

Üniversite Kampüsünde Solar Panel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizi: ISUBU Örneği

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 05.06.2024

Kabul/Accepted: 21.08.2024

Yayımlandı/Published:02.12.2024

Technical and Economic Analysis of Solar Panel Use on University Campus: ISUBU Example

Betül Zehra GENÇGÖNÜL^{1*}, Abdullah Senih GENÇGÖNÜL², Reşat SELBAŞ³

¹Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Aktüerya Bilimleri Bölümü, Ankara, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışmada, bir üniversite kampüsünün elektrik enerjisi ihtiyacının güneş enerjisi santrali ile karşılanabilirliğinin örnek uygulamasının yapılması amaçlanmış ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi için bir güneş enerjisi santrali tasarlanmıştır. En uygun panel tipi olarak gerekli verim analizleri sonucu monokristal half-cut panel seçilmiş ve üniversite çatılarında yerleşim planları Autocad ve Sketchup yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Üretim analizleri için PVSyst, SAM ve PVSOL programları kullanılmış ve minimal farklarla en yüksek üretim SAM programı ile elde edilmiştir. Üniversite batı yerleşkesine kurulan güneş enerji santralinin PVSyst programı ile elde edilen üretim miktarı ile tüm kampüsün elektrik tüketiminin karşılanması hedeflenmiştir. Sistem karlılığının analizi için 6 yıllık bir sürede sistemin kampüse sağlayacağı muhtemel kazanç hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerji santrali; Yenilenebilir enerji; PVSyst; SAM; PVSOL.

Abstract

In this study, it is aimed to make an example of how the electrical energy needs of a university campus can be met with a solar power plant, and a solar power plant was designed for Isparta University of Applied Sciences. As a result of the required efficiency analysis, monocrystalline half-cut panel was selected as the most suitable panel type, and layout plans on university roofs were made using Autocad and Sketchup software. PVSyst, SAM and PVSOL programs were used for production analysis and the highest production with minimal differences was obtained with the SAM program. It is aimed to meet the electricity consumption of the entire campus with the production amount obtained through the PVSyst program of the solar power plant installed in the western campus of the university. To analyze the system profitability, the possible gain that the system will provide to the campus in a 6-year period was calculated.

Keywords: Solar power plant; Renewable energy; PVSyst; SAM; PVSOL.

1. Giriş

Ülkelerin enerjiye olan ihtiyacı, nüfustaki artış ve teknolojik ilerlemelerle birlikte sürekli artmaktadır. Bununla birlikte kömür, doğalgaz ve petrol gibi çok tercih edilen enerji kaynaklarının tükenmekte olması ve çevreye bıraktığı karbon emisyonları geleceğimizi tehdit etmektedir. Bu durum, doğal kaynakların yetersizliği ve çevresel etkileriyle birlikte, yenilenebilir enerji arayışlarını hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji, günümüzde temiz, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak önem kazanmıştır. Türkiye konumu nedeniyle güneş enerjisinden faydalanabilecek potansiyele sahiptir. Ölçümler neticesinde, Türkiye'nin %63'ünde 10 ay süresince, %17'lik kısmında ise 1 yıl süresince güneş enerjisinden yararlanılabileceği tespit edilmiştir. (Buldu 2008). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi verilerine dayanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yaptığı çalışmada,

fotovoltaik enerjiden yıllık 380 milyar kWh elektrik üretim potansiyeli olduğu belirlenmiştir.(Ortaçtepe, 2011).

Son yıllarda güneş enerji santralleri kullanımının pek çok alanda etkisi ve doğaya ve ekonomiye olan katkısı akademik olarak incelenmektedir. Özellikle tarımda güneş enerji sistemlerinden çok fazla faydalandığı bilinmekte ve literatürde bu konuda pek çok çalışmaya rastlanılmaktadır. Saxena ve Kumar'ın (2011) çalışmasında Hindistan tarımında hem pahalı hem de ekolojik açıdan zararlı olan geleneksel olmayan kaynaklardan elektrik tüketimini azaltmak için kullanılabilecek güneş enerjisinin kullanımındaki farklı gelişmeleri incelemiştir. Aliyu vd. (2018) tarımda su pompalama sistemlerinde dizel gücü yerine güneş enerjisi kullanımını incelemiştir. Literatürde havacılık endüstrisinde ve uzay sistemlerinde güneş enerjili uçak sistemlerinin geçerliliğini anlatan çalışmalar da mevcuttur(Zhang vd. 2017, Cardinaletti vd. 2018, Zhu vd.

2014). Muhida ve arkadaşları Malezya'nın Putrajaya kentindeki müstakil bir eve güneş pili sisteminin entegre eden bir sistem kurmuştur(2009). Bu sistemin amacı aylık ortalama 255 kWh elektrik enerjisi elde etmektir. Sistemin performansının artırılması için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda güneş pili sisteminden elde edilecek tahmini elektrik enerjisi miktarı ve bunun ekonomik getirisinin ne olacağı hesaplanmıştır.

Dehshiri ve arkadaşları İran tekstil endüstrisinde güneş enerjisi kullanımının temiz üretime yönelik değerlendirilmesi için çalışma yapmış ve kurdukları sistemin sürdürülebilir planlama ve fizibilite analizini elde etmiştir (2023). İran'ın güney kıyısındaki güneş enerjisi projelerinin uygulanması için uygun alanların değerlendirilmesi Zahedi ve arkadaşları tarafından incelenmiştir (2023). Bu değerlendirmede uygun olmayan coğrafi alanlar CBS yöntemi kullanılarak alan dışında bırakılmıştır. Sonuçlar Makran'ın yalnızca %37'sinin güneş enerjisi geliştirmeye uygun olduğunu göstermiştir.

GES'in uygulama alanları üzerine Türkiye'de yapılan güncel akademik çalışmalardan bazıları ise şöyledir: Akyazı ve arkadaşları güneş enerjisi ile şarj edilebilen, akü destekli akıllı LED aydınlatma armatürü tasarlayıp uygulamışlardır (2019). Bu armatür, ışık şiddetini trafik yoğunluğuna göre ayarlayarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. Güner ve Muharremoğlu İzmir Adnan Menderes Havalimanı otoparkı için bir FV sistem

tasarlamış ve enerji ihtiyacı için sistemin yeterliliğini analiz etmişlerdir (2020). Dandıl ve Gürgen farklı eğitim açılarında yerleştirilen FV panellerin güç çıkışlarını tahmin etmek için hibrit bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir (2019). Türkdoğan ve arkadaşları 40 hanelik bir yerin elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için bazı hibrit enerji sistemlerini ekonomik açıdan analiz etmiştir (2020). Yağlı ve Koç Gaziantep bölgesinde güneş enerjisi tesisleri için panellerin optimum açılarını belirlemişlerdir (2020).

Bu çalışmada ise amaç bir üniversite kampüsünde güneş enerji sisteminden en verimli alanı kullanarak en yüksek üretimin nasıl elde edebileceği sorusuna cevap bulmaktır. Bu amaçla Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (ISIBÜ) için uygulama yapılmıştır. GES tasarım sürecinin kritik adımlarından biri doğru ekipman seçimidir. Böylece üretim artar ve sistem ömrü daha uzun olur. Fotovoltaik paneller için yazılım aracılığıyla verimlilik analizi yapılmış ve santralde kullanılacak uygun panelin belirlenmesi hedeflenmiştir. Panel seçimi yapıldıktan sonra, çatı yapısına uygun bir yerleşim düzeni oluşturularak kaç panelin sığacağı ve bu panellerden elde edilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. Bu santralin verimlilik analizi üç farklı yazılım ile karşılaştırılarak daha kesin tahminler elde edilmesi amaçlanmıştır. Son olarak üretim değerlerinin üniversite ihtiyacının ne kadarını karşıladığı hesaplanmış ve sistemin üniversiteye katkısı hakkında değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 1. ISUBÜ aylık hava durumu verileri

Aylar	Global Yatay kWh/m ²	Yatay Difüz kWh/m ²	Dünya Dışı kWh/m ²	Netlik Endeks Oran	Ortam Sıcak. °C	Rüzgar Hızı m/s
1	66,7	27,5	143,9	0,463	1,7	1,7
2	78,3	42,4	172,1	0,455	3,4	1,9
3	123,9	56,2	246,1	0,503	7,0	2,1
4	153,1	68,3	294,2	0,520	11,0	2,0
5	193,2	76,2	343,0	0,563	15,7	1,6
6	212,0	72,4	347,6	0,610	20,4	1,6
7	222,4	72,1	351,9	0,632	24,7	1,7
8	194,5	68,4	320,8	0,606	24,5	1,6
9	162,6	51,0	260,7	0,624	19,2	1,5
10	111,5	47,5	210,2	0,530	13,4	1,3
11	77,0	31,6	151,6	0,508	7,6	1,4
12	59,1	27,7	130,5	0,452	3,3	1,5
Yıl	1.654,0	641,3	2.972,4	0,556	12,7	1,7

2. Materyal ve Metot

2.1 Uygun Panel Tipinin Seçilmesi

Uygulamada sistem kurulumu ve analizinden önce uygun panel tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Verim ve fiyat performansı panel tipi seçiminde etkili olacaktır. ISUBÜ'de tasarımı planlanan santral için farklı tip panellerle kıyaslama yapılarak en uygun panel tipinin belirlenebilmesi amacıyla seçilen bir bina (38.83°N 30.52°B'da bulunan ISUBÜ Enerji Fakülte binası) üzerinde

konumlanacak paneller için ışınım ve hava şartları sabit tutulmuştur. Farklı tipte paneller PVsyst yazılımında ikişerli olarak karşılaştırılmıştır. Binanın Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden (CBS) alınan görüntüleri kullanılarak ölçüleri çıkarılmış ve bu ölçüler Autocad'te çizilmiştir. Çizelge 1'de, 38.83°N 30.52°B koordinatlarında yer alan ve PVsyst kullanılarak analiz edilecek olan ISUBÜ Teknoloji Fakültesi binasının aylık hava durumu verileri sunulmuştur

İlk olarak yaygın kullanılan polikristal ve monokristal panellerin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmanın daha homojen koşullarda yapılabilmesi amacıyla aynı güçte ve markaları da aynı iki panel seçilmiştir. Seçilen paneller 345 Wp'dır. Kullanılacak panellerin veri bilgisi Çizelge 2'de yer almaktadır.

Kullanılan panel sayısı her iki türde de 414 adettir. Çatıda gölgeli alanlara yerleştirme yapılmamıştır. İki farklı panel için de aynı sayıda dizilim gerçekleştirilmiştir. PVsyst yazılımı kullanılarak, eşit koşullarda hangi panel tipinin daha fazla üretim sağladığını belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. PVsyst'te, santralin kaydedilen ışınım ve panel sıcaklık değerleri esas alınarak ve panel üreticisinin sağladığı PAN dosyaları kullanılarak benzetim yapılmıştır. Daha doğru sonuçlar elde edebilmek için, SketchUp'da modellenmiş üç boyutlu yapı, yakın gölgeleme bölümüne dahil edilmiştir. Bu sayede eğim ve gölgeleme gibi faktörler daha hassas bir şekilde analiz edilerek gerçeğe daha yakın sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 2. Panel Bilgileri

MODÜL BİLGİLERİ		
Modül Bilgileri	Polikristal panel bilgileri	Monokristal panel bilgileri
Modül Bilgileri	Solar Panel Polikristal 345 WATT	Solar Panel Monokristal 345 WATT
Toplam Panel Sayısı	414 Adet	414 Adet
Modül Boyutları (LxWxH)	1 970x992x40 mm	1 996x992x40 mm
Hücre Sayısı	72 Adet	
Kablo	4 mm ² Solar Kablo	4 mm ² Solar Kablo
MODÜL ELEKTRİKSEL BAĞLANTISI		
Panel Maksimum Gücü - Pmax	Polikristal panel bilgileri	Monokristal panel bilgileri
Güç Toleransı	(0, +4,99)	(0, +4,99)
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp	38,1 V	38,7 V
Maksimum Güç Akımı - Imp	9,06 A	8,92 A
Açık Devre Gerilimi - Voc	46,5 V	46,3 V
Açık Devre Akımı - Isc	9,41 A	9,37 A
NOCT (°C)	45±2°C	45±2°C
Maksimum Sistem Gerilimi	1 500V DC	1 500V DC
Sıcaklık Katsayısı [V] - [I] - [P]	-0,27 %/°C, +0,05 %/°C, -0,35 %/°C	-0,28 %/°C, +0,05 %/°C, -0,38 %/°C
Maksimum Ters Akım	20 A	20 A

Benzetim sonucunda Polikristal ve monokristal panellerden elde edilen üretim şu şekildedir; polikristal panel yıllık toplam 176.410 kWh üretim yaparken monokristal panel 177.310 kWh üretim yapmaktadır. Monokristal yapılı panel polikristal panelden 0,9 MWh daha yüksek üretim sağlamaktadır. Bu uygulama için verimli olan panelin monokristal yapılı panel olduğu söylenebilir.

Polikristal ve monokristal panelin karşılaştırmasında monokristal panel daha verimli çıktığı için bu kez monokristal panel ile monokristal bifacial panel arasında PVsyst üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Aynı bina üzerinde eşit koşullar altında aynı yerleşim yapılmıştır. Bu kez her iki türde de 400 Wp gücünde 342 adet panel kullanılmıştır. Bifacial paneller sistem analizinde

karşılaştırmanın yapılabilmesi için yapısı nedeniyle üçgen ayak sistemiyle tasarlanarak yerleştirilmiştir. Ancak bu panel çeşidi gerçek hayatta çatıya uygulanabilir bir seçenek olmadığından gerçek uygulamada kullanılmayacaktır. PVsyst için eşit koşullarda elde edilen sonuçlara göre monokristal bifacial panel, monokristal panelden daha fazla üretim sağlamıştır. Monokristal bifacial panel yıllık 170.380 kWh üretirken, monokristal panel yıllık 164.030 kWh üretmektedir. Ancak, çatıya monte edilecek panellerin yere yakın olması nedeniyle yeterli yansımının alınamaması, monokristal bifacial panelin tasarlanacak çatı uygulamalı güneş enerji santrali (GES) için uygun bir seçim olmayacağını göstermektedir.

Çizelge 3. Panel Bilgileri

MODÜL BİLGİLERİ			
Modül Bilgileri	Monokristal panel bilgileri	Bi-facial Monokristal panel bilgileri	Monokristal panel bilgileri
Modül Bilgileri	Solar Panel Monokristal 400 WATT	Solar Panel Bifacial Monokristal 400 WATT	
Toplam Panel Sayısı	342 Adet	342 Adet	
Modül Boyutları (LxWxH)	1 941x1 048x40 mm	2 045x1 008x30 mm	
Kablo	4 mm ² Solar Kablo	4 mm ² Solar Kablo	
MODÜL ELEKTRİKSEL BAĞLANTISI			
Güç Toleransı	Monokristal panel bilgileri	Bi-facial Monokristal panel bilgileri	Monokristal panel bilgileri
Güç Toleransı	(0, +4,99)	(0, +4,99)	
STC		Ön Taraf	Arka Taraf
Panel Maksimum Gücü - Pmax	400 Wp	400 Wp	298 Wp
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp	37,2 V	41,7 V	38,5 V
Maksimum Güç Akımı - Imp	9,19 A	9,60 A	7,75 A
Açık Devre Gerilimi - Voc	47,0 V	49,5 V	45,8 V
Açık Devre Akımı - Isc	9,51 A	10,12 A	8,20 A
NOCT (°C)	45±2°C	45±2°C	
Maksimum Sistem Gerilimi	1 000 / 1 500V DC	1 500V DC	
Sıcaklık Katsayısı [V] - [I] - [P]	-0,28 %/°C, +0,05 %/°C, -0,38 %/°C	-0,28 %/°C, +0,05 %/°C, -0,36 %/°C	
Maksimum Ters Akım	20 A	20 A	

Polikristal ve monokristal panellerin karşılaştırılması için kullanılan panellerin gücü ve sayısı sırasıyla 345 Wp ve 414 adet iken, monokristal panel ile monokristal bifacial panel karşılaştırılması için sırasıyla 400 Wp ve 342 adet olması nedeniyle monokristal panellerden elde edilen üretim ilk karşılaştırmada 177.310 kWh iken ikinci karşılaştırmada 164.030 kWh olmuştur.

Son olarak Monokristal normal tasarım panel ile Monokristal half-cut tasarım panel karşılaştırılmıştır. Aynı marka ve 350 Wp gücündeki iki farklı panelde hücre sayısının üretim üzerine etkileri gözlemlenmiştir. Daha fazla hücre sayısı olan half cut panel ile daha az hücre sayısına sahip normal panelin üretimi karşılaştırılmıştır. Çizelge 4'de tasarımın veri bilgileri yer almaktadır. Her iki panel çeşidi için de 414 tane panel kullanılmıştır. PVsyst üretim raporları incelendiğinde half-cut teknolojisine sahip panel yılda 183.610 kWh üretebilirken, monokristal panelin yılda 181.590 kWh ürettiği görülmektedir. Aradaki üretim farkı 2,02 MWh olarak kaydedilmiştir. Half-cut teknolojisine sahip ve daha fazla hücre sayısı olan half-cut

tipi monokristal panel kullanımının beklenildiği gibi daha verimli olduğu görülmüştür.

Polikristal ve monokristal panellerin karşılaştırılması için kullanılan panellerin gücü ve sayısı sırasıyla 345 Wp ve 414 adet iken, monokristal panel ile monokristal half-cut panel karşılaştırılması için sırasıyla 350 Wp ve 414 adet olması nedeniyle monokristal panellerden elde edilen üretim ilk karşılaştırmada 177.310 kWh iken ikinci karşılaştırmada 181.590 kWh olmuştur.

Çizelge 4. Panel Bilgileri

MODÜL BİLGİLERİ		
Modül Bilgileri	Monokristal panel bilgileri	Monokristal half-cut panel bilgileri
	Solar Panel Mono Crystalline 350 WATT	Solar Panel Mono Crystalline 350 WATT
Toplam Panel Sayısı	414 Adet	414 Adet
Modül Boyutları (LxWxH)	1.970x992x40 mm	1.776x1.052x35 mm
Hücre Sayısı	72 Adet	120 Adet
Kablo	4 mm ² Solar Kablo	4 mm ² Solar Kablo
MODÜL ELEKTRİKSEL BAĞLANTISI		
	Monokristal panel bilgileri	Monokristal half-cut panel bilgileri
Panel Maksimum Gücü - Pmax	350 Wp	350 Wp
Güç Toleransı	(0, +4,99)	(0, +4,99)
Maksimum Güç Gerilimi - Vmpp	38,1 V	33,8 V
Maksimum Güç Akımı - Imp	9,19 A	10,37 A
Açık Devre Gerilimi - Voc	47,0 V	40,8 V
Açık Devre Akımı - Isc	9,51 A	10,99 A
NOCT (°C)	45±2°C	45±2°C
Maksimum Sistem Gerilimi	1 000 / 1 500V DC	1 000V DC
Sıcaklık Katsayısı [V] - [I] - [P]	-0,28 %/°C, +0,05 %/°C, -0,38 %/°C	-0,28 %/°C, +0,05 %/°C, -0,36 %/°C
Maksimum Ters Akım	20 A	20 A

Çizelge 5. Panel bilgileri

Modül	Solar Panel (Mono) Crystalline 550 WATT
Top. Panel Sayısı	11.290 Adet
Hücre Sayısı	144 Adet
Modül Boyutları (LxWxH)	2.279x1.134x35 mm
Solar Kablo	4 mm ²
Elektriksel Bağlantı Bilgileri	
Panelin Maks. Güç - Pmax	550 Wp
Güç Toleransı	(0, +3%)
Maks. Güç Gerilimi - Vmpp	42,05 V
Maks. Güç Akımı - Imp	13,08 A
Açık Devre Gerilimi - Voc	49,70 V
Açık Devre Akımı - Isc	14,00 A
NOCT (°C)	45±2 °C
Maks. Sistem Gerilimi	1.500V DC
Sıcaklık Katsayısı [V] - [I] - [P]	-0,27 %/°C, +0,05 %/°C, -0,35 %/°C
Maks. Ters Akım	25 A

2.2 Kampüs İçin GES Yerleşimi

ISUBÜ batı yerleşkesi, 37°49'48.30''K enlem ve 30°31'30.29''D boylamında yer almaktadır. Yerleşim yapılacak çatı alanı yaklaşık 4.054,875 m²'dir. Planlanan panel için uygun yerleşim ve toplam modül alanı 28.656 m² olarak belirlenmiştir. Half-cut monokristal panel kullanılabilir en verimli panel olarak belirlendiği için

yerleşimde 550 Wp half-cut monokristal panel kullanılmıştır. Panelin ve inverterin veri bilgileri Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. String (dizi) inverterler genellikle daha ekonomik olup, bakım ve değişim süreçleri daha kolaydır. Herhangi bir arıza olması durumunda merkezi inverterlerde daha fazla kayıp oluşmakta iken string inverterler kullanıldığında daha az kayıpla, daha kolay bakım ve onarım ile sistem arızaları düzeltilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada merkezi 1 ya da 2 adet inverter kullanmak yerine 62 tane 100 kW'lık string inverter kullanılmıştır.

Çizelge 6. İnverter bilgileri

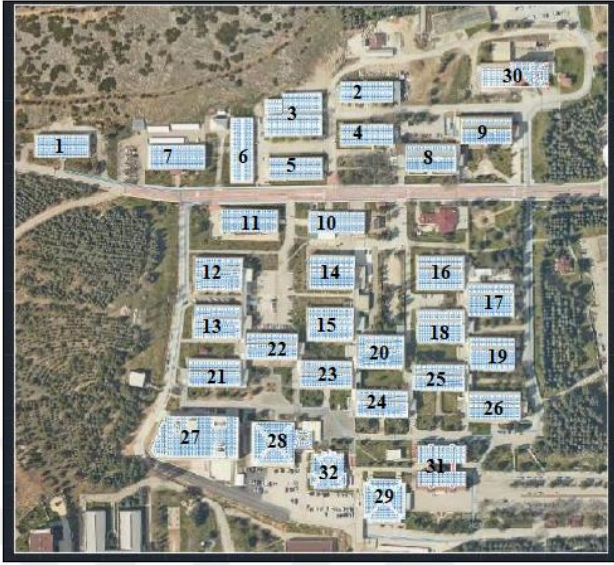
İnverter Tipi	String
Giriş Kısmı Özellikleri	
Maks. DC Giriş Gerilimi	1.100 V
DC Giriş Bağlantı Tipi	PV Konnektör
MpPt Giriş Gerilim Aralığı	200-1.000 Vac
Bağımsız MPPT Sayısı/Dizi Giriş Sayısı	10 / 2
Maks. Giriş Akımı/Kısa Devre Akımı	26A / 40A
Bağımsız MPPT sayısı	10
ÇIKIŞ	
Çıkış Fazları / Hat Bağlantıları	3 Faz/N/PE
Maks. AC Çıkış Akımı	3x160,4 A
AC Gerilim Aralığı	380V-480V
Nominal AC Şebeke Gerilimi	400 V
Nominal Güç Faktörü	0,98
AC Güç Frekansı	50 Hz, 60 Hz
KORUMA (GİRİŞ-ÇIKIŞ)	
Toprak Hata Gösterimi	Mevcut
Koruma Sınıfı	IP66
DC Ters Polarite Koruması	Mevcut
AC Kısa Devre Akım Kapasitesi	Mevcut
DC Ters Bağlantısız Koruma Aygıtı	Mevcut
DC Parafudr	Mevcut
Şebeke Hata Gösterimi	Mevcut
ÇALIŞMA PERFORMANSI	
Maks. Verimlilik	98,60%
Ortalama Verimlilik	98,40%

Binaların tamamının ölçüleri çıkarılmış, hepsi için uygun kriterlerde yerleştirilebilecek en fazla sayıda panel konulmuştur. Bina üzerinde yer alan havalandırma, baca gibi cisimlerin gölge düşen bölgelerine panel konulmasına özen gösterilmiş, paneller arasında işçiler için yeterli yürüyüş yolu bırakılmış, güvenlik nedeniyle çatı uçlarında 35 cm'lik boşluklar bırakılmış ve uygun dizileme ile maksimum verim hedeflenmiştir. Şekil 1'de ISUBÜ çatı GES için yapılan yerleşim ve bina numaralandırması verilmiştir. Toplam 11.290 Adet 550 Wp panel kullanılmıştır. Buradan elde edilen güç $11.290 \times 0,550 = 6.209,5$ kWp'dir. Bire bir oran gözetilerek AC güç 6.200 kWp olarak alınmıştır.

3. Bulgular

3.1 ISUBÜ batı yerleşkesi binaların PVsyst, SAM ve PVSOL analizi

ISUBÜ batı yerleşkesinde toplam 32 bina ve 40.542,87 m²'lik alana yapılan yerleşimde, tüm binaların üretim verileri ayrı ayrı sırasıyla PVsyst, System Advisor Model (SAM) ve PVSOL üzerinden hesaplanıp toplam üretimler Çizelge 6'da gösterilmiştir. 32 bina için çatı alanları ve aylara göre üretimler tek tek hesaplanmıştır. Binaların çatı alanları, panel sayıları, panel yüzeyleri ve yıllık enerji üretimleri de Çizelge 6'da mevcuttur. SAM yazılımı Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir ve güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin tasarımı ve analizi için kullanılmaktadır.



Şekil 1. ISUBÜ çatılarına yapılan yerleşim ve binaların numaralandırılması

Bu yazılımda belirlenen koordinatla çağrılan hava verileri girilmiştir. ISUBÜ batı yerleşkesi koordinatlarına dair kullanılan veriler şu şekildedir; global yatay ışınım değeri 4,67 kWh m²/gün, direkt ışınım değeri 5,34 kWh m²/gün, yatay difüz ışınım 1,49 kWh m²/gün, ortalama sıcaklık değeri 13,3°C, ortama rüzgar hızı 2,1 m/s. PVsyst yazılımında kullanılan aynı inverter ve panel kullanılmıştır. Sistem tasarımı aşamasında inverter sayıları ve panellerin dizeleme sayıları, baktıkları yön ve derece detayları girilmiştir. Sistem tasarımı verileri PVsyst verileri ile benzer tutularak sağlıklı bir kıyaslama yapılması planlanmıştır. SAM yazılımında sonuç olarak, 32 binadan oluşan 40.542,87 m² alana 6.209,5kWp / 6.200 kWe olacak şekilde tasarlanan Güneş Enerji Santralinde; 62 tane 100 kW'lık inverter 11.290 tane 550 Wp'lık monokristal panel, kullanılmıştır.

PVSOL ise fotovoltaik projelerin tasarımının yapılması optimizasyonun sağlanması ve performans analizi için kullanılan bir diğer yazılımdır. PVSOL bataryalar, güneş panelleri, kablolar ve invertörler gibi sistem

parametreleriyle alarak GES'in performansını benzetim yoluyla elde eder. Güneş ışığı, gölgelenme, hava yönlendirme ve eğim açıları gibi faktörleri de göz önünde bulundurduğu için bu program gerçeğe oldukça yakın analizler elde etmektedir. PVSOL analizi için diğer iki yazılımda olduğu gibi yazılımın kullandığı meteorolojik hava verileri kullanılmıştır. Binaların sistem tasarımları, malzemeleri ve yönleri PVsyst ve SAM analizlerindekiyle aynı tutulmuştur.

Çizelge 7. ISUBÜ binalarından elde edilen üretimler

Bina no	Çatı Alanı (m ²)	Panel Sayısı (Adet)	Panel Yüzeyi (m ²)	PVsyst analizi Yıllık Üretim (MWh)	SAM analizi Yıllık Üretim (MWh)	PVSOL analizi Yıllık Üretim (MWh)
1	940	294	759,8	213,09	206,86	210,83
2	940	294	759,8	213,09	206,86	210,83
3	1.757,5	536	1.385,2	388,15	397,36	382,72
4	955	294	759,8	215,69	211,83	210,78
5	955	294	759,8	215,69	211,83	210,78
6	1.160,25	350	904,5	253,10	268,32	249,43
7	1.112,8	374	966,6	275,92	281,36	269,52
8	2.332,4	291	752,1	211,51	216,16	226,08
9	2.332,4	291	752,1	211,51	216,16	226,08
10	1.033,5	330	852,8	243,66	248,53	237,63
11	1.086,5	352	749,9	259,73	262,16	177,77
12	1.247	366	945,9	262,4	259,36	269,13
13	1.247	366	945,9	262,4	259,36	263,13
14	1.247	360	930,4	265,03	276,59	265,23
15	1.247	360	930,4	265,03	276,59	265,23
16	1.290	360	930,4	268,19	271,34	265,88
17	1.290	360	930,4	268,19	271,34	265,88
18	1.290	360	930,4	268,19	271,34	265,88
19	1.290	360	930,4	268,19	271,34	265,88
20	1.268,5	374	966,6	273,3	275,77	274,29
21	1.104	300	775,3	221,06	228,71	220,23
22	1.104	300	775,3	221,06	228,71	220,23
23	1.104	300	775,3	221,06	228,71	220,23
24	1.104	300	775,3	221,06	228,71	220,23
25	1.104	300	775,3	221,06	228,71	220,23
26	1.104	300	775,3	221,06	228,71	220,23
27	3.056	692	1.788,4	490,24	507,88	493,78
28	1.841,05	484	1.250,8	344,14	354,68	348,14
29	1.369	352	1.308,53	256,59	264,34	244,21
30	1.419,37	322	832,2	234,76	244,13	233,42
31	1.422	440	1.137,1	321,33	333,13	314,04
32	1.122	234	604,7	182,5	173,38	169,83
toplam	40.542,87	11.290	18.221,03	8.257,98	8.410,43	8.143,93

SAM yazılımının toplam üretim değeri 8.410,43 MWh iken PVsyst verilerine göre 8.257,98 MWh olarak kaydedilmiştir. Buradan iki yazılım arasında 152,45 MWh fark gözlemlenmiştir. PVSOL üzerinden toplam 8.143,93 MWh üretim gerçekleştirildiği görülmektedir. Sam yazılımda en fazla üretim elde edilmiştir PVSOL'de ise en düşük üretim görülmüştür. Aradaki farklar oldukça düşüktür ve bu farkların yazılımların kendi boyutlandırma

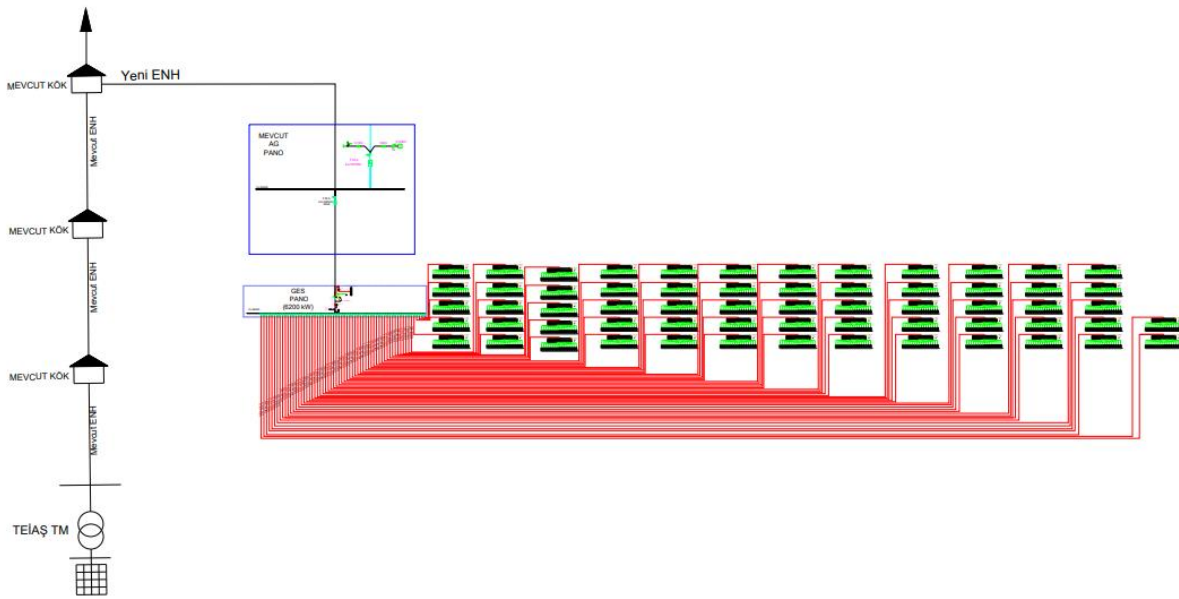
hesaplarından ve veri tabanlarından kaynaklandığı öngörülmektedir.

3.2 Güneş Enerji Santralinin Modellenmesi

SketchUp, kullanıcıların yüzeyleri birleştirme, geometrik çizim, düzenleme ve boyutlandırma gibi işlemleri yapabildiği, 3 boyutlu modelleme ve tasarım yapmak için kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım, çizimleri daha gerçekçi görebilmek için ışık, renk ve malzeme özelliklerine de sahiptir. SketchUp programında tasarımı yapılan ISUBU GES için ISUBU batı yerleşkesi 3 boyutlu modellemesi çizilip panellerin yerleşimleri gösterilmiştir. 3 boyutlu modellenen binalar Şekil 2.'de gösterilmiştir. GES elektiriksel bağlantı şeması ise Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. ISUBU üç boyutlu modeli



Şekil 3. GES elektiriksel bağlantı şeması

3.3 Panellerin Dizi Hesabı

Fotovoltaik panel dizileri, uygun inverter gerilim ve akımına göre belirlenir ve MC4 konektörler aracılığıyla eviriciye bağlanır. Güvenli dizi değerini bulmak amacıyla Isparta'da en yüksek sıcaklık 45°C, en düşük sıcaklık ise -15°C olarak kabul edilmiştir. Diziler 18 ve 19'lu olarak hesaplanmış ancak uygunluk 18'li diziler üzerinden değerlendirilecektir. Hesaplama sırasında Çizelge 5 ve Çizelge 6'daki panel ve inverter bilgileri kullanılmıştır. Dizideki evirici sayısı 60, modül sayısı ise 18 olarak belirlenmiştir ve toplam dizi sayısı 604 olarak hesaplanmıştır.

- V_{ocmax} = En yüksek açık devre gerilimi
- V_{ocmin} = En düşük açık devre gerilimi
- V_{oc} = Açık devre gerilimi
- TC_{VOC} = Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı
- t_{min} = En düşük sıcaklık değeri
- t_{max} = En yüksek sıcaklık değeri
- t_{nom} = PV standart test koşulları

- V_{mmpmax} = En yüksek mppt gerilimi
- V_{mmp} = En yüksek güç gerilimi
- TC_{Vmpp} = Gerilimi sıcaklık katsayısı
- V_{mmpmin} = En düşük mppt gerilimi
- N_{max} = En yüksek panel sayısı
- N_{min} = En düşük panel sayısı
- $U_{max.mpp}$ = İnverter en yüksek gerilim akımı
- $U_{min.mpp}$ = İnverter en düşük gerilim akımı
- V_{mmp} = En yüksek güç gerilimi

ifade eder ve eviriciye gelebilecek en yüksek elektrik yükü hesabı (-15 °C 'de modüllerdeki elektrik yükü) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{ocmax} = V_{oc} \left[\left(1 + \left(TC_{VOC} \frac{t_{min} - t_{nom}}{100} \right) \right) \right] \quad (1)$$

Değerler yerine konursa sonuç $49,7 \times [1 + (-0,27 \times ((-15) - 25)/100)] = 55,07$ olarak hesaplanır.

Dizede 18 tane modül vardır ve dizedeki toplam elektrik yükü aşağıdaki eşitlik ile bulunur

$$V_{ocmax} = V_{oc} * \text{modül sayısı} \quad (2)$$

Açık devre gerilimi 1100 volttan düşük olmalıdır. Buradan $55,07 \times 18 = 991,22 < 1100$ V UYGUNDUR.

En yüksek mppt gerilimi (-15 °C 'de modüllerdeki elektrik yükü) eşitlik 3 'ten hesaplanır

$$V_{mmpmax} = V_{mmp} \left[\left(1 + \left(TC_{V_{mpp}} \frac{t_{min} - t_{nom}}{100} \right) \right) \right] \quad (3)$$

Eşitlikte ifadelerin yerine sayısal değerler konulduğunda $42,05[(1+(-0,35((-15)-25)/100))]= 47.94$ olarak bulunur. Dizedeki toplam elektrik yükü aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$V_{mmpmax} = V_{mmp} * \text{modül sayısı} \quad (4)$$

Toplam elektrik yükü 1000 volttan düşük olmalıdır. Buradan $47,94 * 18 = 862,87 < 1000$ V UYGUNDUR.

Eviriciye gelebilecek En düşük mppt gerilimi (45 °C 'de modüllerdeki elektrik yükü) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır

$$V_{mmpmin} = V_{mmp} \left[\left(1 + \left(TC_{V_{mpp}} \frac{t_{max} - t_{nom}}{100} \right) \right) \right] \quad (5)$$

Eşitlikte ifadelerin yerine sayısal değerler konulduğunda $42,05[(1+(-0,35((45)-25)/100))]= 39,11$ olarak bulunur. Dizedeki toplam elektrik yükü aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$V_{mmpmin} = V_{mmp} * \text{modül sayısı} \quad (6)$$

Eşitliğinde en düşük mppt gerilimi 200 volttan yüksek olmalıdır. $18 * 39,11 = 703,92 > 200$ V UYGUNDUR.

En düşük dizi gerilimi (45°C 'de modüllerdeki elektrik yükü) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır;

$$V_{ocmin} = V_{oc} \left[\left(1 + \left(TC_{V_{oc}} \frac{t_{max} - t_{nom}}{100} \right) \right) \right] \quad (7)$$

Eşitlikten $49,7 * [(1 + (-0,27 * (45-25)/100))] = 47,02$ olarak bulunur. Dizedeki toplam elektrik yükü aşağıdaki eşitlikten hesaplanır

$$V_{ocmin} = V_{oc} * \text{modül sayısı} \quad (8)$$

Minimum açık devre gerilimi 200 volttan büyük olmalıdır. $18 * 47,02 = 846,29 > 200$ V UYGUNDUR .

En düşük ve en yüksek DC giriş kontrolü için dizideki maksimum panel sayısı: $N_{max} = U_{max.mpp} / V_{mmp}$ olmalıdır Buradan $1000/42,05 = 23,8$ olarak bulunur ve dizelerde en yüksek panel sayısı aşılmamıştır.

Dizideki en düşük panel sayısı; $N_{min} = U_{min.mpp} / V_{mmp}$ olmalıdır ve değeri $200/42,05 = 4,8$ 'dir. Bu sayede dizelerde en düşük panel sayısı aşılmamış olur. $N_{max} > N > N_{min}$ 18 UYGUNDUR. Eşitliği sağladığı için 18'li dize uygunluğu bulunur.

3.4 GES'in Fizibilite Hesabı

ISIBÜ batı yerleşkesi için yapılan GES benzetim çalışmasında elde edilen üretim verileri ile üniversitenin hem doğu hem de batı yerleşkelerinin tamamı için hesaplanan tüketim miktarının ne kadarını karşıladığı incelenmiştir.

Kampüs elektrik tüketimi

ISIBÜ yapı işleri ve teknik daire başkanlığı tarafından sağlanan kampüsün hem doğu hem de batı yerleşkelerini kapsayan üniversitenin 2019 yılı tüketimleri Çizelge 8'de verilmiştir. Kampüsün su ihtiyacı, su kuyularından karşılanmaktadır bu nedenle elektrik tüketimi hesabına dâhil edilmiştir.

Çizelge 8. 2019 Yılı ISIBÜ toplam elektrik tüketimi (kWh)

Aylar	Rektörlük Merkez Yerleşkesi	İçme Suyu Bozanönü Yolu Tr-1	İçme Suyu Bozanönü Yolu Tr-2	İçme Suyu Bozanönü Yolu Tr-3
1	1.055.400,00	44.060,08	13.686,73	9.500,00
2	985.123,32	41.608,80	13.244,19	10.175,60
3	1.055.300,00	42.873,32	15.474,63	7.163,08
4	980.841,25	44.300,20	15.783,70	3.538,44
5	839.753,00	44.866,44	28.340,08	17.212,72
6	702.689,09	79.797,04	34.142,50	30.905,92
7	816.840,00	94.478,24	45.119,58	43.104,44
8	768.918,75	88.167,76	48.251,96	46.193,57
9	681.375,00	81.994,74	45.373,33	39.664,16
10	878.345,9	63.426,95	34.746,00	30.978,73
11	1.027.465,21	38.588,75	13.335,00	15.585,34
12	1.179.130,70	43.249,74	11.324,65	7.536,65
Toplam	10.971.182,22	668.823,31	318.822,35	2.611.558,65

Çizelge 8’de görüldüğü üzere üniversitenin toplam elektrik tüketimi 12.220.387 kWh olarak belirlenmiştir.

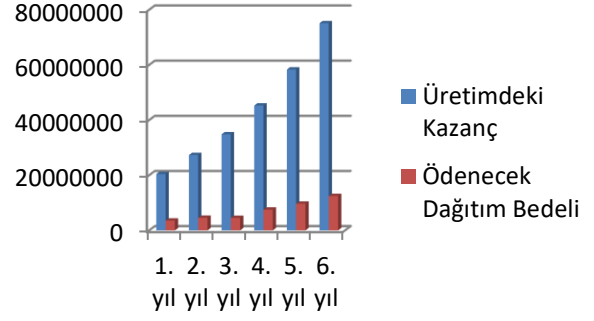
Sistem Karlılığı

Kampüsün tüketim ve üretim miktarları karşılatılarak sistem karlılığını hesaplamak hedeflenmiştir. Bu sayede yatırım maliyeti ve yıllık kazanç oranları belirlenebilecektir. Dağıtım bedeli ve elektrik satış fiyatları EPDK’nın sitesinden alınmıştır. 1/4/2023’ten itibaren geçerli elektrik tarife fiyatları kullanılmıştır. “Kamu ve özel hizmetler sektörü ile diğer” başlığında yer alan orta gerilimli, tek terimli tarifeleri kullanılmıştır. Enerji bedeli (kr/kWh) 2,2637 TL alınırken dağıtım bedeli (kr/kWh) 0,6684 TL olarak alınmıştır(epdk.gov.tr,2024). Bu bilgiler ışığında 6 yıllık sistem kazancı hesaplamak amacıyla Çizelge 8’den başlayarak ilk yılın üretim - tüketim tablosu hazırlanıp sistem kazancı hesaplanmıştır. 6 yıl boyunca aylık ve yıllık üretim ve tüketim miktarları Çizelge 9’da görüldüğü gibi sabit varsayılmıştır.

Çizelge 9. Kampüs enerji üretim ve tüketim miktarı

	Üretim (kW/h)	Tüketim (kW/h)
Ocak	348.550	1.122.647
Şubat	417.060	1.050.152
Mart	655.860	1.120.811
Nisan	786.520	1.044.464
Mayıs	950.210	930.172
Haziran	1.044.890	847.535
Temmuz	1.061.580	999.542
Ağustos	930.310	951.532
Eylül	793.710	848.407
Ekim	561.180	1.007.498
Kasım	397.830	1.056.386
Aralık	310.280	1.241.242
Toplam	8.257.980	12.220.387

6 yıl boyunca her ay için üretimdeki kazanç; üretim miktarı ile enerji bedeli çarpımı üzerinden ve ödenecek dağıtım bedeli ise tüketim miktarı ile üretim miktarı arasındaki mutlak farkın dağıtım bedeli ile çarpımı üzerinden hesaplanmıştır. Yıllık toplam sistem kazancı ise; üretimdeki yıllık kazanç iler yıllık toplam ödenecek dağıtım bedeli arasındaki farktır. Geçmiş yıllardaki artışlar göz önünde bulundurularak yıllar itibariyle enerji bedeli ve dağıtım bedelinde yıllık ortalama %28,8’lik bir artış olacağı varsayılmıştır. Aynı zamanda yıl içerisinde de her yılın Nisan ayında %13 ve Ekim ayında %14’er artış olacağı varsayılmıştır.6 yıl boyunca üretimdeki kazanç ile ödenecek dağıtım bedellerindeki değişimi gösteren sütun grafik Şekil 4’de sunulmuştur. 6. yılın sonunda toplam sistem kazancı 218.948.402 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Sistem karlılığı grafiği

Sistem Ömrü

ISIBÜ için hazırlanan GESin kampüsün enerji ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Ancak sistem ömrü ve maliyetini de göz önünde bulundurmak gerekir. Kurulum aşamasında sistemin tahmini ilk yatırım maliyeti 182.500.000 TL olarak hesaplanmıştır. Çizelge 10 maliyet kalemlerini ve tutarlarını göstermektedir.

Çizelge 10. Sistemin tahmini ilk yatırım maliyeti (TL)

Maliyet Kalemleri	Tutarlar
Panel	94.000.000
İnverter	12.000.000
Haberleşme Cihazı, Trafolar	590.000
Taşıyıcı Sistem	16.500.000
(DC, AC, AG) Kablolar	13.750.000
Elektirik Sarf Malzemeleri, Sayaç vb.	44.500
İşçilik, Nakliye, Vinç Taşıma	8.200.000
Projelendirme	7.000.000
Ara Toplam	152.084.500
Vergiler	30.416.900
Toplam	182.501.400

Santral gerek çevresel gerekse donanımsal sebeplerden belli bir süre içerisinde yıpranmaya başlayacaktır. Yıpranmaya sebebiyet verecek temel etkenler; aşırı soğuk kışlarla ilişkili donma suyu, yüksek yoğunluklu UV radyasyonu ile birlikte aşırı sıcaklıklar, kuvvetli rüzgar, dolu fırtınası, yüksek sıcaklık dalgaları ve uzun süreli yüksek miktarda nem oranı olarak gösterilebilir. Bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda kurulan santral ömrü ortalama 40 yıl olarak belirlenmiştir. Bu sürenin sonunda panel verimliliğinin %40 seviyelerine düşmesi beklenmektedir. Sistem panel değişimi ile birlikte tamamlanan panellerin hurda değeri ise hesap tarihi itibariyle ortalama piyasa değerleri üzerinden 21.400.000 TL olarak ön görülmüştür.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Dünyada nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerle enerjiye olan bağımlılık artmaktadır. Yenilenemez kaynakların

çevreye zarar vermesi ve yetersiz kalması yeni kaynak arayışlarını zorunlu kılmıştır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu, güvenli ve sürdürülebilir olmalarıyla öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi, temiz enerji kaynaklarının başında gelmektedir ve bu çalışmaya da temel olmuştur.

Bir GES çalışmasını yapılabilmesi için Güneşten ulaşan ışınım değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Daha sonra uygun ekipman seçimi yapılmalıdır. Bu çalışmada uygulamanın yapılacağı alan olan ISIBÜ kampüsü için ilgili değerler hesaplanmış ve en uygun panel seçimi araştırılmıştır. PVSyst yazılımında eşit şartlar gözetilerek kampüste seçilen tek bir bina üzerinde ikiye bölünmüş biçimde sırasıyla polikristal ve monokristal, monokristal ve monokristal bifacial, half-cut monokristal ve monokristal panel karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda half-cut monokristal panel daha verimli ve yüzeye uygulanabilir bulunmuştur.

ISIBÜ batı kampüsünde yer alan 32 binaya yapılan tasarımında toplam 40.542,87 m² çatı alanına 11.290 panel yerleştirilmiştir. Bu yerleşimlerde 550 Wp'lik paneller kullanılmıştır. 32 bina toplamında panel yüzeyi 18.221,03 m²'dir. Tüm santral için toplamda 62 adet 100 kW'lık inverter seçimi yapılmıştır.

Daha sonra GESin yılda ne kadar üretim sağlayacağı araştırılmıştır ve daha iyi sonuç elde edebilmek için üç farklı yazılım programı kullanılmıştır. Sırasıyla bu yazılım programları PVSyst, SAM ve PVSOL olarak seçilmiş ve üretim için analiz yapılmıştır. Amaç tasarlanan bu GES projesinin ne kadar üretim yapabileceğini öngörmektir. Yazılımların aynı konum için kendi hava durumları verileri kullanılarak hesaplamalarda meydana gelen farklar izlenmiştir. SAM yazılımı için 8.410,43 MWh, PVSyst verilerine göre 8.257,98 MWh, PVSOL üzerinden toplam 8.143,93 MWh şeklindedir. Meydana gelen farklılıkların nedenleri; hava durumu verilerindeki farklılıklar, yazılımlardaki hata oranı, kayıp oranı vb.dir. ISIBÜ doğu ve batı yerleşkelerinin bir yıldaki toplam tüketimi 12.220.387kWh'dir. Yapılan analiz sonucu sadece batı yerleşkesine yapılacak GES tüm üniversitenin yaklaşık %67'lik enerji ihtiyacını karşılayabilir. Sistemin kampüse altı yılda 218.948.402 TL mali kazanç sağlaması beklenmektedir.

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, sera gazı üretimini engelleyerek küresel ısınmaya karşı direnç sağlar. Bu prensip doğrultusunda hazırlanan GES santrali, karbon ayak izini azaltmada önemli bir rol oynar. Bu bağlamda kurulan bu GES sistemi ile 3.967,42 kg/yıl CO₂ emisyonu engellenmiştir. Engellenen bu emisyon değeri ise yılda 176.330 ağaca denktir.

Yapılan bu çalışma ile ISIBÜ örneğinde kampüsler için kurulacak güneş enerji santralinin kampüsün enerji tüketimini karşılama yeterliliği, doğaya katkısı ve sağlayacağı mali kazanç araştırılmış ve sonuçları sunulmuştur.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Yazma – orijinal taslak Görselleştirme, Yorumlama, Biçimsel analiz

Yazar2: Araştırma, Deneyleme, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Fikir Sahibi

Yazar 3: Araştırma, Fikir Sahibi, Doğrulama, Danışmanlık

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Buldu, B., ve Külekçi C., 2008. *Mersin İlinin Güneş Potansiyeli ve Mevcut Durumu*. VII Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu., İstanbul, Türkiye, 385-394.
- Ortaçtepe, Y. C., 2011. Güneş Pillerinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,96.
- Saxena, N.N., Kumar, P., 2021. A Review on Application of Solar Energy in Agriculture Sector. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM)*, **8**, **6**, 136-139.
- Aliyu, M., Hassan, G., Said, S.A., Siddiqui, M.U., Alawami, A.T., Elamin, I.M., 2018. A review of solar-powered water pumping systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **87**, 61–76
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.010>.
- Zhang, L., Lv, M., Meng, J., Du, H., 2017. Optimization of solar-powered hybrid airship conceptual design. *Aerospace Science and Technology*, **65**, 54–61.
<https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.02.016>.
- Cardinaletti, I., Vangerven, T., Nagels, S, Cornelissen, R., Schreurs, D., Hruby, J., Vodnik, J., Devisscher, D., Kesters, J., D'Haen, J., 2018. Organic and perovskite solar cells for space applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **182**, 121–127.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.03.024>.
- Zhu, X., Guo, Z., Hou, Z., 2014. Solar-powered airplanes: A historical perspective and future challenges. *Progress in Aerospace Sciences*, **71**, 36–53.
<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2014.06.003>
- Muhida R., Ali M., Kassim P.S.J., Eusuf M.A., Sutjipto A., Afzeri, 2009. A Simulation Method to Find the Optimal Design of Photovoltaic Home System in Malaysia, Case Study: A Building Integrated Photovoltaic in Putra

Jaya. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **53**, 694-698.

Hosseini Dehshiri, S.S., Hosseini Dehshiri, S.J., Firoozabadi, B., 2023. Evaluation of using solar energy in Iran's textile industry towards cleaner production: sustainable planning and feasibility analysis. *Journal of Cleaner Production*, **421**, 138447
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138447>

Zahedi, R., Sadeghitabar, E., Ahmadi, A., 2022. Solar energy potential assessment for electricity generation in the southeastern coast of iran. *Future Energy*, **2(1)**,15-22.
<https://doi.org/10.55670/fpll.fuen.2.1.3>

Akyazı, Ö., Şahin, E. & Kahveci, D. C. ,2019. Fotovoltaik panel ve şebeke entegrasyonlu akıllı sokak lambası tasarımı ve uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 356-360.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.638314>

Güner, S. & Muharremoğlu, A., 2020. Bir Havalimanı Otoparkına Kurulabilecek Fotovoltaik Üretim Sisteminin Tasarımı ve Enerji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **19**, 182-188.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.713529>

Dandıl, E. & Gürgen, E., 2019. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **16**, 146-158.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.540262>

Türkdogan, S., Mercan, M.T.& Çatal, T., 2020. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: teknik ve ekonomik analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **18**, 476-485.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.688048>

Yağlı, H. & Koç, Y. (2020). Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **19**, 475-483.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.733530>

İnternet kaynakları

1-<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>
(29/05/2024)