



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 27.07.2024
Kabul Tarihi : 18.09.2024

Received Date : 27.07.2024
Accepted Date : 18.09.2024

ŞEBEKE BAĞLANTILI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YATIRIMI İÇİN MODELLEME VE SİMÜLASYON ANALİZİ: ILGIN/KONYA ÖRNEĞİ

MODELING AND SIMULATION ANALYSIS FOR GRID CONNECTED SOLAR POWER PLANT INSTALLATION: A CASE STUDY OF ILGIN/KONYA

*Furkan Dinçer** (ORCID: 0000-0001-6787-0850)

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: furkandincer@ksu.edu.tr

ÖZET

Güneş enerjisi santrallerinin ekonomik ömrü 25-30 yıl olarak verilmektedir. Birçok panel üreticisi 10-12 yıl fiziksel garanti, 25-30 yıl süre için ise performans garantileri sunmaktadır. Bu süreler sonunda kullanılan güneş paneli ömrünü yitirmemekte sadece performansı azalmaktadır. Bu da 10 yıl süre sonunda %90 performans garantisi şeklinde gerçekleşmektedir. Bundan ötürü yatırım yapılmadan önce fizibilite raporlarının yapılması ve simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Arazinin yapısı, jeopolitik konumu, topografik yapısı, enerji nakil hattına olan mesafesi, hattın akım taşıma kapasitesi, gerilim düşümü, trafo merkezi kapasitesi, gölgeleme faktörü vb. birçok parametre göz önünde bulundurulmalı ve hesaplamalar da buna göre yapılmalıdır. Bu çalışmada, Konya İli, Ilgın İlçesinde kurulumu planlanan 1.250 kWe AC, 1.658,80 kWp DC elektriksel güç değerlerinden oluşacak bir güneş enerjisi santrali için modelleme ve simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ile arazinin topografik yapısı, azimut açısı, eğim durumu, gölgeleme faktörü, kullanılacak malzeme seçimi, elektrik enerjisi üretim durumu ve finansal değerlendirmeler detaylı olarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, modelleme, Ilgın, invertör

ABSTRACT

The economic life of solar power plants is given as 25-30 years. Many panel manufacturers offer a physical guarantee for 10-12 years and performance guarantees for 25-30 years. At the end of these periods, the solar panel used does not lose its life, only its performance decreases. This is realized as a 90% performance guarantee at the end of 10 years. Therefore, it is of great importance to conduct feasibility reports and simulation studies before making an investment. Many parameters such as the structure of the land, geopolitical position, topographic structure, distance to the power transmission line, current carrying capacity of the line, voltage drop, substation capacity, shading factor, etc. should be taken into consideration and calculations should be made accordingly. In this study, a modeling and simulation analysis was performed for a solar power plant that will consist of 1,250 kWe AC and 1,658.80 kWp DC electrical power values planned to be installed in Ilgın District of Konya Province. With these analyzes, the topographical structure of the land, azimuth angle, slope condition, shading factor, material selection, electrical energy production status and financial evaluations were made in detail.

Keywords: Solar energy, modeling, Ilgın, inverter

GİRİŞ

Elektrik enerjisi hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmaya başlamıştır. Çünkü günümüzde kullandığımız elektrikli ev aletleri, telefon, bilgisayar, internet, robotlar, araçlar vs. hepsi elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Nüfus ve sanayinin de gelişimi ile birlikte elektrik enerjisi tüketimi hızlı bir şekilde artmaktadır. Artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü konvansiyonel olarak fosil tabanlı kaynaklar belirli bir sınırdan olup hem tükenmekte hem de kullanılırken çevreye zarar vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, biyokütle, gelgit, jeotermal vb. şeklinde sıralanabilir. Bu kaynaklar ile günümüzde elektrik enerjisi üretilebilmekte ve kullanılmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde en bol, sınırsız, çevre dostu ve modüler olan kaynak ise güneş enerjisidir (Şahin ve ark., 2022).

Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı hızlı bir şekilde artmaktadır. Özellikle güneş enerjisi kaynağı bakımından ülkemiz avantajlı bir jeopolitik konuma sahiptir. Ülkemizde modüler olarak yıl boyu güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Modüler olması avantajı ile de küçük güçlerde güneş enerjisi santrali kurulabildiği gibi çok büyük güç seviyelerinde de güneş enerjisi santrali kurulabilmektedir (Dinçer ve Karadağ, 2022; Dincer ve Ozer, 2023)

Güneş enerjisi santrallerinin ekonomik ömrü 25-30 yıl olarak verilmektedir. 30 yıl süre sonunda kullanılan güneş paneli ömrünü yitirmemekte sadece performansı azalmaktadır. Dolayısı ile bir güneş enerjisi santrali yatırımı uzun vadeli ve ömürlü bir yatırımdır. Bu yatırımlar modüler olduğu için binlerce lira ile de kurulabildiği gibi yüz milyonlarca liralara da kurulabilmektedir. Bundan ötürü bu yatırımlar yapılırken yatırım yapılmadan önce dikkatli ve özenli bir şekilde fizibilite raporlarının yapılması ve simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi de büyük önem arz etmektedir. Arazinin yapısı, jeopolitik konumu, topografik yapısı, enerji nakil hattına olan mesafesi, hattın akım taşıma kapasitesi, gerilim düşümü, trafo merkezi kapasitesi, gölgelenme faktörü vb. birçok parametre göz önünde bulundurulmalı ve hesaplamalar da buna göre yapılmalıdır. Çeşitli simülasyon programları ile de bu parametreler analiz edilebilmekte ve böylece finansal analizler de yapılabilmektedir.

Yapılan bir literatür çalışmasında İç Anadolu Bölgesinde yer alan illerin güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada; Ankara ve Konya iklim şartları altında TRNSYS programı ile simülasyon çalışması gerçekleştirilmiş ve Karaman ilinin en yüksek potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir (Öztürk ve Kayabaşı, 2023). Bir tez çalışmasında; şebeke bağlantılı 1 MW güce sahip bir güneş enerjisi santrali için performans değerlendirmesi amacı ile PVsyst simülasyon programı ile bir modelle çalışması yapılmıştır (Yiğit, 2023). Başka bir makale çalışmasında Bursa ilinde bulunan bir firmanın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için PVsyst simülasyon programıyla bir modelleme çalışması yapılmıştır (Kılıç ve Kurtaran, 2024). Yapılan başka bir makale çalışmasında ise lisanssız elektrik enerjisi üretiminde mevzuatlardan kaynaklı yaşanan üretim kayıplarına değinilmiştir (Bayrak ve Aslan, 2023).

Bu çalışmada, Konya ili, Ilgın ilçesinde yatırımı yapılacak bir güneş enerjisi santrali için modelleme ve simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Kurulumu yapılacak santral güçleri; 1.250 kWe AC, 1.658,80 kWp DC elektrikli güç değerlerinden oluşmaktadır. Projenin lokasyonu Konya İli, Ilgın İlçesi, Göstere Mahallesi 202 Ada 3,7 Parseller şeklindedir. Bu analizler ile arazinin topografik yapısı, azimut açısı, eğim durumu, gölgelenme faktörü, kullanılacak malzeme seçimi, elektrik enerjisi üretim durumu ve finansal değerlendirmeler detaylı olarak yapılmıştır. Böyle bir çalışma örneği farklı illerdeki lokasyonlar için de uygulanabilir ve çalıştırılabilir. Zaten bu güneş enerjisi santrali yatırımları da yapılmadan önce bu detaylı analiz ve çalışmaların gerçekleştirilmesi yatırımın geri dönüş süresi ve uygunluğu bakımından da büyük önem arz etmektedir.

Tüketim Tesisinin Elektrik Enerjisi Sarfıyatı

Tesise ait son 12 aya ait elektrik enerjisi tüketim değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Genel toplamda yıllık bazda yaklaşık 10.000.000 (onmilyon) kWh elektrik enerjisi ile ciddi bir tüketim yapılmaktadır.

Tablo 1. Tesisin Elektrik Enerjisi Tüketim Dağılımı

Dönem	Tüketim (kWh)
Temmuz 2023	870.395,40
Ağustos 2023	725.454,45
Eylül 2023	457.118,80
Ekim 2023	543.923,10
Kasım 2023	511.711,20
Aralık 2023	653.908,50
Ocak 2024	822.247,65
Şubat 2024	798.327,81
Mart 2024	953.788,50
Nisan 2024	932.284,40
Mayıs 2024	1.171.520,60
Haziran 2024	920.581,83
Genel Toplam	9.361.262,23

Tüketim tesisinin elektrik enerjisi tüketim profili incelendiğinde, Ağustos 2023'ten Eylül 2023'e kadar enerji tüketiminde belirgin bir düşüş gözlemlenmektedir. Kasım 2023'ten Ocak 2024'e kadar tüketimde belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Kış aylarında enerji tüketiminde genel olarak bir artış görülmektedir. İlkbahar ve yaz aylarında tüketim dalgalı bir seyir izlemektedir. En yüksek tüketim Mayıs 2024 (1.171.520,60 kWh), en düşük tüketim ise Eylül 2023 (457.118,80 kWh) aylarında gerçekleşmiştir. Genel toplam ise 9.361.262,23 kWh olmuştur.

Sözleşme Gücü ve Abone Bilgileri

Tesise ait elektrik abone tarife grubu "Sanayi" şeklindedir. Tablo 2'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından belirlenen 1/7/2024'ten itibaren geçerli olan Elektrik Piyasası Tarifeler Listesi, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tablosu (EPDK, 2024) gösterilmektedir. Bu tüketim tesisi sözleşme gücü ise 11.040 kW şeklindedir.

Tablo 2'de farklı dağıtım sistemi kullanıcılar için detaylı olarak 1/7/2024'ten itibaren geçerli olan elektrik tarifeleri tablosu sunulmaktadır. Burada yatırım yapılacak ve tüketim tesisi ile ilişkilendirilecek abone tipi sanayi olduğu için çift terimli sanayi abone grubuna ait tüketim değerleri baz alınmıştır.

Mevzuat Durumu

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (Resmi Gazete, 2024a) (Kanun)'nun 14 üncü maddesi kapsamında (Yönetmelik) 12 Mayıs 2019 tarihli ve 30772 sayılı Resmî Gazete'de (Resmi Gazete, 2024b) yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Çeşitli tarihlerde iyileştirmeler yapılmış ve son olarak 11 Ağustos 2022 Perşembe günlü Resmî Gazete Sayı: 31920 (Resmi Gazete, 2024c) ile güncellenmiştir.

09/05/2019 tarihli Cumhurbaşkanı Kararı (Resmi Gazete, 2024d) ile lisanssız elektrik enerjisi tüketim santralleri kurulu güç sınırları tüketim tesisleri sözleşme güçleri ile ilişkili hale getirilmiştir. Mevzuat değişikliği ile Sanayi ve Tarımsal Sulama abone grupları ile ilişkilendirilecek lisanssız güneş enerjisi santrallerinin tüketim sözleşme güçlerinin 2 katı kadar güneş enerjisi santrali kurma imkanı getirilmiştir. Böylece yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının daha fazla yapılabilmesi adına önü açılmıştır.

Kurulacak lisanssız güneş enerjisi santrallerinde ürettiği elektrik enerjisini kendi ihtiyacını üretmesi kadar amaçlanmaktadır. Lisanssız üreticiler ürettikleri tüketim fazlası yani ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini dağıtım şirketleri aracılığı ile satabilmektedirler. Burada EPDK'nın belirlemiş ve ilan etmiş olduğu abone grubu tek terimli tarife birim fiyatı esas alınmaktadır. Böylece ihtiyaç fazlası üretilen elektrik enerjisi devletin alım garantisi

altındadır. Ancak, suiistimalleri önlemek amacı ile abonenin tükettiği enerjiden daha fazlasını satmaması için tüketim miktarı kadar satış durumuna sınırlandırma getirilmiştir. Böylece üretim amaçlı değil de asıl tüketicinin kendi elektrik enerjisini üretmesi amaçlanmaktadır.

Tablo 2. EPDK Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tablosu (EPDK, 2024)

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Temmuz 2024 Tarihi Faaliyet Bazlı Tarifeler							
	1/7/2024	Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					
	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Orta Gerilim						
	Çift Terimli						
		Sanayi	274,2853	278,1487	462,8456	129,0797	60,2673
		Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	306,6641	310,2889	517,9165	145,0883	93,9251
		Mesken	151,8262	155,3345	283,1156	53,1505	93,0324
		Tarımsal Faaliyetler	200,9917	203,5594	350,1303	86,4353	77,3544
		Aydınlatma	311,4197				90,1476
		Tek Terimli					
		Sanayi	284,7019	288,7020	479,8624	134,4163	66,5704
		Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	306,0686	309,6935	517,3211	144,4918	117,1606
		Mesken	145,9788	149,4873	277,2666	47,3019	114,8713
		Tarımsal Faaliyetler	198,2802	200,8482	347,4192	83,7224	96,3144
		Aydınlatma	311,8006				112,4522
		Alçak Gerilim					
		Tek Terimli					
		Sanayi	267,5627	271,3632	453,0836	124,6970	102,9981
		Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	246,3661	310,4593	518,0865	145,2583	139,5844
		Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	306,8350	310,4593	518,0865	145,2583	139,5844
		Mesken (8 kWh/gün ve altı)	49,4065	142,6273	270,4077	40,4418	136,5179
		Mesken (8 kWh/gün üstü)	139,1181	142,6273	270,4077	40,4418	136,5179
		Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	6,1590				82,8453
		Tarımsal Faaliyetler	195,0087	201,7331	344,1485	80,4509	114,6937
		Aydınlatma	314,2697				133,6912
		Genel Aydınlatma	389,0440				133,6912

11 Ağustos 2022 tarihli iyileştirilen yönetmelik (Resmi Gazete, 2024e) ile “Madde 16, (Fıkra 16) 12/5/2019 tarihinden sonra yapılan başvurular neticesinde bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanan kişilerin, ihtiyacının üzerinde satışa konu edilebilecek üretim miktarı, ilişkili tüketim tesisinin toplam elektrik enerjisi tüketimini geçemez.” denilmektedir. Tüketim miktarı kadar, üretim miktarı satış yapılabilir. Tüketim tesisi sözleşme gücü 11.040 kW şeklindedir. Mevcut mevzuata göre bu abonenin 22.080 kW lisanssız üretim tesisi kurma hakkı vardır. Tabii, kurulumu yapılacak arazinin marjinal tarım arazisi olması, tarıma elverişli olmaması, enerji nakil hattı yakınlığı, bağlı bulunduğu trafo merkezinde yeterli kapasite olup olmaması vb. hususlar büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisi kesikli bir kaynak olup 24 saat esaslı elektrik enerjisi üretememektedir. Bundan ötürü bağlı bulunan trafo merkezinde güneş enerjisi kaynaklı üretim tesisleri için sınırlı kapasite verilebilmektedir.

Santral Lokasyon Bilgileri

Proje; 1.250 kW_e AC, 1,658,80 kW_p DC elektriksel güç değerlerinden meydana gelmektedir. Projenin lokasyonu Konya İli, Ilgın İlçesi, Göstere Mahallesi 202 Ada 3,7 Parseller şeklindedir. Koordinatları; Enlem: 38.2027, Boylam: 31.8380 şeklindedir. Şekil 1’de kurulum yapılacak santral lokasyonuna ait (Google Maps, 2024) görüntü sunulmaktadır. Ilgın ilçesi, Konya iline bağlı olup İç Anadolu Bölgesi içerisinde yer almaktadır. Şekil 2’de ise arazilere ait parcel sorgu uygulama görüntüleri gösterilmektedir. İlgili dağıtım şirketinden bağlantı görüşüne çağrı mektubu izni alındıktan sonra kurulum yapılacak arazi için kurum görüşleri ve imar çalışmaları yürütülmektedir. 1/5000’lik ve 1/1000’lik uygulamalı imar planları yapıldıktan sonra niteliği mevcut durumda “Tarla” olarak geçen araziler yenilenebilir enerji alanı ilan edilmekte ve imar planı değişikliği ile “Arsa” vasfına dönüşmektedir.



Şekil 1. Kurulum Yapılacak Santral Lokasyonu (Google Maps, 2024)



Şekil 2. Arazilere Ait Parsel Sorgu Uygulama Görüntüleri (TKGM, 2024)

Şekil 3’te kurulum yapılacak araziye ait topografik yapı, orta bölüm kuzey-güney yükseklik profili sunulmaktadır. Arazinin rakımı 1176 metre civarlarındadır. Orta kısımdan kuzeyden güneye doğru yükseklik profiline bakıldığında kuzey ile güney arasında çok hafif bir meyil olduğu görülmektedir. Noktasal uzunluk göz önünde bulundurulduğunda neredeyse kuzey-güney yükseklik farkı 0’a yakındır.



Şekil 3. Kurulum Yapılacak Araziye Ait Topografik Yapı, Orta Bölüm Kuzey-Güney Yükseklik Profili (Google Earth, 2024)

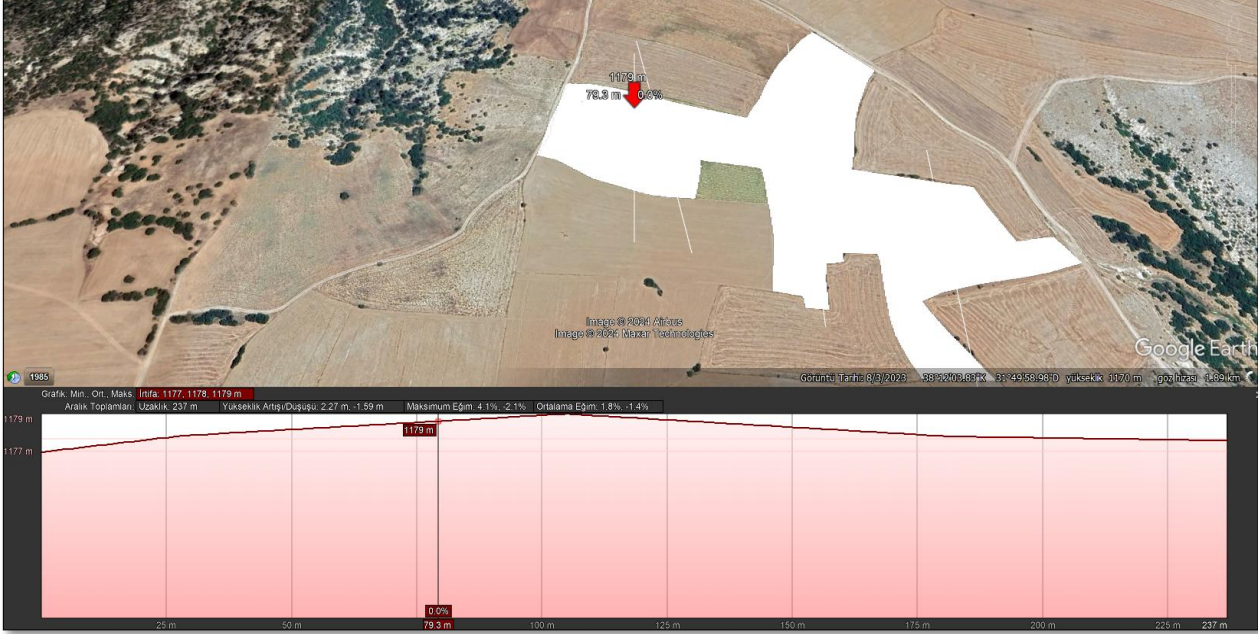
Şekil 4'te kurulum yapılacak araziye ait topografik yapı, doğu bölüm kuzey-güney yükseklik profili sunulmaktadır. Arazinin doğu kısmında; kuzeyden güneye doğru yükseklik profiline bakıldığında kuzey ile güney arasında çok hafif bir meyil olduğu görülmektedir. En yüksek kısım ile en düşük kısım arasındaki rakım farkı 4 metre civarındadır. Noktasal uzunluk göz önünde bulundurulduğunda neredeyse kuzey-güney yükseklik farkı 0'a yakındır.



Şekil 4. Kurulum Yapılacak Araziye Ait Topografik Yapı, Doğu Bölüm Kuzey-Güney Yükseklik Profili (Google Earth, 2024)

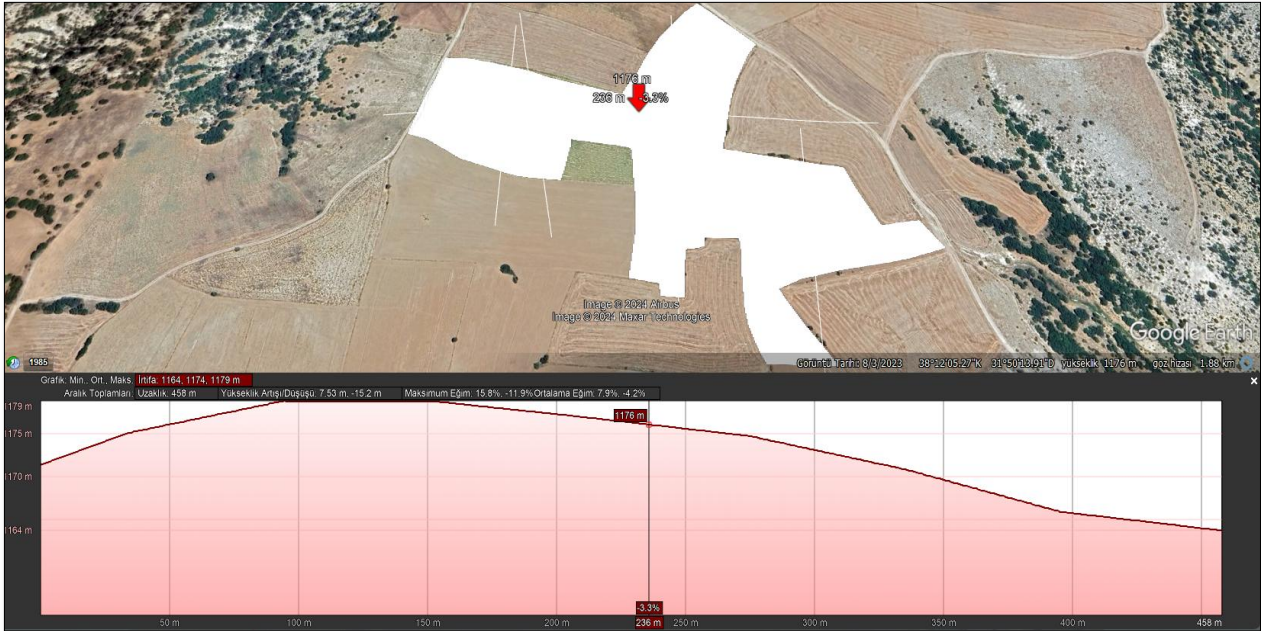
Şekil 5'te kurulum yapılacak araziye ait topografik yapı, batı bölüm kuzey-güney yükseklik profili gösterilmektedir. Arazinin batı kısmında; kuzeyden güneye doğru yükseklik profiline bakıldığında kuzey ile güney arasında çok hafif

bir meyil olduğu görülmektedir. En yüksek kısım ile en düşük kısım arasındaki rakım farkı 2 metre civarındadır. Noktasal uzunluk göz önünde bulundurulduğunda neredeyse kuzey-güney yükseklik farkı 0'a yakındır.



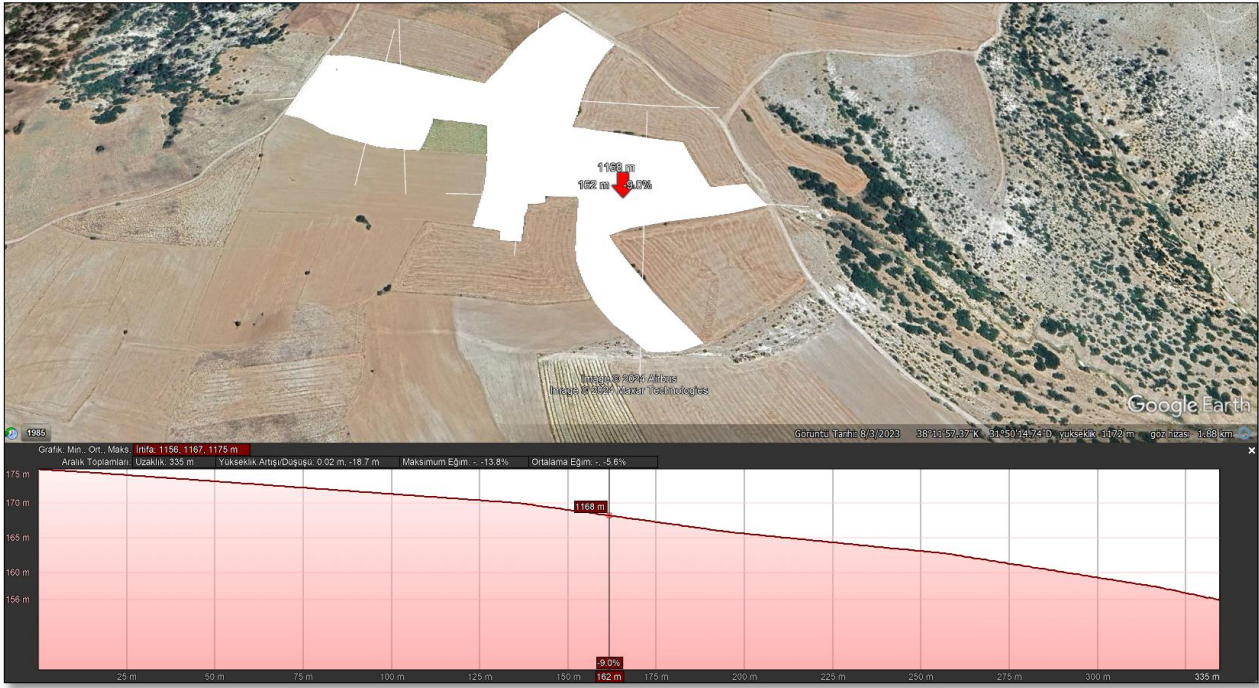
Şekil 5. Kurulum Yapılacak Araziye Ait Topografik Yapı, Batı Bölüm Kuzey-Güney Yükseklik Profili (Google Earth, 2024)

Şekil 6'da kurulum yapılacak araziye ait topografik yapı, orta bölüm batı-doğu yükseklik profili sunulmaktadır. Arazinin orta kısmından; batıdan doğuya doğru yükseklik profiline bakıldığında batı ile doğu arasında hafif bir meyil olduğu görülmektedir. En yüksek rakım farkı 7 metredir.



Şekil 6. Kurulum Yapılacak Araziye Ait Topografik Yapı, Orta Bölüm Batı-Doğu Yükseklik Profili (Google Earth, 2024)

Şekil 7'de kurulum yapılacak araziye ait topografik yapı, güney bölüm batı-doğu yükseklik profili sunulmuştur. Arazinin bir miktar güney kısmında; batıdan doğuya doğru yükseklik profiline bakıldığında batı ile doğu arasında bir meyil olduğu görülmektedir. En yüksek rakım farkı 19 metredir.



Şekil 7. Kurulum Yapılacak Araziye Ait Topografik Yapı, Güney Bölüm Batı-Doğu Yükseklik Profili (Google Earth, 2024)

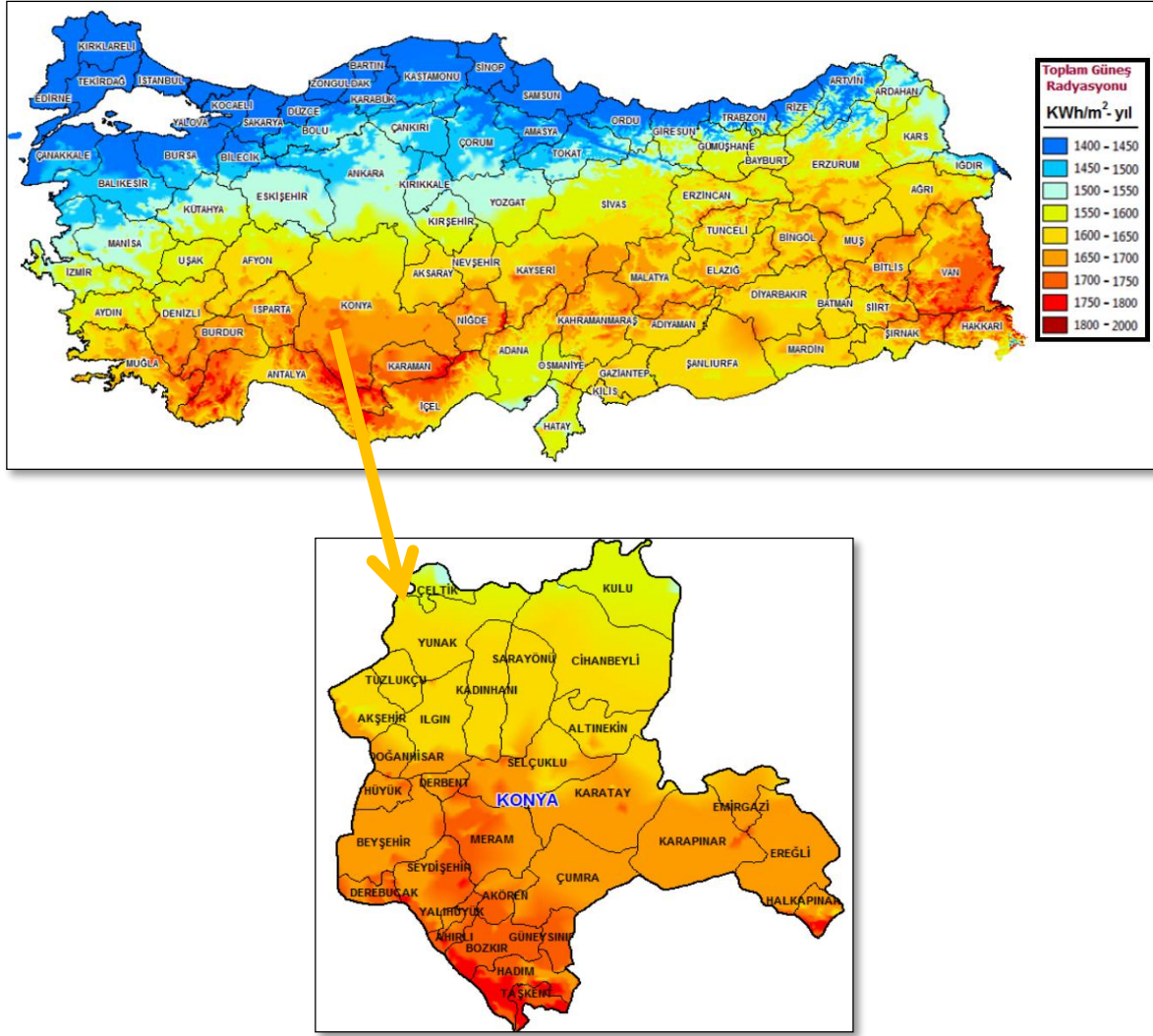
Özetle; arazinin kuzey-güney kısmında yer yer hafif meyiller bulunmaktadır. Doğu ile batı arasında bir miktar meyil farkı olsa da santralin güneye bakıp bir kısmın batı, diğer kısmın doğu çalışması santral için daha verimli olacaktır. Bundan ötürü kuzeyden güneye bir miktar hafif bir arazi tesviyesi yapılırken, doğu-batı kısmında arazi üzerinde tesviye yapmamak daha iyi olacaktır. Arazinin jeopolitik konumu güneş enerjisi santrali kurulumu için oldukça verimli ve uygundur.

Santral Lokasyonu için Güneş Enerjisi Potansiyeli

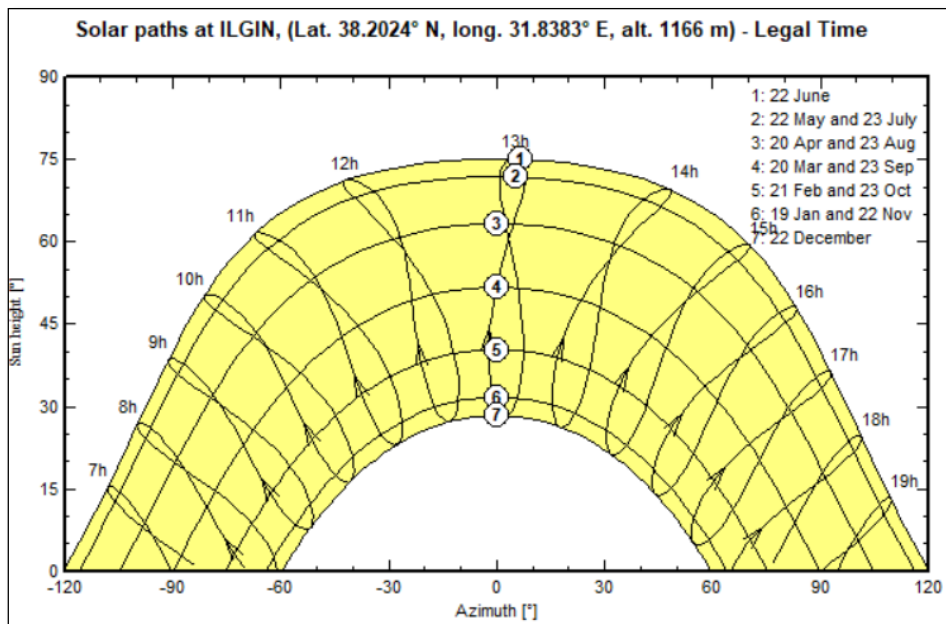
Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa ülkeleri ortalamasının üzerinde önemli bir potansiyele sahiptir. Günümüzde santral kurulumu için özel bir lokasyon seçimi yeterli olmayıp; arazinin niteliği yani tarıma elverişli olup olmaması, resmi yolu olup olmaması, enerji nakil hattı yakınlığı, ilgili trafo merkezinde lisanssız üretim tesisi için yer olup olmaması vb. hususlar büyük önem arz etmektedir. Şekil 8’de ülkemiz için hazırlanan güneş enerjisi potansiyeli haritası sunulmaktadır. Ayrıca kurulum yapılacak arazinin bulunduğu bölgenin güneş ışınım haritası da sunulmuştur (GEPA, 2024)

MODELLEME VE SİMÜLASYON

Kurulması planlanan santral için PVSyst demo programında simüle edilerek üretim ve performans durumu detaylı olarak analiz edilmiştir. Simülasyon ortamında kurulması planlanan santral analiz edilerek elde edilen veriler ardından finansal analizde kullanılmıştır. Simülasyon programında öncelikle arazinin koordinatları programa girilmektedir. Böylece bölgenin ışınım ve iklim verileri simülasyonda dikkate alınmaktadır. Şekil 9’da kurulum yapılacak lokasyona ait değişen azimut açılarına göre güneş ışınım dağılımı sunulmaktadır.



Şekil 8. Kurulum Yapılacak Lokasyona Ait Güneş Işınım Haritası (GEPA, 2024)



Şekil 9. Kurulum Yapılacak Lokasyona Ait Değişen Azimut Açılarında Güneş Işınım Dağılımı

Şekil 9’da değişen azimut değerlerine göre güneş ışınım dağılımı ifade edilmektedir. Bilindiği üzere güneş ışınım dağılımı mevsimlere göre değişmektedir. 22 Haziran tarihinde azimut açısı değerinin 0 olduğu zaman güneş açısı en yüksek değerdeyken, 22 Aralık tarihinde ise aynı azimut açısı değerinde güneş çok daha alçak yükseklikten geçmekte ve güneş ışınım dağılımı düşmektedir. Global güneş ışınımı azimut açısı değeri 0’dan uzaklaştıkça her mevsimde güneş ışınım dağılımı azalmaktadır.

Projede toplam 2.912 adet 580 Wp gücünde güneş paneli kullanılmaktadır. Toplam DC panel kurulu güç değeri 1.688,96 kWp şeklindedir. AC kurulu güç değeri ise 1.250 kWe olup DC yüklenme oranı % 35,12 değerindedir. DC Yüklenme değeri farklı eksenler için artırılarak daha fazla elektrik enerjisi üretilebilir ve performans artırımı sağlanabilir. Tablo 3’te santrale ait özet bilgiler sunulmaktadır.

Tablo 3. Santralin Özet Bilgileri

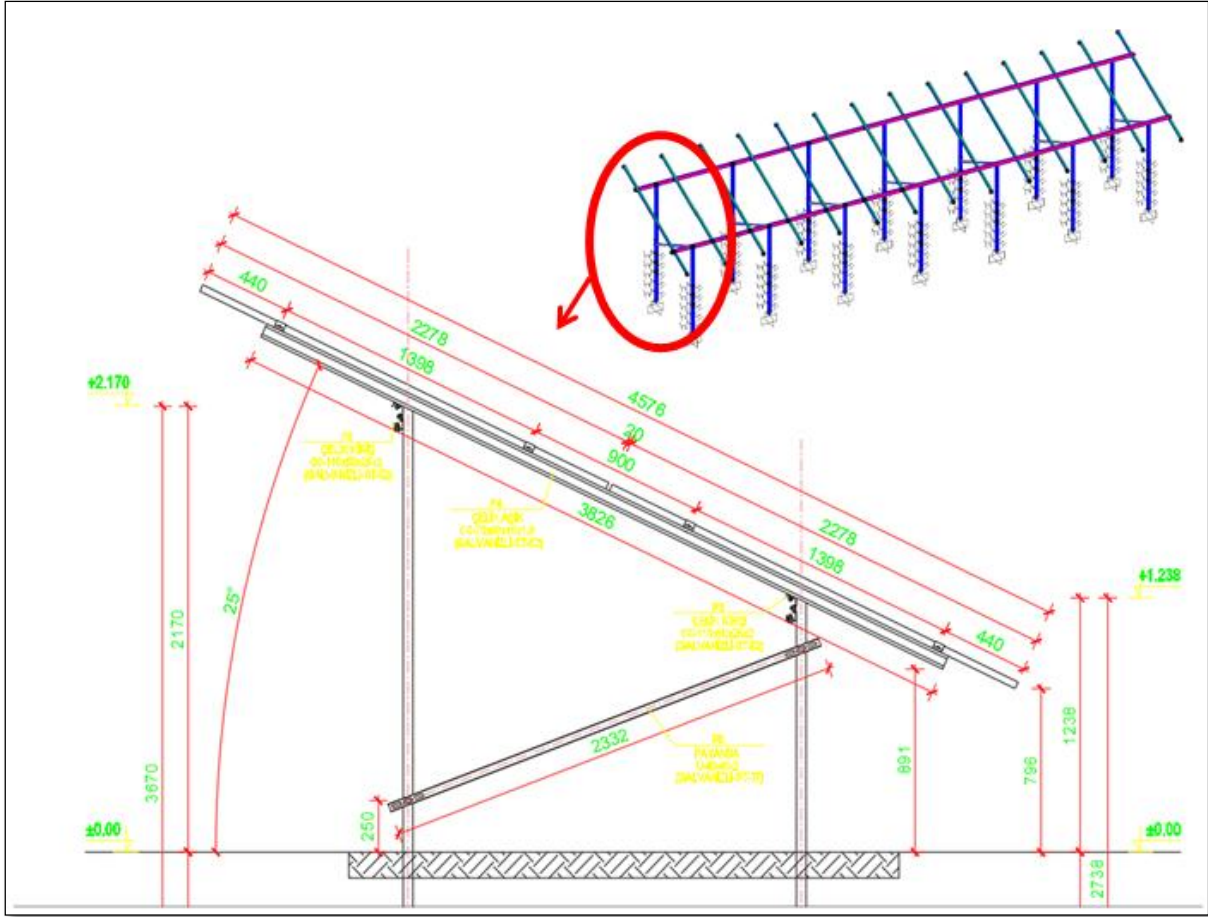
Toplam Parsel Alanı	65.045 m ²
Toplam Santral Alanı	20.000 m ²
Santral Adı	İlgin / Konya
Santral Gücü (kWe)	1.250 kWe
PV Gücü (kWp)	1.688,96 kWp
Yüklenme Oranı	% 35,12
Bir Panel Gücü (W)	580 W
Panel Sayısı	2.912 adet
Modül Yüzey Alanı	7.522 m ²
Bir İnvörtör Gücü (kWe)	300 kWe
İnvörtör Sayısı	5 adet

Panel gücü olarak 580 Wp gücünde fotovoltaik panel tercih edilmiştir. 2.912 adet kullanılacaktır. Panel tipi Bifacial Topcon Monokristal ve 16BB n-type şeklindedir. Projede 5 adet 300 kW solar invörtör kullanılmıştır. Smart String Inverter şeklindedir. İnvörtör 800 Vac çıkışlı olup santral trafosunun da bu şekilde imal edilmesi gerekmektedir. İnvörtörlerin verimlilik seviyeleri %99 civarlarındadır.

Güneş panellerinin montajı için arazi tipi uygulamalarda çelik konstrüksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 10’da çelik konstrüksiyona ait ölçüler ve 3 boyutlu çizim görselleri sunulmuştur.

Şekil 11’de kurulacak santral lokasyonu için aylara göre üretim ve iklim değerlerinin değişimleri detaylı olarak gösterilmektedir. Toplam kWh/m² değeri yıllık 1701,4 elde edilirken, sıcaklık ortalaması 12,3 °C, rüzgar hızı 3,5 m/s, ortalama nem değeri %56,7 olarak bulunmuştur.

2.912 adet 580 Wp gücünde güneş paneli ve 5 adet 300 kW solar invörtör kullanılarak panel – invörtör uygunluk hesapları gerçekleştirilmiştir. 26’lı seriler şeklinde diziler oluşturularak 112 adet dizi kullanılmıştır. Şekil 12 ve 13’te sırasıyla simülasyon tasarım parametreleri ve panel – invörtör uygunluk hesaplarına ait simülasyon ekran görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 10. Güneş Paneli Sehpaı İçin Statik Projelendirme

	Global horizontal irradiation kWh/m ² /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	65.5	27.9	-0.1	3.01	2.755	79.4
February	82.1	38.8	1.8	3.30	3.068	73.3
March	125.1	56.3	6.8	3.69	3.599	59.3
April	161.5	70.1	11.0	3.59	4.037	54.8
May	206.8	76.1	16.1	3.40	3.728	53.3
June	221.8	66.6	20.8	4.10	3.334	44.2
July	227.5	63.5	24.9	4.61	3.272	34.8
August	202.8	60.3	24.6	4.40	3.265	35.6
September	163.8	49.9	19.3	3.50	3.092	42.6
October	112.0	39.1	13.4	3.10	3.135	55.8
November	74.5	35.8	6.6	2.60	2.874	68.3
December	58.1	26.9	1.6	2.71	2.742	79.3
Year	1701.4	611.5	12.3	3.5	3.242	56.7

Global horizontal irradiation year-to-year variability 4.7%

Şekil 11. Aylara Göre Üretim Ve İklim Değerlerinin Değişimleri

Sub-array

Sub-array name and Orientation

Name:

Orient: **Fixed Tilted Plane** Tilt: **25°** Azimuth: **0°**

Pre-sizing Help

No sizing Planned power: **1689.0** kWp

Resize ... or available area (modules): m²

Select the PV module

Available Now: Filter:

Approx. needed modules: **2912**

Since 2023 Manufacturer 2023

Use optimizer

Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) **38.0** V
V_{oc} (-10°C) **55.3** V

Select the inverter

Available Now:

Since 2023

Nb of MPPT inputs: Operating voltage: **550-1500** V Inverter power used: **1250** kWac

Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: **1500** V **inverter with 6 MPPT**

No power sharing between MPPTs

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: between 15 and 27

Nb. strings: between 83 and 120

Overload loss: **1.4** %

P_{nom} ratio: **1.35**

Nb. modules: **2912** Area: **7522** m²

Operating conditions

V_{mpp} (60°C) 987 V
V_{mpp} (20°C) 1125 V
V_{oc} (-10°C) 1437 V

Plane irradiance: **1000** W/m²

I_{mp} (STC) 1512 A
I_{sc} (STC) 1603 A

I_{sc} (at STC) 1603 A

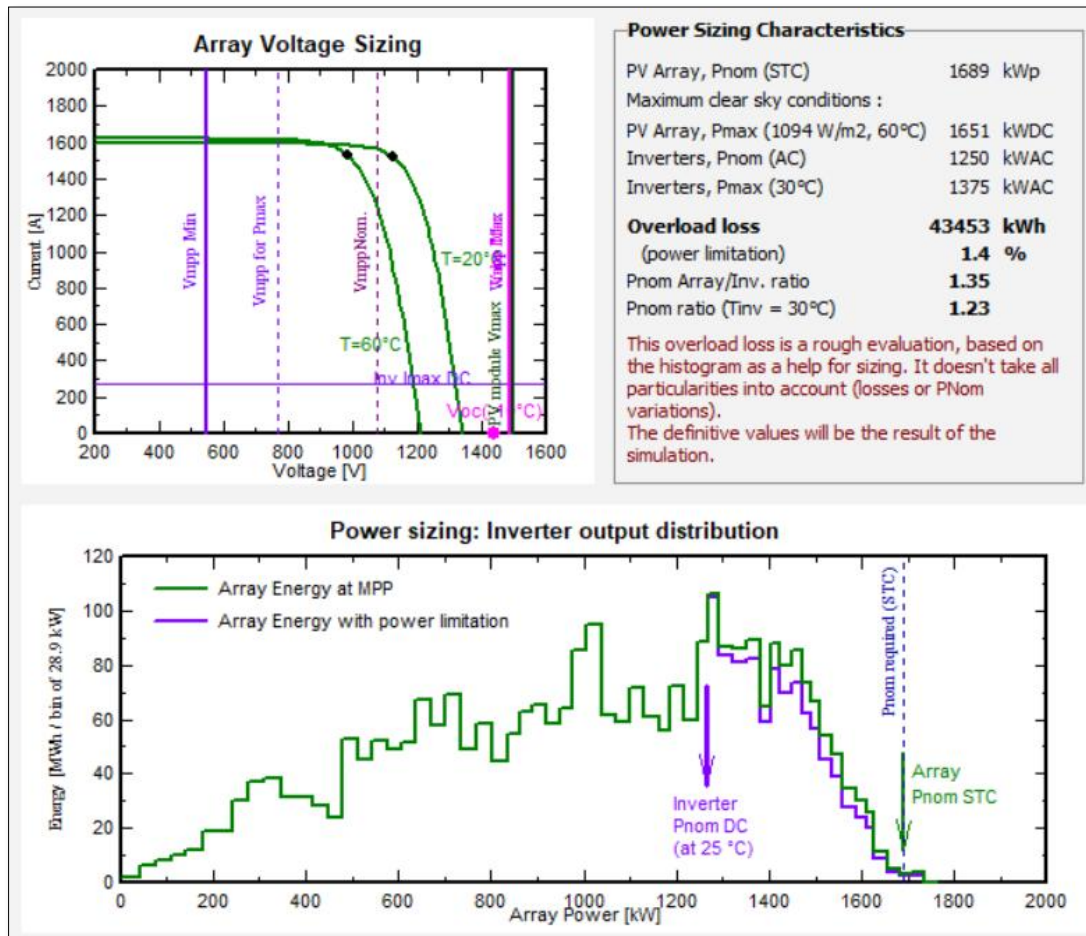
The inverter power is slightly undersized.

Max. in data STC

Max. operating power (at 1094 W/m² and 50°C): **1708** kW

Array nom. Power (STC): 1689 kWp

Şekil 12. Simülasyon Tasarım Parametreleri



Şekil 13. Panel – İnvörtör Uygunluk Hesaplamaları

Şekil 14 ve 15'te sırasıyla panel tasarım parametreleri ve invertör tasarım parametreleri ayrı ayrı sunulmuştur. Panel olarak 580 W gücünde panel seçilmiştir. İnvvertör olarak da 300 kW gücünde invertör seçimi yapılmıştır. İnvvertör şebeke gerilimi 800 Vac olarak belirlenmiştir. Bu durum için OG tarafında 800 V primer gerilime sahip özel trafo kullanılması planlanmıştır. 800 Vac seçiminin bazı avantajları bulunmaktadır. Böylece 400 Vac gerilim değerine göre akım değeri daha düşük olduğu için daha ince kesitte kablo seçimi yapılabilmektedir. Akım değeri daha düşük olunca primer teçhizat malzemeleri de buna göre seçilmektedir. Dolayısı ile hem kablo tarafında hem de AG pano şalt malzemelerinde daha uygun maliyetler yakalanabilmektedir. Ancak, santralin iç ihtiyaç elektrik enerjisi için örneğin; kamera, aydınlatma, bekçi evi, koruma ekipmanları gibi kısımlar için ayrı bir iç ihtiyaç trafosu konumlandırılmaktadır.

Manufacturer specifications or other measurements		Model summary	
Reference conditions	GRef 1000 W/m ²	TRef	25 °C
Short-circuit current	Isc 14.310 A	Open circuit Voc	50.98 V
Max Power Point	Imp 13.500 A	Vmp	42.95 V
Temperature coefficient	muIsc 5.7 mA/°C	Nb cells in series	72 x 2
	or muIsc 0.040 %/°C		

Internal model result tool		Main parameters	
Operating conditions	GOper 1000 W/m ²	TOper	25 °C
Max Power Point	Pmpp 580.2 W	Temper. coeff.	-0.30 %/°C
Current	Imp 13.63 A	Voltage Vmp	42.6 V
Short-circuit current	Isc 14.31 A	Open circuit Voc	51.0 V
Efficiency	/ Cells area 24.33 %	/ Module area	22.46 %

Model parameters	
Gamma	1.009
IoRef	0.02 nA
muVoc	-125 mV/°C
muPMax fixed	-0.30 /°C

Şekil 14. Panel Tasarım Parametreleri

Tablo 4'te simülasyon üretim sonuçları gösterilmektedir. Aylara göre üretim sonuçları detaylı bir şekilde çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre yıllık toplam üretimin 2.798.600 kWh olduğu gözlemlenmektedir. Yaz aylarında daha fazla üretim yapılırken kış aylarında daha az üretim yapılmaktadır. Güneş ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri aylara göre farklılık göstermektedir. Ayrıca, Şekil 16'da ışınım değerlerine bağlı olarak üretim koşullarında modül sıcaklık değişimleri de ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Işınım değerinin artması ile beraber modülün akım değeri artmakta ve sıcaklık değerleri de artışa geçmektedir. Şekil 17'de santralin aylara göre normalize edilmiş üretim ve kayıp ortalama değerleri de gösterilmektedir. Üretimin en yüksek olduğu aylar Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları olmaktadır. Üretim ile birlikte kayıp değerleri de artmaktadır.

Model: SUN2000-330KTL-H1
Manufacturer: Huawei Technologies
File name: Huawei_Sun2000_330KTL_H1.OND
Data source: Datasheet 2023
Original PVsyst database
Prod. Since 2023

Input side (DC PV field)

- Minimum MPP Voltage: 550 V
- Min. Voltage for PNom: 770 V
- Maximum current per MPPT: 65.6 A
- Nominal MPP Voltage: 1080 V
- Maximum MPP Voltage: 1500 V
- Absolute max. PV Voltage: 1500 V
- Power Threshold: 1500 W (Default)

Output side (AC grid)

- Frequency: 50 Hz (checked)
- Grid voltage: 800 V
- Nominal AC Power: 300 kVA
- Maximum AC Power: 330 kVA
- Nominal AC current: 217 A (checked)
- Maximum AC current: 238 A (checked)

Efficiency

- Maximum efficiency: 99.00%
- CEC efficiency: 98.53%
- Efficiency defined for 3 voltages:

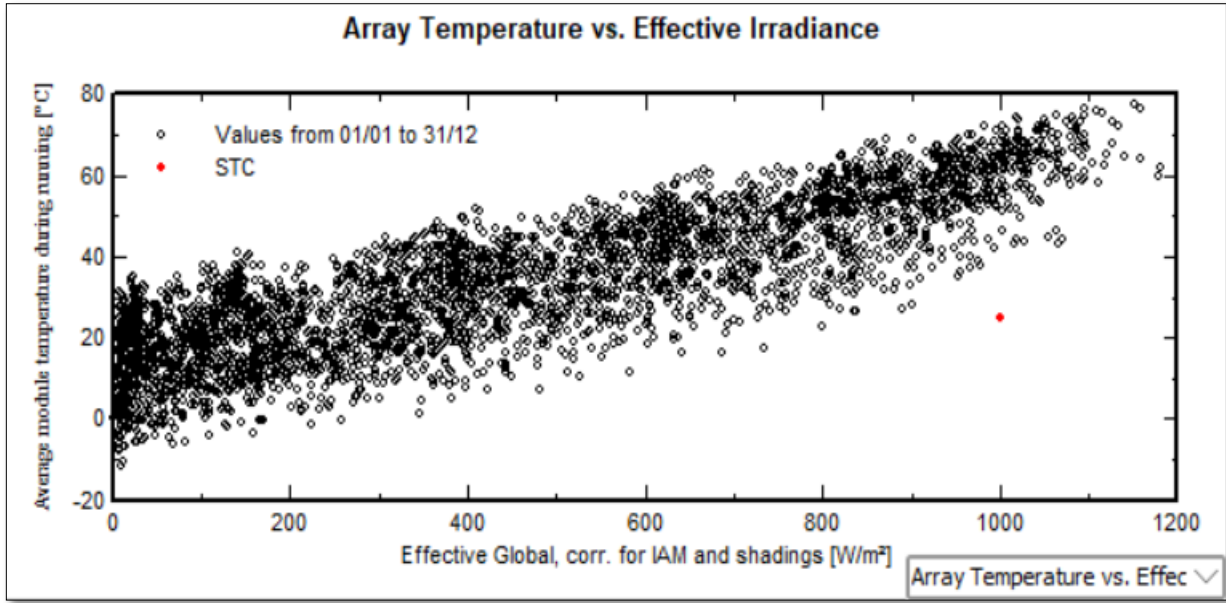
Contractual specifications, without real physical meaning: Required

Nominal PV Power: N/A kW
Maximum PV Power: N/A kW
Maximum PV Current: 65 A

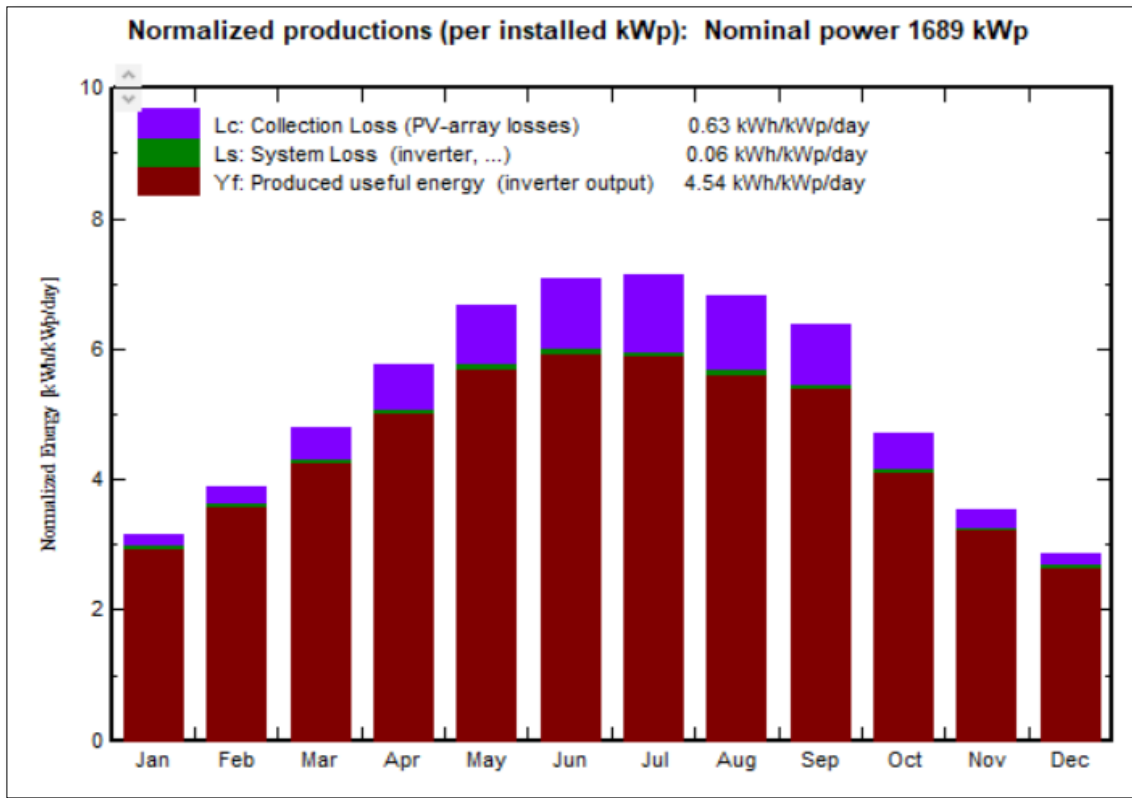
Şekil 15. İnvörtör Tasarım Parametreleri

Tablo 4. Simülasyon Üretim Sonuçları

Months	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	T_Amb (°C)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (kWh)	E_Grid (kWh)	PR (ratio)
January	65,5	27,9	-0,05	97,5	95,6	156.744	154.216	0,936
February	82,1	38,84	1,82	109	106,7	173.023	170.523	0,926
March	125,1	56,31	6,82	148,5	145,5	227.170	223.880	0,892
April	161,5	70,09	11,05	172,6	168,3	258.316	254.753	0,874
May	206,8	76,09	16,13	206,5	201,4	302.993	298.790	0,857
June	221,8	66,64	20,8	212	207,1	305.130	300.949	0,84
July	227,5	63,47	23,76	221,7	216,3	313.078	308.763	0,825
August	202,8	60,33	23,1	211,4	206,7	297.983	293.987	0,823
September	163,8	49,94	18,41	191,6	187,4	277.345	273.799	0,846
October	112	39,14	13,42	143,2	143,2	218.652	215.541	0,874
November	74,5	35,83	6,14	106,8	106,8	166.268	163.831	0,913
December	58,1	26,94	1,64	88,5	86,6	141.907	139.569	0,934
Year	1701,4	611,53	12,32	1911,7	1868,9	2.838.609	2.798.600	0,867



Şekil 16. Işınım Değerlerine Bağlı Olarak Üretim Koşullarında Modül Sıcaklık Değişimleri



Şekil 17. Santralin Aylara Göre Normalize Edilmiş Üretim Ve Kayıp Ortalama Değerleri

Tablo 5’te santralin ekonomik analizi detaylı olarak sunulmaktadır. Öncelikle santrale ait özet bilgiler sunulmuş ardından santralin lokasyonu, yüzölçümü, ortalama yıllık üretim tahmini, yıllık tüketim tahmini, elektrik birim fiyatı, dağıtım bedeli değerleri üzerinden yıllık net faydalanma tutarı belirlenmektedir. Böyle bir santral için yatırım maliyeti hesaplanarak yapılacak yatırımın amorti süresi hesaplanmaktadır.

Tablo 5. Santralin Ekonomik Analizi

AC / Elektriksel Gücü	1.250 kWe
DC / Panel Gücü	1.688,96 kWp
Ada	202
Parsel	3 ve 7
Lokasyon	Konya / Ilgın / Göstere
Yüzölçümü (Parsel)	65.045 m ²
Yüzölçümü (Santral Sahası)	20.000 m ²
Mülkiyet	Var
Ortalama Yıllık Üretim Tahmini (kWh/Yıl)	2.798.600 kWh
Elektrik Birim Fiyatı (TL/kWh) (Sanayi)	2,74 TL/kWh
Dağıtım Bedeli (TL/kWh) (GES Veriş)	0,369 TL/kWh
Veriş için Net Elektrik Birim Fiyatı (TL/kWh) (Sanayi)	2,371 TL/kWh
Yıllık Net Faydalanma, Vergi Hariç (TL)	6.635.480 TL/Yıl
Yıllık Gelir (USD) (1 USD=33 TL)	201.075 USD/Yıl
GES Birim Maliyeti (USD/MWp)	570.000 USD/MWp
1.688,96 kWp için GES Maliyeti (USD)	962.707,20 USD
Amorti Süresi (Yıl)	4,79 Yıl

Böyle bir yatırım ile kurulacak santral için Ortalama Yıllık Üretim Tahmini 2.798.600 kWh olarak bulunmuş olup Yıllık Net Faydalanma, Vergi Hariç (TL) tutarı 6.635.480 TL olarak elde edilmiştir. GES Birim Maliyeti 570.000 USD/MWp olduğu varsayılır ise 1.688,96 kWp için GES Maliyeti 962.707,20 USD olarak bulunur. Böylece elde edilen sonuçlara göre amorti süresi 4,79 Yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma farklı lokasyonlar için de uyarlanabilir ve değerlendirilebilir. Santral kurulumları yapılmadan önce mutlaka bu tarz çalışmaların yapılması büyük önem arz etmektedir.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Öncelikle tüketim tesisinin aylara göre tükettiği elektrik enerjisi, ihtiyacı belirlenerek bu ihtiyacı karşılamak için kurulması planlanan santral lokasyonu için ayrıntılı değerlendirmeler sunulmuştur. Arazi seçimleri her zaman istenildiği şekilde gerçekleşmemektedir. En önemli nedeni, bağlantı yapılacak ilgili trafo merkezinde lisanssız üretim için ayrılmış bir kapasite olması gerekmektedir. Kapasiteler de sınırlı durumdadır. Ardından enerji nakil hattı bağlantısı yapılabilecek lokasyona yakın, tarıma elverişli olmayan bir arazinin temin edilmesi gelmektedir. Bu araziye ait resmi bir kadastro yolunun bulunması gerekmektedir. Ardından 1/5000 ve 1/1000 ölçekli imar planlarının yapılması, kurum görüşlerinin alınması ve ruhsatlandırma süreçleri bulunmaktadır. Bundan ötürü her zaman ihtiyacın karşılanması mümkün olmayabilmektedir.

Yapılan modelleme ve simülasyon sonuçları neticesinde belirlenen lokasyon için üretilebilecek elektrik enerjisi miktarının aylara göre değişimleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile santralin ekonomik analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Bayrak, M. ve Aslan, E. (2023). Türkiye'deki Lisanssız Güneş Enerjisi Santrallerinde Üretim Kayıplarının Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 233-240. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1210936>.

Dinçer, F. ve Karadağ, F. (2022). Tekstil Fabrikalarında Öz Tüketim Modeli Güneş Enerjisi Santralinde Enerji Kalitesi Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology, Iğdir University*, 12(2), s. 704-714. <https://doi.org/10.21597/jist.985473>.

Dincer, F. ve Ozer, E. (2023). Assessing the Potential of a Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System for Gaziantep Islamic Science and Technology University/Turkey. *Jordan Journal of Electrical Engineering*, 9(2), 149-165. <https://doi.org/10.5455/jjee.204-1670146602>.

EPDK. (2024). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Çizelgelari, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-Çizelgelari>, Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2024.

GEPA. (2024). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 17 Temmuz 2024.

Google Earth. (2024). <https://earth.google.com/>, Erişim Tarihi: 17 Temmuz 2024.

Google Maps. (2024). <https://www.google.com/maps>, Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2024.

Kılıç, M.Y. ve Kurtaran, M. (2024). Sürdürülebilir Enerji Üretimi İçin Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve PVsyst Programı İle Simülasyonu: Bursa İli Örneği. *Türk Tarım Ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(1), 239-248. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1333711>.

Öztürk, M. ve Kayabaşı, R. (2023). Güneş enerjisinin İç Anadolu bölgesinde kullanılabilirliği ve sistem analizi. *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, 12(4), 1351-1359. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1310627>.

Resmi Gazete. (2024a). Elektrik Piyasası Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6446.pdf>, Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2024.

Resmi Gazete. (2024b). 12 Mayıs 2019 Tarihli ve 30772 Sayılı Resmî Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/12.05.2019>, Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2024.

Resmi Gazete. (2024c). 11 Ağustos 2022 Tarihli ve 31920 Sayılı Resmî Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/11.08.2022>, Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2024.

Resmi Gazete. (2024d). 09/05/2019 tarihli Cumhurbaşkanı Kararı, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190510-10.pdf>, Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2024.

Resmi Gazete. (2024e). 11 Ağustos 2022 Tarihli ve 31920 Sayılı Resmî Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/11.08.2022>, Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2024.

Şahin, Z.R., Dinçer, F., Yılmaz, A.S. (2022). 4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Enerjisi İhtiyacı İçin Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santrali Tasarımı ve Simülasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25, 46-56. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1163049>.

TKGM. (2024). Parsel Sorgu Uygulaması, <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 20 Temmuz 2024.

Yiğit, F. (2023). Şebekeye bağlı 1 MW güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Konya.