

1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması

Onur TURAN^{1*}

¹ Elektrik Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
^{*1} onrtma@hotmail.com

(Geliş/Received: 16/04/2022;

Kabul/Accepted: 07/08/2022)

Öz: Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan fotovoltaik (PV) santraller neredeyse sıfıra yakın olan zararlı çevresel etkisi ve nispeten kolay kurulumları nedeniyle, ülkemizin güneş potansiyeli de göz önünde bulundurulduğunda temiz enerji anlamında büyük fırsatlar sağlamaktadır. Ayrıca Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında sunulan devlet destekleri yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılması yönünde büyük fırsatlar sunmaktadır. Ülkemiz Cumhurbaşkanlığı yıllık programında yaptığı projeksiyona göre 2022 yılında güneş enerji santrallerinden üretilen elektrik miktarında 1000 MW artış beklenmektedir. Ayrıca güneş enerjisiyle üretilen elektriğin toplam üretim içerisindeki payının %8,5 olması öngörülmektedir. Bu çalışmada; 1MWp kapasiteye sahip çatı tipi, şebekeye bağlı dağıtık güneş enerji santralinin tasarımı ve simülasyon uygulaması PVsyst programı aracılığıyla sunulmuştur. Yapılan çalışmada panel eğimi, doğru PV modül ve inverter seçiminin son derece önemli olduğu görülmüştür. Yıllık şebekeye verilebilecek enerji miktarı 1246 MWh olarak elde edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında eşdeğer enerji üretimine sahip bir elektrik santraline nazaran kurulan böyle bir tesisin 14000 ton CO_2 salınımı yapmayarak iklim değişikliği etkisine olumlu katkı sunacağı vurgulanmıştır. Yeni kurulacak böyle bir tesisten ilk on yıllık süre boyunca yerli katkı ile birlikte sabit ücretle alım garantisiyle 4.485.600 ₺ gelir elde edilebileceği görülmüştür. Santralin ömrünün 25 yıl olacağı düşünüldüğünde YEKDEM destekleri olmasa bile tesis yatırımının son derece avantajlı olacağı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: PV sistem; Şebekeye Bağlı PV; Güneş enerjisi.

Design and Simulation Application of 1 MWp Capacity Rooftop Distributed Solar Power Plant

Abstract: Photovoltaic (PV) power plants, which are one of the most important renewable energy sources, provide great opportunities in terms of clean energy, due to their almost zero harmful environmental impact and relatively easy installation, considering the solar potential of our country. In addition, the government supports offered within the scope of the Renewable Energy Resources Support Mechanism (YEKDEM) provide great opportunities to bring renewable energy resources into the economy. According to the projection made in the annual program of the Presidency of our country, an increase of 1000 MW is expected in the amount of electricity produced from solar power plants in 2022. In addition, the share of electricity produced by solar energy in the total production is expected to be 8.5%. In this study; the design and simulation application of a rooftop, grid-connected distributed solar power plant with a capacity of 1MWp was presented through the PVsyst program. In the study, it was seen that the panel slope, the right PV module, and inverter selection are essential. The annual amount of energy that can be supplied to the grid has been obtained as 1246 MWh. In the simulation studies, it was emphasized that such a facility, which was established compared to a power plant with equivalent energy production, would contribute positively to the impact of climate change by not emitting 14000 tons of CO_2 . It has been observed that revenue of 4,485,600 ₺ can be obtained from such a newly established facility for the first ten-year period with a fixed fee purchase guarantee with the domestic contribution. Considering that the life of the power plant will be 25 years, it can be said that the facility investment will be highly advantageous even without YEKDEM support.

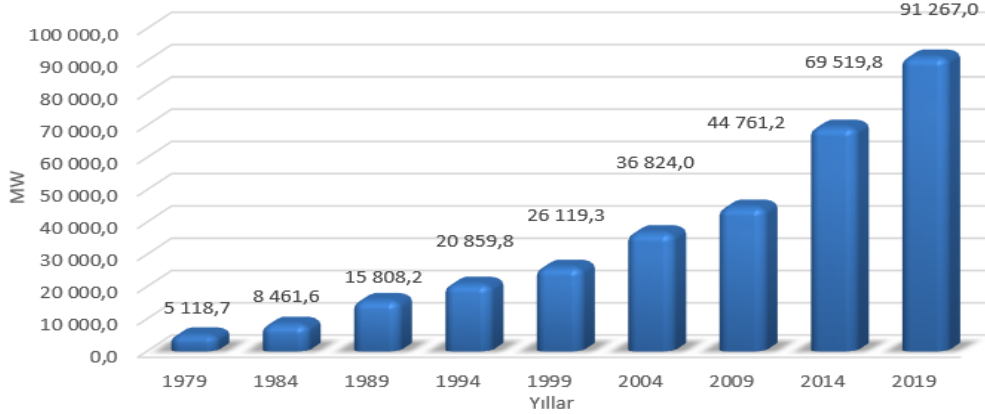
Key words: PV system, On-Grid PV, Solar energy.

1. Giriş

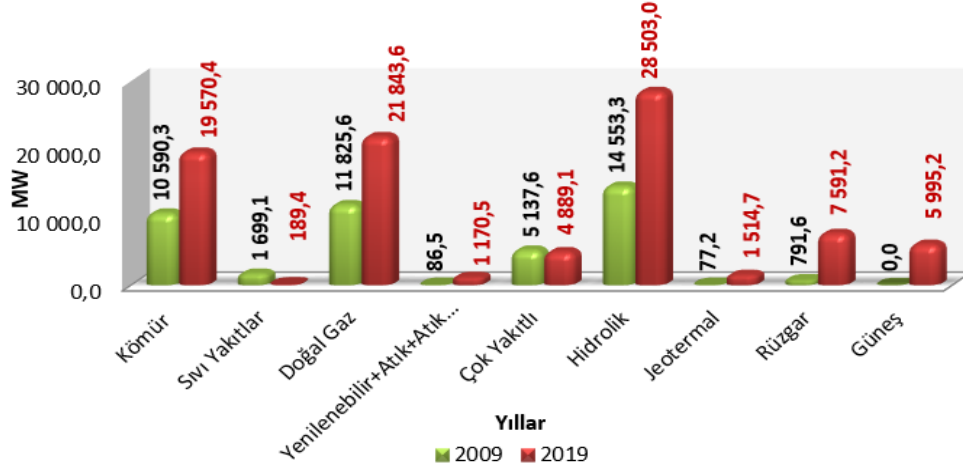
Solar enerji direkt olarak güneş ışınımı ile ilgilidir ve doğrudan güneş ışığından elde edilebildiğinden ulaşılması kolay, temiz, güvenilir bir enerji kaynağıdır [1]. Günümüzde, dünyadaki sosyo-ekonomik gelişmeler ve insanların refahı doğrudan enerjiye bağlıdır. Fosil yakıtlar toplam üretimde en yüksek payı oluşturmaktadır. Bununla birlikte karbon salınımı, fosil yakıtların kullanımıyla ilişkili bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan dünya genelinde enerji talebi sürekli artmaktadır. Bu artan talep fosil yakıtlarla karşılanacak olursa, fosil yakıtların yoğun kullanımı büyük miktarda karbondioksit ve diğer sera gazlarını açığa çıkaracaktır. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarına erişim ise oldukça kolaydır neredeyse hiç karbon salınımı içermezler. Bu nedenle

* Sorumlu yazar: onrtma@hotmail.com. Yazarın ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-6523-3428

elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yoğunlaşmak günümüz dünyasının bir gereğidir [2]. Fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin şebekeyi güçlendirmek için artan kullanımı, dinamik analiz ve elektrik şebekesi çalışmaları için uygun ve etkili bir matematiksel model ile birlikte doğru simülasyon çalışması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır [3]. Ülkemizin cari açığına büyük katkıda bulunan fosil yakıt ithalatının önemli miktarı bu yakıtları elektrik enerjisine çevirirken kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji santrallerinin enterkonnekte sisteme daha fazla katkı sunmasıyla ülkemiz cari açığının azalması yönünde pozitif etki edeceği aşikardır. Ülkemiz orta kuşak güneş alan ülkeler kategorisinde olmasına rağmen sadece son 10 yılda yapılan yatırımlarla, PV santrallerin toplam kurulu güç içerisindeki payı %6,6 seviyesine ulaşmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2’de Türkiye’nin toplam kurulu gücünün artış oranı ve bu kurulu gücün enerji santrallerine göre dağılımı verilmiştir [4].



Şekil 1. Türkiye kurulu gücünün artış grafiği [4].



Şekil 2. Türkiye'nin elektrik üretiminde santrallerin payı [4].

Bu çalışmada ülkemizin kuzey batı (Trakya) bölgesinde kurulması planlanabilecek çatı tipi güneş enerji santrali (GES) için uygulanabilirlik analizi PVsyst 7.2 programı kullanılarak yapılmıştır. Bölgenin rakımının yüksek olmaması nedeniyle arazilere kurulacak GES'lerinin ulaşım, arazi tesviye vb. gibi maliyetleri de düşük olacaktır. Bu bölge İstanbul'a yakınlığı nedeniyle tekstil firmalarının ilgisini çekmektedir. Yapılan simülasyon çalışmasında bu bölgede bulunan bir tekstil fabrikasının çatısına uygulanabilecek 1MWp kapasiteli, şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinin analizi sunulmuştur. Öncelikle PVsyst programına santralin kurulacağı bölge tanıtılarak, bölgenin meteorolojik verileri NASA veri tabanına göre suni olarak elde edilmiştir. Sonrasında PV modül ve inverter seçimi yapılarak mimari yapısı çizilen fabrikanın üzerine PV modüller yerleştirilerek gölgelenme çalışması yapılmıştır. Fabrika konumu gereği herhangi bir gölgelenme etkisine sahip değildir. Çalışmaya kayıplar ve PV modül oryantasyonları deklare edilerek simülasyon yürütülmüştür. PVsyst programı ile çeşitli kapasitelerde PV modüller ve inverterler seçilerek kapsamlı bir analiz gerçekleştirmek mümkündür. Ayrıca sistemde oluşacak joule, eskime, bakım/onarım vb. gibi kayıplar da detaylı bir şekilde çalışmaya eklenecek optimum analiz yapılabilmektedir.

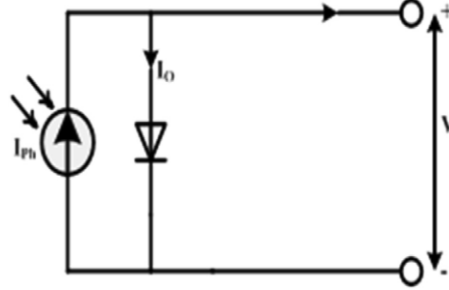
Bu çalışma Trakya bölgesinde yapılması planlanan GES projelerinin analizi için öncü durumdadır. ULAKBIM TR Dizin veri tabanında Trakya bölgesi için yapılmış bir güneş enerji santrali çalışması bulunmamaktadır. Bu bakımdan bu bölge için literatüre yeni sunulmuş bir çalışmadır. 1 MWp kapasiteli bir santralin boyutlarının ne olacağı simülasyon çalışmalarında ortaya konulmuş, sistem kayıpları ve şebekeye 1 yıl boyunca ne kadar güç aktaracağı analiz edilmiştir. YEKDEM mekanizması aracılığıyla böyle bir yatırımdan ne kadar gelir elde edilebileceği de ayrıca ortaya konulmuştur.

2. Literatür Özeti

Literatürde PVsyst programıyla analizi yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı kapasitelerde hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız santraller modellenip tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır. [5-8]. Yapılan bir diğer çalışmada PVsyst programı aracılığıyla kullanımda olan bir GES'in karşılaştırması yapılmış. Simülasyon ve gerçek sonuçlar arasında sadece %0,56 fark görülmüştür [9]. Bu sonuçla tasarım aşamasında olan santrallerin modellenmesiyle yapılabilecek fizibilite çalışmalarının önemi ortaya koyulmuştur. PVsyst programıyla yapılan simülasyon çalışmalarıyla, belli bir bölgede tesis edilecek PV panellerin eğim açılarının karşılaştırmalı analizleri yapılarak optimum değerlerinin elde edildiği çalışmalar da yapılmıştır [10]. İran'ın Tebriz şehrinin sürdürülebilirliğini karbon salınımindan arındırılmasına dayandırılarak yapılmış bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada [11] Tebriz şehrinin güneş enerji potansiyeli PVsyst, Therm gibi programlar aracılığıyla analiz edilmiştir. Awad ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada bir üniversite kampüsünün orta ve uzun vadeli enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla optimum çatı tipi fotovoltaik enerji santrali kurulumunu şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada PV modül sayıları üniversitenin gelecek dönem enerji ihtiyacı göz önünde bulundurularak PSO tekniği ile belirlenmiştir. Optimum PV modül sayısına göre yapılan tasarım PVsyst programı ile doğrulanmıştır [12]. Kumar ve diğ. (2021), bir fakülte binasının enerji gereksiniminin karşılanması için PVsyst programı ile şebekeden bağımsız bir güneş enerji santrali tasarlamışlardır. Yapılan bu çalışmada fakülte binasının enerji ihtiyacının %98 oranında şebekeden bağımsız GES üzerinden sağlanabileceği görülmüştür [13]. Viana ve diğ. (2020), farklı veri tabanlarından alınan meteorolojik verilerin bir üniversite kampüsünde kullanımda olan PV santral üretimi ile karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. PVsyst programı aracılığıyla yapılan simülasyon çalışmalarının gerçek enerji üretimi miktarından farkının %5 olduğu görülmüştür. Ayrıca en doğru meteorolojik veri tabanı bilgilerinin ise ATLAS olduğu değerlendirilmiştir [14]. Kendi kendine yetebilen bir üniversite kampüsü oluşturmak için yapılan bir diğer çalışmada [15] PVsyst programı aracılığıyla tekno-ekonomik analizler yapılmıştır. Bu çalışmada fazladan üretilen enerjinin şebekeye aktarımıyla gelir elde edilebileceği de görülmüştür. Tropikal iklim koşullarına sahip okyanus kıyısında bulunan ülkeler ve daha çok kırsal nüfusa sahip, enerjide dışa bağımlılığı yüksek olmasına rağmen yıl içinde yüksek güneş ışınımı alan gelişmemiş ülkeler için PVsyst programı ile performans değerlendirmelerinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır [16,17]. Ülkemiz farklı bölgelerine kurulması düşünülen şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız santraller için PVsyst programı ile fizibilite çalışmaları yapılmıştır [18,19]. Soğuk ve yarı kurak iklim koşullarına sahip bölgelere yapılacak konutlarda, pasif mimari temelli tasarım ile yapılacak uygulamalarla elde edilebilecek enerji miktarı PVsyst programı ile analiz edilmiştir. Mimari tasarımın net sıfır enerji ihtiyacı sağlamadaki önemi görülmüştür [20]. Goel ve diğ. (2020), 11,2 KWp kapasiteye sahip şebekeye bağlı bir GES'inin gerçek üretim verileriyle simülasyon sonuçlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Simülasyon çalışmaları için PVsyst ve Helioscope programları kullanılmıştır [21]. Bir bölgenin enerji ihtiyacının tamamının karşılanması için PVsyst programı aracılığıyla analizler yapılmıştır. Bu çalışmada literatüre çatı uygunluk faktörü sunularak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada yerleşim bölgesinde bulunan evlerin çatılarına kurulacak FV santrallerle bu bölgenin bütün enerji ihtiyacının karşılanabileceği ve şebekeden enerji talebinin sıfırlanmasıyla, sıfır karbon emisyonlu bölgeler kurulabileceği vurgulanmıştır [22]. GES'lerinin performansını artırmak için güneş takip sistemleri de kullanılmaktadır. Chandel ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada sabit eğim, ayarlanabilir eğim ve güneş takip sistemleri ile çalışan bir GES'inin simülasyon çalışmalarını PVsyst ve PVSOL programları aracılığıyla karşılaştırmalı analiz etmişlerdir. Ayarlanabilir eğim ile çalışan sistemin performansının daha yüksek olduğu görülmüştür [23]. Diğer ülkelerde ülkemizdeki gibi GES projelerini teşvik etmekte ve desteklemektedir [24]. Tesis edilen PV santraller güneşten gelen ışınımın radyasyonunu PV modüller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu enerji çeviriciler vasıtasıyla kullanıma hazır hale getirilip, şebekeye bağlı sistemlerde enterkonnekte sisteme gönderilir. PV sistemin performansı, sıcaklık ve güneşlenmedeki değişiklikten etkilenmektedir [25]. İdeal olarak bir PV modülünün maksimum güç noktasında (MPP) çalıştırılması gerekir [2].

3. Pv Hücre ve Modülün Matematiksel Modeli

Yapılan çalışmalarda seri ve şönt direnç içermeyen PV hücre modelinin doğru sonuçları yansıtmadığı görülmüştür [26]. Bu nedenle Şekil 3’de verilen PV hücre modeline ilgili dirençler eklenerek ideal PV hücre modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3. PV hücre modeli [2].

Bu modelin diyot akımı ve uç denklemleri Denklem 1 ve Denklem 2 ile verilmektedir.

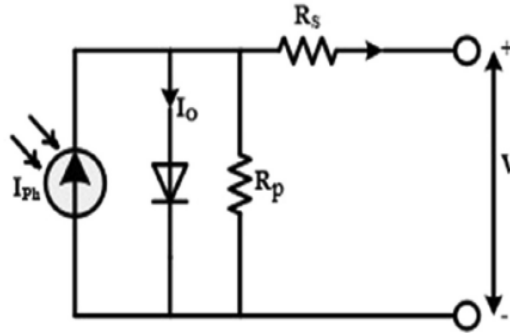
$$I = I_{ph} - I_d \quad (1)$$

$$I_d = I_0 \left\{ e^{qV_d/aKT} - 1 \right\} \quad (2)$$

Burada q electron miktarıdır ve değeri $1,6 \times 10^{-19}$ 'dir ayrıca K Boltzmann sabitidir ve değeri $1,3805 \times 10^{-23} J/K$ 'dir. T Kelvin olarak sıcaklık, I_0 kaçak akım, V_d ise diyot gerilimidir. Çıkarılan denklemlere Kirchoff Akımlar yasası uygulandığında terminal akımı I Denklem 3’deki gibi bulunur.

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{qV_d/aKT} - 1 \right\} \quad (3)$$

ideal bir PV hücrenin eşdeğer devresi Şekil 4’de verilmiştir. Burada R_s hücrenin seri direncini R_p ise şönt direncini temsil etmektedir [27].



Şekil 4. İdeal PV hücresi eşdeğer şeması [3].

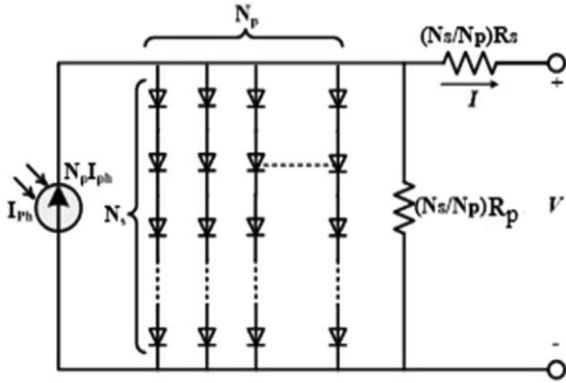
Bu hücreler seri ve paralel bağlanarak PV modüller elde edilir. Verilen devreye Kirchoff Akım ve Gerilim yasaları uygulandığında devrenin modeli elde edilmiş olur. Bunlar Denklem 1-2-3 ile verilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_0 - \frac{V_d}{R_p} \quad (4)$$

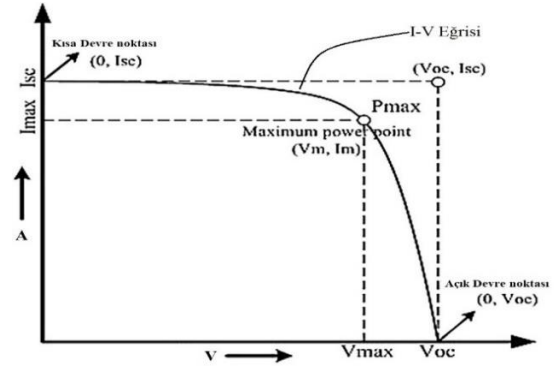
$$V_d = V + IR_s \quad (5)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V+IR_s}{aV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (6)$$

Bir PV modül birçok PV hücrenin seri-paralel bağlanmasıyla elde edilir. Şekil 5’de PV modül eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 5. PV modül eşdeğer devresi [3].



Şekil 6. PV modül I-V grafiği.

Şekil 5’de verilen PV modülün uç akımı Denklem 7 ile verilmiştir [2-3, 28,29].

$$I = N_p \left\{ I_{pv} - I_{s1} \left[\exp \left(\frac{V + IR_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right)}{a N_s V_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right)}{R_{sh} \left(\frac{N_s}{N_p} \right)} \right\} \quad (7)$$

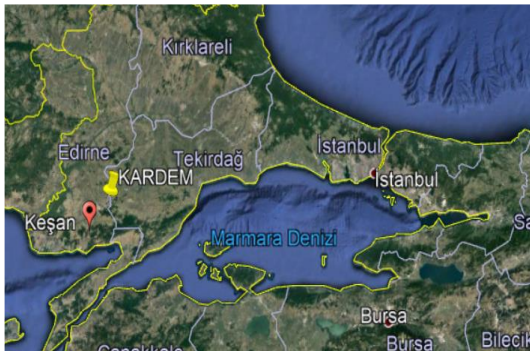
Bir PV panel uçlarına potansiyometre bağlanıp gerilim/akım grafiği elde edilmek istenirse karşımıza Şekil 6’daki gibi bir lineer olmayan eğri çıkacaktır. Bu fotovoltaik panelden maksimum güç alınmak istenirse çalışma noktası, akım-gerilim karakteristiğindeki eğrinin altına çizilebilecek en büyük alanlı bir dikdörtgen ile bulunabilir. Bu dikdörtgenin eğri ile kesişen noktası, maksimum güç noktasıdır ve PV sistemler MPP noktasında çalıştırılırlar. Güneş ışınımı günün her saati eşit olmayacağından pratikte MPP noktası da değişken olacaktır. Bu nedenle PV sistemlerden maksimum verimi alabilmek için kullanılan inverterlerin maksimum güç noktası takibi (MPPT) özelliğinin olması gereklidir.

4. Materyal ve Metot

PV enerji tesislerinin tasarımı ve projelendirilmesi için literatürde birçok program bulunmaktadır. Bu çalışmada kolay kullanımı ve kullanıcı dostu ara yüzü nedeniyle PVsyst Ver:7.2 programı tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmanın simülasyonları HP Marka 64 bit işletim sistemi ve i7 işlemciye sahip bir bilgisayarda yapılmıştır.

4.1. Santral Yeri Çalışmaları

Bu çalışmada Şekil 7 ve Şekil 8 ile konumu gösterilen KARDEM Tekstil A.Ş firmasının çatısına şebekeye bağlı 1MWp değerine sahip GES sisteminin kurulum simülasyonu ve analizi amaçlanmıştır.



Şekil 7. GES Santral Konumu.



Şekil 8. GES santralının kurulacağı fabrika görünümü

Tesisin enlemi 40°52'19.85"K boylamı ise 26°42'30.24"D olarak Google Earth yazılımı ile tespit edilmiştir. Aynı zamanda Şekil 9' da verildiği gibi bu fabrikanın etkin çatı alanı 10868m² dir.



Şekil 9. Çatı alanı görünümü.

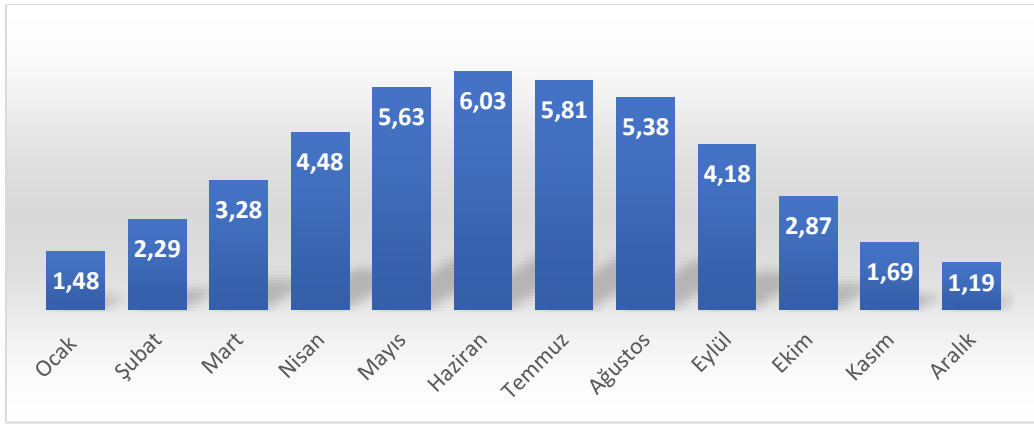


Şekil 10. GES kurulacak çatı görünümü.

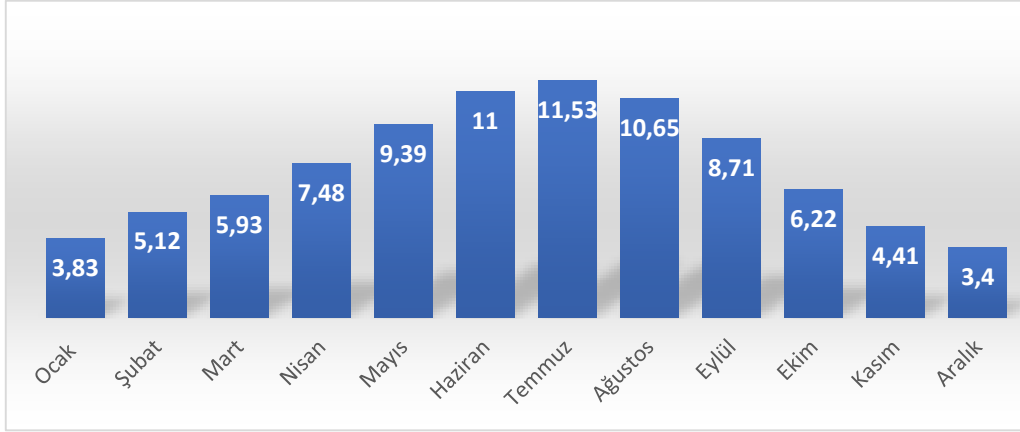
Şekil 10 ile fabrikanın gerçek görünümü verilmiştir. Fabrika üzerinde herhangi bir gölgelenme etkisi yaratacak nesne bulunmamaktadır.

4.2. Konumun İklim Verileri

Türkiye'nin güneş enerjisi atlası [30] verilerine göre Edirne ili Keşan ilçesi için en yüksek radyasyon değeri ve güneşlenme süresi yaz aylarında gerçekleşmektedir. Bu durum Şekil 11 ve Şekil 12 ile diğer aylara göre karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Şekil 11 ile verildiği gibi en yüksek güneş radyasyonu değeri Haziran-Temmuz aylarında en düşük güneş radyasyonu değeri ise Aralık-Ocak aylarında olduğu görülmüştür. Şekil 12'de ise GES'in kurulacağı santralin bulunduğu bölgenin günlük güneşlenme süresinin en yüksek olduğu dönemin Haziran-Ağustos ayları arasında ayları olduğu görülmektedir.

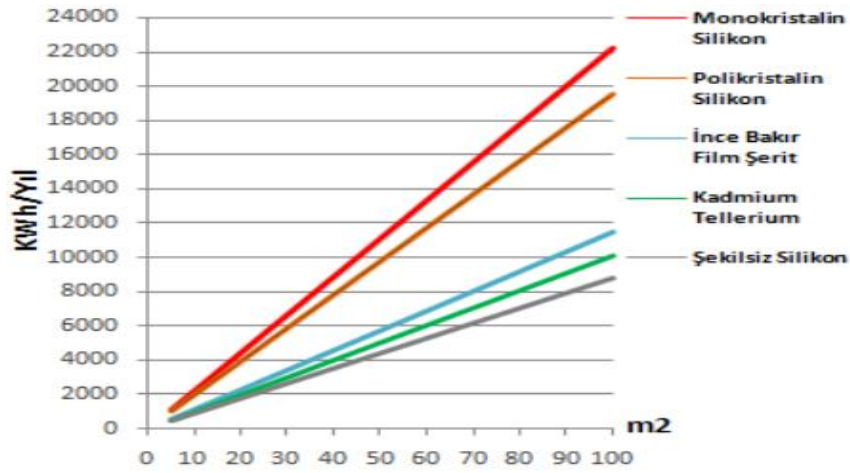


Şekil 11. Keşan ilçesi radyasyon değerleri $KW_h/m^2 - gün$



Şekil 12. Keşan ilçesi güneşlenme süreleri (s)

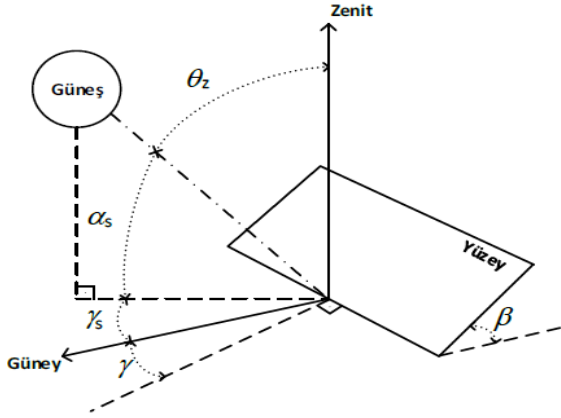
Ayrıca yapılan incelemelerde monokristal-silikon tip PV modüllerin diğer PV modüllere oranla bu bölge için, Şekil 13’de gösterildiği gibi en iyi performansı sergilediği anlaşılmıştır. Birim m² başına en yüksek enerji miktarı mono-si tip PV modülden alınacağı görülmektedir.



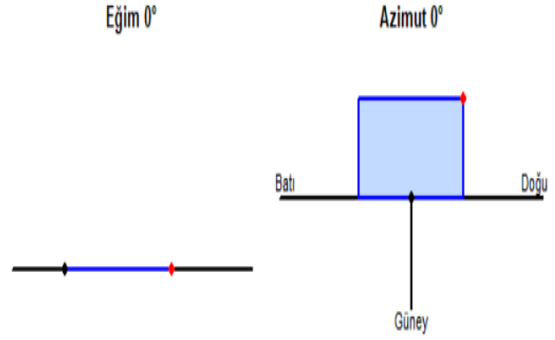
Şekil 13. PV tipi-üretilebilecek enerji $KW_h/yıl$ [30].

4.3. Optimum Santral Tasarımı

PV Santral tasarımında en çok dikkat edilecek husus panellerin zenit, azimut ve eğim açısına göre optimum yerleşimidir. Şekil 14 ile zenit (θ_z), yüzey (β) ve azimut (γ) açısının hayali olarak dünyaya göre dik çizilen bir çizgi referans alındığındaki gösterimi verilmiştir [31].

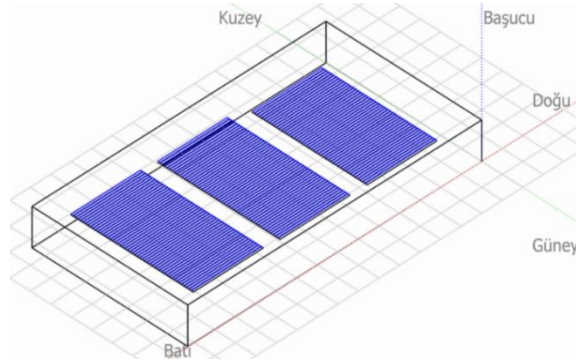


Şekil 14. Zenit, azimut, yüzey açısının gösterimi [31].

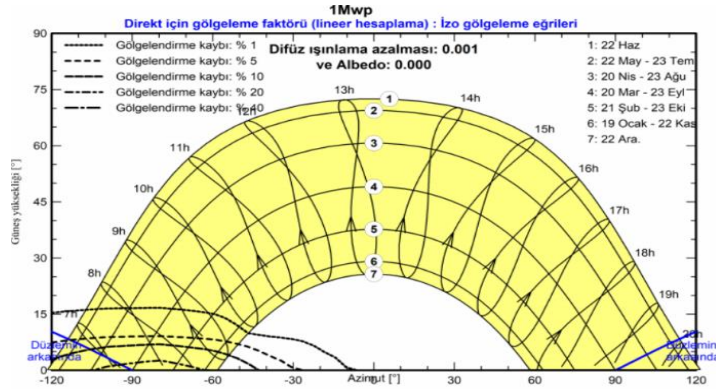


Şekil 15. PV modülerin optimum yönelimi.

PVsyst programına Nasa veri tabanı vasıtasıyla GES konumu seçilerek gerçek iklim verileri aktarılır. Daha sonra yıllık ışıma verisi kullanılarak panellerin optimum (kayıpsız) azimut açısı ve eğimi belirlenir. Solar PV santral kurulumu yapılması planlanan fabrika çatısının Şekil 10'da verildiği gibi eğimsiz ve düz bir yapıya sahip olması sebebiyle PV panellerin eğimsiz bir şekilde yerleştirilmesinin gölgelenme etkisi nedeniyle kayıplara neden olmayacağı simülasyon çalışmalarıyla görülmüştür. Bu nedenle Şekil 15'de görüldüğü gibi azimut açısı ve panel eğimi 0° olarak belirlenmiştir. Panellerin eğimsiz yerleştirilmesi nedeniyle oluşabilecek ilave çelik konstrüksiyon maliyetlerinden de kaçınılmış olacaktır. İlaveten GES kurulacak fabrika çatısının Şekil 9 ve Şekil 10'da görüldüğü gibi herhangi bir gölgelenmeye maruz kalmaması nedeniyle hesaplamalar gölgelenme etkisi olmadan yapılmıştır. Çatı üzerinde panellerin görünümü Şekil 16'da gösterilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasında panel yerleşimleri dikkate alınmadan 1421 MW güç elde edilebileceği görülmüştür. Fakat kurulum yapılacak yerin coğrafi yeri, güneş doğuşuna göre nerede olduğu gibi bilgilerin simülasyona yansıtılması ve optimum panel yerleşimiyle bu tesisten yılda 1246 MW güç alınacağı tespit edilmiştir. GES kurulacak fabrikanın doğu-batı düzlemine göre yerleşimi ve çatı modüllerin yerleşimi Şekil 16'da verilmiştir. Santralin çatı üzerinde kapladığı alan 5017 m^2 'dir.

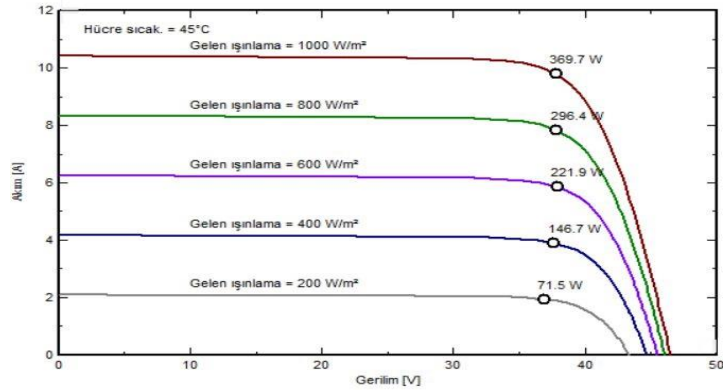


Şekil 16. PV modüllerin çatı üzerinde görünümü.

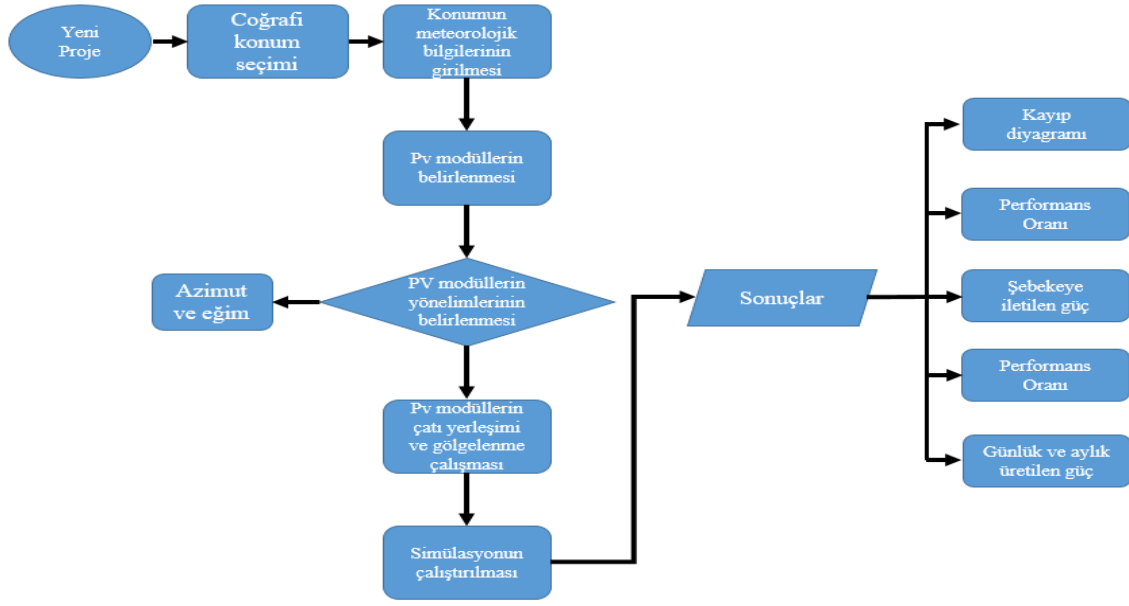


Şekil 17. PV modüllerin sene boyu ışınım grafiği.

Optimum panel yerleşimi nedeniyle PV modüller mevsim fark etmeksizin gün boyunca en uzun süre boyunca güneş ışınımına maruz kalacaklardır. Şekil 17’de bu santralin gölgeleme eğrisi verilmiştir. Tasarımı yapılan çatı tipi santralde 1MWp güç elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle 400Wp gücünde monokristalin silikon özelliğe sahip 2499 adet PV modül kullanılmıştır. Şekil 18’de ise tasarımda kullanılan PV modülün I-V grafiği sunulmuştur. Şekil 18 incelendiğinde 1000 W/m^2 ışınım ile standart test koşulları altında, PV modülün yaklaşık 370 W güç verdiği görülmektedir. Şekil 19’da ise PVsyst programı ile yapılan bu çalışmanın akış diyagramı verilmiştir. Bu çalışma ilgili akış diyagramına bağlı olarak yürütülmüştür.



Şekil 18. Kullanılan PV modül I-V eğrisi.



Şekil 19. Çalışmanın akış diyagramı.

5. Bulgular

5.1. Güneş Işınımı, Ortam Sıcaklığı ve Enerji Üretimi

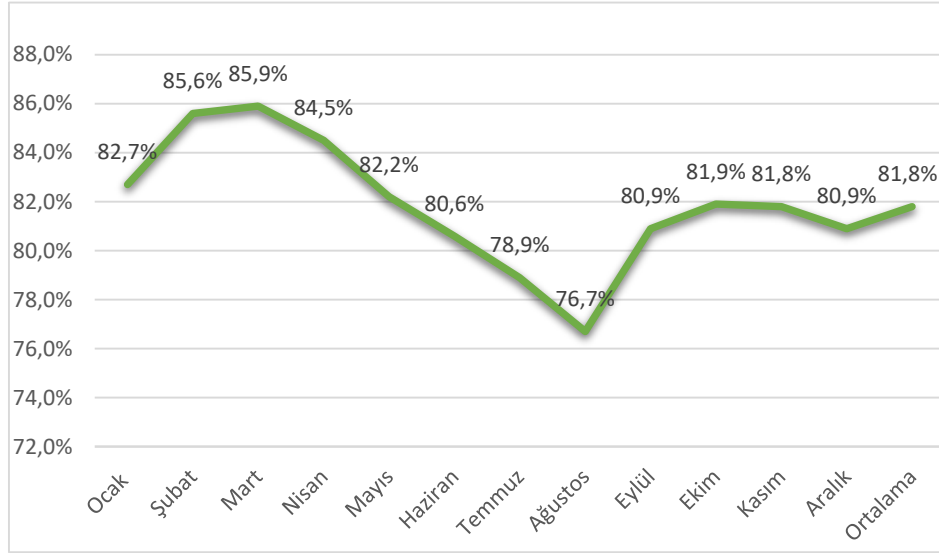
Tasarlanan GES ile üretilen enerjinin aylara göre dağılımı Tablo 1 ile verilmiştir. PV modüllerin üzerine gelen güneş ışınımının arttığı Nisan-Ağustos ayları arasında aynı şekilde elektrik üretiminin de arttığı görülmüştür. En yüksek ve en düşük güç üretimi sırasıyla Haziran ve Aralık aylarında 168,7 MW – 36,3 MW olarak kaydedilmiştir. Ortam sıcaklığının en yüksek olduğu Temmuz ayında en yüksek elektrik enerjisi üretimi elde edilmemiştir. Bunun nedeni PV modüllerin yüksek sıcaklıktan joule kayıpları nedeniyle olumsuz etkilenmesidir. Bir yıl boyunca kolektör düzlemine gelecek ışınım 1533,1 KWh/m² olarak elde edilmiş buna karşılık toplam elektrik üretimi ise yaklaşık olarak 1246 MW olarak elde edilmiştir.

Tablo 1. Enerji üretiminin özeti.

Aylar	Işınım (KWh/m ²)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Kolektör Düzlemine Gelen Işınım (KWh/m ²)	Şebekeye Verilen Enerji (MWh)
Ocak	54,2	4,81	54,2	44,8
Şubat	70,8	5,23	70,7	60,5
Mart	114,4	8,25	114,3	98,2
Nisan	145,8	13,6	145,7	123,1
Mayıs	185,4	19,14	185,3	152,3
Haziran	209,4	23,86	209,3	168,7
Temmuz	213	26,26	212,9	167,9
Ağustos	194,4	25,88	194,3	148,9
Eylül	147	22,21	146,9	118,9
Ekim	96,4	16,98	96,3	78,9
Kasım	58,5	10,78	58,4	47,8
Aralık	44,9	6	44,8	36,3
Yıl Toplamı	1534,2	16,19	1533,1	1246,3

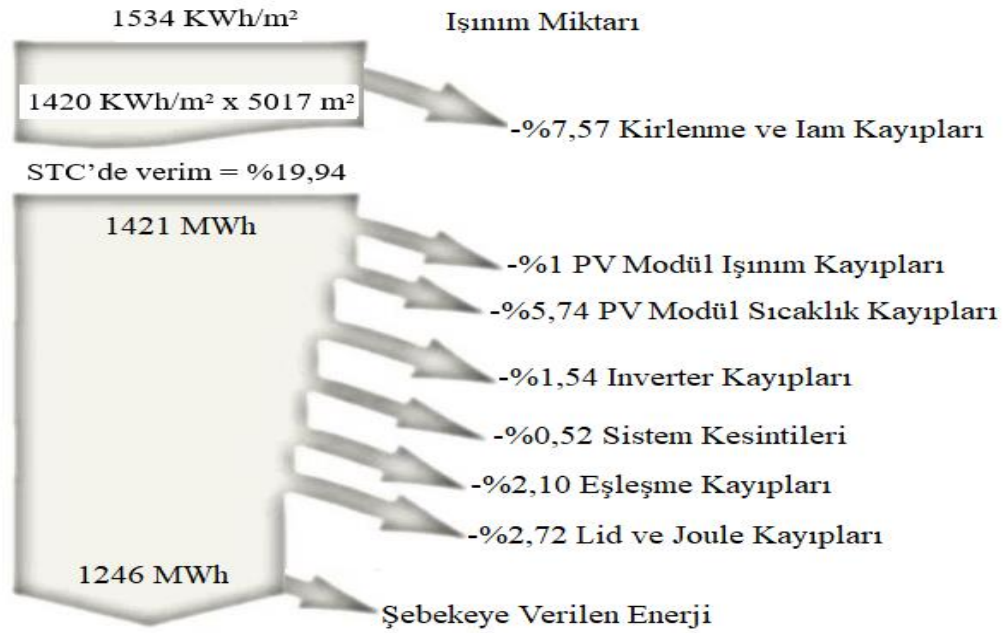
5.2. Performans Oranı ve Kayıplar

Tasarımı yapılan santralin bulunduğu konuma ait iklim şartlarına bağlı olarak performans oranı simülasyon sonuçlarıyla %81,80 olarak elde edilmiştir. Bu durum ay bazında ve yıllık olarak Şekil 20'de gösterilmektedir. PV modüllerin yüksek sıcaklık altında performansı düşeceğinden Temmuz ve Ağustos ayında en düşük performans elde edilmiştir. Bunun nedeni yüksek sıcaklığın PV modüller üzerindeki olumsuz etkisidir. En yüksek performans ise Şubat ve Mart aylarında olduğu görülmektedir.



Şekil 20. Santral performans oranı.

PV sistem kayıpları çoğunlukla yüksek dizi sıcaklıklarından, ısımanın yetersiz olmasından, yetersiz sistem boyutlandırmasından, sistem bileşenlerinin verimsizliği veya arızalanmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 21'de sistemin kayıp diyagramı verilmiştir.



Şekil 21. Kayıp diyagramı.

Tasarımı yapılan santralde yıllar içerisinde PV modüllerin kirlenmesi ve normal ışınım altında fotovoltaik hücrelerin yüzeyine ulaşan ışınımın azalmasına karşılık gelen Iam kayıplarının %7,57 PV modüllerin ısınmaya ve ışınımına bağlı kayıplarının %6,74 inverter kayıplarının %1,54 kesintiler ve eşleşme kayıplarının %2,62 joule ve monokristal-silikon PV modüllerin güneşe ilk maruz kalma anlarında oluşan kayıpların %2,72 olduğu görülmüştür. Bütün bu kayıplardan sonra standart test koşulları altında kurulacak santralin şebekeye yılda 1246 MW güç ileteceği elde edilmiştir. Tablo 2 ile inverter kayıplarının aylara göre dağılımı verilmiştir. Tabloda belirtilen kayıp miktarları bir aylık süredeki toplam kaybı ifade etmektedir.

Tablo 2. Inverter kayıpları.

Aylar	Inverter Kayıpları KW
Ocak	953
Şubat	1018
Mart	1390
Nisan	1741
Mayıs	2223
Haziran	2440
Temmuz	2629
Ağustos	2313
Eylül	1684
Ekim	1242
Kasım	997
Aralık	896
Toplam	19525

Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığının en yüksek olduğu Temmuz ayında inverter kayıplarının 2629 KW ile en yüksek seviyede olduğu kaydedilmiştir. En düşük inverter kayıpları ise Aralık ayında olduğu görülmüştür. Yıllık toplam inverter nedeniyle oluşan güç kayıp değeri 19525 KW olarak elde edilmiştir. Bu kayıp değeri temel olarak inverterin gece gibi enerji üretimi olmayan zamanlarda stand-by konumunda kalması oluşan öz tüketimi ve DC-AC dönüşümü sırasında inverter içerisinde kullanılan devre elemanları, manyetik elemanlar, kapasitörler ve güç elektroniği elemanlarının anahtarlanması sırasında oluşan kayıplardır. Ayrıca kullanılan inverterin MPPT özelliği bulunduğu inverter sürekli MPP noktasını arayacak ve bu bölgede salınım yapacaktır. Bu durumda inverterin veriminin düşmesine neden olabilmektedir [32-34].

5.3. Şebekeye Verilen Günlük Ortalama Enerji Miktarı

Bir GES'inin istenen bir süre boyunca şebekeye sağladığı toplam elektrik enerjisi miktarına toplam enerji denir. Saatlik, günlük ve aylık üretilen enerji miktarı Denklem 8-9-10 ile sırasıyla verilmektedir [16,35].

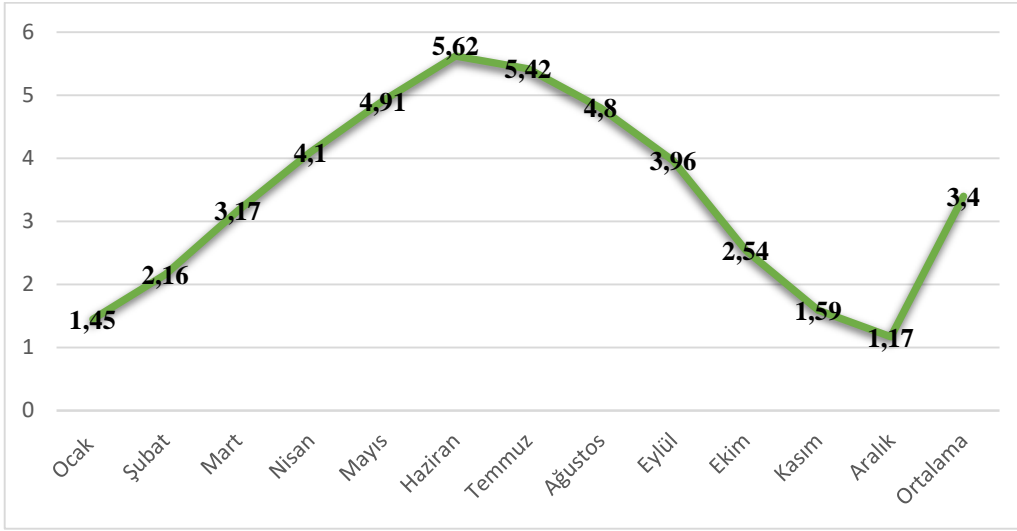
$$E_{AC,saat} = \sum_{d=1}^{60} E_{AC} \cdot d \quad (8)$$

$$E_{AC,gün} = \sum_{s=1}^{24} E_{AC} \cdot s \quad (9)$$

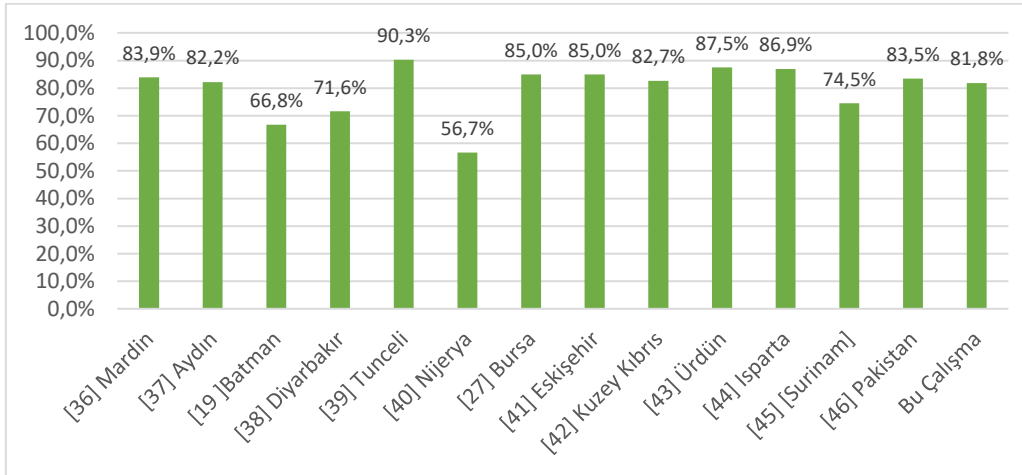
$$E_{AC,ay} = \sum_{g=1}^n E_{AC} \cdot g \quad (10)$$

Denklem 8'de d indisi dakikayı, Denklem 9'da s indisi ise saati temsil etmektedir. E_{AC} ise sırasıyla dakikalık, saatlik ve aylık enerji çıktısını temsil etmektedir. Denklem 10'da verilen n indisi ise bir aydaki gün sayıdır. Denklem 11 ile günlük üretilen ortalama enerji miktarı verilmektedir [35].

$$Y_{gün} = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^n E_{AC} \cdot g \quad (11)$$

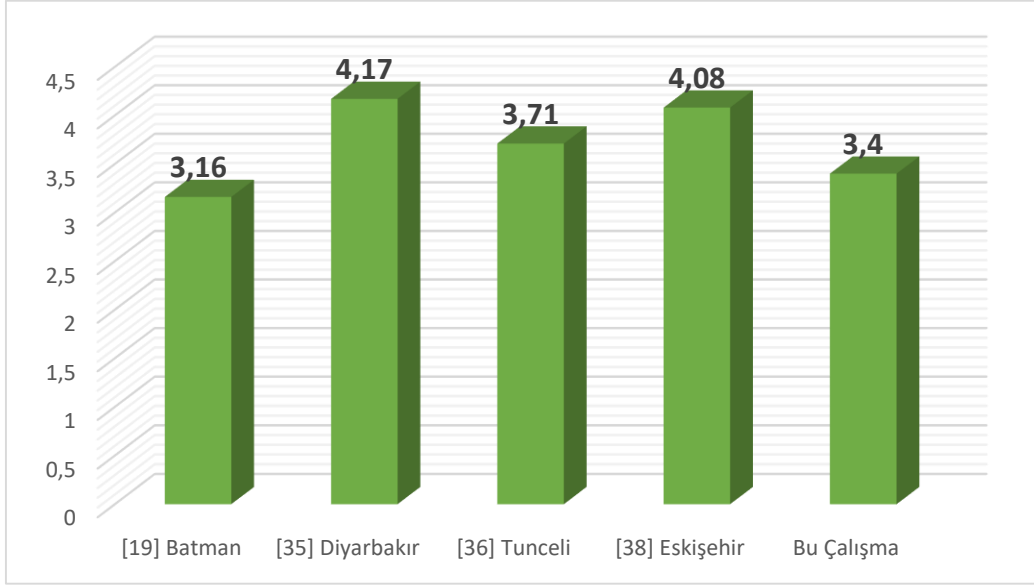


Şekil 22. Üretilen enerji miktarı.



Şekil 23. Performans oranları karşılaştırması.

Santralin günlük ortalama ürettiği güç miktarı aylara göre Şekil 22’de verilmiştir. Üretilen enerjinin günlük ortalama miktarı 3,40 KWh/KWp-gün olarak elde edilmiştir. En yüksek elektrik enerjisinin üretildiği dönem yaz ayları olmuştur. En düşük günlük ortalama üretim Aralık ayında 1,17 KWh en yüksek güç üretimi ise 5,62 KWh olarak Haziran ayında kaydedilmiştir. Ülkemiz ve Dünya’nın farklı bölgeleri için PVsyst programı ile yapılan bazı çalışmaların performans oranı ile sunulan bu çalışmanın performans oranının karşılaştırması Şekil 23 ile verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırma tablosu bir bütün olarak çalışmalarda sunulan santrallerin karşılaştırılması olarak sunulmuştur. PVsyst programıyla yapılan bu çalışmalarda santral konumu, panel gölgelenmesi, kayıplar gibi GES değişkenleri tam olarak simülasyon çalışmalarına yansıtılabildiğinden direkt olarak karşılaştırması yapılan GES’lerinin performans oranı dikkate alınmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte GES’lerinden yüksek performans elde edildiği görülmektedir. MOSFET, IGBT, SCR gibi güç elektroniği elemanlarındaki sürekli ilerlemenin neticesinde inverter, converter ve mppt cihazlarındaki gelişmelerin yanında fotovoltaik panel teknolojisinin de gelişmesiyle birlikte GES’lerinin bir bütün olarak veriminin artarak, kayıplarının azaldığı ve dolayısıyla performanslarının arttığı söylenebilir [47,48]. Ülkemizin farklı şehirleri için yapılan çalışmalarda elde edilen günlük ortalama enerji çıktısı karşılaştırmalı olarak Şekil 24 ile verilmektedir. Günlük verim bir gün boyunca üretilen enerjinin ortalaması olarak Denklem 11 ile hesaplanmaktadır. Diğer şehirlerde elde edilen günlük ortalama güç miktarı 3,78 KWh/KWp iken sunulan bu çalışmada günlük ortalama güç miktarı 3,40 KWh/KWp olarak elde edilmiştir.



Şekil 24. Günlük ortalama enerji çıktısı.

Ayrıca analizi yapılan GES'inin 25 yıllık işletme süresi boyunca lineer bir artış oranıyla, eşdeğer üretime sahip bir enerji santraline kıyasla doğaya salınımının bertaraf edileceği miktardaki CO_2 miktarı Şekil 25 ile verilmektedir.



Şekil 25. Bertaraf edilen CO_2 miktarı.

Simülasyon sonuçlarında 1246 MW yıllık enerji üretimi olan böyle bir çatı tipi GES'inin 25 yıllık işletme süresince eşdeğer enerji üretimine sahip santrallere göre toplam 14000 ton daha az karbon salınımı yapacağı öngörülmektedir.

5.4. YEKDEM Katkıları

YEKDEM birçok Avrupa ülkesinde de olduğu gibi fosil yakıtlı, yüksek miktarda karbon salınımına neden olan enerji üretimini kısa vadede azaltmak, uzun vadede bitirmeye yakın bir noktaya getirmek için yenilenebilir enerji üretimini desteklemek amacıyla ortaya çıkan bir destek mekanizmasıdır. Ülkemizde YEKDEM mekanizması kapsamında güncel olarak GES'ler için verilen destek miktarları Tablo 3 ile verilmiştir.

Tablo 3. YEKDEM destekleri.

	YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı (kuruş/KWh)	YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Süresi (yıl)	Yerli Katkı Fiyatı (kuruş/KWh)	Yerli Katkı Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)	Toplam Alım Garantisi Süresi (yıl)
Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi	32	10	8	5	10

Tablo 3'e göre yerli katkıyla birlikte bu çalışmada analizi yapılan GES için ilk 5 yıl 2.492.000₺ ikinci 5 yıllık sürede ise 1.993.600₺ gelir elde edilebileceği görülmektedir. On yıllık alım garantili süre boyunca toplam 4.485.600₺ gelir elde edilebileceği söylenebilir. Verilen destek miktarları enflasyona göre güncelleneceğinden gelir miktarı artabilecektir. Ayrıca analizi yapılan bu GES gibi fabrika çatısına kurulması planlanan tesisler için alım garantisi olmadığında da fabrikada kullanılan elektrik enerjisi bedeli için dağıtım sistemi operatörü ile fatura mahsuplaşması yapılarak elektrik kullanım bedeli ödenmeyebilir, mahsuplaşma sonunda eğer varsa şebekeye iletilen fazla elektrik enerjisi bedeli ise faturalandırılabilir.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada bir GES santrali yatırımı planlanmadan önce simülasyon çalışmalarıyla optimum tasarım yapılabileceği ortaya konulmuş, fizibilite çalışmalarına ışık tutulabileceği belirlenmiştir. Santral, kurulması planlanan yerin coğrafi koşulları belirlendiğinde maliyet hesaplarının da yapılabileceği görülmüştür. Ülkemiz coğrafi konumu gereği GES projelerinden yaz aylarında en yüksek enerji çıktısı alınabileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte PV modüllerin yüksek sıcaklıklardan olumsuz etkileneceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkemiz tarım havzalarının sulanması için geniş su kanalları kullanılmaktadır. Bu su kanallarının üzerine GES santralleri kurulduğunda hem buharlaşma nedeniyle su kaybı önlenecek hem de santraller doğal olarak soğuyacağından daha verimli çalışacaklardır. Bu tür santraller yapılabilirliği değerlendirilmesi gereken projeler olarak durmaktadır. Ayrıca Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (IRENA) [49] yaptığı analiz çalışmasına göre gelişen teknoloji, giderek artan rekabetçi tedarik ağı ve yapılan uygulamalar neticesinde artan deneyimlerin sonucunda solar fotovoltaik maliyetlerinin son yıllarda keskin bir şekilde düştüğünü vurgulamaktadır. Burada en büyük faktörün teknolojik gelişimlere paralel olarak solar hücre maliyetinin %90 oranında azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle GES tesislerinin kurulması güneşlenme süreleri yüksek olan, ekonomik olarak gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkeler ve bölgeler için geleneksel enerji santrallerine nazaran çok daha uygun olacaktır.

Çalışmanın çıktıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Analizi yapılan çatı tipi GES'in simülasyon çalışmaları sonunda şebekeye 1 yıllık süre boyunca 1246 MW enerji verilebileceği elde edilmiştir.
- Bu santralin çatı üzerinde kaplayacağı alan 5017m² olacaktır.
- Santralin üreteceği maksimum güç miktarı 168,7 MWh olarak Haziran ayı olarak kaydedilmiştir. Minimum güç miktarı ise 36,3 MWh ile Aralık ayında olacaktır.
- Santralin kurulacağı bölgedeki meteorolojik verilere göre PV modül kolektör alanına gelen yatay ışınım miktarı 1534 KWh/m² olarak tespit edilmiştir.
- Bölgenin yıllık ortalama ortam sıcaklığının 16,19 °C olacağı görülmüştür.
- GES'in en yüksek ve en düşük günlük ortalama enerji verdiği aylar sırasıyla Haziran ve Aralık aylarıdır.
- GES'in günlük ortalama vereceği güç miktarı 3,40 KWh/KWp-gün olarak elde edilmiştir.
- Sistemin performans oranını %81,8 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde kayıp oranı ise %18,2'dir. En yüksek ve en düşük performans oranı sırasıyla Mart ve Ağustos aylarında elde edilmiştir.
- GES'in işletme süresi boyunca benzer kapasiteli konvansiyonel santrallere göre 14000 ton daha az karbon salınımı yapacağı simülasyon sonuçlarıyla elde edilmiştir.

- Ülkemizin farklı bölgelerinde PVSyst programı aracılığıyla yapılan GES tasarımlarında elde edilen günlük güç miktarının ortalaması 3,78 KWh/KWp-gün olarak Şekil 22 ile literatüre sunulmuştur.
- YEKDEM ile sunulan GES projesinin ilk 10 yıllık garanti alım taahhüdü gereğince yaklaşık 4.500.000€ gelir sağlayabileceği görülmüştür.

Analizi yapılan çatı tipi GES'in yüksek performansı nedeniyle bölgenin GES projeleri için uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca GES santralleri dağıtık üretim santrallerinden olduğundan şebekeye entegrasyonlarında harmonik, reaktif güç, kısa devre analizi gibi çalışmalar yapılmalıdır.

Aynı bölgede için güneş takip sistemli GES'lerin analizi yapılarak bu çalışma ile karşılaştırılıp performans analizleri yapılabilir.

Yazarların Katkıları

O.T. makaledeki araştırma simülasyon ve değerlendirme çalışmaları yürüttü, makale yazımını yaptı. Makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Teşekkür

Yazar, KARDEM Tekstil AŞ'den Aydın MUTLU, İhsan KARA ve Ali Asım KELEŞ beylere teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- [1] Babatunde, A.A., Abbasoglu, Serkan., Evaluation of field data and simulation results of a photovoltaic system in countries with high solar radiation, Turk J Elec Eng & Comp Sci, 2015, 1608 – 1618.
- [2] Bana, Sangram., Saini, R.P., Identification of unknown parameters of a single diode photovoltaic model using particle swarm optimization with binary constraints, Renewable Energy, Elsevier, 2017, vol. 101(C), pages 1299-1310.
- [3] Arabshahi, M.R., Torkaman, H., Keyhani, A., A method for hybrid extraction of single-diode model parameters of photovoltaics, Renewable Energy, Elsevier, 2020, vol. 158(C), pages 236-252.
- [4] URL1: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- [5] D. Okello., E. E. Van Dyk., F. J. Vorster., Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa, Energy Convers. Management, 2015, vol. 100, pp. 10–15.
- [6] M. S. Adaramola., Techno-economic analysis of a 2.1 kW rooftop photovoltaic-grid-tied system based on actual performance, Energy Convers. Manag. 2015, vol. 101, pp. 85–93.
- [7] Y.M. Irwan., A.R. Amelia., M. Irwanto., Fareq.M., W.Z. Leow., N. Gomes., I. Safwati., Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) System Assessment using PVSYST Software, Energy Procedia, 2015, vol. 79.
- [8] H. Wang., Z. Wang., X. Fu., Economic Analysis of 4MW Distributed Photovoltaic Power Generation Project Based on PVSyst Software Simulation, 2019, E3S Web Conf., vol. 118.
- [9] H. K. Demiryürek., U. Arifoğlu., M. Bolat., Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 1351–1363.
- [10] H. Yağlı., Y. Koç., Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi, Eur. J. Sci. Technol, 2020, no. 19, pp. 475–483.
- [11] Mahmoud, Ouria., Aníbal, T. de Almeida., How to Decarbonize Developing Cities by 2050: A Case from Tabriz-Iran, Renewable Energy, 2021.
- [12] Hilmy, Awad., Yasser, F. Nassar., Ahmed, Hafez., Mohamed, K. Sherbiny., Alaa, F.M Ali., Optimal design and economic feasibility of rooftop photovoltaic energy system for Assuit University, Egypt, Ain Shams Engineering Journal, 2022, Volume 13, Issue 3.
- [13] Ravi, Kumar., C.S. Rajoria., Amit, Sharma., Sathans, Suhag., Design and simulation of standalone solar PV system using PVSyst Software: A case study, Materials Today: Proceedings, 2021, Volume 46, Part 11.
- [14] Z. C. Viana., J. dos Santos Costa., J. V. Silva., R. M. Fernandes., Accuracy Analysis of Pvsyst Software for Estimating the Generation of a Photovoltaic System at the Polo de Inovação Campos dos Goytacazes, 2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D LA), 2020, pp. 1-6.

- [15] Bharosh, K. Yadav., Pankaj, K. Rauniyar., K. Sudhakar., Tri, R. Bajracharya., Shanmuga, Priya., Sustainable green campus in NEPAL: 3E analysis, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2021, Volume 16, Issue 2, Pages 531–542.
- [16] Charles, K.K. Sekyere., Francis, Davis., Richard, Opoku., Edward, Otoo., Gabriel, Takyi., Lawrence, Atepor., Performance evaluation of a 20 MW grid-coupled solar park located in the southern oceanic environment of Ghana, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, Volume 5.
- [17] Mohammad, Baqir., Harpreet, K. Channi., Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software, *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [18] Akkaya, S., Akkaya, O. S., Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2021, 9(2): 759-773.
- [19] Akcan, E., Kuncan, M., Minaz, M.R., Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2020, (18), 248-261.
- [20] Amani, Nima., Reza, Soroush., Abdul, Amir., Mashhad, Mostafa., Safarzadeh, Keyvan., Energy analysis for construction of a zero-energy residential building using thermal simulation in Iran. *International Journal of Energy Sector Management*, 2021.
- [21] Goel, S., Sharma, R., Analysis of measured and simulated performance of a grid-connected PV system in eastern India. *Environ Dev Sustain* 23, 2021, 451–476.
- [22] Odeh, S., Nguyen, T. H., Assessment Method to Identify the Potential of Rooftop PV Systems in the Residential Districts, *Energies*, 2021.
- [23] Chandel, Rahul., Chandel, Shyam., Performance analysis outcome of a 19-MWp commercial solar photovoltaic plant with fixed-tilt, adjustable-tilt, and solar tracking configurations. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2021.
- [24] W. Omran., Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems, PhD. Thesis, University of Waterloo, 2010.
- [25] M. Buresch., *Photovoltaic Energy System: Design and Installation*, McGraw- Hill, New York, 1983.
- [26] D. Jena., V.R. Ramana., Modeling of photovoltaic system for uniform and nonuniform irradiance: a critical review, *Renew. Sustain. Energy Rev*, 2015.
- [27] İzgi, E., Özcan, Ö., Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin karşılaştırmalı performans analizi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2020, 127-140.
- [28] Castro, R., Silva, M., Experimental and Theoretical Validation of One Diode and Three Parameters–Based PV Models, *Energies*, 2021.
- [29] B. C. Babu., S. Gurjar., A Novel Simplified Two-Diode Model of Photovoltaic (PV) Module, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 1156-1161.
- [30] URL2: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/22.aspx>
- [31] A. Durusu., Fotovoltaik güneş santral tasarımı ve saha optimizasyonu için yeni bir yaklaşım, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016.
- [32] S. Gonzalez, J. Stein, A. Fresquez, M. Ropp and D. Schutz, "Performance of utility interconnected photovoltaic inverters operating beyond typical modes of operation," 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2013, pp. 2879-2884, doi: 10.1109/PVSC.2013.6745071.
- [33] Koutroulis, E., & Blaabjerg, F. (2011). Methods for the optimal design of grid-connected PV inverters. *International Journal Renewable Energy Research*, 1, 54-64.
- [34] E. Koutroulis and F. Blaabjerg, "Techniques for the optimal design of photovoltaic inverters interconnected with the electric grid," *Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications*, 2011, pp. 1-10.
- [35] Attari, Kamal., E. Ali., Asselman, Adel., Performance analysis and investigation of a grid-connected photovoltaic installation in Morocco, *Energy Reports*. 2016. 2. 261-266.
- [36] M. M. Doğanay., Mardin Bölgesi Güneş (fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi, *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, sayı. 1, ss. 86-117, 2021.
- [37] H. C. Bayrakçı., T. Gezer., Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 9, sayı. 2, ss. 46-54, 2019.
- [38] Haydaroglu, C., Gümüş, B., Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının Pvsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7, ss.491 - 500, 2016.
- [39] Y. Doğan., M. Korkmaz., Application and Economic Contribution of The Solar Energy System in Agricultural Plants: Using Pvsyst Software, *Engineering Sciences*, 2021.
- [40] Ikoikwak, E. A., Big-alabo, A., Wofuru, İ., Design and Simulation of an On-Grid Photovoltaic System, *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 2021.
- [41] Adan, H. K., Başaran, F. Ü., Performance Investigation of On-Grid Solar Photovoltaic System in Eskişehir/Turkey, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*. 2021; 23(68): 557-566.
- [42] S. Abbasoğlu., A. A. Babatunde., Evaluation of field data and simulation results of a photovoltaic system in countries with high solar radiation, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2015, sayı. 6, ss. 1608-1618.
- [43] Hamzeh, Ali., Hamed, Sadeq., Al-Omari, Zakaria., Sandouk, A., Aldahim, G., First Year Performance of a PV Plant in Jordan Compared to PV Plants in the Region. *International Journal of Renewable Energy Research*, 2015.
- [44] Sancar, M. R., & Altınkaynak, M. (2021). Isparta İli İçin Farklı Çatı Tiplerinde Tasarlanan Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 1024-1028.

- [45] Raghoebarsing, A., & Kalpoe, A. (2017). Performance and economic analysis of a 27 kW grid-connected photovoltaic system in Suriname. *IET Renewable Power Generation*, 11(12), 1545-1554.
- [46] Faiz, F. U. H., Shakoor, R., Raheem, A., Umer, F., Rasheed, N., & Farhan, M. (2021). Modeling and Analysis of 3 MW Solar Photovoltaic Plant Using PVSyst at Islamia University of Bahawalpur, Pakistan. *International Journal of Photoenergy*, 2021.
- [47] Khalil, S., Oumidou, N., Elkhatiri, A., & Cherkaoui, M. (2022). A Critical Review of DC/AC Converter Structures for Grid-Connected Photovoltaic Systems. In *International Conference on Digital Technologies and Applications* (pp. 497-506). Springer, Cham.
- [48] Ben Saïd-Romdhane, M., Skander-Mustapha, S., & Slama-Belkhodja, I. (2020). Analysis of performance criteria for an optimal PV system configuration. *SN Applied Sciences*, 2(8), 1-8.c
- [49] IRENA (2020), Renewable power generation costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi