

Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi

Ayça Keskin¹⁺, Kerim Martin^{1*} ve Kurtuluş Boran¹

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği/Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

*Sorumlu yazar: kerimmartin@gazi.edu.tr

+Konuşmacı: ayca.keskn123@gmail.com

Sunum/Bildiri Tipi: Sözlü / Tam Metin

Özet – İhtiyaç duyulan enerji talebinin büyük bir bölümü petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil ve nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Elektrik tüketiminin sürekli artması, kullanılan kaynaklarının çoğunun fosil kökenli olması ve bu kaynakların elde edilme zorluğu dışa bağımlılık yaratmaktadır. Yakıtların atmosfere bıraktığı gazlar küresel ısınma, iklim değişikliği, atmosfer kirliliği ve sera gazı gibi zararları etkileri beraberinde getirdiği için gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde tehdit oluşturabileceği düşünülmektedir. Tüm bu sebepler dolayısı ile yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem artmıştır. Yenilenebilir enerji, hem çevre kirliliğine sebep olmadığı hem de tükenmediği için her geçen yıl daha cazip hale gelmektedir. Yapılan bu çalışmada Dünya’da ve Türkiye’de enerji, yenilenebilir enerji ve güneş enerjisi sektörünün gelişimi incelenmiştir. Güneşten aktif yararlanma olanağı veren fotovoltaik sistemlerin teknolojisi, üretimi, modül yapıları, modül malzemeleri, sistemde kullanılan bileşenler, sistemdeki enerji dönüşümü ve performansı etkileyen faktörler irdelenmiştir. Fotovoltaik sistemlerin tasarımında kullanılan fotovoltaik simülasyon yazılımı olan PVsyst (Photovoltaic Systems) anlatılmıştır. Niğde ili Merkez ilçesinde 1,122 MWp (mega-watt-peak) kurulu gücünde şebekeye çıkış gücü 1 MW olan Güneş Enerji Santralinin (GES) modellemesi PVsyst programı V6.78 versiyonu ile yapılmıştır. Söz konusu programın performans değerlendirmesinde kullanılan performans ve kayıp parametreleri araştırılmıştır. Aynı zamanda santralin 2017 yılındaki mevcut enerji üretim rakamları ile simülasyonda üretilen değerler karşılaştırılmıştır.

Keywords Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi, Işınım Parametreleri, Fotovoltaik Performans, PV, Teknolojileri, Simülasyon

I. GİRİŞ

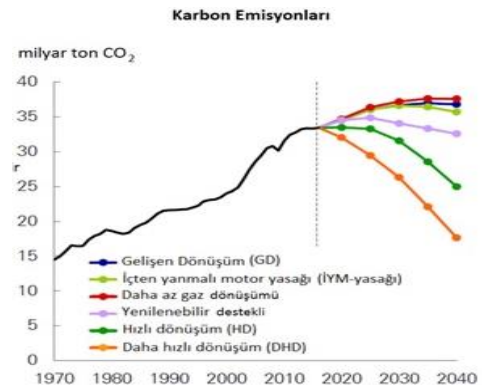
Dünya nüfusundaki hızlı artış, sanayileşme, teknolojik araç ve gereçlerin insan yaşamında yoğun bir şekilde yer alması, enerji tüketimindeki artışı hızlandırmaktadır. Bu gelişmeler, enerji tüketimini her yıl ortalama %4-5 oranında arttırmaktadır[1].

Dünya genelinde enerji tüketiminin geçen yıl bir önceki yıla göre % 2,2 arttığı British Petroleum (BP), Dünya Enerji İstatistik Görünümü 2018 Raporu’nda belirtilmektedir [2].

Karbon emisyonunun 2040 yılına kadar %10 artması beklenmektedir. Bu durum Paris İklim Anlaşması taahhütlerini yerine getirmek için gerekli olduğu düşünülen keskin düşüşten daha yüksektir. Bu nedenle, 2040 yılına kadar karbon emisyonlarının %50 gibi bir oran civarında azalması beklenen Uluslararası Enerji Ajansı’nın “Daha Hızlı Dönüşüm” senaryosu oluşturulmuştur. Şekil 1’de gösterilen bu senaryoda 2040 yılına kadar neredeyse karbon salınımı üretmeyen enerji sektöründen bahsedilmektedir[2].

Elektrik tüketiminin sürekli artması, kullanılan kaynaklarının çoğunun fosil kökenli olması ve bu kaynakların elde edilme zorluğu dışa bağımlılık yaratmaktadır. Yakıtların atmosfere bıraktığı gazların birçok zararlı etkiyi beraberinde getirmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem artmıştır [3]

Yenilenebilir enerji dünyadaki elektrik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji üretim kapasitesi 2017 yılında toplam kapasiteyi 2016 yılına göre yaklaşık %9 oranında artırmıştır [4].



Şekil 1: 2040 Yılına kadar kaynaklarına göre karbon emisyonu dağılımı

Dünyada yenilenebilir enerjinin gelecekteki durumu açısından ilk 5 ülkenin yaptığı yatırımlar göz önüne alındığında lider olan ülkeler Çin, ABD, Japonya, Birleşik Krallık ve Hindistan olmuştur [5]

Türkiye coğrafi konumu sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan maksimum oranda yararlanmak için ülkemizde enerji politikaları geliştirilmektedir.

Yapılan kanuni düzenlemeler incelendiğinde 6094 numaralı kanun Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) ile ilgilidir. Bu kanun güneş, hidrolik, jeotermal, rüzgâr, biyokütle ve biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarını içermektedir. Yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretimde tesis tipine göre; güneş enerjisine dayalı üretim tesisi ile biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dâhil olmak üzere) için 13.3 cent/kWh, hidroelektrik üretim tesisi ile rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi için 7.3 cent/kWh, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi için 10.5 cent/kWh fiyat desteği verilmektedir [6].

Güneş enerjisinin sürekli bulunabilir olması, çevreye verdiği zararların yok denecek kadar az olması ve fotovoltaik (FV) sistemlerdeki teknolojilerin hızla gelişmesi dolayısıyla bu sistemlerin performans tahmini, enerji üretim değerlerinin verimliliği ve çalışma davranışları için çeşitli simülasyon programlar tasarlanmıştır. PVsyst bu simülasyon programlarından biridir. Karki ve diğ. (2012) PVsyst kullanarak Katmandu ve Berlin'deki şebekeye bağlı 60 kWp'lik fotovoltaik sistemin karşılaştırmalı performans çalışmasını sunmuştur. Enerji üretiminin yanı sıra çeşitli olası kayıplardan bahsedilmiştir [7]. Kandasamy ve diğ. (2013), güney Tamil Nadu'daki dört coğrafi koşul için PVsyst yazılımı kullanılarak güneş potansiyeli değerlendirmesi üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Tuticorin, Sivakasi, Sivagangai ve Madhurai bölgeleri için 1000 kWp şebekeye bağlı fotovoltaik sistem performansını gerçekleştirmiştir. Enerji üretimi, performans oranı, PV dizi verimliliği ve diğer maliyet parametrelerinin detaylı analizi tartışılmıştır [8]. Sharma ve diğ. (2013), Hindistan Khatkar -Kalan'da kurulan 190 kWp grid etkileşimli fotovoltaik sistem hakkında detaylı bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışma, PVsyst simülasyon sonuçları ile tesisin pratik sonuçları arasındaki karşılaştırmalı performansı göstermiştir. Yıllık bazda 190 kWp PV tesisinin kapasite faktörü, ortalama performans oranı (PR) ve sistem verimliliği sırasıyla % 74, % 9.27 ve % 8.3 'dir [9]. Yadav ve ark. (2015), Hindistan'daki Hamirpur lokasyonu için 1 kWp fotovoltaik sistem simülasyonu gerçekleştirmiştir. Performans oranı (PR) hesaplanmış ve sistemdeki kaybın çıkarılmasıyla enerji üretimi % 72.4 olarak tahmin edilmiştir [10].

II. MATERYAL VE METOD

FV sistemlerin performans tahmin uygulamalarının analizleri için sanal ortamda var olan çeşitli simülasyon programlarından PVsyst V6.78'in deneme sürümü kullanılmıştır.

PVsyst'te hesaplamalar gerçekleşirken birçok farklı parametre göz önünde bulundurulur. Bu parametreler ise meteorolojik veriler, ayrıntılı güneş ışınım değerleri, bölge kirlilik oranları, gölgelenme analizleri, güneş paneli yönü ve açısı, yer yansıma oranları (Albedo), güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları, yerleşim planları, güneş panelinin özellikleri, eviricilerin özellikleri, kablo mesafeleri ve bağlantı nokta sayısıdır [11].

Performans parametreleri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin performansını analiz etmek için geliştirilmiştir. Performans parametreleri enerji üretimine, ışınım değerlerine ve sistem kayıplarının etkisine bağlı olarak genel sistem performansını belirlemek için kullanılmaktadır [12]. Fotovoltaik sistem performansının tanımlanmasında kullanılan birçok parametre vardır:

Fotovoltaik Dizi Kazancı (Y_A), bir fotovoltaik diziden belirli bir periyotta günlük, aylık ya da yıllık elde edilen enerjinin, P_O kurulu güç değerine bölünmesiyle hesaplanır. Birimi kWh/kWp/gün'dür ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$Y_A = E_a / P_O \quad (1)$$

Referans Kazancı (Y_R), ideal şartlarda elde edilebilecek enerjiyi belirtir. Eğer referans ışınım olan G parametresi, $1kW / m^2$ ise, Y_R parametresi verimli güneşlenme saatine ya da belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınım değerine kWh / m^2 eşittir. Y_R fotovoltaik sistem için güneş ışınımı kaynağını gösterir. FV Modül Yüzeyine Düşen Işınım (Plane of Array Irradiance) olan POAI değerinin, fotovoltaik referans ışınım değeri G' 'ye bölünmesi ile elde edilir ve birimi $(kWh / m^2) / (1kW / m^2)$ 'dir.

$$Y_R = POAI / G_O \quad (2)$$

Final Kazancı (Y_F), belirli bir periyotta günlük, aylık ya da yıllık elde edilen AC enerji değerinin, santralin standart test koşullarında maksimum olan kurulu güç değerine bölünmesiyle elde edilir ve birimi $kWh / kW_p / gün$ 'dür.

$$Y_F = E_{AC} / P_O \quad (3)$$

Performans Oranı (PR), final veriminin referans verime oranıdır [13]. Performans oranı kullanılabilir enerjinin hiç kayıp yaşanmayacak ideal fotovoltaik sistemin ürettiği enerjiye oranıdır. Bu parametre farklı yerlere kurulumu yapılmış fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerjinin karşılaştırılması için kullanılır. FV dizi kazancının referans kazancına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla da hesaplanır.

$$PR = (Y_F / Y_R) \quad (4)$$

$$PR = (Y_A / Y_R) \times 100 \quad (5)$$

Kapasite Faktörü (CF), santralde bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin, test koşullarında elde edilebilecek maksimum enerji değerine oranı olarak ifade edilir.

$$CF = E_{AC} / (365 \times 24 \times (P_O)) \quad (6)$$

Evirici Verimi (η_{INV}), eviricinin çıkış gücü olan AC gücün giriş gücü olan DC güce oranıdır.

$$\eta_{INV} = P_{AC} / P_{DC} \quad (7)$$

Sistem Verimi (η_{SYS}) anlık sistem verimi FV modül veriminin evirici verimi ile çarpımından elde edilen sonuçtur.

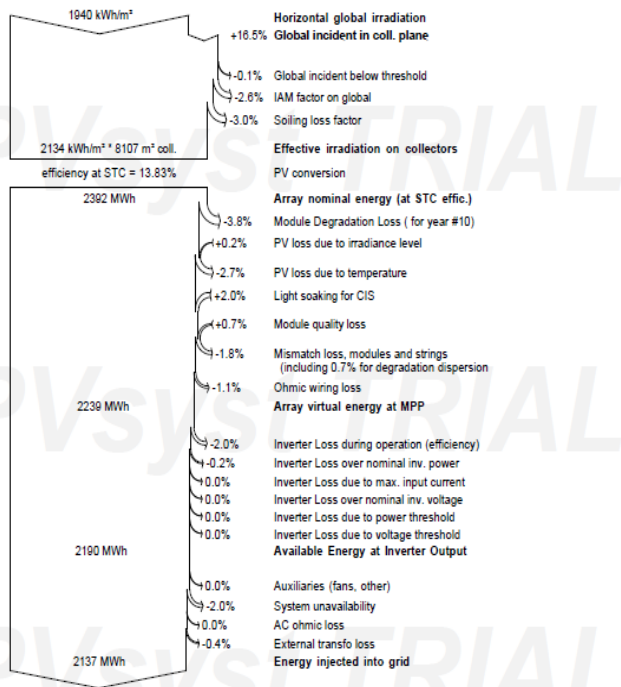
$$\eta_{SYS} = \eta_{PV} \times \eta_{INV} \quad (8)$$

III. UYGULAMA

Niğde ili Güneş Enerji Santrali, matematik konum itibariyle; 37° 59' kuzey paralelleri ve 34° 42' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Santralin ortam hava sıcaklığı ortalaması bir yıl boyunca 24.9 °C – 1.6 °C arasında değişmektedir.

Santralde her biri 170 W_p olan 6600 adet incefilm modüller kullanılmıştır. Bu sistemde paneller 33° bir eğim açısı ve 0° lik azimut açısı ile güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Aynı zamanda 500 kW_e (AC) merkezi 2 adet inverter kullanılmaktadır. 1122 kW_p (DC) panel gücündeki tesis sisteme 1000 kW_e (AC) güçle bağlanmıştır.

Kış ayları olarak planlanan eylül, ekim, kasım, aralık, ocak, şubat ve mart aylarında 33° eğime ayarlanan FV modüllerin simülasyonu sonucu elde edilen enerji akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Elde edilen diyagramda Niğde ili Güneş Enerji Santralinin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen küresel ışınım miktarının 1940 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik paneller 33°lik açıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı standart koşullar (STK)'da % 16.5 artarak 2134 kWh/m² elde edilmiştir.



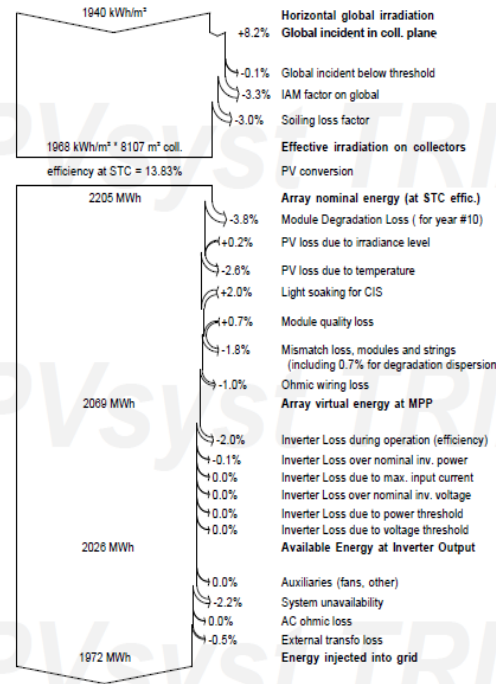
Şekil 2: 33° eğime ayarlanan Niğde GES'in PVsyst kayıp diyagramı

33° eğime ayarlanan sistemdeki kayıplar şöyledir: yansıma kaybı (IAM Loss) % 2.6, tozlanma kaybı (soiling loss) % 3.10 yıl sonrası için modül bozulma kaybı % 3.8, ısıl kayıp % 2.7, dizi uyumsuzluğu kaybı (mismatch) % 1.8, DC omik kayıp % 1.1, inverter kayıpları % 2.2, bunların dışındaki kayıplar ise % 2.4 olarak hesaplanmıştır. Tüm kayıpların ardından 1 yıl boyunca 33° eğimle ayarlanan santralden yılda 2137 kWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.

Yaz ayları olarak planlanan nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarında 10° eğime ayarlanan FV modüllerin simülasyonu sonucu elde edilen enerji akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Fotovoltaik paneller 10°lik açıyla

yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı STK 'da % 8.2 artarak 1968 kWh/m² elde edilmiştir.

10° eğime ayarlanan sistemdeki kayıplar şöyledir: yansıma kaybı (IAM Loss) % 3.3, tozlanma kaybı (soiling loss) % 3, 10 yıl sonrası için modül bozulma kaybı % 3.8, ısıl kayıp % 2.6, dizi uyumsuzluğu kaybı (mismatch) % 1.8, DC omik kayıp % 1, inverter kayıpları % 2.1, bunların dışındaki kayıplar ise % 2.7 olarak hesaplanmıştır. Tüm kayıpların ardından 1 yıl boyunca 10° eğimle ayarlanan santralden yılda 1972 kWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.



Şekil 3: 10° eğime ayarlanan Niğde GES'in PVsyst kayıp diyagramı

IV. SONUÇLAR

Niğde GES yapımında kullanılan öğelere bağlı kalınarak PVsyst V6.78 programının deneme sürümünde yapılan modelleme sonuçlarına göre santralin yılda ortalama 1961.1 MWh enerji üreteceği öngörülmektedir. Santralin gerçek üretim değerleri ile modelleme sonuçları kıyaslandığında Temmuz ayında sonuçların birbirinden daha çok uzaklaştığı görülmüştür. Nisan, Mayıs, Eylül ve Ekim aylarında sonuçlardaki farklılık %4'ün altındadır. Ocak, Mart, Eylül, Kasım, Aralık ayları dışında gerçekleşen üretim değerlerinin modelleme değerlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum yaşanan meteorolojik olayların uzun dönem meteorolojik tahminlerden farklı olma olasılığı ile açıklanabilir. Proje öngörüsü ve üretim rakamlarının karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

Bu tabloya göre projede öngörülen rakamlarla gerçekleşen üretim rakamları kıyaslandığında tahmin edilenden %1.72 oranında daha yüksek bir performans gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 1: Projenin Gerçekleşme Oranı

	Proje Öngörülen kWh	Gerçekleşen Üretim kWh	Gerçekleşme Oranı
Ocak	122.85	106.731	87%
Şubat	126.09	139.407	111%
Mart	160.92	149.677	93%
Nisan	165.78	187.758	113%
Mayıs	181.26	181.593	100%
Haziran	187.11	201.479	108%
Temmuz	211.05	246.000	117%
Ağustos	197.1	210.563	107%
Eylül	186.93	180.365	96%
Ekim	164.61	164.995	100%
Kasım	135.09	120.532	89%
Aralık	122.31	105.697	86%
Toplam	1961.10	1994.797	1.72%

V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Niğde GES yapımında kullanılan öğelere bağlı kalınarak PVsyst V6.78 programının deneme sürümüyle yapılan modelleme sonucunda sistemin enerji üretimi, kayıp değerleri ve sistem performans parametreleri elde edilmiştir. Modellemenin gerçekleşme oranının en düşük olduğu değer Aralık ayındadır. En yüksek ışıma değerinin Temmuz ayında olmasına rağmen en yüksek performans oranının Ocak ayında gerçekleşmesi FV modüllerin kışın 33°, yazın ise 10° lik eğime ayarlanması ile ortaya çıkmaktadır. Böylece sistem en verimli şekilde kullanılmaya çalışılmıştır. Literatüre bakıldığında görülmektedir ki birebir aynı sonucu verebilen bir simülasyon programı mevcut değildir. Bu değerlerin gerçekleşen değerlerle arasındaki farklılıklar sistemdeki kayıpların tam olarak hesaplanamamasından kaynaklanmaktadır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Y_A	Fotovoltaik Dizi Kazancı
E_{AC}	AC Enerji
P_O	Standart Test Koşullarında Santralin Kurulu Gücü
P_{AC}	AC Gücü
P_{DC}	DC Gücü
Y_R	Referans Kazancı
G_O	Standart Test Koşullarındaki Işınmın Değeri
Y_F	Final Kazancı
PR	Performans Oranı
CF	Kapasite Faktörü
η_{INV}	Evirici Verimi
η_{SYS}	Sistem Verimi
η_{PV}	FV modül Verimi
G_O	Referans Işınmın
$POAI$	FV modül Yüzeyine Gelen Işınmın
kW_e	AC Güç

kW_p	DC Güç
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
DC	Direct Current
AC	Alternative Current
GES	Güneş Enerjisi Santrali
STK	Standart Test Koşulları
IAM Loss	Yansıma Kaybı
Soiling Loss	Tozlanma Kaybı
Mismatch	Dizi Uyuşmazlığı Kaybı

REFERANSLAR

- [1] ETKB, "Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu " 2018.
- [2] BP, "BP Statistical World Review of Energy," London2018.
- [3] A. F. Güven, "Afyon Oruçoğlu Terma Otelinin Enerji İhtiyacını Karşılacak Güneş Enerji Sisteminin Tasarlanması, Optimizasyonu Ve Maliyet Analizi," presented at the International Conference of Strategic Research in Social Science and Education Antalya, 2016.
- [4] GSR, "World Energy Outlook 2018," 2018.
- [5] TEIAS. Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri 2017 [Online]. Available: <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2017-yili-istatistikleri>
- [6] F. C. Kiliç, "Türkiye'deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum Ve Teşviklerindeki Son Gelişmeler," *Engineer & The Machinery Magazine*, vol. 52, pp. 103-115, 2011.
- [7] P. Karki, B. Adhikary, and K. Sherpa, "Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst," in *2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, 2012, pp. 196-199.
- [8] C. Kandasamy, P. Prabu, and K. Niruba, "Solar potential assessment using PVSYSY software," in *2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE)*, 2013, pp. 667-672.
- [9] V. Sharma and S. Chandel, "Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India," *Energy*, vol. 55, pp. 476-485, 2013.
- [10] P. Yadav, N. Kumar, and S. Chandel, "Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst," in *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 2015, pp. 0358-0363.
- [11] H. Şenççek, "Yüzer Ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik Ve Ekonomik Açidan İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2017.
- [12] B. Standard, "Photovoltaic system performance monitoring-Guidelines for measurement, data exchange and analysis," in *BS EN* vol. 61724, ed. 1998.
- [13] M. Manfren, N. Aste, and R. Moshksar, "Calibration and uncertainty analysis for computer models—a meta-model based approach for integrated building energy simulation," *Applied energy*, vol. 103, pp. 627-641, 2013.