

Şırnak Üniversitesi Yerleşkesinde Bulunan Mühendislik Fakültesi Bina Çatılarının Örnek Şebekeye Bağlı (On-Grid) Bir Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Hamza ALAHMAD^{1*}, Edip TAŞKESEN² ve Elif Nur BİLEN³

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Şırnak Üniversitesi, Türkiye

²Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Şırnak Üniversitesi, Türkiye

³Enerji Bilimi ve Teknolojileri, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Şırnak Üniversitesi, Türkiye

*(hmza8246@gmail.com)

Özet – Bu çalışmada, Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin ihtiyaçlarına uygun bir fotovoltaik sistem geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Şırnak ili için güneş enerji potansiyeli ,güneşleme süresi ve iklim verileri incelenmiş. Fakültenin elektrik tüketim verileri göz önünde bulundurularak tüm elektrik tüketiminin fotovoltaik sistemler ile karşılanması için gerekli modül sayısı hesaplanmıştır. Mühendislik fakülte bina çatı alanı için bir ön hesaplama yapılarak çatılarda yerleştirilebilecek maksimum modül adet sayısı, yerleşim şekli ve panel dizileri arasında gerekli mesafeler belirtilmiştir. Proje tasarım işlemlerinde PV*SOL® ve Google Earth programları kullanılarak yapılmıştır. Fotovoltaik sistem için, Mühendislik Fakülte binasının çatılarında PV*SOL® programı kullanılarak 3 boyutlu yerleşim planı yapılmış ve sistem için gerekli ekipmanlar belirlenmiştir. Fakülte için uygun sistem tipi şebekeye bağlı öz tüketimli sistem olarak seçilmiştir. Tasarım sonucunda fotovoltaik sistemin yıllık 214,233 kWh elektrik enerjisi üreteceği hesaplanmıştır. Bu miktar fakültenin gerçek yıllık elektrik tüketiminin %95'i kadardır kalan tüketim kısmı ise şebekeden beslenecektir. %82 verimle çalışan sistemin performans oranı %89,09 olarak hesaplanmıştır ve bu sistem ile yaklaşık 100 ton CO₂ salınımı tasarrufu sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Enerji, Güneş Enerjisi Santrali, Fotovoltaik Sistemler, PV*SOL, Elektrik

I. GİRİŞ

Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneşin ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, dünyadaki madde ve enerji akışını sağlar. Rüzgar, okyanus dalgaları, okyanus sıcaklık farkları ve biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin dönüştürülmüş biçimleridir. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir enerji kaynağıdır ve bu nedenle fosil yakıtlara bir alternatiftir [1].

Her yıl yeryüzüne düşen güneş ışınımının enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar tespit edilen fosil yakıt rezervlerinin enerjisinden yaklaşık 160 kat daha fazladır. Ayrıca Dünya'daki fosil, nükleer ve hidroelektrik yapıların bir yılda üretebileceğinden 15.000 kat daha fazladır. Bu açıdan, güneş

enerjisinin mevcudiyeti bir sorun değildir. Temel sorun, insan faaliyetlerine uygun kullanılabilir bir enerji formuna dönüştürülebilmesidir [2, 3].

Değişik teknolojilerin kullanılması ile güneş ışınımı enerjisi faydalı ve kullanılabilir enerjilere doğrudan dönüştürülebilir. Mesela bunların güneş toplayıcıları (kolektör) ile toplanması sonucunda sıcak su elde edilebilir. Güneş pilleri (fotovoltaik) denilen cihazlar vasıtası ile güneş ışınımını doğrudan doğruya elektrik enerjisi haline dönüştürülebilir. Güneş radyasyonunun enerjisi atmosferde meteorolojik olaylara neden olur. Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunun çoğu serbest su yüzeyleri (nehirler, göller, denizler ve okyanuslar) tarafından yutularak ve ısı olarak depolanır [4].

1960 yılında başlatılan "Apollo" aya iniş programı, güneş enerjisi araştırmalarını teşvik etti.

Her yerde bol miktarda bulunan silisyumun güneşin etkisiyle elektron ürettiğinin tespit edilmesinden sonra uzay roketlerinin elektrik ihtiyacının güneş enerjisinden yararlanılarak karşılanabileceği ve bu buluş güneş enerjisi alanında yeni bir çığır açmıştır [5].

Güneş enerjisi bol, sürekli, yenilenebilir ve bedava bir enerji kaynağıdır. Ayrıca geleneksel yakıtların kullanılmasından kaynaklanan çevre sorunlarının büyük bir kısmının güneş enerjisi üretiminde bulunmaması bu enerji türünü temiz ve çevreci bir enerji haline getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi yönlendirebilir. Çünkü güneş radyasyonu dünyanın her yerinde bulunur. İlk güneş pilleri 1950 yılında üretildi ve güneş ışınımını kullanarak doğrudan elektrik üretimine dönüştürmek mümkün oldu. Güneş pilleri günümüzde bilgisayarlarda, uzak iletişim merkezlerinde, aydınlatmada ve bazı ülkelerde su pompalarına güç sağlamak için kullanılmaktadır [6, 7].

Fosil yakıtların kullanımına dayalı yakma teknolojisinin kaçınılmaz yan ürünü olan karbondioksit emisyonu nedeniyle atmosferdeki karbondioksit miktarı geçtiğimiz yüzyılda yaklaşık 1,3 kat arttı. Önümüzdeki 50 yılda bu miktarın bugünkünün 1,4 katına çıkması bekleniyor. Atmosferdeki karbondioksitin neden olduğu sera etkisi, geçtiğimiz yüzyılda ortalama küresel sıcaklığı 0,7°C artırdı. Bu sıcaklığın 10°C artması tüm dünyada iklimlerde gözle görülür değişikliklere, 30°C artması ise kutup buzullarının erimesine, deniz seviyesinin yükselmesine, göllerin kurumasına ve kuraklıklara neden olabilir. . Bu durumda enerji kullanımından vazgeçilemeyeceği için güneş gibi doğal ve alternatif kaynaklara yönelmek gerekmektedir [7].

Güneş, 1,4 milyon km çapında, Dünya'nın 110 katı büyüklüğünde, yüksek sıcaklıklı, yüksek basınçlı bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı 6000 OK civarında olup, iç sıcaklığın 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasında değiştiği tahmin edilmektedir.

Güneş enerjisi günümüzde konut ve iş yerlerinin ısıtılması-soğutulması, yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi ve yüzme havuzu ısıtılmasında; tarımsal teknolojide sera ısıtılması ve tarım ürünlerinin kurutulmasında; sanayide, güneş ocakları, fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamalarında;

ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde olarak kullanılmaktadır [5].

Güneş enerjisinden elektrik üretimi doğrudan dönüşüm ve dolaylı dönüşüm olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Doğrudan dönüşümün günümüzde en yaygın teknolojisi Fotovoltaik Dönüşüm veya Türkçe adıyla Güneş Pili olup, gelecek için ümit veren diğer bir teknoloji ise ısıdan dönüşümle doğrudan mekanik enerji elde edilen Stirling Motorudur. Yine aynı gruba giren termoelektrik ve termoiyonik dönüştürücüler henüz ticari kullanım düzeyine erişememişlerdir [8].

Güneş pilleri (fotovoltaik hücreler), güneş ışığını doğrudan yüzeylerinde elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerdir. Şekilleri kare, dikdörtgen ya da dairesel olan güneş pillerinin yüzeyi genellikle yaklaşık 100 cm² alana sahiptir ve kalınlıkları 0,2 ile 0,4 mm arasında değişmektedir. Güneş pilleri fotovoltaik prensibiyle çalışır, yani ışık onlara çarptığında uçlarında bir voltaj üretilir. Pilin sağladığı elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine ulaşan güneş enerjisidir. Güneş pilinin yapısına bağlı olarak güneş enerjisi %5 verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Çıkış gücünü artırmak için çok sayıda güneş pili birbirine paralel veya seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü veya fotovoltaik modül denir. Güç talebine bağlı olarak, modüller birkaç Watt'tan mega Watt'a kadar değişebilen bir sistem oluşturmak için seri veya paralel olarak birbirine bağlanır. Üç tür fotovoltaik sistem vardır: şebekeden bağımsız sistemler, şebekeye bağlı sistemler ve hibrit sistemler. Bunların isimleri sistemlerin harici elektrik kaynağı için olan temel özelliklerin göre tanımlanmaktadır [9].

Ülkemiz güneş enerjisi açısından elverişli bir coğrafi konuma sahiptir. Türkiye, Dünya üzerinde 36° - 42° kuzey enlemleri ile 26° - 45° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı 1527,46 kWh/m².yıl ve yıllık ortalama güneşlenme süresi 2741,07 saat/yıl'dır. Bu rakam günlük 4,18 kWh/m² güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamada ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. 9,8 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) ısı uygulamalara olmak üzere yıllık 26,2 milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Güneş enerjisinin sahip olduğu büyük potansiyele ve elverişli koşullara rağmen toplam enerji üretimindeki yeri oldukça düşüktür. Yılın 10 ayı boyunca teknik ve

ekonomik olarak ülke yüzölçümünün %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17' sinden yararlanılabilir. Ayın ortalama günlük ışınım şiddeti $4,18 \text{ kWh/m}^2$ 'dir. Yılın en güneşli ayı Temmuz'dur. Aylık ortalama günlük güneşleme süresi 7,49 saat/gün'dür [10].

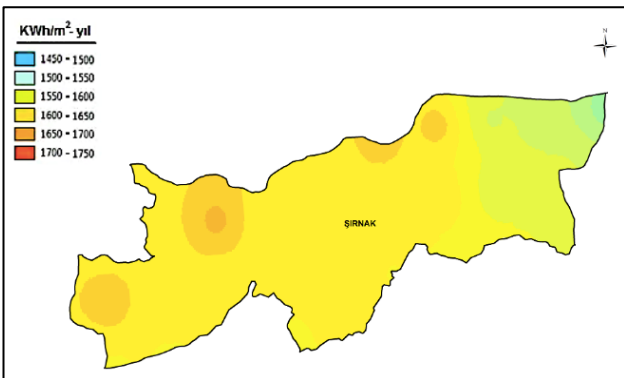
Bu çalışma, SÜ Mühendislik Fakültesi'ne uygun olarak fotovoltaik sistemlerin tasarımını ve analizini içermektedir. Tasarım sonucunda fakültenin elektrik tüketimi dikkate alınarak sistemin bölüme ne kadar elektrik getireceği belirlenmiştir. Fotovoltaik sistemlerin kampüs içi uygulamalarının artırılması için ilgili birimlere yol gösterici bir çalışma olmayı hedeflemektedir

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü'nde bulunan Mühendislik Fakültesi için bir FV güneş enerjisi sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem analiz ve tasarım için PV*SOL® yazılımı kullanılmıştır. Modelleme için yazılımdaki MeteoSyn veri tabanından alınan iklim değerleri kullanılmıştır. Hesaplamalar Mühendislik Fakülte'nin elektrik tüketim verileri, bina yerleşimi ve çatı alanı dikkate alınarak program tarafından yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan fotovoltaik sistemin ekonomik analizi yapılmıştır ve bu sistemin ne kadar uyulanabilir ortaya konmuştur.

A. Şırnak İli Güneşleme Süresi ve Güneş Enerjisi Potansiyeli

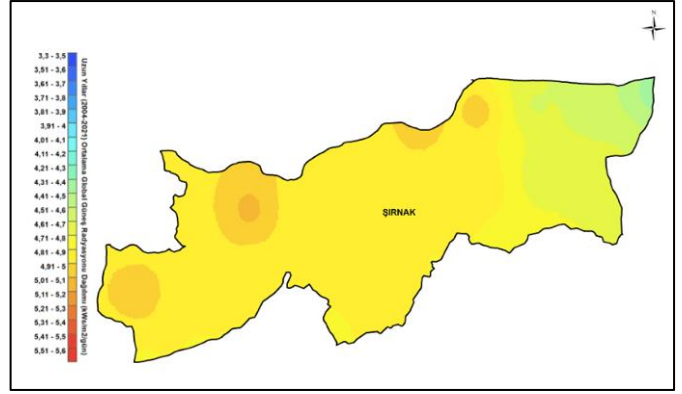
Şırnak ili Türkiye'nin güneyinde yer alır ve güneşlenme saatleri ve ışınım açısından Türkiye'nin önde gelen illerinden biridir. Yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1600 ile 1650 kWh/m^2 -yıl arasında değişmektedir (Şekil 1) [11, 12].



Şekil 1. Şırnak'ta Toplam Güneş Işınımının Yıllık Dağılımı [11].

Şırnak ili'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2975 saat (ortalama 7.3 saat/gün) ve yıllık toplam

ışınım miktarı 1600 kWh/m^2 .yıl (ortalama $4,4 \text{ kWh/m}^2$.gün) değerlerine sahiptir (Şekil 2) [11, 12].



Şekil 2. Şırnak İli Yıllık Toplam Güneşlenme Süresi [11].

Özet olarak Şırnak ili'nde mevcut ortalama günlük güneşlenme süresi ve ışınım değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şırnak İli'ne Güneşleme ve Işınım Değerleri.

Güneşleme Süresi (Saat-Yıl)	Yıllık Işınım Değeri (kWh/m^2 - yıl)	Günlük Ort. Güneşleme Süresi (Saat)	Günlük Ort. Işınım Değeri (kWh/m^2 -gün)
2975	1601	7.3	4,8

B. Mühendislik Fakültesi Elektrik Tüketimi

Mehmet Emin Acar kampüsü ŞÜ'nün en büyük ve ana kampüsüdür. Kampüs Şırnak ili'nde, yaklaşık olarak $37.4N$ ve $42.4E$ koordinatlarında bulunmaktadır. Mühendislik Fakültesi için ŞÜ İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı'ndan alınan veriler doğrultusunda 2022 yılı için aylık elektrik tüketim değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Mühendislik Fakültesi Elektrik Tüketim Verileri.

Ay	2022 Yılı Tüketim Verileri (kWh)	Yıllık (kWh)
Ocak	21068,00	191.720
Şubat	19579,00	
Mart	22612,00	
Nisan	15076,00	
Mayıs	12856,00	
Haziran	26735,00	
Temmuz	22245,50	
Ağustos	23080,00	
Eylül	23017,00	
Ekim	15912,45	
Kasım	11747,00	
Aralık	11320,50	

Mühendislik Fakültesi günlük ortalama elektrik enerji ihtiyacı belirlenmesi şöyledir; Tablo 2’den (Mühendislik Fakültesi elektrik tüketim verileri) göre 2022 yılın’da en yüksek elektrik tüketimi oranı haziran ayındadır 26735 kWh olmaktadır. Ortalama günlük elektrik tüketimi ise Denkelem (1) kullanarak elde edilir.

$$OGET = \frac{AT}{30} \quad (1)$$

OGET = Ortalama günlük enerji tüketimi,

AT = Aylık tüketim.

$$OGET = \frac{26735}{30} = 891 \text{ kWh'tır.}$$

C. Çatı Alanı

Mühendislik Fakültesinin çatısı düz çatı olup boş olduğu için fotovoltaik tesisatlara uygundur. Toplam çatı alanı yaklaşık 5100 m²'dir. Montajı zorlayacak farklı geometrilerdeki alanlar çıkarıldığında sistemin uygulanabileceği alan toplam 2500 m²olarak alınır. Şekil 3 Mühendislik Fakültesi'nin uydu görüntüsünü göstermektedir. Mühendislik Fakültesi için çatı sistemi şeklinde kurulan şebeke bağlantılı fotovoltaik güneş sisteminin hesapları yapılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi çatı yüzeyi 7 parçaya bölünmüştür. Bu bölümler A, B, C, D, E, F ve G harfleri ile belirtilmiştir. Yedi ayrı bölüm olarak kabul edilen çatının ,5 m parapetlerin de düşüldüğü kullanılabilir alanları Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Mühendislik Fakültesi Uydu Görüntüsü [13].



Şekil 4. Mühendislik Fakültesi Çatı Alanı.

Tablo 3. ŞÜ Mühendislik Fakültesi Çatısının Alanları.

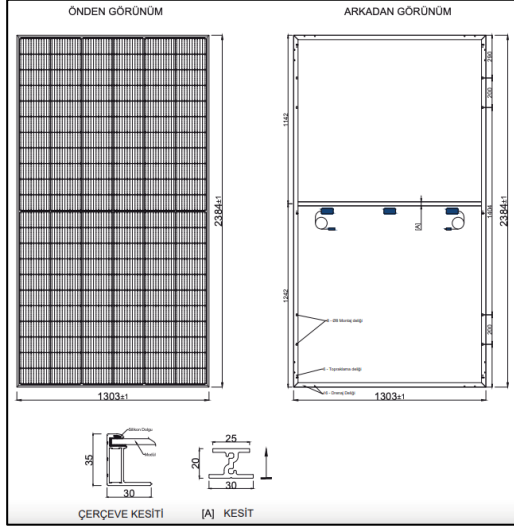
Bölüm	Kullanılabilir Alan (m ²)
A	250
B	250
C	250
D	370
E	310
F	540
G	410

D. FV Panel Seçimi

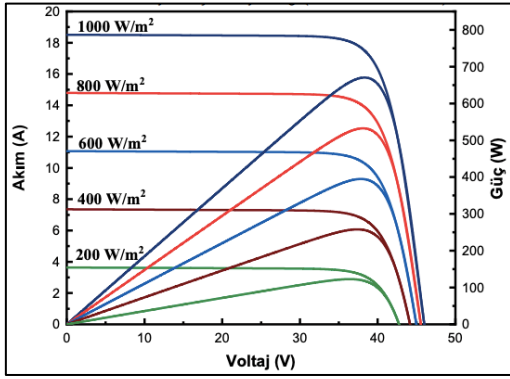
Tüketimi ve üretimi dengelemek için sistemi boyutlandırmak için bazı hesaplamalar yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamalarda sistemin kullanılacağı alanın büyüklüğü kadar seçilen solar modül ve parametreleri de önemlidir. Sistem için seçilen solar modül, yerel üretici CW Enerji'nin 650 Wp modelidir. Bu modülün karakteristik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir, fiziksel, elektriksel özellikleri ve gerçek görseli ise Şekiller 5, 6 ve 7'de göstermektedir.

Tablo 4. CW Modülün Karakteristik Özellikleri [14].

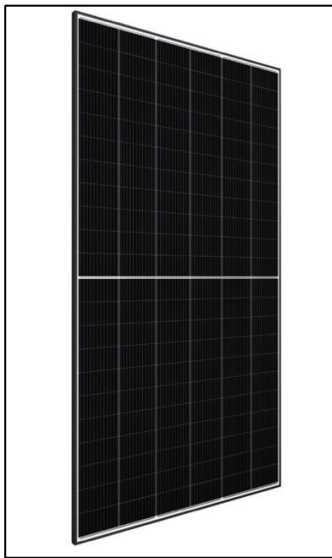
Model Tipi	CWT650 132PM12
Maksimum Güç (P_{max})	650 Wp
Mödü l Verimliliği %	20.92
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	37.50
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	17.34
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	45.20
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	18.35
Güç Toleransı	0 ~ + 5W
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1500 V DC
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ + 85 °C
Maks. Seri Sigorta Akımı	30A



Şekil 5. CWT650 Modül Fiziksel Özellikleri [14].



Şekil 6. CWT670 Panel Elektriksel Özellikler Grafiği [14].



Şekil 7. Panel Gerçek Görşeli CW Enerji 650 Wp Black&White [14].

E. Sistemin Panel Sayısı ve Kurulu Gücü Hesabı

FV Sistem'in kurulmasında önemli rol oynayan değerlerden biri de yatay düzlemde bölgesel güneş ışınım değerleridir. Güneş ışınımı değeri, sistem kurulurken kullanılacak panel sayısını belirlemek için kullanılır. Sistemde kullanılacak fotovoltaik panel sayısı Denklem (2) kullanarak panel sayısı elde edilir. Sistemin kurulu gücü ise hesaplanması için Denkelem (3) kullanarak bulunur [15].

$$PS = \frac{GEI \times SV}{PG \times GOGS} \quad (2)$$

PS = Panel Sayısı,

GEİ = Günlük Enerji İhtiyacı,

SV = Sistem Verimliliği,

PG = Panel Gücü,

GS = Günlük Ortalama Güneşleme Süresi.

Burada sistemde kullanılacak panel gücü(PG) 650W'lık ve sistem veriminin(SV) yaklaşık 0,87 olduğu varsayılmaktadır. Şırnak ili'nde günlük ortalama güneşleme süresi(GOGS) Tablo 1'a göre 7.3 saat ve Mühendislik Fakültesinin günlük enerji ihtiyacı(GEİ) ise 981 kWh olmaktadır. Denkelem (1) göre sistemde kullanılacak panel sayısı;

$$PS = \frac{981000 \times 0,87}{650 \times 7,3} = 180 \approx 200 \text{ Panel}$$

Yaklaşık 200 adet 650W'lık gücü sahip güneş paneli sistemi kullanıldığında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin tüm enerji ihtiyacını karşılayacaktır.

$$SKG = TPS \times PG \quad (3)$$

SKG = Sistemin Kurulu Gücü,

TPS = Toplam Panel Sayısı,

PG = Panel Gücü.

Mühendislik Fakültesi için düşünülen fotovoltaik sistemin kurulu gücü Denklem (3) kullanarak hesaplanmıştır;

$$SKG = 200 \times 650 = 130 \text{ kWp.}$$

F. Panellerin Çatı Yerleşimi (Montaj şekli, eğim açısı ve diziler arası mesafa hesabı)

Güneş panelinin eğim açısı enlem değeri ile hesaplanır. Enlem değeri 25'ten küçükse bu açı 0,87 ile çarpılarak hesaplanır. Enlem değeri 25 ile 50 arasındaysa 0,87 ile çarpın ve sonuca 3,1 derece ekleyin. Türkiye 36 ila 42 derece enlemleri arasında yer almaktadır, ülkemizdeki tüm ayarlarda bu hesaplama yöntemi kullanılmalıdır. Enlem değeri 50 derece ve üzerinde ise ideal açı yaklaşık 45 derecede elde edilebilir [16].

Şırnak ili için enlem değeri 37,4°'dir. Güneş panelleri yönü güneye bakacak şekilde yerleşmelidir, bunu sebebi güneş yıllık yörüngesini tamamlarken her zaman gökyüzünün güney kısmı boyuncadır. Dolayısıyla, bugüne kadarki en iyi uygulama, maksimum güneş ışığını yakalamak için güneş panellerini güneye bakacak şekilde konumlandırmak olmuştur. Modüler sıralar yerleştirilirken her sıranın eğim açısından dolayı bir yükseklik değeri vardır. Bu yüksekliğe bağlı olarak modüler bir sıra, arkasındaki sıranın gölgelenmeyi neden olur.

$$\text{Panel Eğimi} = 37,4 \times 0,87 + 3,1 = 36^\circ \text{ derece olmalıdır.}$$

Şekil 8'de gösterildiği gibi β eğim açısı ile yerleştirilen modüller için, iki modül sırası arasındaki mesafe, modülün yüksekliğinin h değerinin 3 katına eşit olmalıdır. Güneşin derece cinsinden minimum yüksekliği Denklem (4) yardımıyla hesaplanabilir. Bu formülde φ konumun enlem değeridir [17].

$$h_s = 90^\circ - \varphi - 23^\circ \quad (4)$$

$$h_s = 31$$

FV Sistem için seçilen modülün boyunun 2,38 m, eninin ise 1,3 m ve panel eğim açısı 36° derece olmakta ve modüllerin yatay olarak yerleşmesi yapılacak buna göre h (modül yüksekliği) Denklem 5 ile hesaplanır [17].

$$h = L \sin(\theta) \quad (5)$$

$$1,3 \times \sin(36) = 1,28 \text{ m}$$

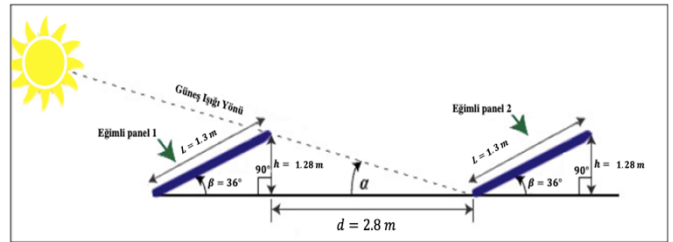
Güneşin ve güneş panellerinin yüksekliği hesaplandıktan sonra Denklem (6) kullanarak panel dizileri arasındaki minimum mesafe belirlenebilir [17].

$$d = \frac{h}{\tan(h_s)} \quad (6)$$

$$d = \frac{1,3}{\tan(31)} = 2.8 \text{ m olmaktadır.}$$

Bu hesaplama göre projede FV panel dizileri arasında en az 2.8 m boşluk bırakılmalıdır. Gölgelemeyi önlemek için, modüllerin yerleşimi Şekil 8'de gösterildiği gibi yapılmaktadır. Çatı alanı tek bir parça değil, 7 adet farklı alandan oluşmaktadır. Tablo 4'teki kenar boyutları göz önünde bulundurulduğunda tüm çatı alanına toplamda 200 adet modül yerleştirilebilmektedir.

Her bir çatı alanına en fazla kaç modül yerleştirilebileceği Tablo 5'te gösterilmiştir. Boy/modül bir çatı alanının boy kenarına sığabilecek maksimum sıra sayısını ifade etmektedir. En/modül ise bir çatı alanının en kenarına sığabilecek maksimum modül sayısı yani bir sırada olabilecek maksimum modül sayısını ifade etmektedir.



Şekil 8. Modüllerin Yatay Yerleşim Şekli.

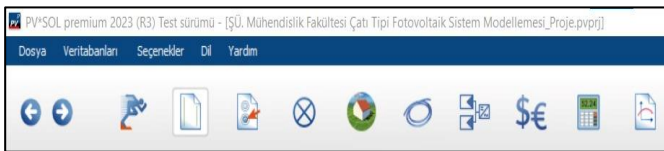
Tablo 5. Çatı Alanlarına Yerleştirilebilecek Maksimum Modül Sayısı.

Bölüm	Kullanılabilir Net Alan m^2	Modül Sayısı
A	247	25
B	247	25
C	247	25
D	280	29
E	224	20
F	450	50
G	320	26

III. BULGULAR

Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin enerji tüketimi belirlendikten sonra tasarım ve simülasyon işlemlerde PV*SOL® programı kullanılmıştır. Bu yazılım, Almanya menşeli Valentin Software tarafından üretilmiştir. Yazılım iklim verileri için MeteoSyn verilerini kullanmaktadır. Programda, iklim verileri haritadan seçilebileceği gibi, kullanıcı kayıt yaparak veya mevcut bir veri tabanına interpolasyon yaparak kendi ölçümlerini oluşturabilir. PV*SOL® yazılımı, PV sistem ekipmanı için 15.000 modül ve 4.000 invertörden oluşan geniş bir veritabanı içermektedir. Veritabanı, üreticiler tarafından sürekli olarak güncellenmektedir. Program "3D Görselleştirme" bölümü ile 3D tasarım yeteneğini sağlamaktadır. PV*SOL® yazılımında dakika veya saatlik verilerle simülasyonlar yapılır ve nakit akış şemaları ve tabloları şeklinde nihai rapor elde edilebilmektedir. Program arayüzünde dokuz pencere vardır. Proje verilerine ve özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki pencereler bu menüye otomatik olarak eklenmektedir. Şekil 9, bu pencerelere geçiş sağlayan simgeler içeren bir menüyü göstermektedir. pencere başlıkları şu şekilde sıralanır;

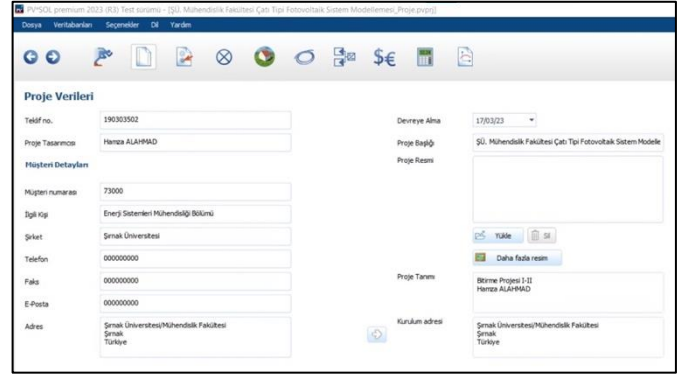
- Hoşgeldiniz,
- Proje Verileri,
- Sistem Türü, İklim ve Şebeke,
- Tüketim,
- 3D Tasarım,
- Kablolar,
- Planlar ve Parça Listesi,
- Finansal Analiz,
- Sonuçlar.



Şekil 9. PV*SOL® Ana Menü.

A. Proje Verileri

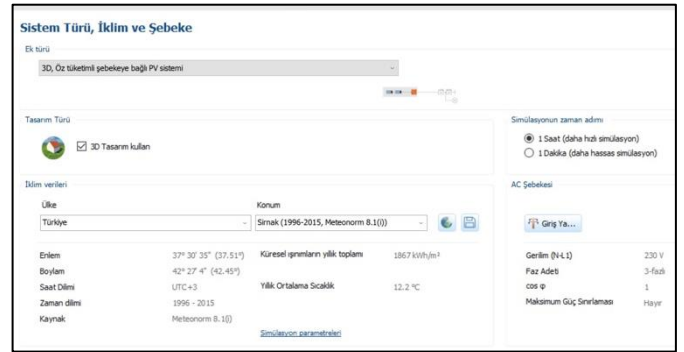
Proje numarası, proje ismi, tarih, projeyi temsil eden resim, projeyi gerçekleştiren, proje açıklaması gibi bilgiler bu pencerede girilir. Şekil 10'de Müh. Fakültesi FV sistemin verileri göstermektedir.



Şekil 10. Proje Verileri.

B. Sistem Türü, İklim ve Şebeke

Sistem tipi olarak; Öz tüketimli şebekeye bağlı seçildi. Proje için 3 boyutlu tasarım yapılacak. İklim verileri ise program MeteoSyn uygulamasına geçiş yapmaktadır, MeteoSyn verileri üzerinden interpolasyon yaparak seçimi yapılacak konumun iklim ve güneş radyasyon verilerini oluşturabilmektedir. Müh. Fakültesi FV Projesi için iklim verileri konum (Şırnak) seçildi ve simülasyonun zaman adımı (1 saat) seçildi. AC Şebekesi bilgileri ise program otomatik olarak ülke şebeke özellikleri eklendi. Şekil 11'de Sistem Türü, İklim ve Şebeke penceresi gösterilmektedir.



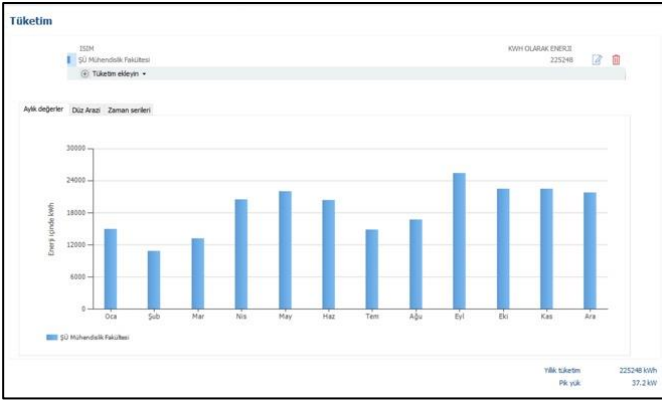
Şekil 11. FV Sistemin Türü ve İklim ve Şebeke Verileri.

Uygulanan simülasyonda Şırnak ilinin 1996-2015 yılları arasındaki iklim verileri bulunmaktadır. Buna göre Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için gerçek zamanlı olarak yıllık 1867 kWh/m² güneş ışınım değeri ve yıllık ortalama 12.2 °C sıcaklık elde edilmiştir.

C. Tüketim Verileri

Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin yıllık tüketimi Tablo 2'deki 2022 yılın elektrik faturasında 225.248 kWh olarak gösterilmiş ve simülasyon hesaplamalarında bu veriler kullanılmıştır. 2022 yılına ait tüketim bilgilerinin yer

aldığı excel dosyası oluşturularak programa manuel olarak girilmiştir. Şekil 12’de Fakültenin ait 2022 yılın aylık elektrik tüketim değerleri gösterilmiştir.



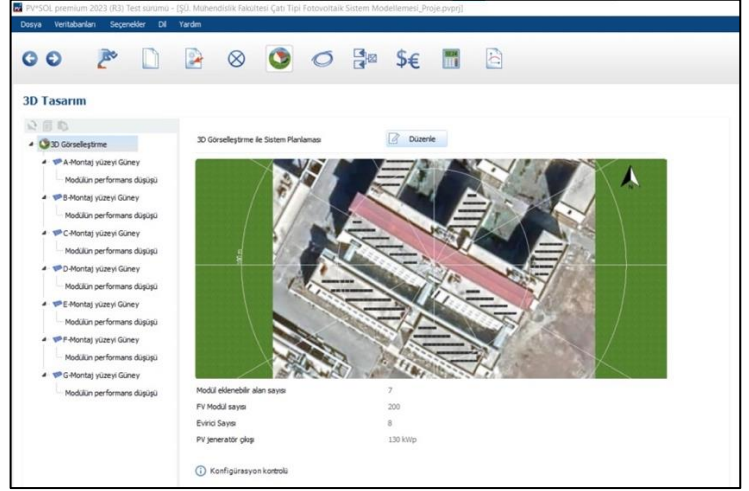
Şekil 12. Fakültenin 2022 Yılın Aylık Elektrik Tüketim Değerleri.

D. 3B Tasarım İşlemei

Programın 3D modellemesinde Google Maps entegrasyonu sayesinde Mühendislik Fakültesi çatı görseli program üzerinden programa yüklenmiştir. Bu görüntü yüklendiğinde, program modelleme için en uygun cepheyi güney cephesini otomatik olarak seçer. Türkiye'nin güneyinde yer alan Şırnak ili için, güneye bakan fotovoltaik panellerin kurulumu daha yüksek enerji üretimi sağlamaktadır. Şekil 13'te projenin 3D tasarım penceresi göstermektedir.

Üretilecek elektrik enerjisinin hesaplanmasında güneş ışınımı miktarının yanı sıra en önemli faktör fotovoltaik modülün özelliğidir. PV*SOL® programının veritabanında yaklaşık 15.000 modül vardır.

Bu çalışmada kullanılan fotovoltaik modül modeli yazılımın veritabanında yer alan bir modeldir. Güneş Paneli olarak 650 W CW monokristal güneş paneli tercih edilmiştir. Şekil 14, seçilen çatı alanları üzerinde 200 adet 650 W CW monokristal güneş panelinin yerleşimini göstermektedir.

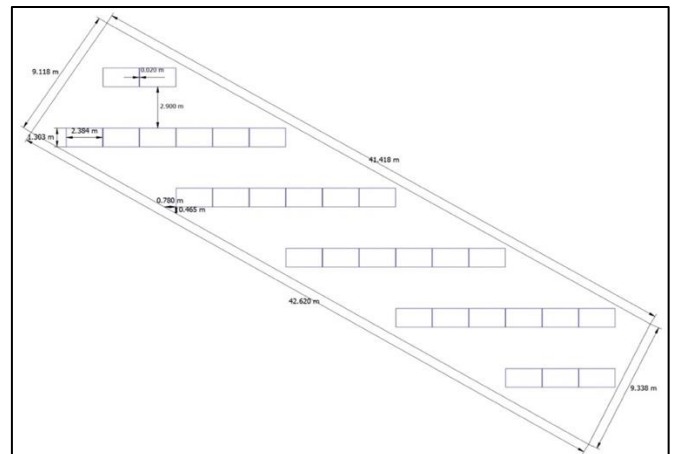


Şekil 13. Projenin 3D Tasarım İşlemi.



Şekil 14. 200 Adet FV Panelleri Yerleşimi - 3D Görsel.

Program, çatı alanları (A, B, C, D, E, F ve G Çatı parçaları) üzere tasarlanan FV sistem modüllerin boyutlandırma planları elde edilmiştir. Şekil 15'te D - Alan Modüllerin Boyutlandırma Planı göstermektedir.



Şekil 15. Alan Modüllerin Boyutlandırma Plan Korkisi.

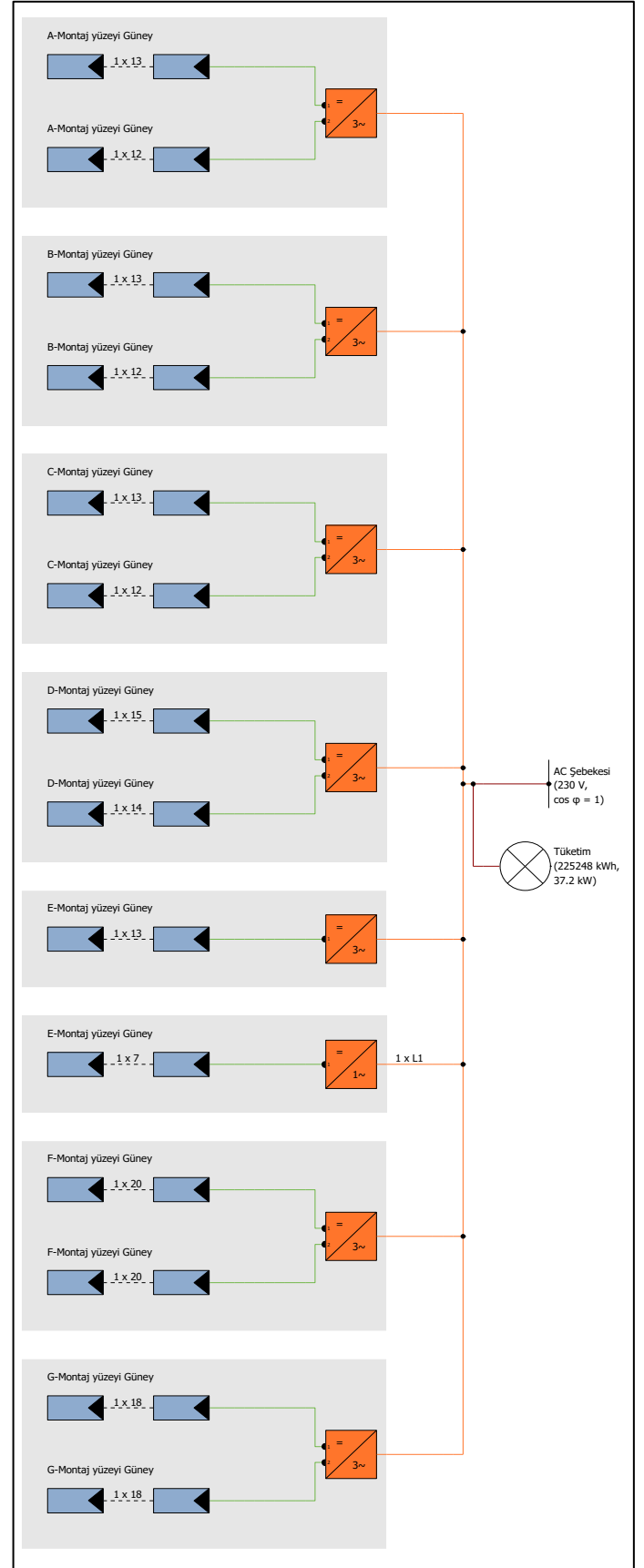
3D tasarım düzenleyicili PV*SOL® yazılımı, uydu haritası üzerinde 3D nesnelere çizer ve gölgeleme miktarını hesaplamak için en yakın gerçekçi simülasyonu gerçekleştirir. Çizilmekte olan 3D binaların çatı alanları için, yazılım otomatik olarak maksimum sayıda modülü çatıya yerleştirir. Ayrıca seçilen uygun invertörler otomatik olarak yapılandırılır. Yazılım veritabanında (Valentin Software, 2023) 3.100 inverter modeli özelliği bulunmaktadır.

İnvertörler, panellerden sonra dikkat edilmesi gereken en önemli fotovoltaik sistem bileşenidir. İnvertör seçerken seri bağlı kabloların maksimum açık devre voltajının inverter giriş voltajından yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca inverterlerin daha verimli çalışabilmesi için kurulacak şekilde tasarlanan fotovoltaik sistemin gücüne yakın bir güçte inverter seçilmesi gerekmektedir. Kurulacak sistem için Schneider Electric 8 adet farklı model inverter seçilmiştir. Şekil 22’de seçilen 8 adet Schneider Electric inverter modeli ve özelliği gösterilmiştir.

İnvertörler	Düzenle	Schneider Electric	Conext TL 15000 E	3	Adet
İnvertörler	Düzenle	Schneider Electric	Conext CL18000 NA	1	Adet
İnvertörler	Düzenle	Schneider Electric	Conext TL 8000 E	1	Adet
İnvertörler	Düzenle	Schneider Electric	Conext RL 4000E	1	Adet
İnvertörler	Düzenle	Schneider Electric	Conext CL25000 NA	1	Adet
İnvertörler	Düzenle	Schneider Electric	Conext CL20000E	1	Adet

Şekil 16. Seçilen İnvertörler Modeli.

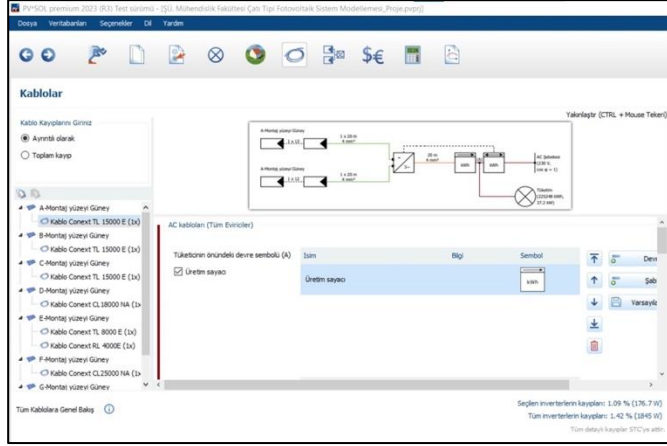
Şekil 17’de tasarlanan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin blok diyagramında ilk etapta 8 inverter vardır ve bu 8 invertöre bağlı toplam 14 MPPT kullanılmaktadır. Birinci, ikinci ve üçüncü invertöre bağlı MPPT’ler de 13-12 şeklinde modülün oluşan 2 dizi bölgesine ayrılmıştır. Dördüncü invertöre ise 15-14 şeklinde bağlı modülün oluşan 2 dizi bölgesine ayrılmıştır. Beşinci invertör tek MPPT girişli 13 modülün oluşan tek dizi bölgesi. Altıncı invertör tek MPPT girişli 7 modülün oluşan tek dizi bölgesi. Yedinci invertör 20-20 şeklinde bağlı modülün oluşan 2 dizi bölgesine ayrılmıştır. Sekizinci invertör 18-18 şeklinde bağlı modülün oluşan 2 dizi bölgesine ayrılmıştır.



Şekil 17. Tasarlanan Fotovoltaik Sistemin Blok Diyagramı.

E. Kablolar

Bu pencerede kablo bilgileri girilir. Kablo kayıpları, ortak bir yüzde olarak bir değer olarak girilebilir veya mevcut bir bağlantı şemasına göre ayrıntılar girilerek yazılım tarafından hesaplanabilmektedir. Şekil 18'de program'da kablo sayfası göstermektedir.



Şekil 18. Kablolar Penceresi.

F. Planlar ve Parça Listesi

Bu pencere tasarlanmış FV sistemin devre diyagramının ve panel yerleşiminin ölçülendirme değerlerini de içeren krokisinin gösterildiği penceredir. Ayrıca bu pencereden parça listesi bulunmaktadır. Tasarlanan FV sistemde kullanılan parça listesi ve parça sayıları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Parça Listesi

Parça	Üretici	Model	Miktar	Birim
PV Modülü	CW Enerji Müh. Tic. San. Ltd. Şti.	CWT650-132PM12	200	Adet
İnverter	Schneider Electric	Conext TL15000 E	3	Adet
	Schneider Electric	Conext CL18000 NA	1	Adet
	Schneider Electric	Conext TL 8000 E	1	Adet
	Schneider Electric	Conext RL 4000E	1	Adet
	Schneider Electric	Conext CL25000 NA	1	Adet
	Schneider Electric	Conext CL20000E	1	Adet
Kablo	-	AC kabloları 3-fazlı 4 mm ² Bakır	200	Metre (m)
Kablo	-	Dizi kablosu 4 mm ² Bakır	1170	Metre (m)
Sayac	-	Üretim sayacı	1	Adet
Sayac	-	Çift yönlü sayaç	1	Adet

G. Ekonomik Analiz

PV*SOL® yazılımının ekonomik analiz yapabilmesi için ekipman birim fiyatı ve diğer maliyetlerin yazılıma girilmesi gerekmektedir. Tablo 8'de tasarlanan FV sisteminde kullanılan ekipmanın yaklaşık birim maliyetini göstermektedir.

Tablo 7. Maliyet Analizi.

Parça	Model	Adet fiyatı (TL)	Adet
PV Modülü	CWT650-132PM12	7120	200
İnverter	Conext TL15000 E	69500	3
	Conext CL18000 NA	92500	1
	Conext TL 8000 E	35000	1
	Conext RL 4000E	18000	1
	Conext CL25000 NA	125000	1
	Conext CL20000E	70500	1
Kablo	AC kabloları 3-fazlı 4 mm ² Bakır	22	200 metre
Kablo	Dizi kablosu 4 mm ² Bakır	26	1170 metre
Sayac	Üretim sayacı	3000	1
Sayac	Çift yönlü sayaç	5000	1
Solar Sehpa (Konstrüksiyon)	Alüminyum	100	200
Solar konnektör	-	48	200

Mühendislik işlerinin maliyeti 60.000 TL, işçilik maliyeti 300.000 TL ve diğer maliyetler 50.000 TL olarak belirlenmiştir. Sistemin toplam maliyeti 2.425.950 TL olarak hesaplanmıştır.

H. Simülasyon Sonuçları

Kurulması planlanan sistemin girdileri programa eklendikten ve kullanılacak ekipmanlar belirlendikten sonra sistemin tüm sonuçları detaylı proje raporu ve sonuç ekranlarından grafiksel olarak

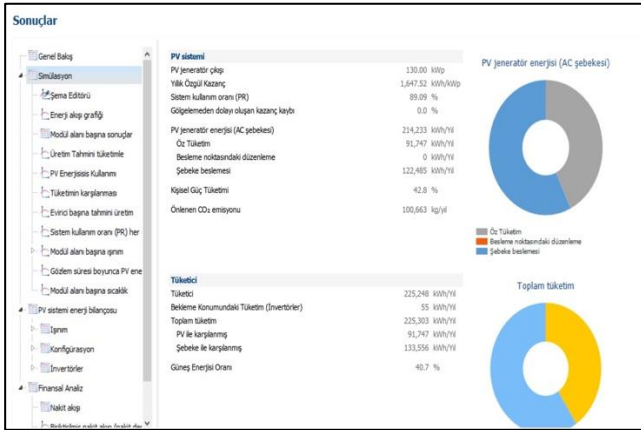
alınır Şekil 19, projenin simülasyonu göstermektedir. Şekil 20'de, Şekil 4.1'de, tasarlanan güneş enerjisi santralının simülasyonu sayesinde elde edilen enerji akışının bir diyagramı göstermektedir.

Tablo 8 kurulu fotovoltaik sistemin bir özet tablosunu içerir. Burada FV sistemin yıllık enerji kazancı 1.674,52 kWh ve sistemin kullanım oranı %98,09'tir. Fosil yakıtların kullanımının yol açtığı en büyük zararlardan biri CO2 gibi sera gazlarının salınımıdır. Sistemin kurulması ile önlenebilecek CO2 emisyon miktarının yılda 100 ton olacağı hesaplanmıştır.

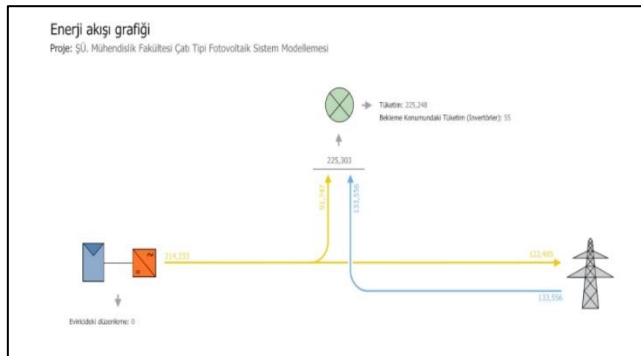
Ayrıca Mühendislik Fakültesi'nin 225.303 kWh ihtiyacının 91.747 kWh'lik PV sistemden doğrudan karşılandığı, sistemin kalan üretim miktarı 122.485 kWh'lik şebeke beslenecektir ve fakültenin kalan ihtiyacı 133.556 akşam saatleri ve kış aylarda şebekeden karşılandığı hesaplanmıştır, dolayısıyla sistemin otarşi derecesi (kendi kendine yeterlilik derecesi) %95'tir. Yani tüketim düşük ve üretimin fazla olduğu dönemde bu üretimden 122.485 kWh enerjinin şebekeye satılacağı hesaplanmıştır, tüketim fazla ve üretim düşük olduğu dönemde bu tüketim şebekeden karşılanacaktır.

Tablo 8. Tüm sistem sonuçları.

FV Sistem	
PV Jeneratör Çıkışı	130 kWp
Yıllık Özgül Kazançlar	1,647.52 kWh/kWp
Sistem Kullanım Oranı (PR)	% 89.09
Gölgeleme Nedeniyle Kazanç Kaybı	% 00.00
PV Jeneratör Enerjisi (AC şebekesi)	214,233 kWh/Yıl
Öz Tüketim	91,747 kWh/Yıl
Şebeke Beslemesi	122,485 kWh/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonları	100,663 kg/Yıl
Sistem Türü, İklim ve Şebeke	
Sistem Tipi	Öz Tüketimli Şebekeye Bağlı FV Sistem
İklim Verileri	Sirnak(1996-2015, Meteororm 8.1(i))
AC Şebekesi	230 V, 3-fazlı, cos φ = 1
Üretim ve Tüketim Karşılaştırması	
Toplam Tüketim	225,303 kWh/Yıl % 100
Toplam Üretim	214,233 kWh/Yıl % 95.08
FV Sistemden İle Karşılanmış Tüketim	91,747 kWh/Yıl % 40.72
FV Sistemden Şebekeye Beslenen	122,485 kWh/Yıl % 54.36
Şebeke İle Karşılanmış Tüketim	133,556 kWh/Yıl % 59.27
Şebekeden(Sistem üretimin dışı) Alınan Miktar	11,071 kWh/Yıl % 4.92

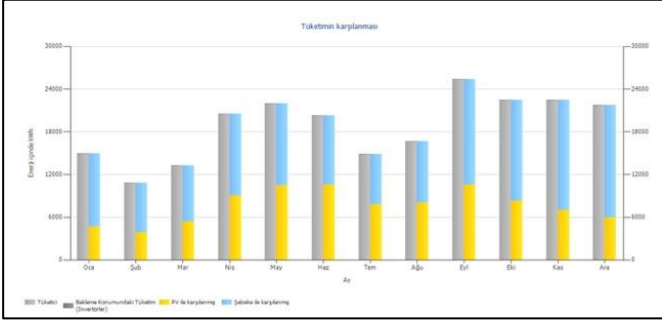


Şekil 19. Sonuçlar Sayfası(Projenin Simülasyonu).



Şekil 20. Projenin Enerji Akış Grafiği.

Şekil 21'de Sistemin aylara göre tüketimi karşılaması diyagramı, gri çubuklar bekleme konumundaki tüketimi, sarı çubuklar PV'den doğrudan sağlanan enerjiyi, mavi çubuklar şebekeye şebekeden sağlanan enerjiyi karşıladığı enerji miktarını temsil etmektedir.



Şekil 21. Tüketimin Karşılanması Diyagramı.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ŞÜ Mehmet Emin Acar kampüsünde bulunan Mühendislik Fakültesi için bir FV sistem tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Tasarım işlemleri PV*SOL® programı ile yapılmıştır. Fakültenin yıllık elektrik tüketim verileri dikkate alındığında ön hesaplamalara göre; fotovoltaik sistem için gerekli panel sayısı denklem 1 kullanılarak hesaplanmış ve tahmini panel sayısı elde edilmiştir. Bu tüketimin tümü FV sistemler ile karşılanmak istenseydi seçilen modül için 200 adet modül gerektiği belirlenmiştir. Daha sonra PV*SOL® programı kullanılarak mühendislik binasının çatısına 3 boyutlu yerleşim planı yapılmış ve fotovoltaik sistemin simülasyonu için gerekli ekipmanlar belirlenmiş ve fotovoltaik modül, invertör ve kablolar gibi sistem ile uyumlu projelendirme yapılmıştır.

Güneş enerjisi sistemleri ekonomik açıdan oldukça maliyetli olmasına rağmen uzun ömürlü olmaları nedeniyle ilk birkaç yılda ilk yatırım maliyetlerini karşılayabilmektedir. Simüle edilen Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fotovoltaik sistemin ömrünün 25 yıl, sistemin ise 6. yılında kendini sınavacağı tahmin ediliyor. Lisanssız elektrik üretim yasasına göre üretilen her kW güneş enerjisi için teşvik ücreti alınmıyor.

Simülasyon sonuçlarının analizi, proje uygulandığında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık %95'si olan yaklaşık 214.233 kWh/yıl elektrik sağlayacağını göstermektedir. Tasarlanan sistem, aynı miktarda elektrik üreten ham petrol yakıtlı bir termik santralin saldığı yaklaşık 100.663 kg CO₂ tasarrufu da yapabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne kurulması planlanan çatı tipi güneş enerjisi sistemi 200 adet 650Wp

fotovoltaik modül, 8 adet inverter ile 130 kWp enerji çıkışı sağlamıştır. Bu proje tasarımı sonunda elde edilen sonuçlar;

- Bu sistem yılda 214.233 kWh elektrik enerjisi üretmektedir.
- Sermaye yatırımının getiri oranı yıllık %16.8'dir.
- Bu sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 6 yıldır.
- Sistemin ortalama performans oranı %89.09 ve özgül yıllık kazanç 1647,52 kWh'dir.
- Fosil yakıtlı güç kullanılması durumunda yıllık CO₂ emisyonu 100.663 kg'dır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak ve teşvik etmek için bu tür araştırmalar üniversitelerde çoğaltılmalı ve teşvik edilmelidir. Uygunluk çalışmaları sonucunda uygun FV sistemleri devreye alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın yazımında yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Edip TAŞKESEN ' e tüm emekleri için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] K. Varınca ve M. T. Gönüllü, "Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma", *Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi*, c. 21, s. 23, 2006.
- [2] S. Gürbüz ve S. Erdoğan, "Türkiye'de Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Ampirik Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2012.
- [3] E. Kapluhan, "Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım", *Coğrafya Dergisi*, c. 29, ss. 70-98, 2014.
- [4] K. B. Varınca ve G. Varank, "Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri".
- [5] M. Dizer, "Kaybolan Güneş Enerjisi ve İstifade Yolları", *Bilim ve Teknik*, sy 7, ss. 3-5, 1968.
- [6] Z. Şen, *Temiz enerji ve kaynakları*. Su Vakfı yayınları, 2002.
- [7] M. Ö. Ültanır, "21. yüzyılın eşliğinde güneş enerjisi", *Bilim ve Teknik*, c. 340, sy 3, ss. 50-55, 1996.
- [8] W. Grasse, "Güneş Enerji Santralleri Deneme Safhasında", *Bilim ve Teknik*, sy 191, ss. 30-33, 1983.

- [9] F. Kantarođlu, “Fotovoltaik sistemler”, *Tiirk Tesisat Mühendisleri Derneđi. TTMD*, 2010.
- [10] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, “Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)”. 2018.
- [11] M. G. Müdürlüğü ve A. D. Başkanlığı, “Meteoroloji Genel Müdürlüğü”. 2018.
- [12] D. Alp ve E. Demir, “Şırnak İlinin Güneş Enerji Potansiyeli Ve Kullanım Oranı”, *Şırnak Enerji ve Maden Potansiyeli*, s. 195.
- [13] “Google Earth”. Çevrimiçi: <https://earth.google.com/web/@37.505622,42.42882689,993.85343249a,419.7552246d,35y,0h,0t,0r>
- [14] “CW Enerji Müh. San. Ltd. Şti.” Çevrimiçi: https://cw-enerji.com/tr/index.html?gclid=Cj0KCQjwz6ShBhCMARIsAH9A0qWoFo5ZpFLi6EdQM3KrQxoEmVZpM2ZksyMfT8DXbgAS-tpYUvqfa-EaAug2EALw_wcB
- [15] Ü. B. Karaca ve U. Setenay, “Konut Çatı Ve Cephelerinde Farklı Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Deđerlendirilmesi”, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, sy 2, ss. 65-76, 2018.
- [16] A. Ajder, “Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması”, 2011.
- [17] S. Güner ve A. Muharremođlu, “Bir Havalimanı Otoparkına Kurulabilecek Fotovoltaik Üretim Sisteminin Tasarımı ve Enerji Analizi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sy 19, ss. 182-188, 2020.