



## ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ FARABI YERLEŞKESİNDEKİ ELEKTRİK ENERJİSİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ KURULARAK ELDE EDİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Engin AY<sup>1</sup>, Nihat PAMUK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

**Özet:** Günümüzde, artan enerji maliyetleri nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyaçlarının ucuz ve temiz kaynaklardan karşılanması büyük önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ile, tüketiciler için oldukça yüksek maliyet oluşturan enerji giderlerinin temiz ve ucuz enerji kaynaklarından elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerle elektrik enerjisi üretiminde fotovoltaik enerji sistemlerinin kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Güneş panellerindeki yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile, ucuz maliyetli ve kurulum masraflarını daha kısa sürede amorti edebilecek verimli sistemler oluşturulmaktadır. Fosil yakıtlar kullanılarak üretilen elektrik enerjisindeki birim maliyet fiyatlarının çok yüksek olması ve çevreye verdiği ilave zararlar da göz önünde bulundurulduğunda, enerjinin bu tür kaynaklardan elde edilmesi durumu sürdürülebilir olmaktan uzaklaşmıştır. Bu çalışmada, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne ait Farabi yerleşkesinin elektrik enerjisi tüketim miktarları belirlenmiştir. Bu enerji ihtiyacının karşılanmasında çevreye zarar vermeyen, kısa süre içerisinde kurulum masraflarını karşılayabilen, uzun ömürlü ve yeni teknolojik teçhizatlar ile enerji üretebilen fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulumu hedeflenmiştir. Bu kapsamda yerleşke binalarındaki çatılarının kullanılması amaçlanarak mevcut kanun ve yönetmelikler göz önünde bulundurulmuş ve çatı tipi fotovoltaik enerji sistemleri tasarlanmıştır. PV-SOL benzetim programı kullanılarak tasarlanan enerji sisteminin teçhizat seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde yer alan 14 adet binanın çatısına toplam 1.917.44 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik enerji tesisinin kurulmasının uygun olacağı tespit edilmiştir. Kurulan bu tesislerden yıllık 2.354.885 kWh gücünde elektrik enerjisi üretilebileceği gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yenilenebilir enerji kaynakları, Elektrik üretimi, Çatı tipi güneş enerjisi sistemleri, PV-SOL


### Obtaining the Electricity Need in the Farabi Campus of Zonguldak Bulent Ecevit University by Establishing Solar Power Plants and Its Economic Analysis

**Abstract:** Nowadays, due to the increasing energy costs, it is of great importance to meet the electrical energy needs from cheap and clean sources. Along with the developing technology, energy expenditures, which constitute a very high cost for consumers, must be obtained from clean and cheap energy sources. For these reasons, the use of photovoltaic energy systems in electrical energy production has become quite common. With the development of semiconductor technology in solar panels, efficient systems are created that are inexpensive and can pay off installation costs in a shorter time. Considering the very high unit cost prices of electrical energy produced using fossil fuels and the additional damage it causes to the environment, the situation of obtaining energy from such sources is far from sustainable. In this study, the electrical energy consumption amounts of the Farabi campus of Zonguldak Bulent Ecevit University were determined. In providing this energy needs, it is aimed to install photovoltaic energy systems that do not harm the environment, can provide the installation costs in a short time, and can produce energy with long-lasting and new technological equipment. In this context, existing laws and regulations were taken into consideration and roof type photovoltaic energy systems were designed with the aim of using the roofs of the campus buildings. The equipment selection of the energy system designed using the PV-SOL simulation program has been carried out. As a result of the study, it was determined that it would be appropriate to install a photovoltaic energy facility with a total installed power of 1,917.44 kWp on the roof of 14 buildings located in the Farabi campus of Zonguldak Bulent Ecevit University. It has been shown that 2,354,885 kWh electrical energy can be produced annually from these established facilities.

**Keywords:** Renewable energy sources, Electricity generation, Roof type solar energy systems, PV-SOL

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

E mail: nihattamuk@beun.edu.tr (N. PAMUK)

Engin AY  <https://orcid.org/0000-0002-2060-9126>

Nihat PAMUK  <https://orcid.org/0000-0001-8980-6913>

**Gönderi:** 27 Mart 2023

**Kabul:** 17 Nisan 2023

**Yayınlanma:** 01 Temmuz 2023

**Received:** March 27, 2023

**Accepted:** April 17, 2023

**Published:** July 01, 2023

**Cite as:** Ay E, Pamuk N. 2023. Obtaining the electricity need in the Farabi Campus of Zonguldak Bulent Ecevit University by establishing solar power plants and its economic analysis. BSJ Eng Sci, 6(3): 173-184.



## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin üretilmesi, enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması günümüzün en önemli konularından bir tanesidir. Özellikle fosil yakıtlı enerji kaynaklarının yaygın bir şekilde kullanılması, bu kaynakların çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerinin azaltılması ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılabilmesi adına temiz enerji kaynakları kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların kullanımı birçok olumsuz çevre sorununu da beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların yakılmasıyla havaya salınan CO<sub>2</sub> gazının meydana getirdiği küresel ısınma, iklim değişimi gibi olaylar çevreye verilecek zararların artmasına neden olmaktadır. Kömür, petrol, linyit ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar uzun vadede enerji üretimi mümkün olmayan tükenbilir kaynak çeşitlerindedir (Kocalmış Bilhan ve Emikönel 2021).

Doğaya ve insanlara zarar vermeden elektrik enerjisi üretiminin yapılması ve ülkenin temiz enerji kaynakları ile elektrik enerjisi ihtiyacını karşılaması ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması ile mümkündür (Karaağaç ve ark., 2020). Enerjinin sürdürülebilirliğinin artırılması ve çevreye verilecek olan zararların en aza indirilebilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım sürelerinin artırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en yaygın olarak kullanılan enerji türleri güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biokütle enerjisidir (Koç ve Kaya 2015). Bu enerji kaynaklarına ilave olarak jeotermal, dalga ve hidrojen enerjisi de alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynağı olarak gösterilebilir (Emeksiz ve Fındık 2021). Bu tür enerji kaynakları atmosfere sera gazı yaymadıkları için temiz enerji kaynakları olarak kabul edilirler.

Son yıllarda güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten fotovoltaik enerji sistemleri hızla gelişmektedir. Bu nedenle küresel enerji piyasasındaki fotovoltaik enerji sistemlerinin önemi büyük oranda artış göstermektedir (Sak ve ark., 2019). Ülkemizde ve dünyada elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil kaynaklı yakıt kullanım oranları oldukça büyüktür. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketinden alınan verilere göre, 2022 yılı Ağustos ayı itibarıyla Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güçleri incelenmiştir. Yapılan incelemede, enerji üretiminin % 30,9 oranında hidrolik enerjisinden, % 24,7 oranında doğalgaz enerjisinden, % 20,6 oranında kömür enerjisinden, % 10,9 oranında rüzgâr enerjisinden, % 8,6 oranında güneş enerjisinden ve % 4,3 oranında ise diğer enerji kaynaklarından oluştuğu görülmektedir (TEİAŞ 2022). Buna karşın kurulu gücün yaklaşık % 45,3 oranında çevreye zararlı fosil kaynaklar kullanılarak oluştuğu tespit edilmiştir.

Ayrıca ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2022 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla 11382'ye yükselmiştir. Mevcut santrallerin 750 adedi hidroelektrik, 68 adedi

kömür, 358 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 345 adedi doğal gaz, 9308 adedi güneş, 490 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (Eralp 2023). Gelişen teknoloji ile dünya birincil enerji ihtiyacı 1973 ve 2022 yılları arasında iki kattan fazla artmıştır. 2014 yılındaki artış oranı ise bir önceki yıla göre % 0,9 düzeyindedir (Taştan ve Birol 2023). Artan bu ihtiyaç doğrultusunda yakın bir gelecekte petrol, doğalgaz, kömür gibi enerji kaynaklarının giderek azalacağı ve tükenme boyutuna ulaşacağı öngörülmektedir.

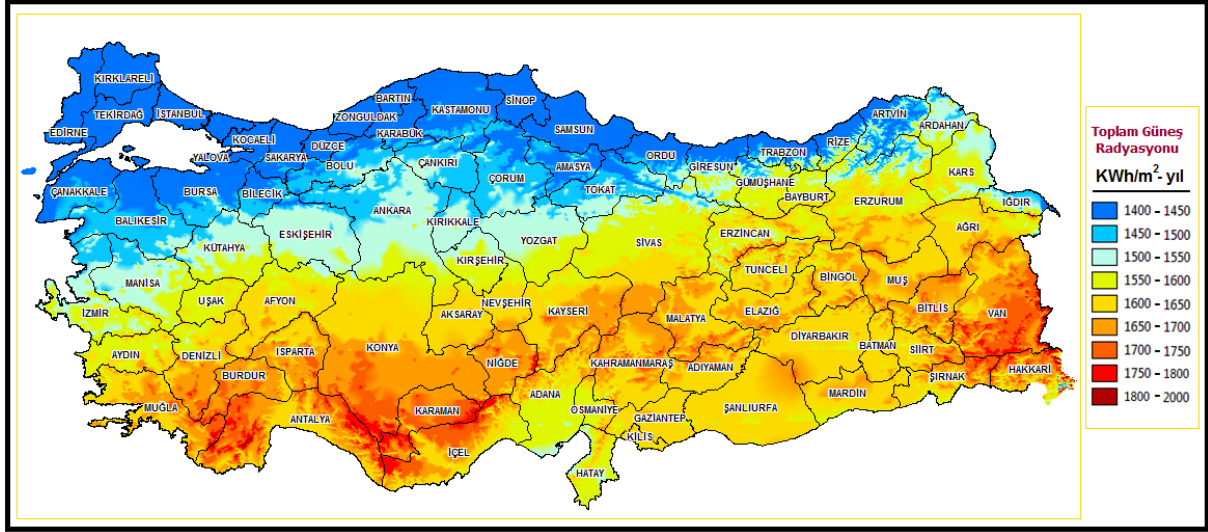
Ülkeler enerji kaynakları konusunda dışa bağımlılığı en aza indirme, iklimsel değişikliğinden ve aşırı kullanımdan kaynaklanan tükenbilir enerji kaynaklarının azalmasını önleme doğrultusunda çeşitli kararlar almaya başlamışlardır. Bu amaçla dünya çapındaki en büyük adım olarak, alternatif enerji kaynaklarına yönelme ve yatırımları bu doğrultuda yapma konusunda ortak kararlar alınmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bir yandan ekonomik büyüme ile sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği, diğer yandan ise ısı tutma etkisine sahip olan sera gazı salınım oranlarının azaltılmasında oynadığı etkili rol nedeniyle ele alınması gereken konuların başında gelmektedir. Son yıllarda teknolojik gelişmeler, yasal mevzuatlarda yapılan değişiklikler ve kurulum maliyetlerinin azalması gibi nedenlerle ülkemizde güneş enerjisi kaynaklı üretim tesislerinin yaygınlaştığı görülmektedir.

Türkiye'de ilk defa 10 Mayıs 2005 tarihinde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak "Elektrik Enerjisi Üretimine" ilişkin kanun çıkartılarak yasal düzenlemede önemli bir adım atılmıştır (5346 Sayılı Kanun 2023). Bu kanun ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli bir biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyon oranlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunması amaçlanmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi amacıyla 3 Aralık 2010 tarihinde 500 kW güç üretim değerini geçmeyen elektrik tesislerinin lisanssız olarak enerji üretebilmeleri amacıyla "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" yayınlanmıştır (Yönetmelik 2023). Kanun ve yönetmeliklerde yapılan düzenlemeler ile, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranları artırılmıştır. Bu alanda gerçekleştirilen teknolojik gelişmeler neticesinde özellikle güneş enerjisinin birincil enerji kaynağı olarak kullanılması yönünde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

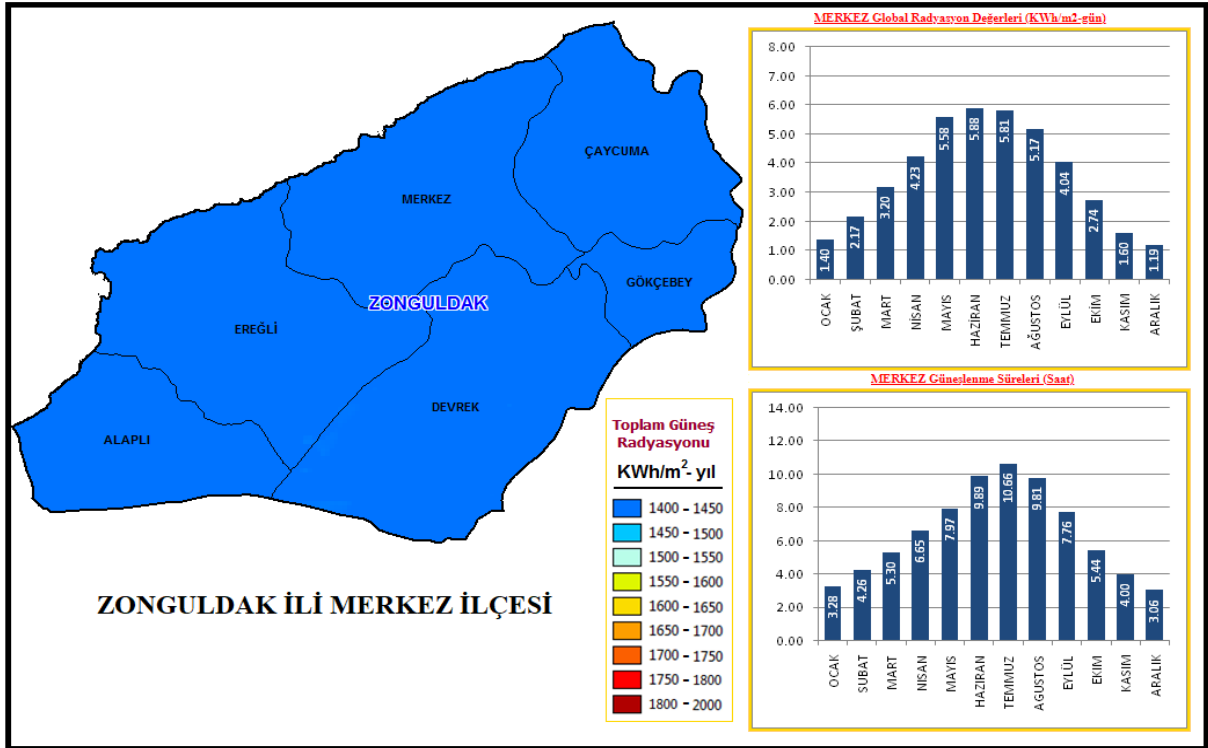
Şekil 1'de Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası gösterilmiştir. Ülkemizin güney bölgelerinin daha fazla güneş radyasyonuna sahip olduğu, kuzey bölgelerinin ise daha az güneş gücü potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırladığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 3,75 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 4.18

kWh/m<sup>2</sup>.gün) olmaktadır (GEPA 2023). Çalışmanın gerçekleştirildiği Zonguldak ili içerisinde ise yıllık toplam güneşlenme süresi 3,25 saat (günlük ortalama 6,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.313 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 3.60 kWh/m<sup>2</sup>.gün) olmaktadır. Şekil 2'de Zonguldak ili merkez ilçesine ait toplam güneş radyasyon değerleri, Global radyasyon değerleri ile

güneşlenme süreleri gösterilmiştir. Zonguldak ili merkez ilçesinin güneş enerjisi güç potansiyeli ülkemizin diğer bölgelerine oranla daha düşük değerlerde oluşmaktadır. Ayrıca bölgede yaygın olarak kömür madenleri bulunması nedeniyle, bölgede kömüre dayalı termik santraller yoğun olarak yer almaktadır.



Şekil 1. Türkiye'nin güneş enerjisi güç potansiyel atlası.



Şekil 2. Zonguldak ili merkez ilçesinin güneş enerjisi güç potansiyel atlası.

Bölgede kömür kaynaklarının yoğun olarak bulunması ve bir liman şehri olması nedeniyle, şehir merkezinin 18 km doğusunda Çatalağzı Belediyesi sınırları içerisinde toplam kurulu gücü 2.790 MW olan Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali de bulunmaktadır (Eren Enerji 2023). Son yıllarda bilim adamları tarafından yapılan çalışmalarda termik santrallerin kurulu olduğu

bölgelerdeki hava kalitesinin belirlenmesi amacıyla SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmektedir (Yılmaz ve ark., 2022). Çalışma bölgesinin hava kalitesi SO<sub>2</sub> yoğunluğu için tehlikeli, NO<sub>x</sub> yoğunluğu için sağlıklı, kötü ve tehlikeli, PM<sub>10</sub> yoğunluğu için ise iyi, orta ve hassas olarak belirlenmiştir (Zeydan ve Yıldırım 2015). Bu durum bölgedeki hava kirliliğinin yüksek boyutlarda

olduğunu göstermektedir. Ülkemizin toplam güneş radyasyon oranları Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırıldığında “Global Radyasyon Değerlerinin” ve “Güneşlenme Sürelerinin” daha yüksek olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği üye ülkelerinden Almanya, 2020 yılı aralık ayı itibarıyla 53.783 MW güneş enerjisi kurulu gücüne sahiptir (Anonim 2023). Bu durum Almanya’nın güneş enerjisi kurulu gücünün, ülkemizin güneş enerjisi kurulu gücünden yaklaşık 6 kat daha fazla olduğunu göstermektedir. Buna rağmen güneş enerjisi güç potansiyel haritaları incelendiğinde ise, Almanya’nın toplam güneş radyasyon oranının ülkemize oranla daha az olduğu görülecektir. Bu durum ülkemizde güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışma fosil kaynaklı yakıtlara dayalı enerji üretim tesislerinin yoğun olarak bulunduğu, hava kirliliğinin yüksek derecede olduğu, güneş enerjisi güç potansiyelinin ise ülkemizin diğer bölgelerine göre daha az olduğu bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesindeki toplam elektrik enerjisi ihtiyacı güneş enerjisi santralleri kurularak elde edilmiş ve kurulması planlanan tesisin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde bulunan binaların çatılarına şebekeye bağlı güneş enerjisi tesisleri kurulması planlanmış olup üretilen elektrik enerjisinin ilk etapta tüketim gerçekleştirilen binalarda harcanması hedeflenmiş, üretim fazlası elektrik enerjisinin ise mevcut şebeke bağlantısı aracılığıyla dağıtım sistemine verilmesi öngörülmüştür. Kurulacak tesislerden üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi dağıtım sistemine ait ölçü kısmında yer alan mevcut elektrik sayacının çift yönlü sayaç ile değiştirilmesi suretiyle ölçülecek ve mahsuplaşma işlemleri yapılacaktır. Çalışma alanlarında yer alan çatıların durumları incelenmiş güneşlenme durumları göz önüne alınarak güneş paneli yerleşimleri gerçekleştirilmiştir. Panel yerleşimleri sonrasında elde edilen kurulu güce göre inverter seçimleri gerçekleştirilmiş ve PVSOL programı yardımıyla benzetim çalışmaları yapılarak üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

## 2. Çalışma Alanlarının Belirlenmesi

Çalışma bölgesi olarak ülkemizin diğer coğrafi bölgelerine oranla daha düşük güneş enerjisi güç potansiyeline sahip olan Zonguldak ili seçilmiştir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesindeki Farabi Yerleşkesi Zonguldak ili merkez ilçesinde yer almaktadır. Farabi yerleşkesinde Fen Bilimleri Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Fen Fakültesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İlahiyat Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İletişim Fakültesi, kapalı spor salonu, kütüphane, yemekhane ve sosyal donatılara ait binalar bulunmaktadır.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesinde bulunan tesis ve binaların elektrik enerjisi

ihtiyaçları, elektrik enerjisi dağıtım şirketi ile imzalanan ve üç farklı noktadan yapılan abonelikler ile karşılanmaktadır (Yılmaz ve Temur 2022). Enerji dağıtım şirketi ile üniversite arasında “Farabi Kampüsü” isminde imzalanan birinci aboneliğin elektrik enerjisi tüketim değeri 2.600.000 kWh gücündedir. İkinci aboneliğin elektrik enerjisi tüketim değerleri ise 550.000 kWh gücünde ve Farabi yerleşkesi içerisinde bulunan Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binalarını kapsamaktadır. Üçüncü abonelik ise Yapı İşleri Teknik Dairesi Başkanlığına ait olup, elektrik enerjisi tüketim değeri 52.000 kWh gücündedir. Bu kapsamda Farabi Yerleşkesinin 2023 yılı için toplam elektrik enerjisi tüketim değeri olarak 3.210.000 kWh olacağı öngörülmektedir (Yılmaz ve Temur 2022). Tablo 1’de Farabi kampüsü ve Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binalarına ait elektrik aboneliklerinin aylık yaklaşık enerji tüketimleri yer almaktadır.

**Tablo 1.** Aboneliklere ait aylık yaklaşık enerji tüketimleri

Dönem	Farabi Kampüsü (kWh)	Teknolab A-B-C, (kWh)*
Ocak	200.000	43.000
Şubat	180.000	38.000
Mart	250.000	52.000
Nisan	255.000	54.000
Mayıs	265.000	56.000
Haziran	250.000	53.000
Temmuz	150.000	32.000
Ağustos	140.000	29.000
Eylül	230.000	48.000
Ekim	205.000	43.000
Kasım	240.000	52.000
Aralık	235.000	50.000

\*İş atölyeleri ve merkezi derslik binaları

Yerleşke içerisinde gerçekleştirilecek olan yıllık elektrik enerjisi tüketim miktarının çok yüksek olması nedeniyle elektrik enerjisi giderlerine yüksek oranlarda pay ayrılmaktadır. Bölge için elektrik enerjisi üretiminde çevreye zararlı fosil kaynakların yoğun olarak kullanılacak olması, söz konusu tüketilecek olan elektrik enerjisinin, temiz, yenilenebilir, çevreci ve ülke ekonomisine katkı sağlayan kaynaklar ile karşılanması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesindeki binaların elektrik enerjisi tüketim değerlerini karşılamak amacıyla yerleşke içerisinde güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üreten tesislerin kurulması planlanmıştır.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesi incelendiğinde, üniversite içerisinde yeterli büyüklükte boş arazilerin bulunmaması, mevcut binaların ve ağaçların ise yerleşke içerisinde kısmen boş olarak bulunan arazilerde gölgelenmelere sebep olacağı görülmüştür. Bu tür olumsuzluklar nedeniyle arazi uygulamalı tipte güneş enerjisi elektrik üretim sistemleri kurulmasının uygun olmayacağı değerlendirilmiş, buna göre çatı durumları uygun olan binalar dikkate alınarak

çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin kurulması planlanmıştır. Arazi uygulamalı güneş enerjisi tesislerinin çatı uygulamalı tesislere ilave olarak altyapı ve konstrüksiyon maliyetleri de içermesi nedeniyle daha yüksek ücretlendirme olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte çatı uygulamalı tesisin elektrik bağlantısının, kurulum yapılacak binaya ait ana elektrik dağıtım panosuna irtibatlanması maliyet ve kurulum açısından daha avantajlı olacağı tespit edilmiştir. Arazi uygulamalı tesis yapılması durumunda elektrik bağlantısının ise daha uzun mesafelerde bağlantı yapılacak aboneliğe ait ana dağıtım noktasına yapılmasına ihtiyaç olacağından bağlantı hattı işçilik ve maliyet giderlerinin daha yüksek olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle kampüs içerisinde yer alan bina çatılarına kurulum yapılmasının, arazi uygulamalı güneş enerjisi tesisi kurulumuna göre daha avantajlı olacağı değerlendirilmektedir.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesinde yer alan Mühendislik Fakültesi derslik ve laboratuvarlarından, Teknolab A-B-C binalarından, Mühendislik Fakültesi Ek binasından, Kapalı Spor Salonu binasından, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı binasından, Yemekhane ve Sosyal Tesis binalarından faydalanılmıştır. Ayrıca Maden Mühendisliği binası, İletişim Fakültesi binası, Güzel Sanatlar Fakültesi binası, Kütüphane ve İlahiyat Fakültesi binası, Yeni Fen Fakültesi binası ile İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi binasının da kullanılacağı değerlendirilmiştir. Söz konusu tüm binaların çatı durumları kurulum için incelenmiş ve kurulum açısından uygun olacağı değerlendirilmiştir. Şekil 3'te Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesindeki çalışma yapılacak olan binalar gösterilmiştir.



Şekil 3. Zonguldak Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde güneş enerjisi kurulması planlanan binalar.

Belirlenen bina gruplarından Teknolab A-B-C bloklarının ikinci grup elektrik aboneliği dağıtım kök noktasından ayrı olacak şekilde bağımsız olarak yapılmaktadır. Güneş enerjisi tesisi kurulacak olan diğer tüm binaların elektrik aboneliği ise birinci grup elektrik aboneliği şeklinde ve yine dağıtım kök noktasından ayrı olacak biçimde Farabi Kampüsü ismiyle bağımsız olarak yapılmaktadır. İki abonelik durumu için ayrı dağıtım kabinlerinde enerji tüketim değerlerini ölçecek şekilde elektrik sayaçları yer almaktadır. Mevcut elektrik sayaçları, çift yönlü elektrik sayaçları ile değiştirilmek suretiyle bina gruplarında üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi miktarlarının ölçülmesi gerçekleştirilecektir. Her bina çatısına yapılacak güneş enerjisi santralleri için bina ana dağıtım panoları yanına güneş enerjisi panosu kurulacak ve

koruma sistemleri bu panolar içerisine yerleştirilecektir. Birbirinden bağımsız iki ayrı enerji dağıtım kabininden yapılan elektrik enerjisi ölçümleri sonucunda tüketilen ve üretilen elektrik enerjisi değerleri aylık olarak hesaplanacak ve güncel yasal mevzuatlar çerçevesinde ay sonunda mahsuplaşma yapılmak suretiyle, üretilen enerji miktarı bedelleri tahsil edilmiş olacaktır.

Çatı tipi güneş enerjisi elektrik üretim tesisleri kurulumuna başlanılmadan önce, güncel Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği mevzuatı kapsamında ön çalışmalar yapılacak, gerekli belgelerle birlikte elektrik dağıtım şirketine bağlantı başvurusu yapılacaktır. Bağlantı başvurusu akabinde dağıtım şirketinden çağrı mektubu alınarak uygulama projelerinin hazırlanması aşamasına geçilecek ve hazırlanan projeler elektrik

dağıtım şirketine onaylatılacaktır. Hazırlanan uygulama projelerinde kurulum yapılacak çatı alanlarına ilişkin mimari ve statik hesap raporları, genel yerleşim planları, tek hat şemaları, panel-inverter uyumluluk hesap raporları, gerilim düşümü hesapları, kısa devre hesapları, topraklama ve yıldırımdan korunma planları, keşif özeti, mevzuat kapsamında istenilen ve ihtiyaç duyulabilecek diğer projelendirme işlemleri gerçekleştirilecektir. Uygulama projelerinin elektrik dağıtım şirketi tarafından onaylanmasının ardından imalatlara başlanılacak, tesis yapımı, uygulama projesi doğrultusunda fen, sanat kurallarına uygun olarak tamamlanacaktır. Tesis tamamlanmasından sonra elektrik dağıtım şirketiyle Dağıtım Sistemine Bağlantı Anlaşmaları imzalanacak, geçici kabul işlemleri yapılacaktır ve ardından sistem kullanım anlaşmaları imzalanarak üretim ve mahsuplaşma işlemlerine başlanılacaktır.

Çatı tipi güneş enerjisi tesislerinin kurulumuna başlamadan önce, gerçek duruma yakın sonuçlar verebilen benzetim programları ile ön fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen ön fizibilite çalışmalarının çıktıları ile tesisin ekonomik sonuçları, sistem verimliliği, doğaya katkısı hakkında önceden fikir sahibi olunmaktadır. Literatürde güneş enerjisi üretim sistemlerinin benzetimini gerçekleştiren, hesaplamalarını ve analizlerini yapan birçok program bulunmaktadır. Bu programlardan bazıları PVSOL, HelioScope, Polysun, PVsyst isimli programlardır. Ayrıca PVGIS gibi çevrimiçi veritabanı platformu olan programda sistem tasarımında kullanılmaktadır (Sarı ve Özyiğit 2020).

Benzetim programlarının doğruluğunun kanıtlanabilmesi amacıyla, 2004 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı (PVPS) kullanılmaya başlanmıştır (Jahn ve Nasse 2004). Benzetim çalışmasında Almanya'da 235 adet, diğer Avrupa ülkelerinde ise 133 adet kurulu güneş enerjisi santrallerinin verileri kullanılmıştır. 368 adet güneş enerjisi santralının PVSOL benzetim programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim çalışması sonuçları ile gerçek santral verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada benzetim sonucunda yıllık 793 kWh/kWp enerji üretimi gerçekleştirilirken ve % 73,6 sistem performans oranı elde edilirken, gerçek değerlerin yıllık 820 kWh/kWp enerji üretimi ve % 76,5 sistem performans oranı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda gerçek veriler ile PVSOL programı arasında elde edilen veriler arasında % 3-4 arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir (Ceylan ve Taşdelen 2018). Ayrıca benzetim sonuçları ile gerçek verilerin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise PVsyst, PVSOL, PVGIS simülasyon programları kullanmış ve PVSOL benzetim programıyla yapılan çalışma sonuçları ile gerçek veriler incelendiğinde hata payının % 4,84 olduğu tespit edilmiştir (Arslan 2022). Tüm bu çalışmalar tesis kurulumuna başlanmadan önce simülasyon sonuçları ile ön fizibilite çalışmalarının yapılabileceğini ve önceden fikir sahibi olunabileceğini göstermektedir.

### 3. Benzetim Çalışmaları

Bu çalışmada PVSOL benzetim programı kullanılarak hesaplama ve analizler gerçekleştirilmiştir. PVSOL benzetim programında şebekeye bağlı, öz tüketimli şebekeye bağlı, elektrikli cihazlı şebekeye bağlı PV sistemlerin, batarya sistemlerinin, elektrikli cihazlı şebekeye bağlı PV sistemlerin, elektrikli araçların, elektrikli cihazlı şebekeye bağlı PV sistemli elektrikli araçların benzetim çalışmaları yaygın olarak yapılmaktadır. Ayrıca batarya sistemlerinin, elektrikli aletlerin, termal sistem ile şebekeye bağlı PV sistemlerinin, şebekeden bağımsız PV sistemlerin, yedek jeneratörlü ve şebekeden bağımsız PV sistemlerinin bir yıllık süre zarfındaki projelendirme ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir. Benzetim programında 3D tasarım modülü kullanılarak tesislerin kurulmak istendiği alanlar görsel olarak modellenmektedir. Modelleme de gölge analizleri ve gölgelendirme kayıpları ayrıca dikkate alınmaktadır. Meteorolojik veri tabanı kaynağı olarak Meteororm kullanılmakta olup, bu çalışmada Zonguldak 1996-2015, Meteororm 8.1 veri tabanı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen binalar için öncelikle 3D tasarımları gerçekleştirilmiştir. 3D tasarım aşamasında PVSOL benzetim programındaki modül yerleştirme alanları belirlenerek her bir bina için panel yerleşimleri tasarlanmıştır. Tablo 2'de çatılar üzerinde oluşturulan modül alanlarındaki güneş panellerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Güneş panellerinin karakteristik özellikleri

Özellikler	Değerleri
Maksimum güç ( $P_{max}$ )	315 W
Modül verimliliği	18.79
Maksimum güç gerilimi	33.55
Maksimum güç akımı ( $I_{mp}$ )	9.41
Açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ )	40.73
Kısa devre akımı ( $I_{sc}$ )	10.05
Güç toleransı	0~+5 W
MSAG	1000 V DC / 1500 V DC
Çalışma sıcaklık aralığı	-40 °C ~ +85 °C
Güvenlik sınıfı	C
Maksimum seri sigorta akımı	15A / 20A
Hücre boyutu (mm)	158.75x158.75
Hücre sayısı (adet)	60 (6x10)
Ağırlık (kg)	19
Panel boyutu (mm)	1668x1007x35

MSAG= maksimum sistem anma gerilimi

Güneş panellerinin çatı durumlarına göre yönleri belirlenmiş ve panellerden en iyi verim alınacak şekilde tasarım ve panel yerleştirme işlemleri yapılmıştır. Güneş panelleri birbirlerine seri olarak bağlanması sonucu dizi grupları oluşturulmuş olup, her dizi grubu inverter

cihazlarda toplanmıştır. Panel dizilerinin inverterlere bağlantısı için 1x6 mm<sup>2</sup> DC kablolar kullanılmıştır. Panel yerleşimleri esnasında bakım onarım işlemlerini gerçekleştirebilmek için panel yerleşim mesafelerinin 15 m üzerindeki durumlarda bakım yolları oluşturulmak suretiyle uygun boş çatı kısımları bırakılmıştır. Panel gruplarının inverterlere bağlantısı gerçekleştirilirken güneşlenme yönleri dikkate alınarak gruplamalar yapılmış ve inverterlere irtibat sağlanmıştır. Tüm dizilere ait DC kablolar çatı üstündeki kısımlarda kablo tavası içerisinde çekilmesi planlanmıştır. İnverter cihazlarının AC bağlantıları, kurulum yapılan binaların ana panolarının yanına konulacak GES panolarından yapılmıştır. Kurulum yapılan her binaya ait mevcut şebeke besleme kablosu bulunması nedeniyle bu besleme kabloları aynı zamanda üretilen elektriğin veriş yönlü şebekeye iletilmesinde de kullanılmış, binalara ana sayacın bulunduğu noktadan ayrıca kablo çekilmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

Tablo 3'te mevcut durumda kurulum yapılması planlanan bina çatılarının kullanılabilir alanları, eğim yönleri ve eğim bilgileri verilmiştir.

Binaların büyük bir kısmında doğrudan çatı üzerine montaj yapılması planlanmıştır. Sadece Mühendislik Fakültesi Binası, Sosyal Tesis Binaları ve İktisadi İdari

Bilimler Fakültesi Binaları üzerinde yer alan çatısız teras alanları üzerlerine doğu-batı istikametinde teras tabanı üzerine 10° eğimli olacak şekilde kaide üzerinde panel montajı yapılması tercih edilmiştir. Çalışmalarda SMA Solar Technology AG firmasına ait invertör cihazları kullanılmıştır. Binaların çatılarında belirlenen alanlara PV-SOL programı yardımıyla panellerin yerleşimleri yapılmıştır. Panel yerleşimleri yapılırken Mühendislik Fakültesi Binasındaki modül alanı 3'te, Sosyal Tesis Binalarının modül alanı 4 ve modül alanı 5 kısımlarında çatı bulunmamakta ve çatının teras şeklinde ve eğimsiz olduğu anlaşılmaktadır. Belirtilen bu kısımlarda doğu batı istikametinde olacak şekilde yüzeye montaj yapılması karar verilmiş ve karşı ağırlıklarla rüzgâr dayanımı sağlanması suretiyle tasarım yapılmıştır. Teras montajlarında panel eğimleri 10° olarak gerçekleştirilmiştir. Diğer tüm binalarda ise, bina üzerlerinde yer alan çatı malzemesi üzerine montaj yapılması planlanmıştır. Şekil 4'te çalışma yapılacak olan 14 adet bina grubu üzerindeki en verimli çatı tipi güneş enerjisi elektrik üretim tesislerinin panel dizilimleri gösterilmiştir. Panel yerleşimleri sonrası PV-SOL programı üzerinde invertör seçimleri gerçekleştirilmiş ve tesislerin gölgelenme analizleri yapılarak benzetim çalışmaları tamamlanmıştır.

**Tablo 3.** Güneş enerjisi tesisi kurulması planlanan binaların çatı durumları

Bina No	Bina Adı	Modül Alanları	Kullanılabilir Çatı Alanı	Eğim Yönü	Çatı Eğimi
1	Teknolab A-Blok	Modül Alanı 1	273.42	Güneybatı 245 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	273.42	Kuzeydoğu 65 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
2	Teknolab B-Blok	Modül Alanı 1	113.925	Güneybatı 243 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	113.925	Kuzeydoğu 63 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
3	Teknolab C-Blok	Modül Alanı 1	197.47	Güneybatı 243 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	197.47	Kuzeydoğu 63 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
4	Mühendislik Fakültesi Ek Bina Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü & Makine Mühendisliği Bölümü	Modül Alanı 1	356.31	Kuzey 13 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	339.9	Güney 193 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 3	61.44	Batı 283 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 4	81.48	Güney 193 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	35.12	Kuzey 13 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 6	50.26	Doğu 103 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 7	34.15	Batı 283 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 8	34.15	Doğu 103 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 9	50.26	Batı 283 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 1	89.61	Güney 193 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	69.20	Doğu 103 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 3	119.23	Batı 283 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>
5	Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Binası	Modül Alanı 4	159.02	Batı 283 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	40.32	Doğu 103 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 6	20.03	Batı 283 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 7	63.98	Doğu 103 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 8	63.98	Batı 283 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 9	35.08	Doğu 103 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 10	35.08	Batı 283 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 11	71.48	Doğu 103 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>
	Modül Alanı 12	71.48	Batı 283 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	

**Tablo 3.** Güneş enerjisi tesisi kurulması planlanan binaların çatı durumları (devamı)

Bina No	Bina Adı	Modül Alanları	Kullanılabilir Çatı Alanı	Eğim Yönü	Çatı Eğimi
6	Kapalı Spor Salonu	Modül Alanı 1	1.113.68	Batı 281 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>
7	Mühendislik Fakültesi Binası	Modül Alanı 1	479.68	Güney 194 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	305.65	Güney 198 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 3	1.917.46	Doğu 90 <sup>0</sup> - Batı 270 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 1	356.31	Kuzey 13 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	339.90	Güney 193 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
8	Maden Mühendisliği Binası	Modül Alanı 3	61.44	Batı 283 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 4	81.48	Güney 193 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	35.12	Kuzey 13 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 6	50.26	Doğu 103 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 7	34.15	Batı 283 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 8	34.15	Doğu 103 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 9	50.26	Batı 283 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 1	356.31	Batı 284 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	339.90	Doğu 104 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
9	İletişim Fakültesi Binası	Modül Alanı 3	61.44	Kuzey 14 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 4	81.48	Doğu 105 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	35.12	Batı 286 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 6	50.26	Güney 194 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 7	34.15	Kuzey 17 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 8	34.15	Güney 195 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 9	50.26	Kuzey 14 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 1	356.31	Batı 284 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	339.90	Doğu 104 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
10	Güzel Sanatlar Fakültesi Binası	Modül Alanı 3	61.44	Kuzey 14 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 4	81.48	Doğu 105 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	35.12	Batı 286 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 6	50.26	Güney 194 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 7	34.15	Kuzey 17 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 8	34.15	Güney 195 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 9	50.26	Kuzey 14 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 1	726.00	Kuzey 12 <sup>0</sup>	13 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	172.00	Doğu 102 <sup>0</sup>	13 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 3	172.00	Batı 282 <sup>0</sup>	13 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 4	101.00	Doğu 102 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	109.09	Doğu 102 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 6	109.09	Batı 282 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>
11	Kütüphane & Yeni İlahiyat Fakültesi Binası	Modül Alanı 7	48.87	Batı 282 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 8	53.00	Doğu 102 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 9	45.00	Doğu 102 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 10	45.00	Batı 282 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 11	55.00	Batı 282 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 12	60.00	Doğu 102 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 13	45.00	Doğu 102 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 14	45.00	Batı 282 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 15	55.00	Güney 192 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 16	55.00	Güney 192 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
12	Yemekhane & Sosyal Tesis Binaları	Modül Alanı 1	223.62	Güney 195 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	197.61	Kuzey 15 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 3	29.87	Batı 285 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 4	260.92	Batı 286 <sup>0</sup> - Doğu 104 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 5	331.36	Batı 286 <sup>0</sup> - Doğu 104 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
13	Yeni Fen Fakültesi Binası	Modül Alanı 1	168.85	Güneybatı 209 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 2	115.00	Güneydoğu 119 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 3	572.57	Kuzeybatı 299 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
14	İİBF Binası	Modül Alanı 4	371.23	Güneydoğu 119 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>
		Modül Alanı 1	1.581.46	Doğu 90 <sup>0</sup> - Batı 270 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>





Şekil 4. Bina çatıları üzerine güneş panellerinin yerleşim planları.

#### 4. Bulgular

PV-SOL programı üzerinde bina çatılarına panel yerleştirme işlemleri gerçekleştirildikten sonra çalışma yapılan tüm binalar için kullanılan toplam PV modül sayıları çıkartılmıştır. Toplam modül sayısı kullanılarak bina çatılarında kurulması planlanan güneş enerjisi tesislerinin kurulu güçleri elde edilmiştir. Tablo 4'te kullanılan PV modül sayıları, PV jeneratör çıkış değerleri ve kapladıkları yüzey alanları, kullanılan evirici sayıları, yıllık özgül kazançları, toplam üretilen elektrik enerjisi ve

önlenebilen karbondioksit emisyon değerleri gösterilmiştir. Farabi yerleşkesi içerisinde yer alan Teknolab A-B-C binaları bağımsız bir elektrik aboneliği ile elektrik tüketimi gerçekleştirmekte, diğer tüm binalar ise farklı bir noktadan ayrı bir elektrik aboneliği ile enerji tüketimi gerçekleştirmektedirler. Belirtilen iki ayrı aboneliğe ilişkin yapılan benzetim çalışması sonucunda üretilen toplam elektrik enerjisinin aylık dağılımı Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Benzetim çalışması sonuçları

Bina No	Bina Adı	PV Modül Sayısı (Adet)	PV Jeneratör Çıkışı (kWp)	PV Jeneratör Yüzeyi (m <sup>2</sup> )	Evirici Sayısı	Yıllık Özgül Kazanç (kWh/kWp)	Toplam Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Önlenebilen CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg/yıl)
1	Teknolab A-Blok	216	68.04	354.2	6	1.278.40	87.092	40.882
2	Teknolab B-Blok	96	30.24	157.4	1	1.275.66	38.591	18.131
3	Teknolab C-Blok	156	49.14	255.8	2	1.269.21	62.399	29.313
4	Mühendislik Fakültesi Ek Binası	395	124.43	647.7	8	1.215.00	151.291	71.053
5	Bilgi İşlem Dairesi	349	109.94	572.3	10	1.013.38	111.579	52.361
6	Kapalı Spor Salonu	540	170.10	885.5	3	1.276.56	217.208	102.057
7	Mühendislik Fakültesi	842	265.23	1.380.7	18	1.294.48	343.692	161.368
8	Maden Mühendisliği	395	124.43	647.7	8	1.215.00	151.291	71.053
9	İletişim Fakültesi	400	126	655.9	12	1.203.60	151.899	71.277
10	Güzel Sanatlar Fakültesi	401	126.32	657.5	10	1.208.18	152.801	71.728
11	Kütüphane ve İlahiyat Fakültesi	807	254.21	1.323.3	21	1.206.81	307.203	144.186
12	Yemekhane ve Sosyal Tesisler Binası	401	126.32	657.5	8	1.228.16	155.278	72.913
13	Fen Fakültesi	555	174.83	910.1	9	1.221.63	213.717	100.379
14	İktisadi ve İdari Bilimler	534	168.21	875.6	6	1.252.69	210.844	99.036
TOPLAM		6.087	1.917.44	9.981.20	122	17.158.76	2.354.885	1.105.737

**Tablo 5.** Üretilen Elektrik Enerjisinin Aylık Dağılımı

Dönem	Farabi Kampüsü (kWh)	Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binaları (kWh)
Ocak	73.886	6.604
Şubat	92.900	8.323
Mart	154.100	13.512
Nisan	212.732	18.352
Mayıs	282.768	24.301
Haziran	310.239	26.913
Temmuz	305.458	26.350
Ağustos	269.925	23.390
Eylül	196.581	17.166
Ekim	73.886	6.604
Kasım	92.900	8.323
Aralık	154.100	13.512

Yapılan piyasa fiyatı araştırmalarında çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetinin 2023 yılı için kW başına yaklaşık 1000\$ + KDV olduğu görülmektedir. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu verilerine göre Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları içerisinde yer alan 01/01/2023 tarihinden itibaren geçerli olan elektrik tarife tablolarına göre Orta Gerilim Tek Terimli Kamu ve Özel Hizmetler Sektörüne ait elektrik birim fiyatının 3,44 TL/kWh +KDV (0,1815\$/kWh + KDV) olduğu görülmektedir (Anonim 2022).

### 5. Sonuçlar

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesi içerisinde yer alan binalarda tüketilen elektrik enerjisi ihtiyacını, çevreye ve insan sağlığına zararı olmayan, sürdürülebilir, yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılayabilmek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çatı durumları iyi olan ve güneş enerjisi tesisi kurulması uygun olan binalar incelenmiş ve 14 adet bina grubunun uygun olacağı değerlendirilmiştir. Belirlenen tüm binalar için yapılan çalışmalar neticesinde toplam 6.087 adet PV modül kullanılmış olup, toplam 1.917,44 kW'lık kurulu güç elde edilmiştir. Ayrıca üretilen elektrik enerjisi ile

yılda 1.105.737 kg karbondioksit emisyonu engellenmiş olacaktır. Tesis kurulumu için, 2023 yılı piyasa fiyatı (1000\$+KDV) / kW göz önüne alındığında güneş enerjisi santrallerinin toplam maliyetinin yaklaşık 1.917.440\$ + KDV olacağı anlaşılmaktadır.

Tasarlanan ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilen güneş enerjisi tesislerinden yıllık toplam 2.354.885 kWh elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma kapsamında belirtilen iki farklı aboneliğe ait elektrik enerjisi ölçümleri mevcut elektrik sayaçları aracılığıyla gerçekleştirilmekte ve buna göre faturalandırılmaktadır. Bu sayaçların proje kapsamında çift yönlü elektrik sayacı ile değiştirilmesi sonucu hem tüketilen elektrik enerjisi miktarı hem de üretilen elektrik enerjisi miktarının sayaç tarafından kaydedilmesi sağlanmış olacaktır. Mevcut yönetmelik kapsamında mahsuplaşma işleminin her ayın sonunda üretilen ve tüketilen enerji miktarının ölçülmesi sonucu aylık olarak yapılacaktır. Buna göre benzetim çalışması sonucu elde edilen veriler aracılığıyla Tablo 6'da aylık olarak üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi miktarı gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi

Dönem	Farabi Kampüsü			Teknolab A-B-C*		
	Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Tüketilen Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Mahsuplaşılan Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Tüketilen Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Mahsuplaşılan Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)
Ocak	73.886	200.000	-126.114	6.604	43.000	-36.396
Şubat	92.900	180.000	-87.100	8.323	38.000	-29.677
Mart	154.100	250.000	-95.900	13.512	52.000	-38.488
Nisan	212.732	255.000	-42.268	18.352	54.000	-35.648
Mayıs	282.768	265.000	17.768	24.301	56.000	-31.699
Haziran	310.239	250.000	60.239	26.913	53.000	-26.087
Temmuz	305.458	150.000	155.458	26.350	32.000	-5.650
Ağustos	269.925	140.000	129.925	23.390	29.000	-5.610
Eylül	196.581	230.000	-33.419	17.166	48.000	-30.834
Ekim	126.832	205.000	-78.168	10.968	43.000	-32.032
Kasım	77.259	240.000	-162.741	6.562	52.000	-45.438
Aralık	64.123	235.000	-170.877	5.641	50.000	-44.359

\*İş atölyeleri ve merkezi derslik binaları

Tablo 6 incelenirse, Farabi Kampüsü aboneliği için Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında, Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binaları aboneliği için yılın tüm aylarında tüketilen elektrik enerjisinin üretilen elektrik enerjisinden fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda gerçekleşecek aylık mahsuplaşma işlemi sonucunda, sadece tüketilen fazla kısma ilişkin dağıtım şirketine fatura ödemesi gerçekleştirilecektir. Farabi kampüsü aboneliği için Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında üretim miktarının tüketim miktarından fazla olduğu anlaşılmakta olup bu durumda üretilen fazla elektrik enerjisi miktarı dağıtım sistemine verilerek

mahsuplaşılacak ve fazla kısma ilişkin bedel ödemesi alınacaktır.

Üretilen elektrik enerjisi tüketilen enerjilerden mahsuplaşılması planlandığından, tüketim fiyatından değerlendirildiğinde yıllık toplam elde edilebilecek gelirin yaklaşık 427.411,63 \$ olacağı hesaplanmaktadır. Bu kapsamda kurulumu yapılan tesislerin yaklaşık 4,49 yılda kendini amorti edebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda fotovoltaik güç potansiyeli olarak Türkiye'nin en düşük sayılabilecek bölgesinde yer alan Zonguldak ilinde, güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi için simülasyon programı yardımıyla analizler yapılmış, kurulan tesislerin kendini 4,49 yıl gibi kısa süre

zarfında amorti edebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Türkiye'nin güneş potansiyeli olarak en kuzey bölgelerinin dahi tüketiciler tarafından değerlendirilerek, güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinin yaygınlaştırılması, çevreye olan zararları önleme, enerjide dışa bağımlılığı azaltma adına büyük önem arz etmektedir.

## Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.A.	N.P.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

## Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

## Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

## Kaynaklar

- 5346 Sayılı Kanun. 2023. Elektrik piyasası mevzuat listesi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Anonim. 2022. Elektrik piyasası tarifeler elektrik faturalarına esas tarife tabloları. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarına-esas-tarife-tabloları> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Anonim. 2023. Ülkelere göre güneş enerjisi Enerji atlası. URL: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Arslan M. 2022. Güneş enerji santrallerinin simülasyon ile üretim verilerinin karşılaştırılması ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, Türkiye, ss: 26-27.
- Ceylan O, Taşdelen K. 2018. Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun

- incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniv Fen Müh Bilim Derg, 18(3): 895-903. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67547>.
- Emeksiz C, Fındık MM. 2021. Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ölçeğinde değerlendirilmesi. Avrupa Bilim Teknoloji Derg, 26: 155-164. <https://doi.org/10.31590/ejosat.948729>.
- Eralp A. 2023. Türkiye sanayi sektöründeki elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin mekânsal analizi. Verimlilik Derg, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı: 99-112. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1111823>.
- Eren Enerji. 2023. URL: <https://www.eren-enerji.com.tr/tr/kurumsal/eren-enerji/zetes-1> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- GEPA. 2023. Güneş enerjisi potansiyel atlası. T.C. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. URL: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Jahn U, Nasse W. 2004. Operational performance of grid-connected PV systems on buildings in Germany. Prog Photovol: Res Applicat, 12: 441-448. <https://doi.org/10.1002/pip.550>.
- Karaağaç MO, Oğul H, Bardak S. 2020. Kanatlı hayvan çiftliği için güneş enerji sisteminin tasarımı ve maliyet hesabı. Düzce Üniver Bilim Teknoloji Derg, 8(1): 712. <https://doi.org/10.29130/dubited.490154>.
- Kocalmış Bilhan A, Emikönel S. 2021. Nevşehir ili güneş enerji potansiyelinin analizi ve kurulu güneş enerji santralleri, Avrupa Bilim Teknoloji Derg, 24: 289-294. <https://doi.org/10.31590/ejosat.900024>.
- Koç E, Kaya K. 2015. Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. Müh Mak, 56: 36-47.
- Sak T, Gönen Ç, Kara E.E. 2019. Niğde ilinde güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaştırılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasının potansiyeli. Fırat Üniv Müh Bilim Derg, 31(2): 327-335. <https://doi.org/10.35234/fumbd.613302>.
- Sarı V, Özyiğit FY. 2020. Sivas cumhuriyet üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisi santralının ekonomik analizi. Dokuz Eylül Üniv Müh Fak Fen Müh Derg, 22(65): 517-526. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2020226519>.
- Taştan S, Birol YE. 2023. Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin ölçülmesi ve öngörüsü. Dumlupınar Üniv Sos Bilim Derg, 75: 194-206. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1160349>.
- TEİAŞ. 2022. Yük tevzi dairesi başkanlığı santral kurulu güç raporları. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. URL: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Yılmaz E, Temur R. 2022. 2022/687838 İhale kayıt numaralı elektrik enerjisi alımı teknik şartnamesi 03/09/2023 tarihli elektronik kamu alımları platformu. URL: <https://ekap.kik.gov.tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Yılmaz Z, Karagözoğlu MB, Köker B, Selçuk SF. 2022. Kirlenici parametrelerin atmosferdeki yoğunluklarına dair sınır değerler: örnek çalışma muş ilinin hava kirliliği. Kırklareli Üniv Müh Fen Bilim Derg, 8(1): 69-87. <https://doi.org/10.34186/klujes.1109956>.
- Yönetmelik. 2023. Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik (Mülga). T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Zeydan Ö, Yıldırım Y. 2015. Zonguldak Metropolitan bölgesinde hava kalitesi modellemesi. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim, İzmir, Türkiye, ss: 29.