

## Sürdürülebilir Enerji Üretimi İçin Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve PVSyst Programı İle Simülasyonu: Bursa İli Örneği

Melike YALILI KILIÇ<sup>1\*</sup>, Merve KURTARAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa

<sup>2</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa

\*Sorumlu Yazar: [myalili@uludag.edu.tr](mailto:myalili@uludag.edu.tr)

Geliş Tarihi: 28.07.2023 Düzeltme Geliş Tarihi: 26.10.2023 Kabul Tarihi: 27.10.2023

### ÖZ

Dünya genelinde uzun yıllardır fosil yakıtların yaygın bir şekilde kullanılması, gelecekteki tüketim ömürlerinin sınırlı olması ve bu tür yakıtların gün geçtikçe karbon salınımını artırması küresel çapta iklim değişikliğine yol açarak çevreye zarar vermektedir. Bu durum, toplumların enerjiye olan gereksinimlerini karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine katkı sağlamıştır. Bu kaynaklar arasında en önemlilerinden birisi olan fotovoltaik (FV) paneller, çevreye zararlı etkilerinin nispeten az olması, kurulumlarının basit olması ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olması sebebiyle yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmada Bursa'nın Osmangazi ilçesinde bulunan bir çevre danışmanlık firmasının elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla, enerji gereksinimleri yıllık ortalama güneşlenme süresi ve ışınım değerleri dikkate alınarak bir fotovoltaik sistemin tasarımı yapılmış ve bu tasarımın PVSyst 7.3.4 programıyla simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemde 14602.63 kWsa/yıl elektrik enerjisi üretilmiş olup, bu enerjinin 1920 kWsa/yıllık kısmı öz tüketim sebebiyle harcanmış ve sistemin performansı %81.69 olarak değerlendirilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi ve sistemin performans oranı göz önüne alındığında proje kurulumunun avantajlı olacağı söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Bursa, Fotovoltaik sistem, PVSyst, Tasarım, Sürdürülebilir enerji

## Photovoltaic System Design and Simulation with PVSyst Program for Sustainable Energy Production: Bursa Case Study

### ABSTRACT

For many years, the widespread use of fossil fuels worldwide, the limited lifespan of future consumption, and the increasing carbon emissions from such fuels have been causing environmental damage and contributing to global climate change. This situation has led societies to turn to renewable energy sources in order to meet their energy needs. Among these sources, photovoltaic (PV) panels have gained popularity due to their relatively low environmental impact, simple installation, and the high solar energy potential in our country. In this study, a photovoltaic system was designed to meet the electricity needs of an environmental consulting company located in the Osmangazi district of Bursa, taking into account the annual average sunshine duration and radiation values. The design was then simulated using the PVSyst 7.3.4 program. The system produced 14,602.63 kWh/year of electricity, of which 1,920 kWh/year was consumed for self-consumption, and the system's performance was evaluated as 81.69%. Considering the generated electricity and the system's performance, it can be said that the project installation would be advantageous.

**Key words:** Bursa, Photovoltaic system, Pvsyst, Design, Sustainable Energy

## GİRİŞ

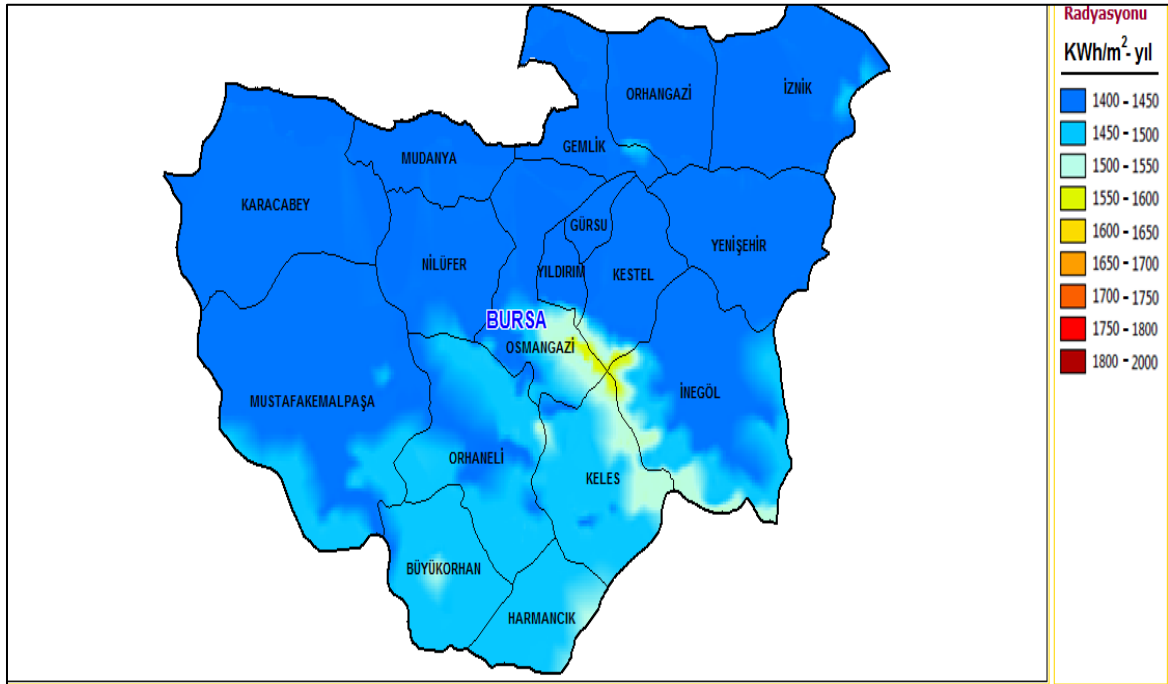
Günümüzde enerji hayatımızın her alanında kullanılan temel bir gereksinim ve modern dünyanın vazgeçilmez bir parçasıdır (Sarı ve Özyiğit, 2020). Yaşadığımız yer veya yaşam tarzı ne olursa olsun, günlük hayatımız enerji tüketimine dayanır ve enerji kaynaklarından elde ettiğimiz faydalar tarafından çevrelenir (Akkaş ve Çam, 2020). Enerji üretimi için çeşitli kaynaklar kullanılmaktadır ancak üretilen enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir (Yılmaz, 2015). Sınırlı bir kaynak olan fosil yakıtların kullanılmasıyla birlikte doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi sorunlara yol açması, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarının büyük önem kazanmasına neden olmuştur (Çıtak ve Pala, 2016). Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarıdır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, jeotermal ve gelgit enerjisi gibi kaynaklar çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretimi sağlamaktadır. 1990'lardan itibaren Türk enerji sektörü, ekonomik büyümeyle birlikte hızla gelişme göstermiştir. Ancak yerli kaynaklar bu gelişmeyi desteklemekte yetersiz kalmış ve bu nedenle yüksek miktarda ithal fosil yakıt kullanımına bağımlı hale gelinmiştir. Günümüzde özellikle rüzgar ve güneş teknolojilerindeki maliyetlerin önemli ölçüde düşmesi, Türk enerji sektörünü umut verici bir duruma getirmiştir (Aşkın ve ark., 2023). Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülke olup, günlük ortalama 7.5 saat güneşlenme süresi ve 4.18 kWsa/m<sup>2</sup> radyasyon şiddeti ile önemli bir güneş enerjisi kaynağına sahiptir (Çiftçi ve ark., 2020). Yılda ortalama 2640 saat güneş ışığı alan ülkemizin, yaklaşık olarak 380 milyar kWsa güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyel, Türkiye'nin toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %30'unu karşılayabilecek düzeydedir (Anonim, 2022). Türkiye'nin güneş enerjisi sektörü, özellikle son yıllarda büyük bir hız kazanmıştır. 2022 yılı sonu itibarıyla ülkede toplam 9.42 GW güneş enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. Yapım aşamasındaki ve çevresel etki değerlendirmesi aşamasındaki güneş enerji santralleri de düşünüldüğünde, bu rakamın önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Türkiye'de güneş enerjisi sektörü özellikle teşviklerle desteklenmektedir (Cebeci, 2017). Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimine yönelik yenilikçi çözümler üreten firmaların sayısında da son yıllarda artış olmuştur (Sancar ve Altınkaynak, 2021).

Türkiye'de güneş enerji santralini yoğun olarak bulunduğu coğrafi bölümler sırasıyla; Orta Kızılırmak, Asıl Ege, Antalya, Konya ve İç Ege olmuştur. Bu bölgelerde güneş enerji santrallerinin yoğun olarak bulunmasının temel sebepleri; güneşlenme süresi, güneş radyasyonunun yüksek olması ve arazi kullanımının uygunluğu gibi faktörlerdir (Pınar ve ark., 2020). Literatürde güneş enerji sistemlerinden elektrik enerjisi üretimiyle ilgili pek çok çalışma yer almaktadır. Burdur ilinde yapılan çalışmada bir kat olarak inşa edilmiş konutun enerji ihtiyacının karşılanması için fotovoltaik (FV) sistem enerji gereksinimleri belirlenmiş ve mimari açıdan çeşitli seçenekler değerlendirilmiştir. Ek strüktür yardımıyla çatıdan bağımsız kullanılabilen, örtü malzemesi durumunda çatıyla birleşik şekilde kullanılabilen, ek strüktür yardımıyla cepheden bağımsız olarak kullanılabilen ve cephe kaplaması şeklinde cepheyle birleşik halde kullanılabilen olarak konutta dört farklı şekilde FV sistem yerleşimi izlenmiştir. Ek strüktür yardımıyla çatıda kullanılabilen FV sistemin enerji veriminin en yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Karaca ve Uçar, 2018). Sivas ilinde yapılan bir çalışmada Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesine kurulabilecek güneş enerji sisteminin maliyeti hesaplanmıştır. Sistem için gerekli veriler PVsyst simülasyon programı aracılığıyla bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre, monokristal modüller ile kurulması planlanan sistemin verimliliğinin polikristal modüller ile kurulması planlanan sistemden daha çok olduğu, ancak monokristal modüller ile kurulması planlanan sistemin daha pahalı olacağı ortaya çıkmıştır. Buna karşın monokristal modül verimliliğinin yüksek olması sebebiyle sistemin çalışacağı süre boyunca sağlayacağı kazancın daha fazla olacağı sonucu elde edilmiştir (Sarı ve Özyiğit, 2020). Ankara'nın Sincan ilçesinde yapılan bir başka çalışmada, 50 MW büyüklüğündeki güneş enerji santralini elektrik üretim potansiyeli ve sistemin yatırım maliyeti incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda yapılan yatırımın 4-5 sene içinde geri kazanılacağı ve karbon salınımlarını düşürerek sistemin ömrü boyunca enerji üretebileceği sonucuna varılmıştır (Varlı ve ark., 2022). Bursa ve Karaman'da yapılan bir çalışmada güneş panellerini etkileyen faktörler tartışılmış olup, güneşlenme süreleri farklı olan Bursa ve Karaman illerinde güneş panelleri kullanılarak elektrik enerjisi üretim potansiyeli Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) programı ile değerlendirilmiştir. Çalışmaya ek olarak dört kişilik bir ailenin yaşadığı konuta kurulacak olan güneş panelinin yatırım maliyetini 7 yıl gibi bir sürede geri kazandıracağı hesaplanmıştır (Yalılı Kılıç ve ark., 2021). Batı'da yapılan bir çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli araştırılmış olup, birbirine bağımlı 30 kW fotovoltaik bir şebekenin modellenmesi ve simülasyonu yapılmıştır. Çalışma yapılırken PVsyst programından yararlanılmıştır. Fotovoltaik şebekenin kurulması düşünülen okulun yeri PVsyst programında işaretlenmiş olup, bölgenin verileri simülatör programı vasıtasıyla simüle edilmiştir (Akcan ve ark., 2020). Kahramanmaraş ilinin Göksun ilçesinde yapılan bir çalışmada dört kişilik bir ailenin günlük elektrik enerjisi ihtiyacının, evin çatısına kurulacak güneş enerji panelleri tarafından karşılanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, dört kişilik bir ailenin yaşadığı evin günlük elektrik enerjisi ihtiyacı hesaplanmış olup, bu enerji ihtiyacını karşılayacak, konunun yıllık

ortalama güneşlenme süresi ve ışınım değerleri esas alınarak şebeke bağlantılı fotovoltaik santral tasarlanmış ve bu tasarımın PVSyst programında simülasyonu yapılmıştır (Şahin ve ark., 2022). Bu çalışmada, Bursa'nın Osmangazi ilçesinde yer alan bir çevre danışmanlık firmasının elektrik ihtiyacının sürdürülebilir bir yaklaşımla karşılanması amacıyla çatı tipi fotovoltaik panel sistemi tasarlanmıştır. Firmanın enerji tüketim bedellerini düşürmek, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak ve Bursa'nın enerji arzına katkıda bulunmak düşüncesiyle gerçekleştirilen çalışmada, sistemin performansı PVSyst 7.3.4 programı kullanılarak kapsamlı bir şekilde simüle edilmiştir.

## MATERYAL ve METOT

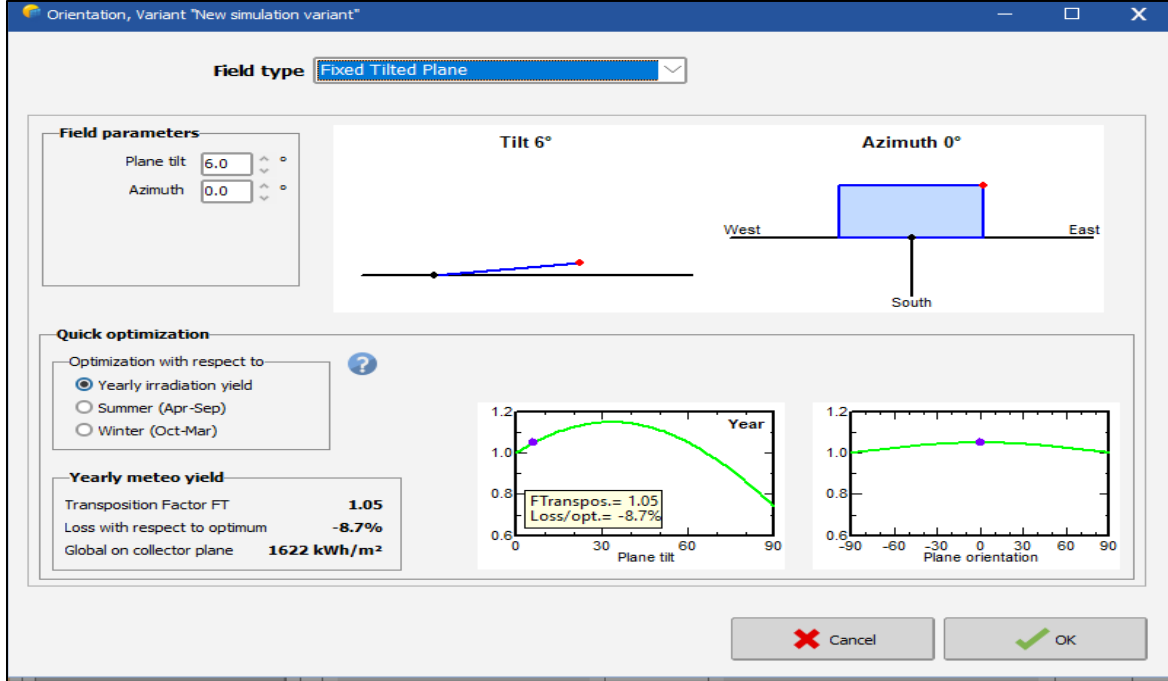
Bursa ili, zengin kültürel ve tarihi mirasa sahip önemli bir yerleşim bölgesidir. İl, coğrafi olarak Marmara Denizi'nin güneydoğusunda konumlanır ve etrafında Sakarya, Kocaeli, İstanbul, Yalova, Kütahya, Bilecik ve Balıkesir illeri bulunur. Bursa'nın iklimi, genel olarak ılıman bir karaktere sahiptir, ancak bölgesel olarak farklılık gösterdiği de gözlemlenmektedir. İl, Marmara Denizi'nin etkisiyle yumuşak bir iklim yaşarken, Uludağ'ın yüksek bölgelerinde ise daha sert bir iklim hissedilir (Göçmen, 2022). Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2022 yılında yayımlanan resmi rakamlara göre, Bursa ilinin toplam nüfusu 3194720 olarak belirlenmiştir. Çalışmaya konu olan Osmangazi ilçesi ise Bursa'nın en kalabalık ilçesidir ve nüfusu 2022 yılı itibarıyla 891250 kişidir (Anonim, 2023b). Bursa ilinin güneş enerjisi potansiyeli atlası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bursa ili güneş enerjisi potansiyeli atlası (Anonim, 2023a)

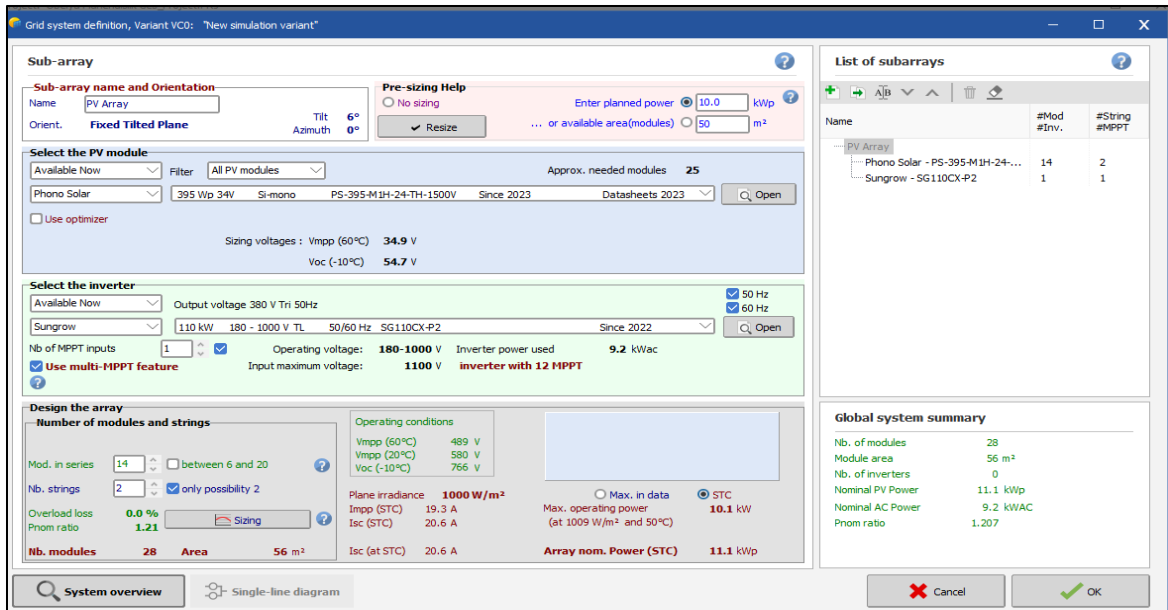
Atlas verilerine göre Osmangazi ilçesi, yıl boyunca genellikle güneşli gün sayısının fazla olduğu ve güneşlenme sürelerinin uzun olduğu bir konumdur. İlçenin global radyasyon değerleri incelendiğinde, Haziran ayında 6.23 kWh/m<sup>2</sup> olarak kaydedilen en yüksek değer gözlemlenmiş, en düşük değer ise Aralık ayında 1.32 kWh/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Ayrıca ilçe en yüksek güneşlenme süresini 10.88 saat ile Temmuz ayında yaşamaktadır. Güneşlenme süresinin en kısa olduğu ay ise 3.35 saat ile Aralık ayıdır. Bu durum ilçenin güneş enerjisi üretimi için uygun bir ortam sağladığını göstermektedir (Anonim, 2023a). PVSyst, fotovoltaik sistemlerin kurulum öncesi üretim verilerini analiz etmek, boyutlandırmak ve modellemek amacıyla dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılan bir simülasyon programıdır (Anonim, 2023c). Program, off-grid (şebekeden bağımsız) veya on-grid (şebeke bağlantılı) santraller için panel, inverter ve kurulacak bölgenin ışınım ve meteorolojik verilerini kullanarak sistemle ilgili simülasyon sonuçlarını sunar. Bu şekilde, kullanıcıya sistemin potansiyel faydaları ve olası kayıpları hakkında bilgi verir. Ayrıca, programın 3D uygulamasıyla sistem üzerindeki gölgelermelerin modellenmesi yapılmaktadır. Bu sayede, gölgelenmenin sistem üzerindeki etkisi de hesaplanabilmektedir (Çınaroğlu, 2021). Sistem benzetiminin ilk adımında, projenin coğrafi konumu tespit edilmekte ve bu konuma özgü meteorolojik

veriler benzetim programı aracılığıyla sentetik olarak oluşturulmaktadır. Ardından, sistemde panel açısı ve azimut değeri belirlenmekte olup, bu adım PVsyst programının "Orientation" seçeneği kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 2'de görüntüsü sunulan ekran aracılığıyla panel açısı ve azimut verilerinin girilmesiyle orientation aşaması tamamlanmıştır. Firmanın bulunduğu binanın düz çatıya sahip olduğu dikkate alınarak, panel açısı 6° ve Azimuth değeri ise 0° olarak kabul edilmiştir (Şimşek ve Uçum, 2022). Bu değerler, güneş ışınlarının optimum verimlilikle yakalanabilmesini sağlamak amacıyla seçilmiştir.



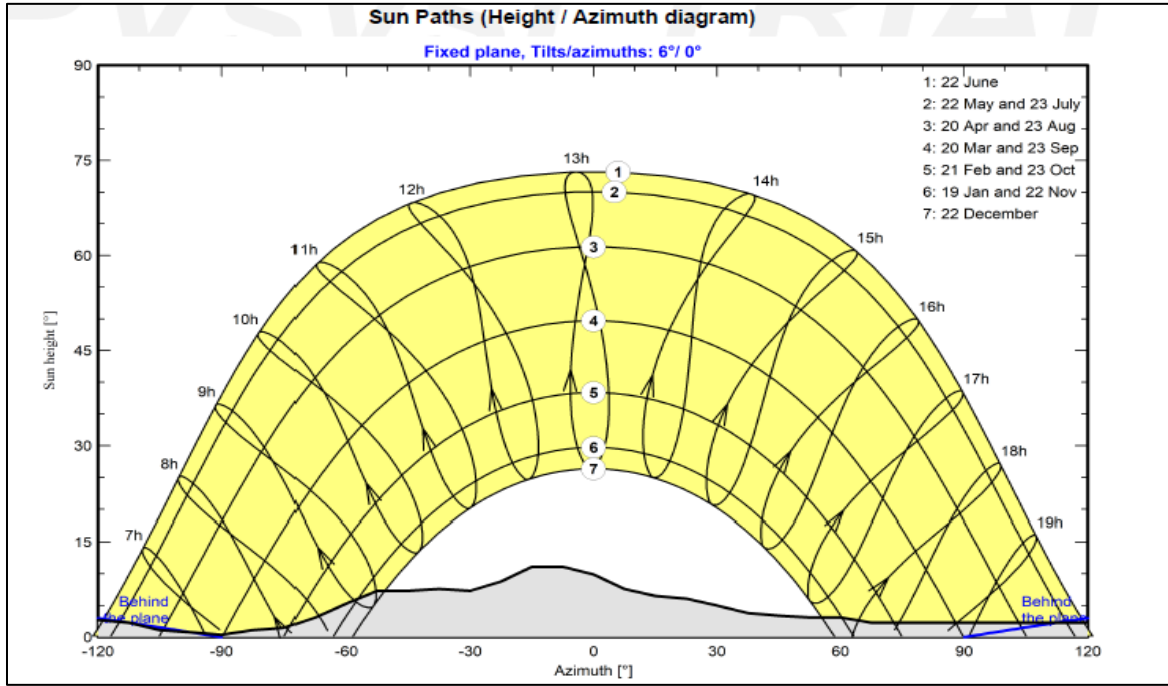
Şekil 2. PVsyst programının açı değerlerinin gösterildiği ara yüz

FV paneller kullanılarak enerji eldesi yapılırken inverter seçimi çok önemlidir. Simülasyonu yapılan bu sistemde toplam alanı 56 m<sup>2</sup> olacak şekilde 28 adet modül kullanılmıştır. Panel gücü 395 Wp seçilmiş olup, 110 kW kapasiteli bir adet inverter kullanılmıştır. Sistemin toplam gücünü desteklemek amacıyla 110 kW'lık bir inverter seçilmiştir. Panel ve inverter seçimiyle ilgili olan bölümler "System" seçeneği altında gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ekran görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



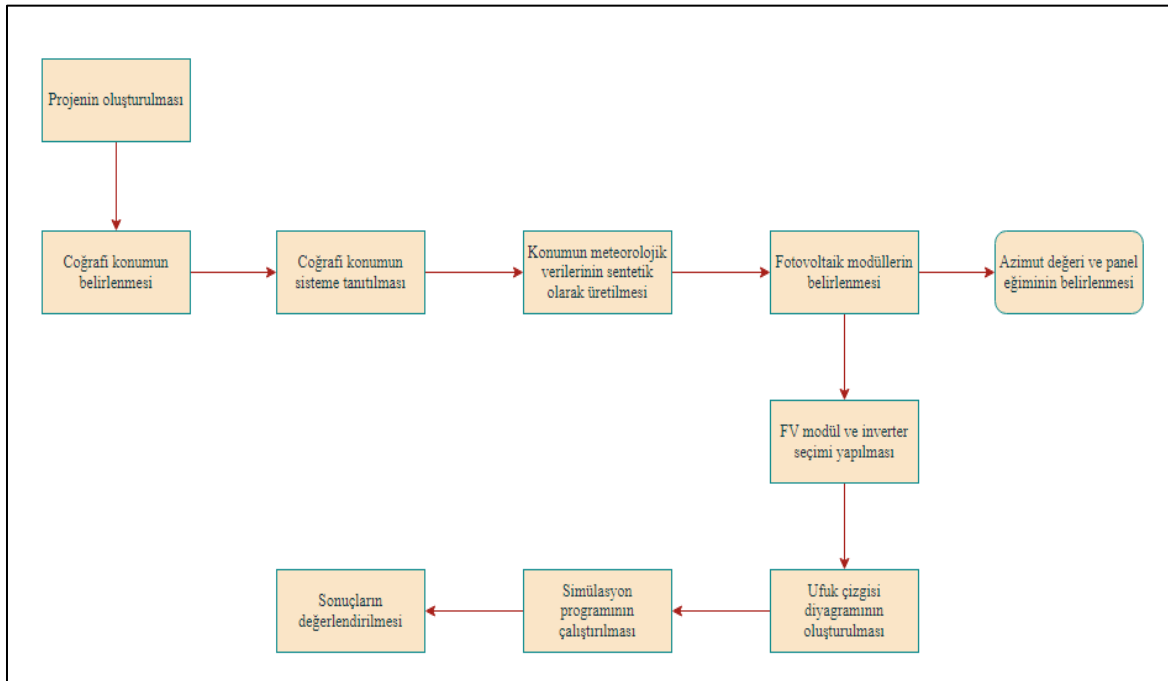
Şekil 3. Panel ve inverter seçim ekranı

Fotovoltaik sistemin kurulumu için belirlenen konumda farklı azimut açıları ve eğimlerin enerji üretimine olan etkisini değerlendirmek amacıyla PVsyst benzetim programında “Horizon” seçeneği kullanılmıştır. Azimut açıları ve eğim verileri, PVGIS veri tabanından programa aktarılmıştır. Elde edilen ufuk çizgisi diyagramı Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Belirlenen konumun ufuk çizgisi diyagramı

Diyagram üzerinde, yatay eksen belirli bir konumun güneşe göre yönelimini gösterirken, dikey eksen ise güneşin gün içerisindeki saatlere bağlı olarak yüksekliğini temsil etmektedir. “Horizon” seçeneği, analiz edilen konumun güneşin doğuş ve batış noktalarına göre yönlendirilmesini ve aynı zamanda güneşin gün içindeki yükseklik değişimini izlemeyi mümkün kılmaktadır. Simülasyon programının akış diyagramı Şekil 5’te verilmiş olup, simülasyon akış diyagramındaki adımlara bağlı kalınarak çalıştırılmıştır.



Şekil 5. Simülasyon programının akış diyagramı

Bu çalışmada, Bursa'nın Osmangazi ilçesinin Kükürtlü mahallesinde bulunan bir firmanın elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla PVsyst 7.3.4 programı kullanılarak şebekeye bağlı FV sistem tasarımı ve performans analizi yapılmıştır. Toplam 864.55 m<sup>2</sup> alan içerisinde faaliyet gösteren iş yerinde, hafta içi 5 gün, 08.30-18.00 saatleri arasında 5 kişi çalışmaktadır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada incelenen firmanın 2022 yılında kullandığı elektrik değerlerine Çizelge 1'de yer verilmiştir.

Çizelge 1. Firmanın 2022 yılına ait elektrik kullanım değerleri

Aylar	Elektrik Tüketimi (kWs)	Ortalama Elektrik Tüketimi (kWs/gün)	Tutar (TL)
Ocak	109.299	3.769	300.00
Şubat	117.117	3.904	311.00
Mart	122.221	3.819	251.00
Nisan	97.405	3.247	200.00
Mayıs	108.870	3.629	230.00
Haziran	129.819	4.636	334.00
Temmuz	131.051	4.227	336.00
Ağustos	255.056	8.228	665.00
Eylül	167.201	5.394	558.00
Ekim	162.000	5.400	541.00
Kasım	166.247	5.542	555.00
Aralık	162.227	5.070	542.00
	Toplam =	Ort =	Toplam =
	1728.513	4.73875	4823.00

Değerler incelendiğinde en yüksek elektrik kullanımının 255.056 kWs ile Ağustos ayında, en düşük elektrik kullanımının ise 97.405 kWs ile Nisan ayında olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlere dayanarak, PVsyst programının 7.3.4 sürümü kullanılarak şebekeye bağlı kurulu gücü 11.06 kWp olan bir sistemin benzetimi yapılmıştır. Tüm veriler girilip simülasyon çalıştırıldığında panel sisteminin ürettiği aylık elektrik enerjisi, öz tüketim değerleri, şebekeye aktarılan ve şebekeden kullanılan elektrik enerjisi, aylık ortalama sıcaklık ve ışınım değerleri Şekil 6'da ayrıntılı olarak sunulmuştur. Sistemde 14602.63 kWs/yıl elektrik enerjisi üretilmiş olup, bu enerjinin 1920 kWs/yıl'lık kısmı öz tüketim sebebiyle harcanmıştır.

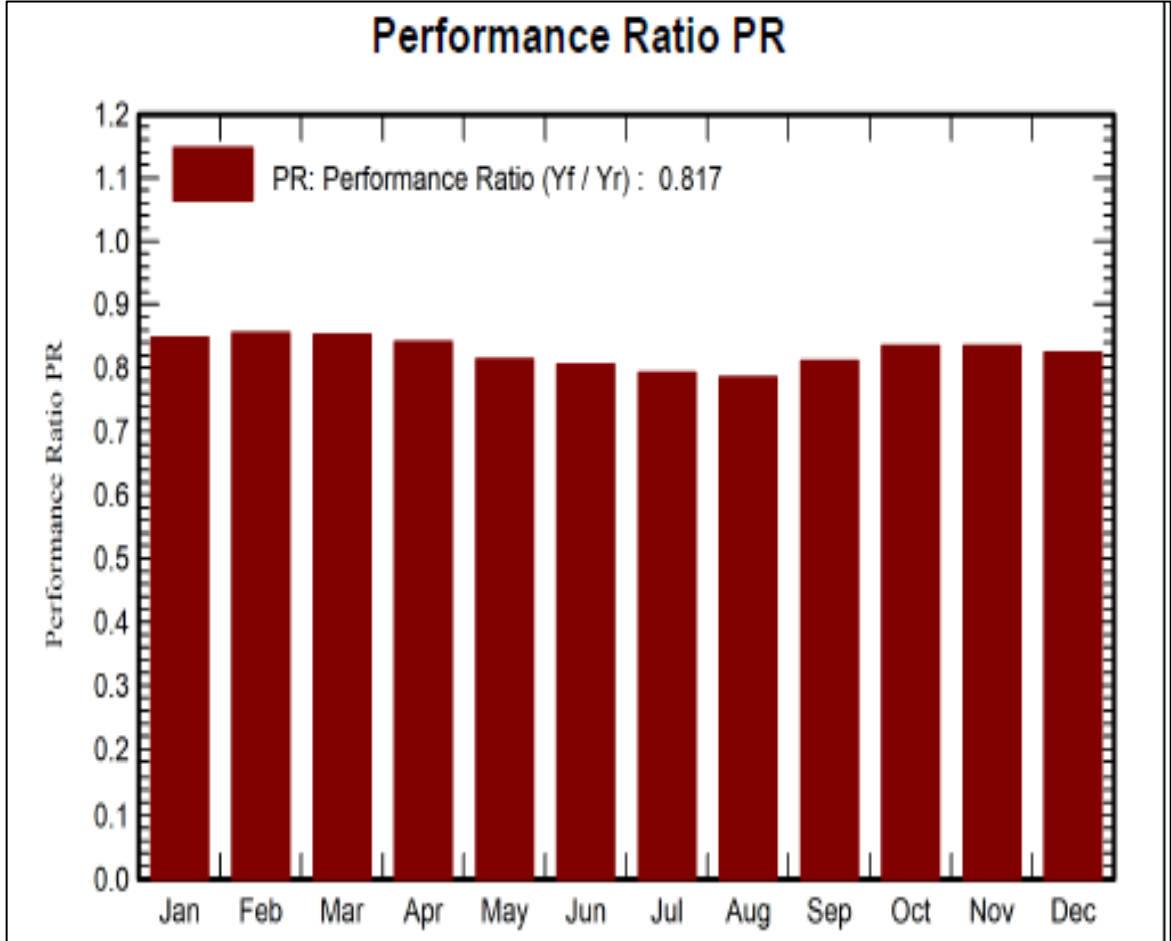
Balances and main results										
	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	55.1	29.23	3.71	62.4	56.3	598	124.0	45.8	539	78.2
February	64.4	34.70	6.16	70.1	65.1	679	112.0	44.9	618	67.1
March	91.2	51.47	6.51	95.8	89.7	924	124.0	55.2	848	68.8
April	173.9	63.26	9.14	180.5	171.2	1717	120.0	62.6	1617	57.4
May	197.5	69.28	16.46	201.2	191.2	1854	124.0	67.7	1745	56.3
June	187.7	72.93	19.34	189.1	179.8	1725	150.0	85.9	1600	64.1
July	223.1	62.58	22.10	226.1	215.4	2028	155.0	84.9	1898	70.1
August	212.2	57.77	25.02	219.5	208.7	1949	279.0	149.0	1757	130.0
September	144.3	50.79	18.77	152.8	144.4	1402	180.0	84.8	1286	95.2
October	96.9	43.90	11.93	105.3	98.0	994	186.0	79.0	893	107.0
November	58.8	27.63	8.91	65.9	60.3	623	180.0	66.7	542	113.3
December	42.0	24.11	6.98	47.7	42.6	445	186.0	62.2	372	123.8
Year	1547.1	587.63	12.96	1616.3	1522.9	14939	1920.0	888.8	13714	1031.2

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

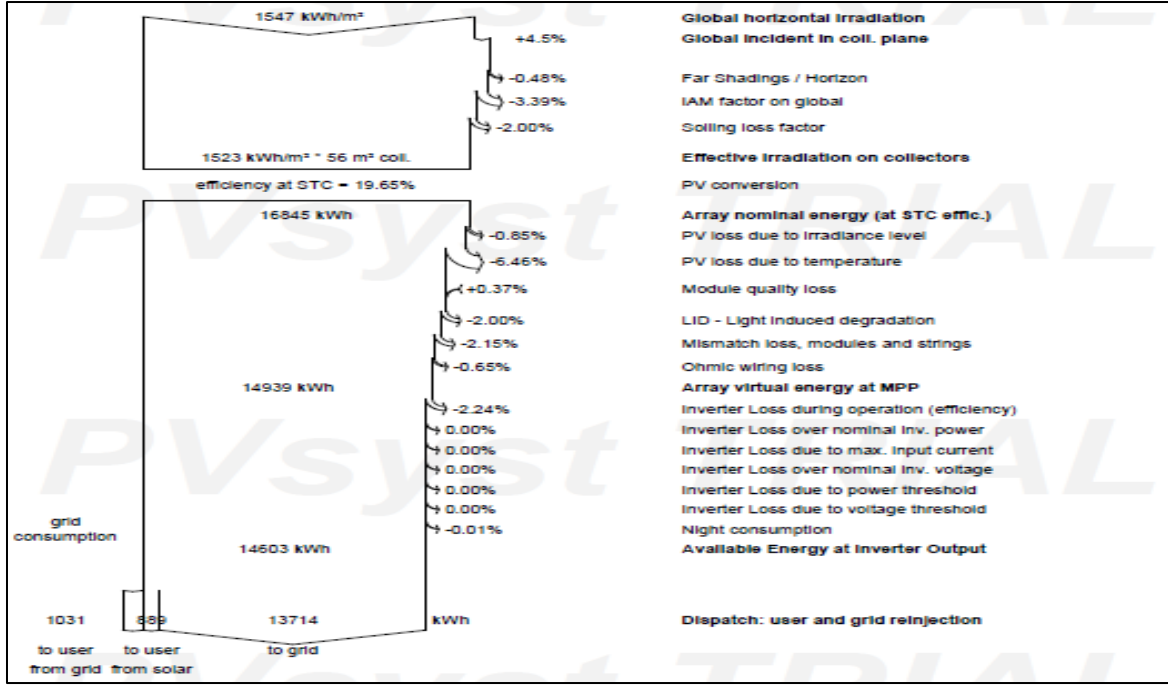
Şekil 6. Simülasyon sonuçları

Şekil 6 incelendiğinde, elektrik üretiminin en yüksek olduğu ay 2028 kWsa ile Temmuz ayıdır. Elektrik üretiminin en az olduğu ay ise 445 kWsa ile güneşlenme süresinin diğer aylara oranla daha kısa olduğu Aralık ayıdır. Ayrıca, şebeke elektriğinin en fazla kullanıldığı ay Ağustos ayıdır. Bu durum, yüksek hava sıcaklıklarının panel verimliliğini düşürebileceği ve dolayısıyla şebeke elektriği talebinin artabileceği anlamına gelmektedir. Sistemin aylara göre değişen performans oranlarını gösteren sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Sistem performans oranları

Şekil 7 incelendiğinde düz çatı ve 6° panel eğimi için sistemin performansı %81.69 olarak belirlenmiştir. Sistem yıl boyunca genel olarak tutarlı bir performans sergilemektedir. Şubat ayında ölçülen yüksek performans oranı, bu ayda hava koşullarının uygun olduğunu ve güneşlenme süresinin arttığını göstermektedir. FV sistemin yıl süresince oluşturacağı kayıplar Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Sistemden kaynaklanan kayıp diyagramı

Yansımadan kaynaklanan kayıp %3.39, horizon kaynaklı kayıp oranı %0.48 ve panel sıcaklığı kayıp oranı %6.46 olarak belirlenmiştir. Turan (2022) yapmış olduğu çalışmada, Edirne ili Keşan ilçesinde kurulabilecek 1 MWp kapasiteli, şebekeye bağlı çatı tipi güneş enerji sisteminin tasarımını ve simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Sistemin çatı alanında kapladığı alan 5017 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiş ve 400 Wp gücünde 2499 adet modül kullanılmıştır. Azimuth değeri ve panel açısı 0° olarak belirlenmiştir. Simülasyon çalıştırıldığında, sistemin yıllık olarak üreteceği elektrik enerjisi miktarı 1.246 MW olarak bulunmuştur. Sistem tasarımında kullanılan çatı alanı ve modül sayısı fazla olduğu için elde edilen elektrik enerjisi miktarının, kendi simülasyon çalışmamıza göre daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Performans değerlendirmesi sonucunda ise, elde edilen performans oranı %81.80 olarak hesaplanmıştır ve bu sonuç kendi simülasyon çalışmamızla benzerlik göstermektedir. Aksangör ve ark. (2019) yapmış oldukları çalışmada, Ankara ili Merkez ilçesinde bulunan bir kampüse kurulabilecek 604,8 kWp kurulu güç kapasiteli fotovoltaik sistemin tasarımını ve performans analizini, PVsyst programından yararlanarak gerçekleştirmişlerdir. Sistem, toplamda 2160 adet 280 W güç kapasiteli panel ve 16 adet 32 W kapasiteli inverter kullanılarak kurgulanmıştır. Çatının yönü ve eğimi göz önünde bulundurularak, sistem için Azimuth değeri -38° ve 142° olarak belirlenmiş ve çatı eğimi 15° olarak kabul edilmiştir. Her bir yönelimde 1080 adet panel yerleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, sistemin yıllık olarak 729.67 MWsa elektrik enerjisi üreteceği elde edilmiştir. Kayıp oranları dikkate alındığında, sistemin şebekeye aktardığı yıllık elektrik enerjisi miktarı ise 712.3 MWsa olarak bulunmuştur. Sistemin kayıp oranlarının, bizim çalışmamıza göre daha düşük olmasının sebebinin, konum, panel ve inverter seçimi, azimuth açısı ve çatı eğimi gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği düşünülmektedir.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde enerji maliyetlerinin düşürülmesi, kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılması çevre açısından büyük önem arz etmektedir. FV sistemler, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan sürdürülebilir enerji üretimi olanağı sağlayan teknolojilerdir. Güneş enerjisinin tükenmeyen ve ücretsiz bir kaynak olması, FV sistemlerin kullanılmasıyla enerji maliyetlerini düşürmek ve firmaların karlılığını artırmak açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisine yapılan yatırımların arttırılması ve FV sistemlerin yaygınlaştırılması, Türkiye gibi özellikle yaz aylarında yüksek miktarda enerji üretilebilecek ülkeler için çevresel ve ekonomik anlamda olumlu sonuçlar doğuracak önemli adımlardır. Bu çalışmada, Bursa'nın Osmangazi ilçesindeki 864.55 m<sup>2</sup> alana sahip bir çevre danışmanlık firmasının enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla 11.06 kWp kurulu güce sahip 56 m<sup>2</sup> çatı tipi bir fotovoltaik (FV) sistem tasarlanmış ve PVsyst 7.3.4 simülasyon programı ile performans analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sistemin yıllık olarak 14602.63 kWsa elektrik üretebileceği




belirlenmiştir. Sistem kayıpları dikkate alındığında şebekeye aktarılan elektrik enerjisi miktarının 13714 kWsa olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin seçilen bölgenin coğrafi konumuna göre performansı %81.69 ve kayıp oranı ise %18.31 olarak tespit edilmiştir. Sistem kayıpları, yüksek modül sıcaklığı, güneşlenme süresinin yetersiz olması ve sistem bileşenlerinin verimsizliği gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklar FV panellerin verimini azalttığı için Temmuz ve Ağustos aylarında diğer aylara göre daha düşük performans izlenmiştir. Fotovoltaik panel sisteminin üretebileceği en yüksek elektrik enerjisi miktarı 2028 kWsa olarak Temmuz ayında ölçülmüştür. Bu durumun Temmuz ayında güneşlenme süresinin diğer aylara nazaran daha uzun olmasıyla alakalı olduğu düşünülmektedir. Üretilen en düşük elektrik enerjisi miktarı ise 445 kWsa ile güneşlenme süresinin diğer aylara göre daha kısa olduğu Aralık ayıdır. Simülasyon sonuçları, FV panel sisteminin yüksek performans sergilemesi sebebiyle, Osmangazi ilçesinin güneş enerjisi açısından oldukça elverişli bir bölge olduğunu ve tasarımı yapılan bu projenin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Çalışma özellikle Osmangazi ilçesindeki iş yerleri için kurulacak çatı tipi fotovoltaik panel sistemlerinin tasarımı ve performans analizi açısından, sürdürülebilir enerji uygulamalarına yol gösterici olabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı bu tür sistemlerin ülke genelinde yaygınlaştırılmasının, maliyetleri düşürmenin yanı sıra konvansiyonel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı da azaltacağı düşünülmektedir.


**Teşekkür:** Sevgisiyle beni her daim cesaretlendiren, şefkatiyle yanımda olan biricik anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Çıkar Çatışması Beyanı:** Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

**Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti:** Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

#### YAZAR ORCID NUMARALARI

Melike YALILI KILIÇ  <https://orcid.org/0000-0001-7050-6742>

Merve KURTARAN  <https://orcid.org/0009-0006-1223-8528>

#### KAYNAKLAR

- Anonim. 2022. T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- Anonim. 2023a. Bursa Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx>
- Anonim. 2023b. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr/>
- Anonim. 2023c. <https://www.pvsyst.com/>
- Akcan, E. Kuncan, M. ve Minaz, M.R. 2020. PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 18: 248-261. <https://doi.org/10.31590/ejosat.685909>
- Akkaş, Ö.P. ve Çam, E. 2020. Optimal Operation of a Virtual Power Plant in a Day Ahead Market Considering Uncertainties of Renewable Generation and Risk Evaluation. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (2): 448-460. <https://doi.org/10.31202/ecjse.652767>
- Aksangör, N.N. Martin, K. ve Boran, K. 2019. PVsyst Simülasyon Aracı Kullanarak Ankara'da Fotovoltaik Güneş Sistemlerin Performans Analizi. SETSCI Conference Proceedings, 4(1): 217-220.
- Aşkın, A. Kılış, Ş. ve Akınoğlu, B.G. 2023. Recycling photovoltaic modules within a circular economy approach and a snapshot for Türkiye. Renewable Energy, 208: 583-596.
- Cebeci, S. 2017. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.
- Çınaroğlu, M.S. 2021. Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin Pvsyst Aracılığı İle Tasarım Ve Analizi. Doktora Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kilis.
- Çıtak, E. ve Kılınc Pala, P.B. 2016. Yenilenebilir Enerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 79-102.
- Çiftçi, S. Solak, M. ve Kuncan, M. 2020. Powered by the Sun: Designing and Analyzing Technical and Economic Aspects of a School Sustained by Photovoltaics. Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering, 1(1): 21-32.
- Göçmen, Ö. 2022. 2022 Türk Dünyası Kültür Başkenti Bursa İli Osmangazi İlçesinin Önemi. Academic Knowledge, 4 (2): 267-283.

- Karaca, Ü.B. ve Uçar, S. 2018. Konut Çatı Ve Cephelerinde Farklı Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2): 65-76.
- Pınar, A. Buldur, A.D. ve Tuncer, T. 2020. Türkiye'deki Güneş Enerji Santralleri Dağılımının Coğrafi Perspektiften Analizi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13 (69): 425-435. <http://dx.doi.org/10.17719/jjsr.2020.3969>
- Sancar, M.R. ve Altınkaynak, M. 2021. Isparta İli İçin Farklı Çatı Tiplerinde Tasarlanan Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32): 1024-1028.
- Sarı, V. ve Özyiğit, F.Y. 2020. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22 (65): 517-526. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2020226519>
- Sarı, V. ve Özyiğit, F.Y. 2020. Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı Ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20): 425-437.
- Şahin, Z.R. Dinçer, F. ve Yılmaz, A.S. 2022. 4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Enerjisi İhtiyacı İçin Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santrali Tasarımı Ve Simülasyonu. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25: 47-56.
- Şimşek, S. ve Uçum, M. 2022. Düz Çatılarda Kullanılan Fotovoltaik Sistemlerin Simülasyon Yoluyla Tasarımı ve Performans Karşılaştırmasının Yapılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 529-533. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1105492>
- Turan, O. 2022. 1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralının Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 34 (2): 609-626. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1104455>
- Varlı, H. Tuna, M. ve Tombul, M. 2022. Bölgesel Güneş Enerji Potansiyeli ve Enerji Santrali Yatırımı Değerlemesi: Sincan Örneği. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 34 (2): 657-666. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1117094>
- Yalılı Kılıç, M. Dönmez, T. ve Adalı, S. 2021. Bursa Ve Karaman İllerinde Konutlarda Güneş Enerji Potansiyelinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26 (2). <https://doi.org/10.17482/uumfd.952925>
- Yılmaz, Ş. 2015. Kahramanmaraş İl Merkezi Koşullarında Optimum Enerji Verimliliğine Sahip Fotovoltaik Temelli Bir Elektrik Jeneratörünün Modellenmesi ve Gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.