

GERÇEKTEN SANALA: 1 MWP GÜNEŞ SANTRALİNİN PVSYSYT SİMÜLASYON PROGRAMIYLA PERFORMANS ANALİZİ

Zafer Ramazan ŞAHİN¹, Metin SALİHMUHSİN^{2*}

¹⁻² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46050, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 19.04.2024 Kabul Tarihi/Accepted Date: 17.08.2024 DOI: 10.54365/adyumbd.1471211

ÖZET

Bu çalışma, Göksun Belediyesi'ne ait 1179 MWp kurulu güçteki güneş santralının Pvsyst programıyla simülasyonunu içermekte olup, elde edilen sonuçlar gerçek üretim verileri ile karşılaştırılmıştır. Analiz, termal kayıp, kablolama kaybı, gölgeleme kaybı, uyumsuzluk kaybı, tozlanma ve karlanma kaybı, panel kaybı, invertör kaybı gibi faktörleri kapsayarak, sistemin performansındaki kayıplar detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. 2023 senesi için santral çalışmasından alınan gerçek zamanlı veriler santralin toplamda 1893005 kWh elektrik enerjisi ürettiğini göstermiştir. Pvsyst programı ile yapılan simülasyonda ise aynı süre zarfında santralin 1896851 kWh enerji üretebileceği tahmin edilmiştir. İki set veri arasında sadece 3846 kWh yani %0,203'lük bir fark tespit edilmiştir. Simülasyon değeri ile gerçek değer arasında neredeyse ihmal edilebilecek bu az fark Pvsyst programının santral çalışmasını yüksek bir doğrulukla modelleyerek simülasyonunu yapabildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Pvsyst, Güneş Enerjisi, Simülasyon

FROM REAL TO VIRTUAL: PERFORMANCE ANALYSIS OF A 1 MWP SOLAR POWER PLANT WITH PVSYSYT SIMULATION PROGRAM

ABSTRACT

This study involves the simulation of a solar power plant owned by Göksun Municipality with a installed capacity of 1179 MWp using the Pvsyst program, and the results obtained are compared with real production data. The analysis evaluates losses in the system's performance in detail, covering factors such as thermal losses, wiring losses, shading losses, mismatch losses, dust and snow losses, panel losses, and inverter losses. Real-time data from the operation of the plant for the year 2023 indicates that the plant generated a total of 1893005 kWh of electricity. In the simulation performed with the Pvsyst program, it is estimated that the plant could generate 1896851 kWh of energy during the same period. Only a difference of 3846 kWh, equivalent to 0.203%, is observed between the two sets of data. This nearly negligible difference between the simulation value and the real value demonstrates that the Pvsyst program can accurately model and simulate the operation of the plant with high accuracy

Keywords: Renewable Energy, Pvsyst, Solar Energy, Simulation

1. Giriş

Fotovoltaik (PV) santraller, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ve çevre dostu elektrik üretimine olanak tanıyan tesislerdir. Bu santraller, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak ve karbondioksit emisyonlarını en aza indirerek çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılarda bulunur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında fotovoltaik sistemler, hızlı teknolojik ilerlemeler ve düşen maliyetler sayesinde, giderek daha cazip bir alternatif haline gelmiştir [1]. Gerek mikro ölçekte evlerde, gerekse makro ölçekte

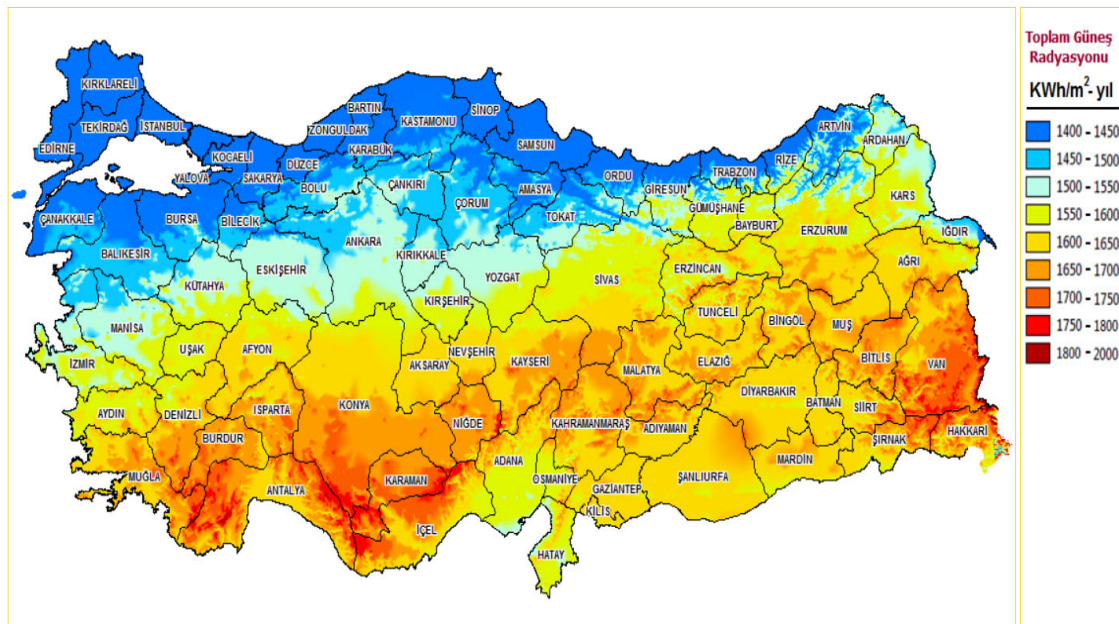
* e-posta¹: zaferr@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8256-7531> (Sorumlu Yazar)

e-posta²: msalihmuhsin@ksu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9376>

büyük santrallerde geniş bir uygulama yelpazesi sunan bu sistemler, hem kırsal hem de kentsel alanlarda elektrik enerjisi üretimini kolaylaştırır. Fotovoltaik sistemlerin sağladığı esneklik, elektrik enerjisine erişimi olanaklı kılarak, uzak köylerden kalabalık şehir merkezlerine kadar geniş bir coğrafyada enerji güvenliğini artırır. Bu sebeple, fotovoltaik santrallerin gelecekte elektrik enerjisi üretimindeki payının hızla artması beklenmektedir.

Güneş enerjisi santrallerinin tasarım, kurulumu ve performans analizi süreçlerinde simülasyon programları, kritik bir rol oynar. Bu tür programlar, santralin ilk tasarım aşamasından enerji üretiminin optimize edilmesine kadar birçok farklı süreci detaylı bir şekilde modelleyebilir. Simülasyon programları, güneş santrali projelerinin ekonomik fizibilitesini değerlendirmekte, sistem bileşenlerinin en uygun konfigürasyonlarını belirlemekte ve uzun vadede elde edilecek enerji üretimini tahmin etmekte kullanılır. Bu alanda en yaygın kullanılan yazılımlardan biri olan PVsyst, güneş enerjisi sistemlerinin performansını simüle etmek ve optimize etmek için kapsamlı analiz araçları sunar. PVsyst, sistem tasarımı, gölge analizi, enerji üretimi tahmini ve modül verimliliği değerlendirmeleri gibi kritik fonksiyonları bünyesinde barındırır. Ayrıca, sistem bileşenlerinin uyumluluğunu kontrol ederek, kurulumdan operasyon sürecine kadar yüksek verimlilik ve performans sağlanmasına yardımcı olur [2].

Bu çalışma kapsamında, Kahramanmaraş ili Göksun ilçesinde bulunan ve 1179 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerjisi santralinin performans analizi yapılmıştır. Analiz sürecinde, santralin simülasyonu PVsyst programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler gerçek zamanlı üretim verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede, PVsyst programının, santralin gerçek çalışma koşullarını ne kadar doğrulukla modellediği ve enerji üretim tahminlerinin gerçeğe ne kadar yakın olduğu değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçlarının gerçek verilerle uyumu, PVsyst'in tasarım ve performans analizi süreçlerinde güvenilir bir araç olup olmadığını ortaya koymakta, böylece gelecekteki projelerde daha bilinçli kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır.

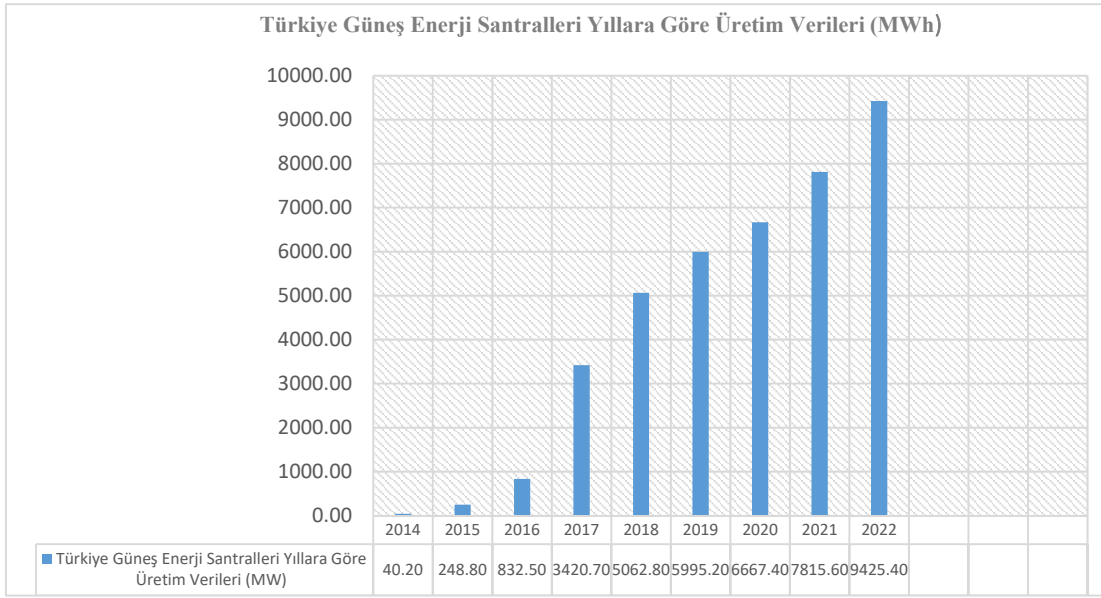


Şekil 1. Türkiye güneş enerjisi atlası [3]

1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Durumu

Türkiye, coğrafi konumu itibariyle 36° ile 42° kuzey enlemleri ve 26° ile 45° doğu boylamları arasında yer alan güneş kuşağının içinde bulunmaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, ülkemizde toplam güneşlenme süresi yılda 2.741 saat olarak kaydedilmiştir. Bu toplam süre günlük ortalama 7,5 saatlik bir güneşlenme süresine karşılık gelmektedir. Yine Türkiye geneli için m² başına gelen toplam güneş enerjisi miktarı yılda 1.527 kWh olup bu miktar günlük ortalama 4,18 kWh/m² olarak ta ifade edilmektedir. Bu değerler Türkiye’nin güneş enerjisi bakımından oldukça zengin bir kaynağa sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 1’de, Türkiye geneli için yıl bazında ışınım miktarlarını gösteren güneş enerjisi potansiyeli atlası sunulmaktadır [3,4].

Türkiye’de güneş enerji santrallerinin kurulmaya başlanması enerji sektöründe önemli bir değişimi beraberinde getirilmiştir. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve teşvik politikalarıyla birlikte, ülkedeki güneş enerji santrali sayısı önemli ölçüde artmıştır. Güneş enerji santrallerinin yaygınlaşması, çevre dostu enerji üretimine yönelik bir adım olup, Türkiye’nin enerji bağımsızlığı ve temiz enerji hedeflerine katkı sağlamaktadır. Bu süreç, ülkedeki enerji üretim portföyünü çeşitlendirme ve atmosfere zehirli gaz salınımını azaltma yolunda önemli ilerlemeler sağlamıştır. Şekil 2, Türkiye’deki toplam güneş enerji santrali kurulum gücünün senelere göre değişimini göstermektedir [5].



Şekil 2. Türkiye’deki güneş enerjisi kapasitesinin yıllara göre dağılımı [5]

1.2. Göksun İlçesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

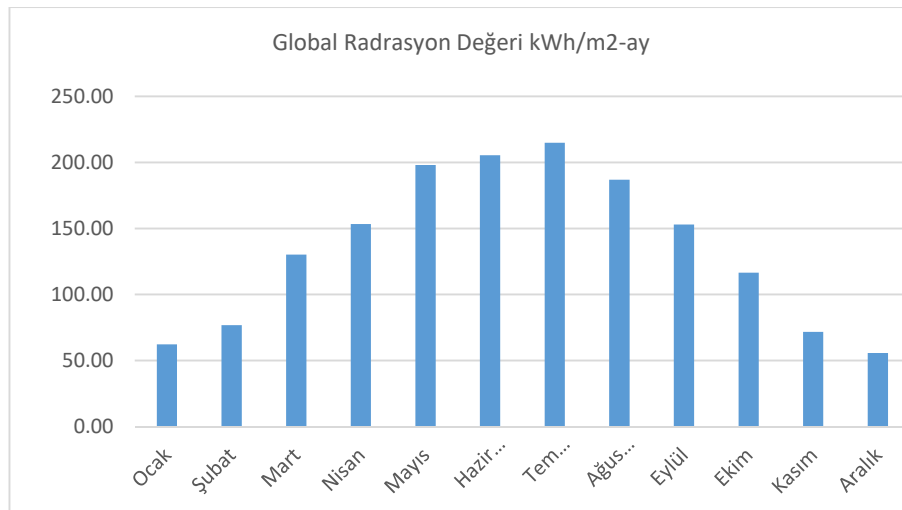
Metrekare başına düşen güneş ışınımının azalması veya fotovoltaik hücre sıcaklığının artması, PV panellerinin enerji dönüşüm verimliliğinde bir düşüşe neden olur. Bu durum, PV panellerin ısındıkça güç çıkışında bir azalmaya yol açar. Yüksek sıcaklıklar panel çıkış voltajın düşmesine neden olurken, panel akımı sınırlı ölçüde artar. Sonuç olarak, panellerin güç çıkışı düşer ve bu da verimliliğin azalmasına sebep olur. Bu sıcaklık bağımlılığı, güneş enerjisi sistemlerinin performansını önemli ölçüde etkileyen bir faktördür ve sistem tasarımında dikkate alınması gereken kritik bir unsurdur [6]. Göksun ilçesi, Kahramanmaraş’taki diğer pek çok belde ile karşılaştırıldığında rakımı sebebiyle daha düşük sıcaklık değerlerine sahip bir yerdir. Bu durum, Göksun’un güneş enerjisi sistemleri için daha elverişli bir çevresel ortam sunabileceği anlamına gelmektedir. İlçede özellikle yaz aylarında sıcaklıkların daha

ılıman seyretmesi, güneş panellerinin daha düşük sıcaklıkta daha etkin bir şekilde çalışmasına olanak sağlamaktadır.

Göksun ilçesinde yer alan Karaömer mevkininin coğrafi verileri, güneş enerjisi santrali kurulumu açısından önemli bir potansiyeli işaret etmektedir. Karaömer'in enlem değeri 38.1419, boylam değeri ise 36.6924 olarak belirlenmiş, rakımı da 1386 m'ye kadar çıkmaktadır. Bu coğrafi konum ılıman iklim ve güneş ışınım değeri gibi etkin çalışma koşullarını sağlamaktadır. Üstelik, Göksun ilçesindeki ortalama günlük global radyasyon değeri 4.45 kWh/m² olarak Türkiye ortalamasından daha yüksektir. Belirtilen coğrafi avantajlar bu beldemizi güneş enerjisi projeleri için ideal bir konum haline getirmektedir. Şekil 3'te Göksun Belediyesi GES'inin kurulum öncesi ve sonrasına ait resimleri yer almaktadır. Şekil 4'te ise Göksun ilçesinin aylık bazda enerji işleri genel müdürlüğü verilerinden elde edilen global ışınım değerleri verilmiştir.



Şekil 3. a) Göksun Belediyesi GES kurulum öncesi görüntüsü, b) Göksun Belediyesi GES kurulum sonrası görüntüsü



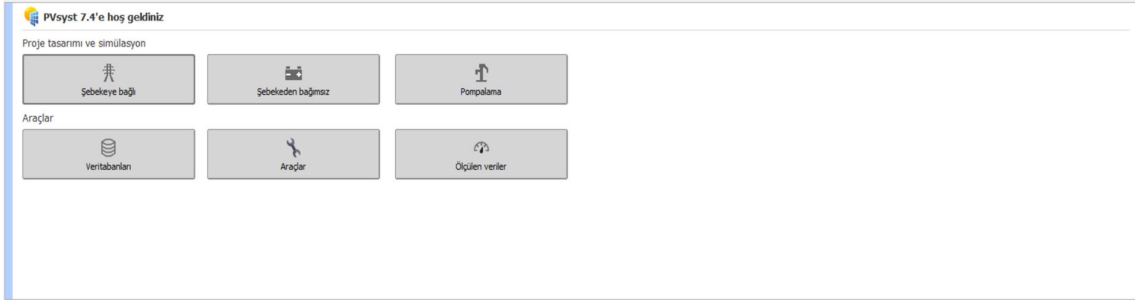
Şekil 4. Göksun ilçesine ait aylık global ışınım değerleri [1]

2. Materyal ve Metot

PV sistemlerinin performans analizi ve simülasyonlarını yapmak için pek çok bilgisayar programı mevcuttur. Bu programlar arasında PVsyst, Homer, RETScreen, PVplanner, PVSOL gibi seçenekler yer almaktadır. Bu programlar içerisinde PVsyst, geniş bir seçim yelpazesi sunması, PV sistem elemanlarını detaylı bir şekilde içermesi, hızlı erişim imkanları sağlaması, sistemdeki kayıpların ayrıntılı bir biçimde analiz edilebilmesi, 3D çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının tespit edilebilmesi, ekonomik analiz yapabilme yeteneği gibi pek çok özelliği sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen PVsyst programı, güneş enerji sistemleri için özel bir tasarıma sahiptir. Bu yazılım, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompalama sistemlerinin detaylı tasarımını gerçekleştirmek amacıyla özel olarak geliştirilmiştir. Program güneş enerjili sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu için kullanıcılara kolay, hızlı, esnek ve özelleştirmelere açık bir program ortamı sunmaktadır [7].

2.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

PVsyst programıyla simülasyona başlandığında program ilk olarak sistem türünü seçmemizi ister. Sistem türü için Şebekeye bağlı, Şebekeden bağımsız ve Pompalama seçeneklerinden birinin seçilmesi gerekmektedir. Şekil 5'te program açılışında karşımıza çıkan ve sistem türü seçiminin gerçekleştirildiği ekran penceresi gösterilmektedir.

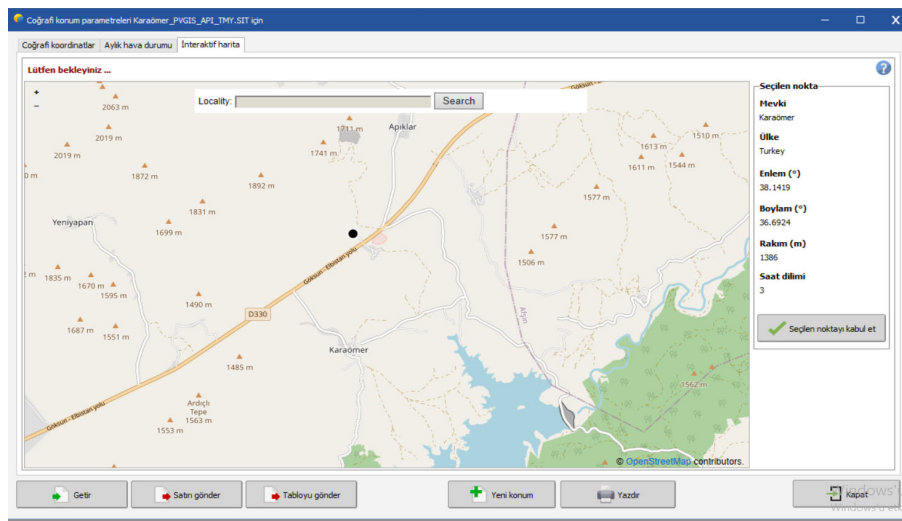


Şekil 5. PVsyst programında sistem türü seçme bölümü

Şebekeye bağlı sistem seçeneği, model oluşturulacak olan fotovoltaik sistemin elektrik şebekesi ile entegre bir şekilde simüle edilmesine olanak tanır. Bu seçenek, enerjinin şebekeye geri verilebilmesi veya ihtiyaç durumunda şebekeden enerji çekilebilmesini mümkün kılar. İkinci seçenek olan şebekeden bağımsız sistem seçeneği ise fotovoltaik panellerin enerji ürettiği ancak şebekeye bağlı olmadığı durumları simüle eder. Bu tür sistemler genellikle off-grid uygulamalar için kullanılır ve enerji depolama sistemlerinin, örneğin akülerin, şarj edildiği sistemlerin modellenmesinde tercih edilir. Son olarak, pompalama sistemi seçeneği, güneş enerjisi kullanarak su pompalama işlevini gerçekleştiren sistemlerin simülasyonunu gerçekleştirir. Bu sistemler, genellikle off-grid olarak çalışan ve suya doğrudan erişimi olmayan tarım arazilerinin sulanmasına olanak tanıyan sistemlerdir[8]. PVsyst, her bir sistem tipi için tasarım ve analiz süreçlerini optimize etmek amacıyla kapsamlı simülasyon olanakları sunmaktadır. Simülasyonunu yaptığımız Göksun GES santrali için sistem türü şebekeye bağlı olarak seçilmiştir [9].

Sistem türü tanımlandıktan sonra, Göksun Belediyesi Güneş Santrali'nin bulunduğu konum için meteorolojik verilerin sisteme girilmesi gerekmektedir. Bu işlem çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. İlk yöntem olarak, hava durumu veri tabanındaki coğrafi koordinatlar butonu tıklanarak yapılabilir. İkinci olarak, daha önce kayıtlı olan mevcut konumlardan biri seçilerek bu işlem gerçekleştirilebilir.

Alternatif olarak, farklı bir yerde yeni bir santral kurulumu yapılacaksa, bu yerin enlem-boylam değerleri girilerek veya istenilen konum harita üzerinde işaretlenerek sistem kaydı oluşturulabilir. Simülasyonunu yaptığımız Gökşun Belediyesi Güneş Enerji Santrali'nin meteorolojik veri bilgileri, santralin konumu harita üzerinde işaretlenerek sisteme kaydedilmiştir. İşaretlenen bu konumun coğrafi hava verileri ve global radyasyon durumu, PVsyst programının altyapısında mevcut olan PVGIS üzerinden görüntülenebilir. Şekil 7'de, PVsyst programında coğrafi konum seçiminin harita üzerinden tıklanarak yapılmasına olanak sağlayan pencerenin görüntüsü verilmiştir. Çizelge 1'de ise PVGIS arayüzü penceresinde gösterilen global yatay ışınım, yatay difüz ışınım, sıcaklık ve bağıl nem değerleri gösterilmektedir. Çizelge 1'de sunulan veriler incelendiğinde, bir yıl boyunca seçilen santral konumu için toplam 1710 kWh/m²/yıl global yatay ışınım değeri olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, yıllık ortalama değerler olarak sıcaklığın 9,2 °C, rüzgar hızının 1,7 m/s ve bağıl nemin %63,5 olduğu belirlenmiştir.

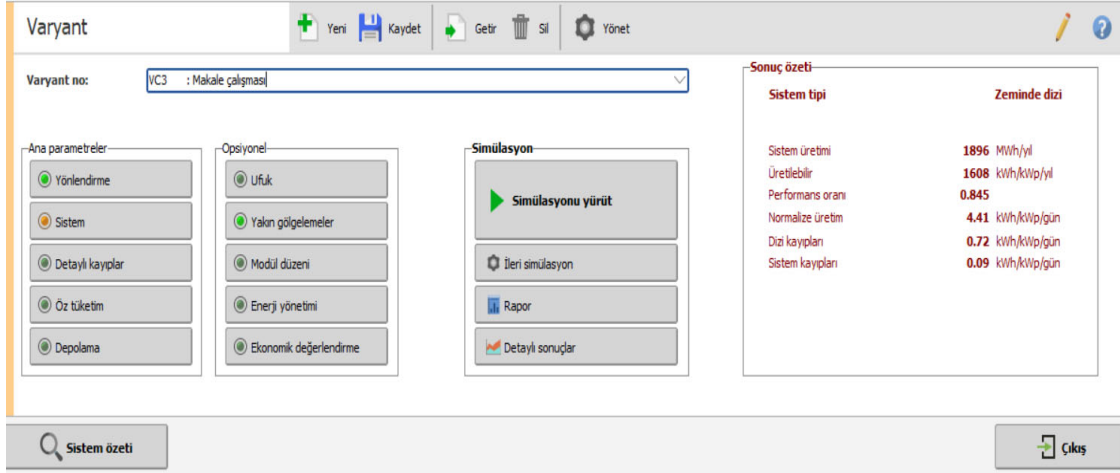


Şekil 7. PVsyst üzerinde coğrafi koordinatın tanımlanması.

Çizelge 1. Seçilen konumun ışınım, sıcaklık ve bağıl nem değerleri

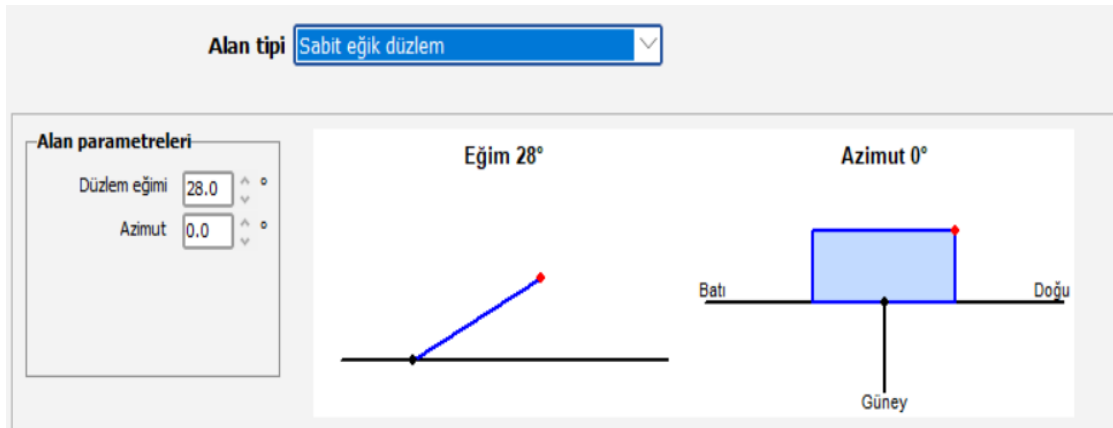
Aylar	Global Yatay Işınlama kWh/m ² /ay	Yatay Difüz Işınlama kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C	Bağıl Nem %
Ocak	35.0	26.5	-4.9	87.7
Şubat	58.9	38.2	-3.5	80.5
Mart	119.8	59.5	3.5	76.8
Nisan	153.7	64.5	5.7	68.6
Mayıs	204.9	71.4	12.7	60.2
Haziran	235.1	66.2	18.0	47.3
Temmuz	250.1	63.2	22.9	42.1
Ağustos	225.2	54.5	21.2	43.2
Eylül	163.1	55.0	17.0	54.4
Ekim	107.7	45.1	11.3	66.5
Kasım	92.9	30.0	5.6	59.6
Aralık	64.1	27.8	1.0	75.3
Yıllık	1710.5	601.9	9.2	63.5

Simülasyonu yapılacak santral için konum ve hava durumu dosyası oluşturulduktan sonraki aşama şekil 8’de gösterildiği gibi “Varyant” kısmı olmaktadır. Bu aşamada santral için panel ve invertör seçimleri, sistem kayıpları tanımlamaları, varsa öz tüketim verileri, sistem akülü ise depolama verileri, ufuk çizgisi, gölgeleme durumu ve modül düzeni gibi veri girişleri yapılır.



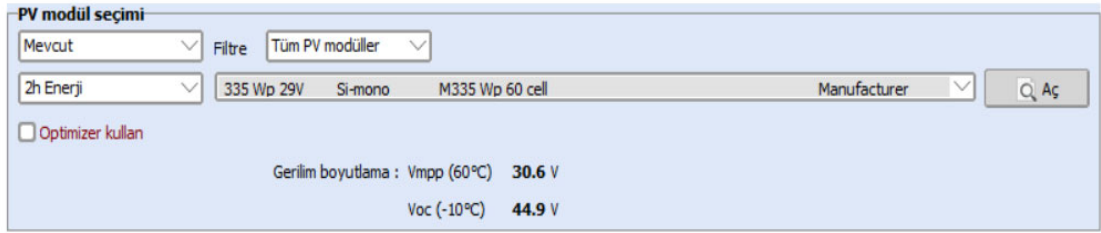
Şekil 8. PVsyst varyant bölümü

İstenen bu santral veri girişlerinin ardından enerji sisteminde kullanılan panellerin doğru bir şekilde yönlendirilmesi için “Yönlendirme” menüsü yine şekil 9’da görülen ekrandan seçilmelidir. Bu adım, güneş panellerinin optimum güneş ışığı alımını sağlamak amacıyla belirli bir yöne doğru hizalanması ve eğim açısının ayarlanması işlemi içermektedir. Bu kısımda şekil 10’da gösterilen alan tipi menüsünden panellerin üzerine yerleştirileceği konstrüksiyon tipi seçimi gerçekleştirilir. Alan parametreleri kısmından ise panelin zeminle arasındaki eğim açısı ve panelin güney yönünden sapma açısı olarak tanımlanan azimuth açısı girilebilir. Modelini oluşturduğumuz güneş enerjisi santrali için panelin zeminle yaptığı açı 28° ve azimuth açısı ise 0° olarak girilmiştir.



Şekil 9. Panel yönlendirme ekran görüntüsü

PVsyst simülasyon programında panel, invertör seçimi ve dizi oluşturulması Şekil 8’de yer alan “sistem” menüsünden gerçekleştirilmektedir. Program içerisinde santralin kurulumu gerçekleştirilirken 2h Enerji şirketinin Winasol markalı mono kristal yapıda 335 Wp gücünde modülü kullanılmıştır. Şekil 10’da PV modül seçimi ekran görüntüsü verilmiştir. Şeklin sağ tarafındaki aç butonu tıklandığında seçilen PV panelin data kılavuzuna ulaşmak mümkün olmaktadır.



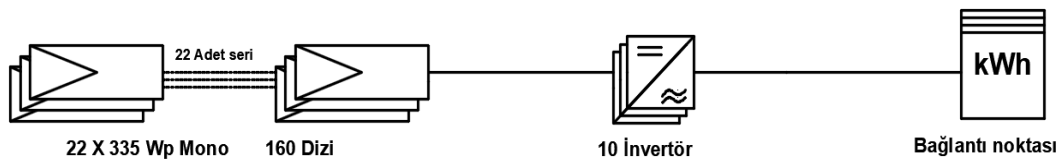
Şekil 10. Sistem menüsünden pv modül tanımlanması

Yine sistem menüsünden invertör seçimi ekranına erişim yapılabilmektedir. Programın İnverter seçimi ekran penceresi Şekil 11’de verilmiştir. Çalışmadaki simülasyonumuz için Huawei marka 100 kW güce sahip kendi içinde 10 mppt barındıran 400 volt, 50 Hz frekansa sahip trifaze invertör seçilmiştir.



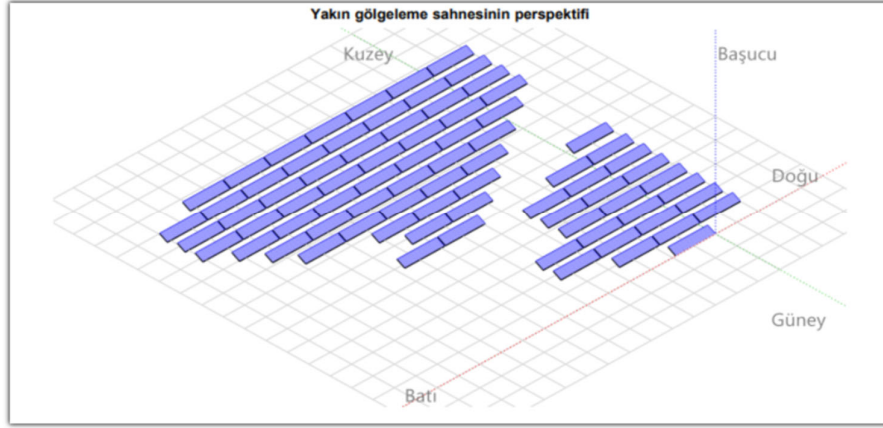
Şekil 11. Sistem menüsünden İnverter seçimi ekranı

Güneş enerji santrali kurulumunda dikkat edilecek hususlardan bir tanesi seri bağlanmış panel gerilimlerinin invertör çalışma gerilim aralığında olmasıdır. Panellerin soğuk hava koşullarında gerilimleri yükselirken akımları bir miktar düşer [10]. İklim koşulları temel alınarak en soğuk havada gerilimin maksimum yükseleceği değere göre hesap yapıp seri bağlanılacak panel sayısını bulmak gerekmektedir. Kurulumu gerçekleştirilmiş santralde bu hesaplamalar yapılarak 22 panel seri bağlı olacak şekilde invertör bağlantıları yapılmıştır. Bu sebeple dizi boyutlandırması bölümünde seri modül sayısı 22 olarak girilmiştir. Şekil 12’de bağlantısı gerçekleştirilen santralin tek hat şeması verilmiştir.

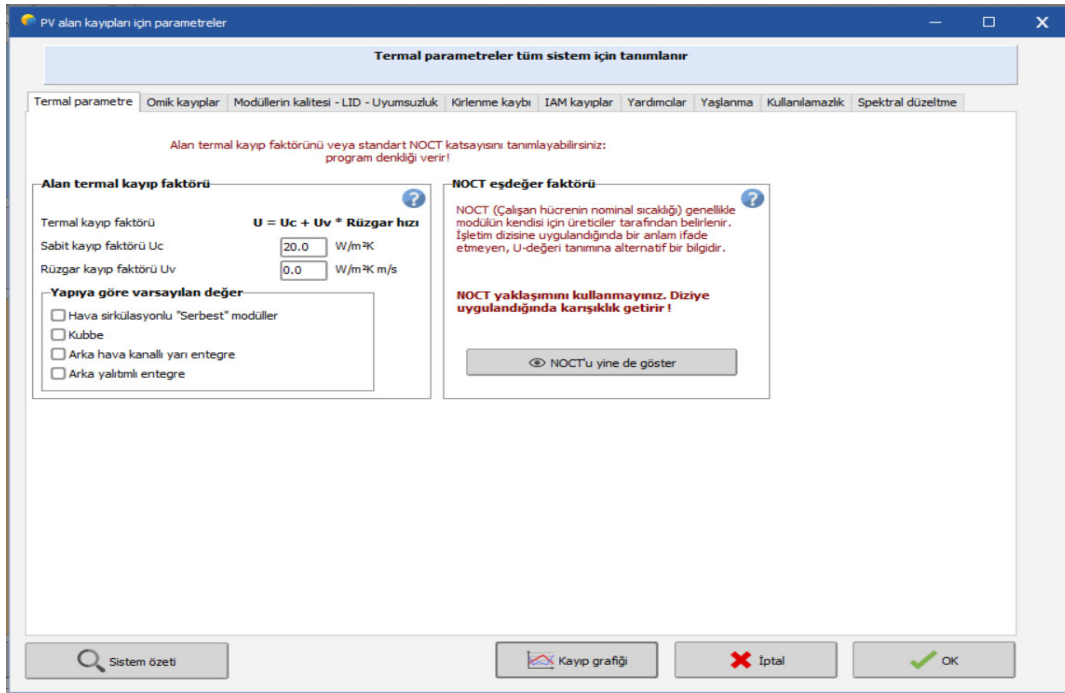


Şekil 12. Tek hat şeması

Gölgeleme, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip kritik bir faktördür. Güneş panellerinin üzerine düşen gölgeler, panel verimliliğini azaltabilir ve dolayısıyla enerji üretimini olumsuz yönde etkileyebilir [11]. PVsyst benzeri tasarım yazılımları, gölgeleme analizleri yaparak, sistemde potansiyel gölgeleme kaynaklarını belirler ve bu gölgelerin panel üzerindeki etkilerini değerlendirir. Doğru bir gölgeleme analizi, güneş enerjisi sistemlerinin optimal konumlandırılması ve verimliliklerinin maksimum düzeye çıkarılması için kritiktir [12]. Modeli oluşturulan Gökşun belediyesi güneş enerji santralimizin ön yüzünde gölge oluşturacak ağaç, ev gibi nesnelere bulunmadığından sadece panel diziliminden kaynaklı birbirleri üzerine gün doğum ve batışına yakın zamanlarda bir gölgeleme olacağı varsayımıyla santralin 3 boyutlu gölgeleme çizimi Şekil 13'te gösterildiği gibi yapılarak sisteme aktarılmıştır.



Şekil 13. PVsyst programında santralin 3 boyutlu görüntüsü

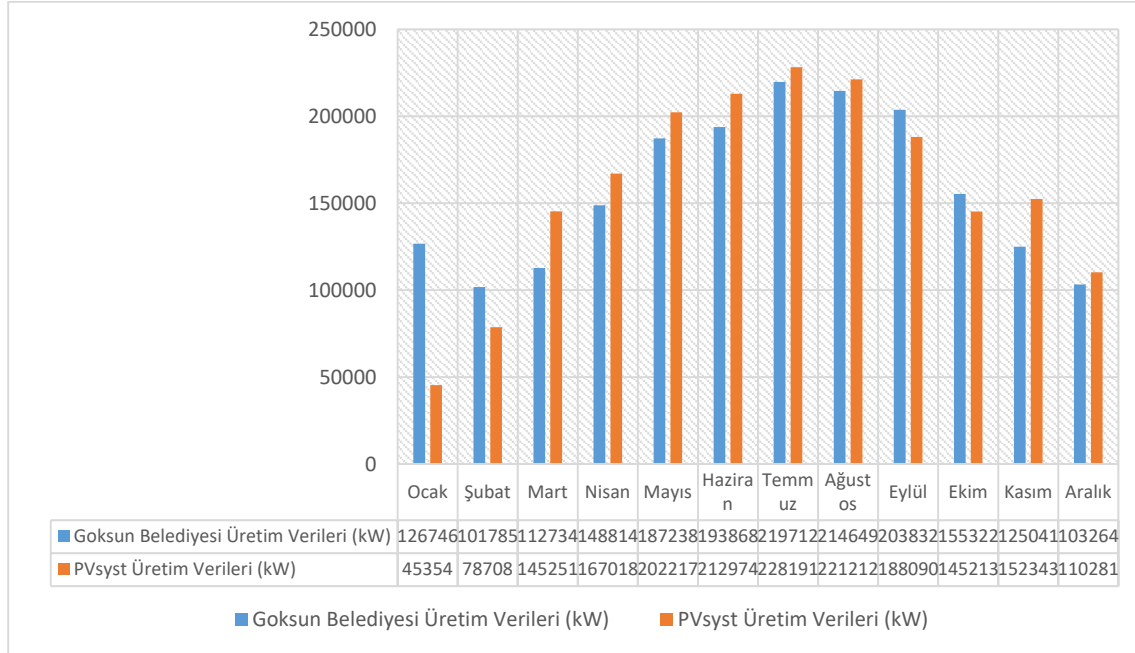


Şekil 14. Kayıplar bölümü ekran görüntüsü

PVsyst programındaki “Kayıplar” bölümü, enerji kayıplarını detaylı bir şekilde analiz ederek, sistem performansını saha koşullarında doğru bir şekilde tahmin etmeye yardımcı olur. Elektriksel, termal ve optik kayıpları içeren çeşitli faktörleri hesaplayarak, kullanıcılara sistemin optimize edilmesi için stratejiler sunar. Ayrıca, çevresel değişkenleri dikkate alarak günlük, aylık ve yıllık enerji üretimini daha doğru bir şekilde öngörür. “Kayıplar” bölümü, enerji kayıplarını minimuma indirmek için kullanıcılara önerilerde bulunarak, güneş enerjisi sistemlerinin çok daha yüksek verimlilikle çalışmasına imkan tanır. Bu nedenle, PVsyst’teki bu bölüm, güneş enerjisi projelerinin başarılı bir şekilde planlanması ve işletilmesi için kritik bir araçtır. Şekil 14’te kayıplar bölümünün ekran görüntüsü verilmiştir [13].

3. Bulgular ve Tartışma

PVsyst programı kullanılarak Göksun Belediyesi güneş enerjisi santralini modeli yukarıda detaylı bir şekilde açıklandığı şekilde oluşturularak santralin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonrasında santralin aylar ve yıllar bazında üreteceği enerji miktarı ve sistemde oluşacak kayıplar elde edilerek bu parametrelerin değerleri grafik veya tablo olarak gösterilmiştir. Sonrasında ise santralin simülasyonundan elde edilen bu parametre değerleri, santralin gerçek zamanlı çalışmasından elde edilen aynı parametre değerleri ile karşılaştırılarak sistemin ürettiği enerji ve sistemde oluşan kayıpların ayrıntılı bir analizi gerçekleştirilmiştir. Santralin ürettiği enerjinin aylık bazda gösterimi için simülasyondan elde edilen değerler ile bu parametrelere karşılık gelen gerçek zamanlı üretim değerleri Şekil 15’te verilmiştir.



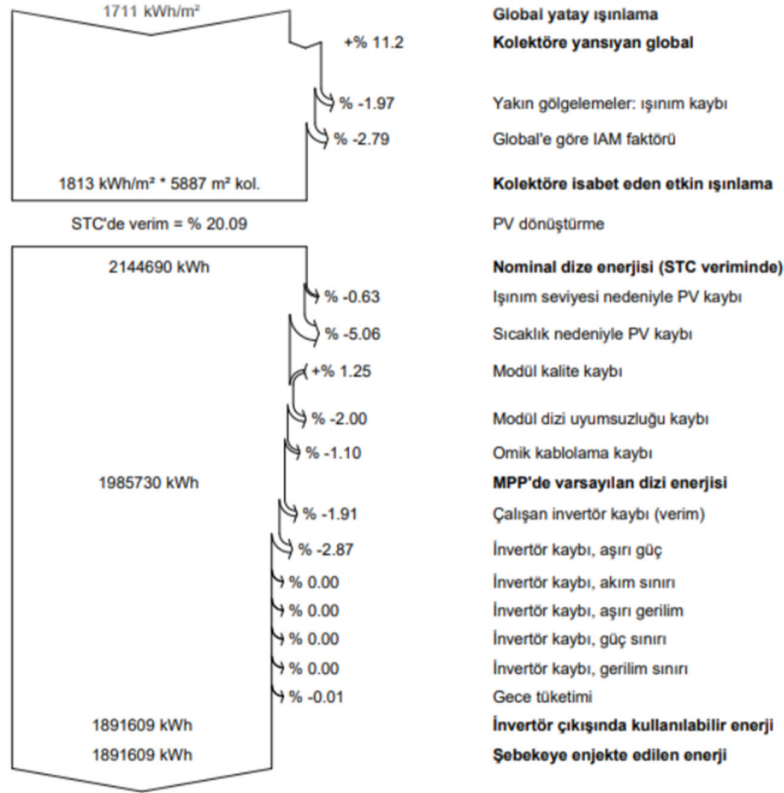
Şekil 15. Üretim değerleri ile simülasyon değerleri karşılaştırması

Şekil 15’e göre, Göksun Belediyesi güneş santrali bir yıl içinde gerçek zamanlı olarak toplamda 1893005 kWh elektrik enerjisi üretmiştir. Santralin PVsyst simülasyonu ise aynı süre zarfında 1896851 kW enerji üretilebileceğini tahmin etmiştir. İki set veri arasında sadece 3846 kWh yani %0,203’lük bir fark tespit edilmiştir.

Ocak, Şubat, Eylül, Ekim aylarında, güneş santralinden elde edilen gerçek üretim değerleri simülasyon sonuçlarından daha yüksekken, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Kasım ve Aralık aylarında simülasyon değerleri, gerçek üretim değerlerini aşmıştır. İki set arasındaki fark en

düşük Aralık ayında görülürken, en yüksek fark Ocak ayında kaydedilmiştir. En yüksek enerji üretimi Temmuz ayında 219,7 MWh ile gerçekleşmişken, en düşük üretim Şubat ayında 101,7 MWh ile kaydedilmiştir. Çizelge 1'e bakıldığında Göksun ilçesinin güneş ışığını en fazla Temmuz ayında aldığı görülmektedir. Bu sebeple en fazla elektrik enerjisi üretimi bu ayda gerçekleşmiştir. Diğer yandan, yine Şekil 8'den ilçenin Aralık ayında güneş ışığına en az maruz kaldığı görülmekte ve bu sebeple de bu ayın enerji üretimi açısından en düşük performansa sahip olması beklenmektedir. Ancak beklenenin aksine, ışınım alma miktarının Aralık ayından biraz daha fazla olduğu Şubat ayında enerji üretimi en düşük seviyededir. Bu durumun nedeninin, bu aydaki kar yağışı ve yağış sonrasında panellere gerekli bakımın zamanında yapılmamış olabileceği düşünülmektedir[14].

Şekil 16'da Göksun Belediyesi güneş santraline ait simülasyon sonuçlarından elde edilen kayıp akış diyagramı verilmiştir. Akış diyagramında görüleceği üzere, güneş panelleri 28 derecelik bir açı ile yerleştirildiğinde, panel yüzeyine gelen ışımaya yatay konumla karşılaştırıldığında %11.2 oranında artmaktadır. Bu artışın yanı sıra, panellerin birbirleri üzerinde oluşturduğu ışınım kaybı %1,97 olarak ölçülürken, birden fazla katmandan oluşan güneş panelleri için güneş ışığı bu katmanlar arasından geçerken yansıyan ışımaya yani IAM faktöründen kaynaklanan kayıp %2.79, tozlanma veya karlanmadan kaynaklı kayıp %3 iken, gölgelemenin sebep olduğu kayıp %0 olarak ölçülmüştür. Buna ek olarak panellerin zayıf ışık kaybı %0.63, panel sıcaklık kaybı %5.06, modül kalite kaybı %1,25, modül dizi uyumsuzluk kaybı %2.0 ve doğru akım kablolama kaybı %1.10 olmak üzere toplamda %10.04'lük dizi kaybı, %4,78 invertör kaybı ve %0.01 gece tüketiminden kaynaklı kayıplar mevcuttur.



Şekil 16. Kayıp akış diyagramı

4. Sonuç ve Öneriler

Bu makale, PVsyst'in etkili ve verimli bir şekilde kullanılması için gerekli adımları ve yönergeleri içerecek, programın en uygun şekilde kullanılmasını ve güneş enerjisi projelerinin daha isabetli ve doğru bir şekilde planlanmasını sağlayacaktır. PVsyst programıyla ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunması, bu alandaki araştırmaların önemini ve gerekliliğini artırmaktadır. PVsyst'in güneş enerjisi projelerindeki kritik rolüne rağmen, programın kullanımıyla ilgili literatürde daha fazla yayın olmaması, bazı eksikliklerin ve geliştirilmesi gereken noktaların varlığını göstermektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın akademik camiada önemli bir katkı sağlayarak PVsyst programının kullanımıyla ilgili daha fazla bilgi sunması ve güneş enerjisi alanında yapılan araştırmalara destek olması beklenmektedir.

Çalışmada, Aralık 2021'de kurulan ve halen aktif enerji üretimi gerçekleştiren Göksun Belediyesi güneş enerjisi santralının gerçek zamanlı çalışması ve üretmiş olduğu elektrik enerjisi PVsyst programı kullanılarak simüle edilerek santralin performans analizi yapılmıştır. Simülasyon santralin 2023 senesi içindeki çalışması baz alınarak yapılmıştır. Sonrasında ise simülasyonda elde edilen değerler ile santralden alınan gerçek zamanlı karşılık gelen değerler karşılaştırılarak, PVsyst programının santral çalışmasını hangi doğrulukla modellediğine bakılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, Göksun Belediyesi güneş santralının yıllık enerji üretim değeri 1893 MWh olarak tespit edilirken, PVsyst tarafından hesaplanan yıllık enerji üretim değeri ise 1896,8 MWh olarak hesaplanmıştır. Simüle edilen ve gerçekteki değerler arasında %0,203'lük fark bulunmaktadır. İki üretim değeri arasındaki bu yakınlık, PVsyst programının güneş enerjisi santrallerini yüksek doğrulukla modelleyerek simülasyonunu yapabildiğini göstermektedir.

Aylık üretim değerlerine bakıldığında, her iki veri setinde de en yüksek üretimin Temmuz ayında gerçekleştiği, en düşük üretimin ise Şubat ayında olduğu gözlemlenmiştir. Temmuz ayında Göksun ilçesinin almış olduğu yüksek güneş ışınım miktarı enerji üretimini maksimum seviyeye çıkarmıştır. Ancak, Aralık ayındaki ilçenin aldığı ışınım miktarı en düşük olmasına rağmen enerji üretiminin şubat ayında en düşük seviyede çıkmasında, şubat ayında yağın kar yağışının etkili olduğu düşünülmektedir.

Performans oranları karşılaştırıldığında, Haziran ve Temmuz aylarındaki performans oranlarının diğer aylara göre düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumu yüksek sıcaklıkların invertör, paneller, kablolar üzerindeki etkilerine ve yaz mevsimindeki panel üzerindeki oluşan tozlanmaya bağlamak mümkündür.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılabilecek çalışma önerisi olarak Göksun ilçesi GES santralının simülasyonunun diğer popüler simülasyon programları ile yapılarak elde edilecek sonuçların PVsyst programından elde edilenler ile karşılaştırması verilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Küçükgoze OM. Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Erzincan: Erzincan Üniversitesi; 2016.
- [2] Ajder A. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız teknik Üniversitesi; 2011.
- [3] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/46.aspx> (Erişim Tarihi: 29.03.2024).

- [4] Akcan E, Kuncan M, Minaz MR. "PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu". *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi* 2020;(18):248-261. <https://doi.org/10.31590/ejosat.685909>
- [5] Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ). <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (Erişim Tarihi: 16.12.2023).
- [6] Bigorajski J. Chwieduk D. (2019). "Analysis of a micro photovoltaic/thermal-PV/T system operation in moderate climate", *Renewable Energy* (2019);137:127-136
- [7] Tuğcu A. "PVSYST Simülasyon Aracı Kullanılarak Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesi Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santralinin Tasarımı ve Ekonomik Analizi". *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi* 2023;9(2):397-417 <https://doi.org/10.34186/klujes.1251085>
- [8] Şahin ZR, Dinçer F, Yılmaz AS. "4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Enerjisi İhtiyacı İçin Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santrali Tasarımı Ve Simülasyonu". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* (2022);25(Özel Sayı):46-56.
- [9] Haydaroğlu C, Gümüş B. (2016). "Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi". *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 2016; 7(3): 491-500.
- [10] Demiryürek HK, Arifoğlu U, Bolat M. "Lebit enerji güneş santralinin Pvsyst Programı ile analizi". *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2020;9(3):1351-1363. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.650786>
- [11] Sougueh IY. Cibuti iklim şartlarında PV sistem ile pompa çalıştırılmasının modellenmesi. Yüksek lisans tezi. Karabük: Karabük Üniversitesi; 2022.
- [12] Aksangör NN. "Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin PVsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi". Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2019.
- [13] PVsyst. Scientific Publication. www.pvsyst.com/scientific-publication (Erişim Tarihi: 27.01.2024).
- [14] Cengiz MS, Mamiş MS. "Termal güneş enerjisi kullanımı ve CSP sistemlerinin verimlilik analizi". *Bitlis Eren Üniversitesi Bitlis Eren University Journal of Science and Technology* 2016;5(1):1-13