hava durumu verileri ve kapsamlı bileşen veritabanları ile kurulumların sistem tasarımı, enerji analizi ve hesaplanması ile ilgili önemli bir seçenek sunar. Bu uygulama kullanıcı tarafından harita tabanı üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, FV modülün nominal gücü, toplam kapasiteleri ve montaj bilgileri (montaj eğimi, yatay azimut açısı) Evirici sayısı ve her bir eviricinin nominal gücü gibi parametrelerin belirlenmesiyle FV sistemin aylık ve yıllık enerji üretimini hesaplamaktadır.

### 2.4 Helioscope

Helioscope, Güneş dizilerinin tasarımını, mühendisliğini basitleştirmek için Helioscope programını geliştirmişlerdir. Detaylı parametre seçenekleri ile simülasyon yapılabilen Helioscope programında, GES montajı yapanların tasarım hızlarının arttırmasına yardımcı olur. Helioscope programında FV sistem tasarımı oluşturabilmek için sırasıyla; Harita tabanı üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, FV modülün teknik özellikleri, toplam kapasiteleri ve montaj bilgileri (montaj eğimi, yatay azimut açısı ve montaj sahası özellikleri), Evirici sayısı, teknik özellikleri ve dizilişi, sistem kurulumunda kullanılacak olan tüm enerji kablolarının uzunluğu ve kesitleri, 3D görsel tasarım seçeneği ile FV bileşenlerin görselleştirilmesi adımları takip edilmektedir. Kurulu gücü 5MW'a kadar olan sistemlerin simülasyonunu yaparak performans analizi yapılabilmektedir. Helioscope programında iklim veri tabanı olarak NSRDB / NREL entegrasyonu kullanılmaktadır.

Isparta ilinde bulunan 1 MW kurulu güce sahip GES'in 01.01.2017-23.12.2017 tarihleri arası enerji üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırılıp simülasyonda kullanılan Helioscope, PVGIS, Polysun ve PV\*SOL programlarında modellenerek, programların gerçeğe ne kadar yakın sonuçlar verdiği incelenmiştir.

## 3. Bulgular

FV simülasyon programlarında yapılan analizlerde farklı farklı güneş panelleri kullanılacağı ve buna göre karşılaştırmalar yapılacağı için değişik sayılarda güneş paneline sahip olacaktır. Bununla birlikte kullanılacak olan kristal teknoloji güneş panelleri genel olarak 260-270 Wpnominal güç kapasitesi aralığında yer aldığından dolayı simülasyon programlarında 3700-3850 adet arasında güneş paneli kullanılmıştır.

Ayrıca kullanılan eviriciler farklı farklı olacağı için toplam nominal güç kapasitesi aynı fakat farklı miktarlarda bulunmaktadır.

PV\*SOL programında yapılan çalışma kapsamında ise;

- Harita tabanı üzerinden GES'in koordinatları seçilmiştir.
- 1 MW kurulu güç için 8.33 solar marka 3784 adet 265 Wpkristal teknoloji FV panel kullanılmıştır. FV panellerinin montaj biçimi zemine montajlı olarak seçilmiştir. Montaj eğimi 25° ve 0° yatay azimut açısı ile tam güneşe yönlendirilmiştir.
- Ayrıca 86 adet Santerno marka 10.6 kW nominal güce sahip evirici kullanılmıştır. Her bir evirici 44 adet 265 WpFV panelden enerjilendirilecek şekilde tasarımı yapılmıştır.

PVGIS programında yapılan çalışma kapsamında ise;

- Harita tabanından GES'in koordinatları seçilmiştir.
- FV güneş paneli olarak kristal silikon malzemeli FV güneş gözesi teknolojisi seçilmiştir.
- Sistem kurulu gücü olarak 1000kWp seçilmiştir.
- FV güneş panellerinin, montaj eğimi 25° ve 0° yatay azimut açısı ile tam güneşe yönlendirilmiştir. Ayrıca montaj biçimi de zemine montajlı olarak seçilmiştir.

Polysun programında yapılan çalışma kapsamında ise;

- Harita tabanı üzerinden GES'in koordinatları seçilmiştir.
- 1 MW kurulu güç için 3784 adet 265 Wp FV panel kullanılacaktır. FV panellerinin montaj biçimi zemine montajlı olarak seçilmiştir. Montaj eğimi 25° ve 0° yatay azimut açısı ile tam güneşe yönlendirilmiştir.
- Polysun programında eviricilerle ilgili teknik detaylar ayrıntılı olarak sunulmamaktadır, bu yüzden 3784 adet 265 Wp teknik özelliklerde seçilen FV panellere uygun seçimi program otomatik olarak yapmaktadır.

Helioscope programında yapılan çalışma kapsamında ise;

- Harita tabanı üzerinden GES'in koordinatları seçilmiştir.
- 1 MW kurulu güç için 3784 adet kristal teknoloji FV panel kullanılmaktadır. FV panellerinin montaj biçimi zemine ve sabit montajlı olarak seçilmiştir. FV panel montaj eğimi 25° ve 0° yatay azimut açısı ile tam güneşe yönlendirilmiştir. 86 adet FV panellerden oluşan diziler bulunmakta ve her dizide 4x11 şeklinde 44 adet FV panel bulunmaktadır.
- Hanwha marka 3784 adet 265 Wp monokristal FV panel kullanılmıştır.
- 15 adet SMA marka 60 kW nominal güce sahip evirici kullanılmıştır. 1936(22x88) adet FV panel için 8 adet evirici 1848(22x84) adet FV panel için 7 adet evirici kullanılmıştır.
- Alternatif akım iletimini sağlayabilmek için evirici çıkışlarına iletken kesiti 25 mm<sup>2</sup> olan toplam 7,4923 metre bakır enerji kablosu gerekmektedir. Diziler arası FV panel ile evirici arası enerji iletimini sağlayabilmek için iletken kesiti 4 mm<sup>2</sup> olan toplam 17,2739 metre bakır enerji kablosu gerekmektedir.

Bahsi geçen simülasyon programlarının parametre seçeneklerine göz atıldığı zaman PV\*SOL ve Helioscope programlarının detaylı analiz yapabilme olanağı sunduğu gözlemlenmektedir. Fakat PVGIS ve Polysun Online simülasyon programlarının bazı dezavantajları bulunmakta olup bu dezavantajlar şunlardır;

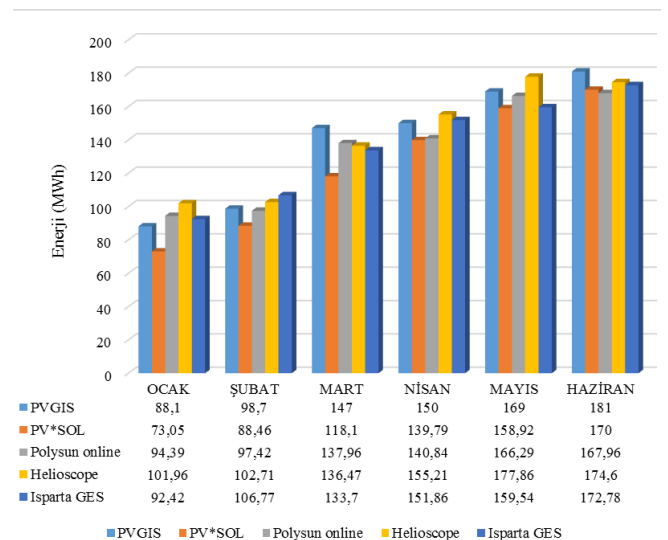
PVGIS simülasyon programında parametreler girilirken invertör ve güneş panelinin teknik özelliklerinin, dizilişinin ve sayısının seçilememesi bu simülasyon programının dezavantajıdır.

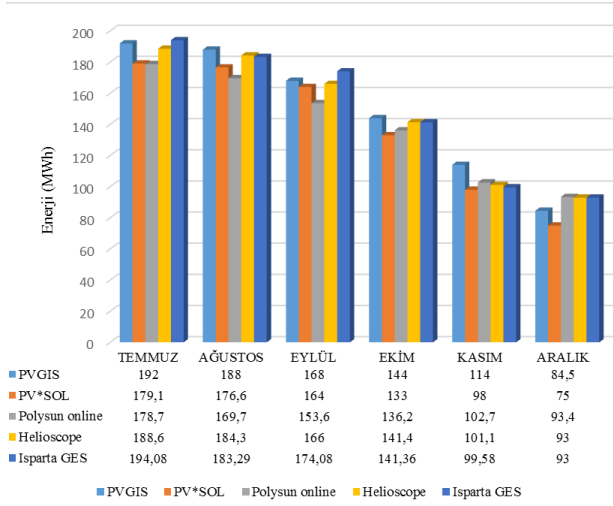
Polysun programında FV panel parametre seçimi sekmesinde malzeme çeşitleri ve diğer teknik özelliklerinin seçilemiyor olması programın olumsuz yönlerinden biridir. Ayrıca eviricilerle ilgili teknik detaylar ayrıntılı olarak sunulmamaktadır, talep güce göre seçilen FV panellere uygun evirici sayısı ve teknik özelliklerini program otomatik olarak yapmaktadır. Bu programın analiz sonuçlarında aylık yada yıllık bazda güneşten modüle ulaşan ışınım miktarının kullanıcıya sunulmamaktadır. Bu da sistem tasarım maliyetini ve verimlilik oranlarını olumsuz etkilemektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında güneş enerjisiyle elektrik üretimi konusu incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda coğrafi koşulların üretime etkileri, üretilen enerji verilerinin ölçümlerinin simülasyon ortamında PV\*SOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS simülasyon programları ile hesaplanarak sonuçların doğruluğu incelenmiştir.

Belirtilen tarihler arası bahsi geçen santralin hem gerçek ortamda hem de simülasyon programlarında yapılan enerji analizine göre, toplam enerji üretimi miktarları aşağıdaki Şekil 1.'de görüldüğü gibidir.





Şekil 1. Aylık bazda toplam enerji üretim miktarları

Ocak ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 94,39 MWh ile Polysun vermektedir. İkinci olarak 88,1 MWh ile PVGIS en yakın değeri vermektedir. Helioscope ise 101,96 MWh ile gerçek üretim değerini göre en yüksek değeri vermektedir. PV\*SOL ise 73,05 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Şubat ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 102,71 MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 98,7 MWh ile PVGIS en yakın değeri vermektedir. 97,42MWh enerji üretim değeri ile Polysun üçüncü sıradadır. PV\*SOL ise 88,46 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini veren programdır.

Mart ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 136,48 MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 137,95 MWh ile Polysun en yakın değeri vermektedir. PVGIS ise 147 MWh ile gerçek üretim değerini göre en yüksek değeri vermektedir. PV\*SOL ise 118,1 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Nisan ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en

yakın değeri 150 MWh ile PVGIS vermektedir. İkinci olarak 155,21 MWh ile Helioscope en yakın değeri vermektedir. 140,84 MWh enerji üretim değeri ile Polysun üçüncü sıradadır. PV\*SOL ise 139,79 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini veren programdır.

Mayıs ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 158,92MWh ile PV\*SOL vermektedir. İkinci olarak 166,29 MWh ile Polysun en yakın değeri vermektedir. PVGIS ise 169 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. Helioscope ise 177,86 MWh üretim değeri ile en yüksek üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Haziran ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 174,6 MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 170 MWh ile PV\*SOL en yakın değeri vermektedir. Polysun ise 167,96 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. PVGIS ise 181 MWh üretim değeri ile en yüksek üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Temmuz ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 192 MWh ile PVGIS vermektedir. İkinci olarak 188,6MWh ile Helioscope en yakın değeri vermektedir. PV\*SOL ise 179,1 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. Polysun ise 178,7 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Ağustos ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 184,3 MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 188MWh ile PVGIS en yakın değeri vermektedir. PV\*SOL ise 176,6 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. Polysun ise 169,7 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Eylül ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 168 MWh ile PVGIS vermektedir. İkinci olarak 166 MWh ile Helioscope en yakın değeri

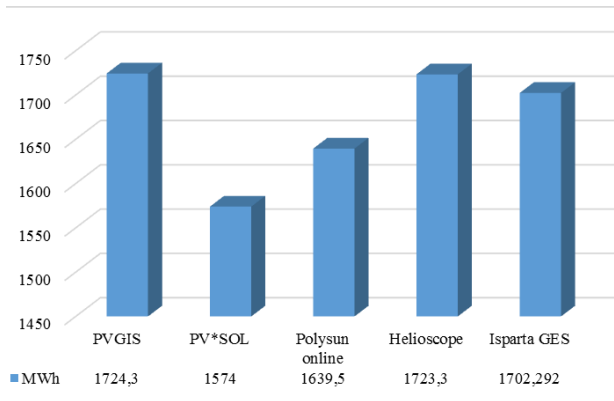
vermektedir. PV\*SOL ise 164 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. Polysun ise 153,6 MWh üretim değeri gerçek değere en uzak değerdir.

Ekim ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 141,4 MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 144 MWh ile PVGIS en yakın değeri vermektedir. Polysun ise 136,2 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. PV\*SOL ise 133 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Kasım ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değerlerine en yakın değeri 101,1 MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 102,7 MWh ile Polysun en yakın değeri vermektedir. PV\*SOL ise 98 MWh ile gerçek üretim değerini göre en düşük üretim değeri ile üçüncü sıradadır. PVGIS ise 114 MWh üretim değeri ile en yüksek üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Aralık ayı aylık elektrik üretim değerlerini baz aldığımızda, Isparta GES üretim değeri ile aynı üretim değeri olan 93MWh ile Helioscope vermektedir. İkinci olarak 93,4 MWh ile Polysun en yakın değeri vermektedir. PVGIS ise 84,5 MWh üretim değeri ile üçüncü sıradadır. PV\*SOL ise 75 MWh üretim değeri ile en düşük üretim değerini verip gerçek değere en uzak değerdir.

Bu süre zarfında toplam üretim miktarları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Toplam üretim miktarları

Şekil 2.’de görüldüğü gibi % 1.2 sapma oranı ile Isparta GES toplam enerji üretimi değerine göre en yakın simülasyon programı Helioscope simülasyon programıdır. İkinci sırada %1.3 sapma oranı ile PVGIS simülasyon programı bulunmaktadır. Üçüncü sırada %3.6 sapma oranı ile Polysun simülasyon programı bulunmaktadır. Isparta GES toplam enerji üretim değeri verilerine göre en uzak değere sahip simülasyon programı ise %7.5 sapma oranı ile PV\*SOL simülasyon programıdır.

FV güneş enerji sistemlerinin tasarımında ve analizinde simülasyon programlarının kullanımı oldukça önemlidir. FV sistem tasarımcıları sistemin farklı bileşenlerinin kurulumun yapılacağı coğrafi bölgeye, enerji talebine ve sistem güvenilirliği gibi parametrelere göre en uygun şekilde seçilebilir olması ve fazla masraftan kaçınarak maliyetin düşürülmesi gibi olanaklar sunmaktadır. Bu yüzden detaylı analiz yapabilmeye özellikleri ile ilerideki çalışmalara daha fazla altyapı sağlayabilir. Ayrıca bu durumlar sonucunda kıyaslaması yapılan simülasyon programlarının gerçek ortam verilerine göre oluşan enerji üretimi sapma oranlarının daha aza indirgenmesi gerekmektedir. Bunun için seçilen parametre seçeneklerinde, GES’in enerji üretimini doğrudan etkileyen haftalık, aylık ve yıllık sistem bakımları sekmesinin sunulması, ışınım miktarını doğrudan etkileyen harita tabanlarının güncel tutulması ve FV sistem bileşenlerinin teknik özelliklerinin laboratuvar testlerine göre seçilerek daha detaylı sunulması gerçek ortam enerji üretimi verilerine göre simülasyon verilerinin sapma oranlarının daha aza indirgenmesini sağlayabilir.

## 5. Kaynaklar

Axaopoulos, P. J., Fylladitakis, E. D., Gkarakis, K. 2014. Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 5(1), 1.

Gomes de Brito, M.A., Galotto, L., Sampaio, L.P., Melo, G.A., Canesin, C.A., 2013. Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic



- Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(3), 1156-1167.
- Haydaroğlu, C., Gümüş, B., 2016. Güneş Enerjisi Santralının PVsyst İle Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *NAFTA*, 17, 491-500.
- Jain, M., Tiwari, N., 2012. Optimization and Simulation of Solar Photovoltaic Cell Using HOMER: A Case Study of a Residential Building. *International Journal of Current Engineering and Research (IJSER)*, 3(7), 1221-1223.
- Kandasamy, C. P., Prabu, P., Niruba, K., 2013. Solar Potential Assessment Using PVSYS Software. In *Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE)*, 2013 International Conference, 12-14 December, Chennai, India, 667-672.
- Kaplan, Z., 2012. FV sistem tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 62.
- Karki, P., Adhikary, B., & Sherpa, K. (2012, September). Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst. In *Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, 2012 IEEE Third International Conference on (pp. 196-199). IEEE.
- Kıyanççek, E., 2013. FV sistemlerin boyutlandırılması için PVs2 paket programının gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 66.
- Kothari, D. P., Lalwani, M., Singh, M., 2010. Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares. *International Journal of Applied Engineering Research*, 1(3), 585-601.
- Kumar, B. S., Sudhakar, K., 2015. Performance Evaluation of 10 MW Grid Connected Solar Photovoltaic Power Plant in India. *Energy Reports*, 1, 184-192.
- Mangan, S. D., Oral, G. K., 2013. Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi. Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, İzmir, 921-931
- Sauer, K. J., Roessler, T., Hansen, C. W., 2015. Modeling the Irradiance and Temperature Dependence of Photovoltaic Modules in PVsyst. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5(1), 152-158.
- Sharma, D. K., Verma, V., Singh, A. P., 2014. Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(2), 725-731.
- Suda, C., Metin, B., Cengiz, K., Er, E., Öğün, M., Topçuoğlu, K., 2016. FV Güç Sistemi Modellemesi. *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, 3(1), 61-71.
- Sundareswaran, K., Peddapati, S., Palani, S., 2014. MPPT of PV Systems Under Partial Shaded Conditions Through a Colony of Flashing Fireflies. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 29(2), 463-472.

#### **İnternet kaynakları**

1-<http://re.jrc.ec.europa.eu/PVgis/>. (28.08.2017).