



Makale / Research Paper

Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi

Merve EREMKERE^{*}, Türkan AKTAŞ

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü. 59030 Tekirdağ/TÜRKİYE
merverekmere@gmail.com

Received/Geliş: 23.10.2019

Accepted/Kabul: 23.12.2019

Öz: Çevreye verdiği zararlar ve tükenir olmalarından dolayı fosil enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Özellikle, tarımsal üretim yapan tesislerde kullanılmayan çatı alanları FV panellerle elektrik üretimi için iyi bir seçenektir. Bu çalışmada; Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi çatı alanı için teorik, saha ve teknik güneş enerji potansiyeli belirlenmiş olup FV panel kullanımı ile üretilebilecek elektrik enerjisi ve azaltılabilecek karbon emisyonu miktarları PVsyst ve RETScreen yazılımları kullanılarak 6 farklı tasarım ile simüle edilmiştir. Tesiste, üzüm suyunun üretildiği aylarda tüketilen enerji miktarı aylık ortalama 4059,822 kWh olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, panel açısının 20°, azimut açısının 0° kabul edilmesiyle, teknik güneş enerjisi potansiyeli yıllık 1543 kWh/m² olarak bulunmuştur. Tek kristal silisyum (mono-si), çoklu kristal silisyum (poly-si) ve amorf silisyum (A-si) FV sistem tasarımları için performans oranları sırasıyla; %85,15-%84,39-%80,40 olarak hesaplanırken yıllık elektrik üretimi değerleri 1219-1280-1291 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık 23,1 MWh elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda (mono-si) 10,9 tCO₂/yıl; 22,4 MWh elektrik üretimi ile (poly-si) 10,5 tCO₂/yıl; 10,3 MWh elektrik üretimi ile (a-si) ise 4,9 tCO₂/yıl sera gazı azaltımı sağlanabileceği görülmüştür. A-si panel tipinin kullanıldığı tasarımların, uygulama yapılan çatı alanının kısıtlı olması nedeniyle uygun olmadığı, mono-si ve poly-si panellerin kullanıldığı tasarımların maliyet ve verim açısından yaklaşık çıktılar sunduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: PVsyst; RETScreen; fotovoltaik sistem tasarımı; enerji fizibilitesi; sera gazı emisyonu.

Analysis of Technical, Economic and Environmental Aspects of Photovoltaic Designs: A Case Study on Tekirdag Viticulture Research Institute Grape Juice Processing Building Roof

Abstract: Renewable energy sources should be expanded instead of fossil energy sources due to their environmental damage and exhaustion property. Especially, unused roof areas in agricultural production plants are good options for electricity generation using PV panels. In this research; theoretical, practical and technical solar energy potentials were determined; the amount of electricity that can be produced and carbon emission amounts that can be reduced by PV panels were found using PVsyst and RETScreen software in 6 different designs for the roof area of Grape Products Processing Plant in Tekirdag Viticulture Research Institute. The average consumed energy during grape juice production period was determined as 4059,822 kWh. As a result of this research, the technical solar energy potential was found as 1543 kWh/m² annually with acceptance of panel angle as 20° and the azimuth angle as 0°. Performance ratios for monocrystalline (mono-si), polycrystalline (poly-si) and amorphocrystalline (a-si) PV system designs were calculated as 85,15% - 84,39% - 80,40% while annual electricity generation values were calculated as 1219-1280-1291 kWh/kWp/year, respectively. It was seen that greenhouse gas reductions can be achieved as 10.9 tCO₂/year in case of generation of 23.1 MWh electricity per year (mono-si); 10.5 tCO₂/year in case of 22.4 MWh electricity generation (poly-si) and 4.9 tCO₂/year in case of 10.3 MWh electricity generation (a-si). It was found that designs using a-si panel type are not suitable due to the limited roof area of the plant while designs using mono-si and poly-si panels provide approximate outputs in terms of cost and efficiency.

Keywords: PVsyst; RETScreen; photovoltaic system design; energy feasibility; greenhouse gas emission.

Bu makaleye atıf yapmak için

Eremkere M., Aktaş T., "Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7 (1); 275-294.

How to cite this article

Eremkere M., Aktaş T., "Analysis of Technical, Economic and Environmental Aspects of Photovoltaic Designs: A Case Study on Tekirdag Viticulture Research Institute Grape Juice Processing Building Roof", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7 (1); 275-294.

1. Giriş

Gün geçtikçe artan nüfus ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle enerji tüketimi artmakta ve enerji talebinin karşılanması için elektrik üretiminde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların tükenir olması ve çevreye zarar vermesi gibi temel sebepler, üretimde alternatif kaynak arayışlarına neden olmaktadır. Böylelikle güneş enerjisi, alternatif üretim kaynağı arayışlarını üzerine çekmiş, büyük bir yatırım alanı haline gelmiştir. UEA (Uluslararası Enerji Ajansı) verilerine göre tüm dünyada enerji sektörüne 2016-2040 yılları arasında 66,5 trilyon dolar yatırım yapılacağı tahmin edilmektedir. Bu yatırımın %11'inin güneş, rüzgar, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olacağı öngörülmektedir [1].

Ülkemiz elektrik enerjisinde dışa bağımlıdır ve bu nedenle ülke ekonomisi olumsuz etkilenmektedir [2]. Elektrik enerjisi ihtiyacı her geçen yıl yaklaşık %5 oranında artmaktadır ve artan elektrik ihtiyacının bir kısmı güneş enerjisinden karşılanabilir [3]. 2018 temmuz ayı sonunda ülkemizde güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi 4337 GWh kurulu güç ise 4617 MW'a ulaşmıştır [4]. Güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı her geçen gün artsa da, tüm enerji üretim yöntemleri içindeki payı oldukça düşüktür. Bunun temel sebebi maliyet olsa da kullanıcıların ön yargıları da bir diğer önemli etkidir. Kullanıcılar maliyet ve geri ödeme süresinin çok uzun olacağını düşünmektedir. Bu aşamada imalatçıya, kurulacak sistemin analizi ve kullanıcıya bu analizin doğru aktarılması konusunda büyük sorumluluk düşmektedir.

FV sistemlerinin binalara uygulanması aşamasında gölgelenme sorunları, panellerin optimum olmayan yönelimleri vb. sorunlar elektrik enerjisi üretiminde kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeple yatırımlar öncesinde üretim verimliliğinin artırılması için modelleme ve simülasyon programlarının kullanılması önemli ve gereklidir [5].

Birçok firma ve kuruluş yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı noktasında hatayı en aza indirmek amacıyla çeşitli modelleme ve simülasyon yazılımları geliştirmiştir. Bu programlar sayesinde yenilenebilir enerji hesaplamalarını etkileyen iklim, malzeme bilgisi, coğrafi etkiler gibi birçok farklı faktör tek program üzerinde toplanarak kompakt bir hale getirilmiş, tasarımcının hesaplamaları tek ekran üzerinden ve daha rahat yapması sağlanmıştır [6].

Simülasyon programları ile yapılan maliyet ve amortisman hesaplamaları, kullanıcıya yatırım yapmadan önce referans oluşturmakta, kullanıcıya enerji talebi ve sistem güvenilirliği esaslarına göre en uygun tasarımın yapılması konusunda yol gösterici olmaktadır. Önerilen tasarımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından bu tür ön çalışmalar önemli ve gereklidir.

Özellikle, tarımsal üretimde enerji girdisinin fazla olması ve enerji arzının sürekli artması işletmeler için büyük bir mali kalem oluşturmaktadır. Tarımsal üretim yapan tesislerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile sera gazı azaltımı amacıyla tasarımların yapılması, uygulanması ve devlet tarafından üreticinin bu konuda desteklenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada; Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü bünyesinde üzüm suyu işlenmesi için kurulmuş olan tesis binası için güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, güneş enerjisinden yararlanabilme olanaklarının araştırılması ve elektrik tüketiminin güneş enerjisi kullanılarak karşılanabilme düzeyinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tesisin bulunduğu konumda elde edilmiş olan mevsimsel güneşlenme verilerinin dikkate alınmasıyla RETScreen ve PVsyst programları kullanılarak enerji ve mali analizler yapılmış ve bu tesis binasının çatısında uygulanabilecek bir güneş enerji sisteminin fizibilitesi farklı tasarımlarla değerlendirilmiştir.

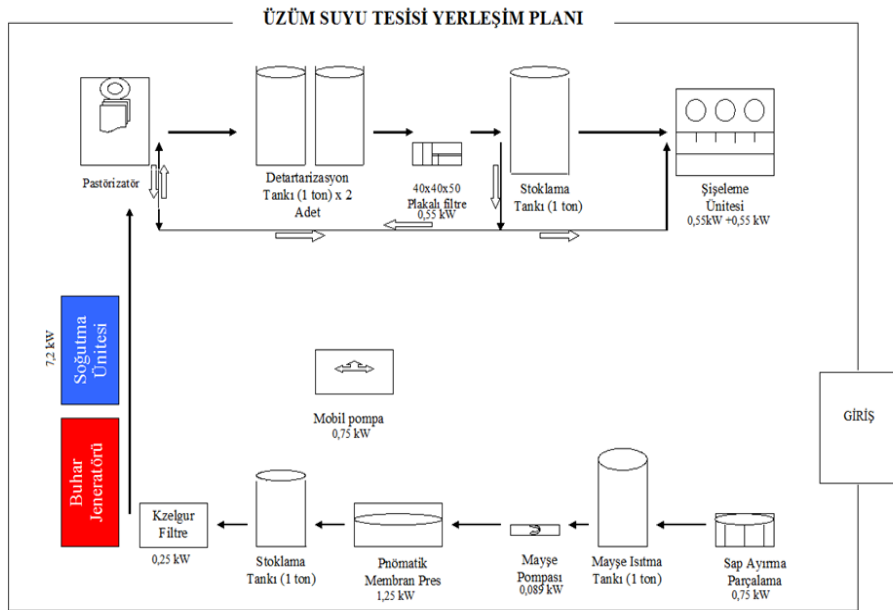
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin elektrik enerjisi kullanım miktarı tespit edilerek, bu tesis için elektrik üretimine yönelik fotovoltaik tasarımların gerçekleştirilebilmesi için bazı parametreler değerlendirilmiştir. Bu amaçla meteorolojik değişkenler kullanılmış ve bölgenin güneş enerjisi potansiyeli saptanmıştır.

Çalışmanın yürütüldüğü T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü 40°58'23"N enlem ve 27°28'34"E boylamında yer almaktadır ve rakımı (deniz seviyesinden yüksekliği) 23 metredir. +2 saat diliminde bulunmaktadır.

Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinde üzüm suyu ve pekmez konusunda pilot bazda üretimler yapılabilmektedir. Tesis, üzüm hasat döneminde 50 ton yaş üzüm işleyebilme kapasitesine sahip olup, tesiste üzüm çeşitlerini değerlendirmenin yanı sıra bu işin yaygınlaştırılması amacıyla da çalışmalar yürütülmektedir [7].

Çalışma kapsamında fizibilite analizinin yapılacağı Üzüm Ürünleri İşleme Tesis Binasının toplam çatı alanı yaklaşık 290 m², çatı eğimi 15 °'dir. Enstitü'den alınan tesisin yerleşim planı ve tesiste belirtilen işlemler için kullanılan pompa veya elektrik motorlarının enerji tüketim değerleri (etiket değerleri) şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Enstitü'den alınan bilgilere göre 2018 yılında tesiste üretilen üzüm suyu miktarı yaklaşık 20 ton'dur.



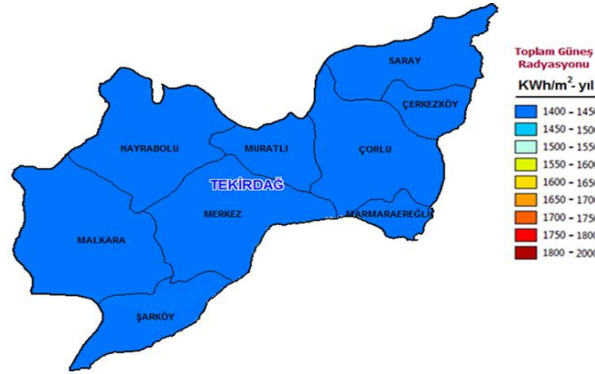
Şekil 1. Üzüm suyu tesisi yerleşim planı

Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi güneş ışınması, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, bulutluluk, hava kapalılığı gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Bu değişkenler ayrıca fotovoltaik güneş enerjisi üretim tesislerinin ana teknolojisi olan FV hücre performansını da fazlasıyla etkilemektedir. Tekirdağ iline ait meteorolojik veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Tekirdağ ilinin güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2'de verilmiştir. Merkez ilçe olan ve çalışmanın yürütüldüğü T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nün içerisinde bulunduğu Süleymanpaşa ilçesinde ortalama güneşlenme radyasyonu 3,68 kWh/m²gün, ortalama güneşlenme süresi ise 7,16 h/gün'dür.

Tablo 1. Tekirdağ ilinin meteorolojik verileri (2000-2018) [8]

Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ortalama
Ortalama sıcaklık (°C)	5,6	6,6	9,1	12,7	17,6	22,0	24,8	25,3	21,2	16,4	12,0	7,4	15,1
En yüksek sıcaklık (°C)	8,4	9,5	12,4	16,5	21,7	26,3	29,2	29,6	25,3	19,8	15,2	10,1	18,7
En düşük sıcaklık (°C)	2,9	3,6	5,8	8,9	13,5	17,7	20,3	21,1	17,2	12,9	9,0	4,7	11,5
Yağış Miktarı (mm)	50,5	55,3	42,1	38,5	28,2	42,2	23,1	9,4	42,8	83,9	61,2	68,5	545,8
Rüzgar Hızı (km/h)	9,5	9,8	9,4	8,0	8,2	8,7	9,8	10,8	9,5	9,3	9,0	9,4	9,3

**Şekil 2.** Tekirdağ ili güneş enerjisi potansiyel atlası [9]

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı yapılırken, güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanabilmek için güneş kolektörleri güneşe karşı doğru açıda yerleştirilmelidir. Bu şekilde daha fazla güneş ışınımının güneş kolektörü yüzeyine dik gelmesi sağlanmaktadır. Güneş geliş açıları, bölgenin coğrafik yapısına ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimlerin etkisini en aza indirmek için güneş kolektörü optimum açıyla yerleştirilmelidir [10]. Azimut açısı FV panellerin güneşe yönelmesini ifade eder ve panel yüzeyine düşen ışınımı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Türkiye’de güneşe yönlendirilmiş paneller için azimut açısının 0° olduğu kabul edilmektedir [11, 12, 13].

Bu çalışmada azimut açısı 0° kabul edilerek işlemler gerçekleştirilmiş ve PVsyst programına azimut açısı girilerek optimum panel eğim açısı belirlenmiştir. Tasarımların yapılacağı tesisin coğrafi konumu, enlem ve boylam değerleri PVsyst ve RETScreen programlarına girildikten sonra; yataya gelen küresel güneş ışınımı, panele gelen toplam ışınım, etkili ışınım, günlük güneş radyasyonu değerleri çıktı olarak alınmıştır.

Fotovoltaik bir tasarım yapılırken güneş ışınımı verileri girdi olarak kullanılır. Güneş ışınımının yanında fotovoltaik paneller için albedo etkisi de göz önüne alınmalıdır. Albedo, bir yüzeyin kısa dalga boyu radyasyonunu (görülebilir ışık) yansıtabilme özelliği olarak tanımlanır, 0-1 arasında değer alır [14]. Albedo değeri çeşitli unsurlardan etkilenmekte olsa da literatür taramaları yapıldığında ve genel olarak 0,30-0,36 arasında değerler ile ifade edildiği görülmüştür [11, 15]. Tasarımlar yapılırken albedo değeri 0,30 alınmıştır.

Çalışma kapsamında T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü’nün Enstitü’nün 2018 yılı elektrik faturaları incelenmiş, Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin çalıştığı 3 aylık dönemdeki (Eylül, Ekim ve Kasım ayları) tüketim miktarları değerlendirilmiştir.

Tesis binasında bulunan ve üzüm suyu işleme prosesinde kullanılan cihazların tükettiği enerji miktarları etiket değerlerinden okunarak, tesisin SET değeri hesaplanmıştır. özgül enerji tüketimi

(SET), birim ürün başına kullanılan enerjiyi ifade etmektedir. SET değerinin büyümesi kötü performansa, enerji tüketiminin artmasına ve/veya enerjinin verimsiz kullanımına işaret eder [16]. SET değeri hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmıştır [16].

$$SET = \frac{ET}{\bar{ÜM}} \quad (1)$$

Burada, ET sistemin elektrik enerjisi tüketimi (kWh), $\bar{ÜM}$ üretim miktarı (litre)'dir.

Üzüm ürünleri işleme tesisinin güneş enerjisi potansiyeli ve elektrik enerjisi tüketim seyri belirlenmiştir. Binanın mimari projesi dikkate alınarak güneş panellerinin yerleştirilebileceği güney cepheli çatı alanları hesaplanarak, kullanılacak olan panel adedi ve konumlandırılmaları belirlenmiştir. Seçilen panellerin ve eviricilerin bilgileri, eğim açısı, azimut açısı ve konum bilgileri RETScreen ve PVSyst programlarına girilerek sistemin teknik, enerji, çevresel ve mali analizleri yapılmış, oluşturulan tablo ve grafikler yorumlanmıştır. Ayrıca FV sisteminin farklı bileşenleri bir araya getirilerek, sistemin performansı ile uygunluğu analiz edilmiş, sera gazı emisyon azaltım miktarları saptanmıştır.

Montaj pozisyonu, FV teknolojileri dikkate alınarak, şebeke bağlantılı, merkezi invertörlü, sabit açılı, ülkemizde de en fazla kullanılan teknolojilere sahip (tek kristalli silisyum, çoklu kristal silisyum ve amorf silisyum ince film) üç ayrı FV yapıda sistemin tasarımı yapılarak birbirleriyle kıyaslanmıştır. İki ayrı program kullanılmış sonuç kısmında çalışma çıktıları karşılaştırılmıştır, böylece tüm şartlar aynı olmak kaydıyla, farklı montaj ve teknik özelliklere sahip olarak tasarlanmış FV yapılarından hangisinin söz konusu bina için uygun olduğu belirlenmiştir.

PVSyst programı ile şebeke bağlantılı merkezi eviricili sabit açılı, en yüksek enerji tüketilen mevsim esas alınmış; tek kristalli silisyum, çoklu kristal silisyum ve amorf silisyum ince filmde oluşan fotovoltaik sistem tasarımları yapılmıştır. Yazılıma ilk olarak coğrafi konum tanımlanmıştır. Tasarımın yapılacağı yerin enlem ve boylam değerleri, rakımı ve zaman dilimi sisteme girilmiştir. Yazılıma coğrafi konum belirlendikten sonra, albedo değeri tüm aylar için 0,30 olarak tanımlanmıştır. Coğrafi bilgisi ve azimut açısı girilen programdan optimum panel açısı hesaplanmıştır. Belirlenen optimum panel açısı, coğrafik veriler ve istenen panel tipine göre tasarımlar gerçekleştirilmiş, invertör seçimi yapılmıştır.

RETScreen yazılımına ilk olarak PVSyst yazılımında olduğu gibi coğrafi konum tanımlanmıştır. Tasarımın yapıldığı yerin enlem ve boylam değerleri, rakımı ve zaman dilimi sisteme girilmiştir. RETScreen, NASA'dan aldığı meteorolojik verileri kullanmaktadır, fakat kullanıcı tanımlı veri girişi de yapılabilmektedir. MGM'den alınan hava sıcaklığı, yağış ve GEPA'dan alınan günlük güneş radyasyonu değerleri programa girilmiştir. Coğrafi veriler girildikten sonra tesis tipi ve tesis gücü tanımlanmıştır. Çevresel analiz yapılarak, planlanan tesisin kurulması durumunda çevreye salınımının önüne geçilebileceği CO₂ miktarı hesaplanmıştır. Enerji, maliyet ve finansman analizler gerçekleştirilerek veriler analiz edilmiş ve rapor halinde alınmıştır.

RETScreen'de finansman analizleri yapılırken aşağıdaki kabuller kullanılmıştır;

- Türkiye'de devlet 0.133 \$/kWh'ten enerji alım garantisi vermektedir.
- 01.01.2019 tarihinde 1 dolar 5,38 TL'dir.
- Sistem tasarımı yapılırken kümülatif enflasyon oranı %20 alınmıştır.
- Elektrik ihracat eskalasyon oranı %2,
- İskonto ve yeniden yatırım oranları %9,
- Sera gazı azaltma kredi oranı 15 \$/tCO₂,
- Temiz Enerji (TE) kredi oranı 0,007\$/kWh,
- TE Üretim Kredi Eskalasyon Oranı % 2 'dir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın yapıldığı tesisin 2018 yılı elektrik faturaları incelendiğinde, enstitü toplamında yıllık 188 168,96 kWh elektrik enerjisi tüketildiği görülmüştür. Üzüm suyu işleme tesisinin çalışmadığı aylarda elektrik enerjisi tüketimi aylık ortalama 14 665,79 kWh iken üzüm suyu işleme tesisinin çalıştığı eylül, ekim ve kasım aylarında ise tüketimin arttığı görülmüştür. Faturalar incelendiğinde tesisin çalıştığı aylarda elektrik tüketiminin aylık ortalama 4 059,822 kWh arttığı, bu tesis binasına kurulacak panellerle tesisin çalıştığı aylarda binanın, tesisin çalışmadığı aylarda ise enstitünün geri kalan birimlerinde, üretilen elektriğin kullanılabilceği öngörülmektedir.

Üzüm suyu işleme tesisindeki cihazların enerji tüketimleri Tablo 2’de verilmiştir. Soğutma ünitesi, pres, pastörizatör, meyşe pompası, pres aktarma pompasının üretim süresince sürekli çalıştığı diğer cihazların ise proses işlemi sırasında çalıştırıldığı bilinmektedir. Tesiste gün içerisinde 1,4 ton üzüm işlenerek 1 ton üzüm suyu üretilmektedir. Tesiste günlük ortalama elektrik tüketimi 67,66 kWh olarak hesaplanmıştır. Tesisin çalıştığı aylardaki elektrik tüketimi dikkate alındığında özgül enerji tüketim (SET) değeri 1 litre üzüm suyu için yaklaşık 0,61 kWh olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Üzüm suyu işleme tesisi, cihazlar ve enerji tüketimleri

Cihazlar	Enerji Tüketimleri (kW)
Evaporatör vakum pompası	4,30 - 6,60
Soğutma tankı karıştırıcısı	0,75 – 0,85
Şişeleme	0,55
Şişe kapama makinası	0,55
Presten makineye aktarma pompası	1,10 – 1,25
Meyşe aktarma pompası	0,089
Evaporatör karıştırıcı pompa	0,55
Pres balonu şişirme cihazı	0,55-0,63
Pres kompresör	0,70
Yıkama makinası bantlı konveyör motoru	0,75
Soğutma kulesi su pompası	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Soğutma ünitesi (2 adet)	7,20
Brülör	0,55
Aydınlatma (11 adet, floresan)	$18,00 \cdot 10^{-3}$

Tesis faturaları incelendiğinde; elektrik enerjisi yükünü karşılamak amacıyla uygulanacak bir FV sistemin, tüketimin en çok olduğu yaz dönemi baz alınarak tasarlanmasının daha uygun olduğu görülmektedir. Gerek çalışmanın yapıldığı Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi’nin üretim seyrinin yaz aylarına denk gelmesi gerekse güneşin gün ve yıl içerisindeki gökyüzünde kalış süresinin yaz aylarında kışa göre uzun olması nedeniyle yaz dönemine göre fotovoltaik panel açısı seçilmesi uygun olacaktır.

Tablo 3’de PVsyst yazılımı ile yapılan optimum panel açısı seçimi için FV eğimlere göre açısız dönüşüm faktörü, kayıplar ve yüzey ışıması değerleri verilmiştir. Yapılan analizlere göre; bölgede, yaz döneminde açısız değişim faktörünün (transition factor) en yüksek, kayıpların en düşük olduğu fotovoltaik panel açısı 20 derece optimum olarak bulunmuştur, bu koşullarda açısız dönüşüm faktörü 1.05, kayıpları % 0.0’dır. Yıllık dönem için 32 derecelik, 1.14 dönüşüm faktörü, % 0.0 kayıpları olan optimum panel açısı uygunken, kış döneminde dönüşüm faktörü 1.49, kayıpları % 0.0 olan 52 derecelik panel açısının uygun olduğu görülmüştür.

Panel açısının 20° kabul edildiği sistem için teknik güneş enerjisi potansiyeli yıllık 1543 kWh/m² bulunmuştur. Yalçın, yaptığı çalışmada optimum panel açısını 15° hesaplamış ve çalışma bölgesi

için bu değeri yıllık 1891 kWh/m², Küçükgoze ve Kaya Erzincan ili için 1481 kWh/m², Haydaroğlu ve Gümüş ise çalışma bölgeleri için 1668 kWh/m² olarak bulmuştur [11, 13, 17].

Tablo 3. PVsyst programı ile açı seçimi

FV eğimi (°)	Dönem	Açısal dönüşüm faktörü, Ft	Optimum eğime göre kayıp, %	Yüzey ışıması kWh/m ²
52	Yıl (Ocak-Aralık)	1,09	-4,4	1509
	Yaz (Nisan-Eylül)	0,93	-10,9	921
	Kış (Ekim-Mart)	1,49	0,0	588
32	Yıl (Ocak-Aralık)	1,14	0,0	1575
	Yaz (Nisan-Eylül)	1,03	-1,1	1022
	Kış (Ekim-Mart)	1,40	-5,8	552
20	Yıl (Ocak-Aralık)	1,14	-1,8	1543
	Yaz (Nisan-Eylül)	1,05	0,0	1039
	Kış (Ekim-Mart)	1,29	-13,7	505

3.1. Tek kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımına yönelik sonuçlar

Çalışma kapsamında şebeke bağlantılı sistem için üç ayrı tip FV modül denenerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bölgenin coğrafik yapısı, çatı alanı, elektrik enerjisi talebi ve verimlilik yüzdesi esas alınarak sistem tasarımı için en uygun modül tipi seçilmiştir. İlk olarak şebeke bağlantılı tek kristal silisyumlu FV panel tipi için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler yapılırken güney cepheli çatı alanı (≈ 130 m²) dikkate alınmış ve tasarım yapılacak panel alanı kısıtlı olduğundan genel olarak 20 kW elektrik üretiminin uygun olacağı görülmüştür.

Sistem tasarımı yapılırken, performans oranının %80'den fazla olması istenir. Önemli olan bir diğer unsur ise 'Pnom ratio' değeridir. Pnom oranı, kurulu FV gücünün sürücünün Pnom'una (ac) göre oranıdır. Bu değer inverteri boyutlandırırken yaygın olarak kullanılan bir göstergedir [18]. Ülkemizde bu değer 1.15 ve daha aşağısında kabul edilir.

Panel eğim açısı 20⁰, azimut açısı 0⁰, panel açısı sabit kabul edildiğinde bölge koşullarında 20 kW elektrik üretimi için FV sistem donanımı Şekil 3'de verilmiştir. Bu projeksiyon için 325 Wp gücünde, 26V çıkış gerilimine sahip Canadian Solar Inc. Marka tek kristal silisyum FV modül seçilmiştir.

Tablo 4. Tek kristal silisyum için sistem çıktıları.

Panel adedi	63
İnvertör adedi	1
Toplam modül alanı (m²)	107
Maksimum FV gücü (kW)	19,2
Nominal AC gücü (kW)	20
Elde edilen yıllık güç (MWh)	26,43
Performans oranı (ortalama) (%)	85,15
Pnom oranı	1,02

Tek kristal silisyum panel tipi için seçimlerimize göre sistem çıktıları Tablo 7'de vermiştir.

Global System configuration		Global system summary	
1	Number of kinds of sub-arrays	Nb. of modules	63
Simplified Schema		Nominal PV Power	20.5 kWp
		Module area	107 m ²
		Nb. of inverters	1
		Maximum PV Power	19.2 kWdc
		Nominal AC Power	20.0 kWac

Sub-array name and Orientation		Presizing Help	
Name	FV Array	<input type="radio"/> No sizing	Enter planned power: 20.0 kWp
Orient.	Unlimited sheds	<input type="radio"/> Resize	or available area(modules): 105 m ²
Tilt	20°		
Azimuth	0°		

Select the PV module		Approx. needed modules	
Available Now	Filter: All PV modules	62	
Canadian Solar Inc.	325 Wp 26V - Mono CS1K - 325MS	Since 2017	Manufacturer 2018
Sizing voltages: V _{mpp} (60°C) 26.4 V			
V _{oc} (-10°C) 40.9 V			
<input type="checkbox"/> Use Optimizer			

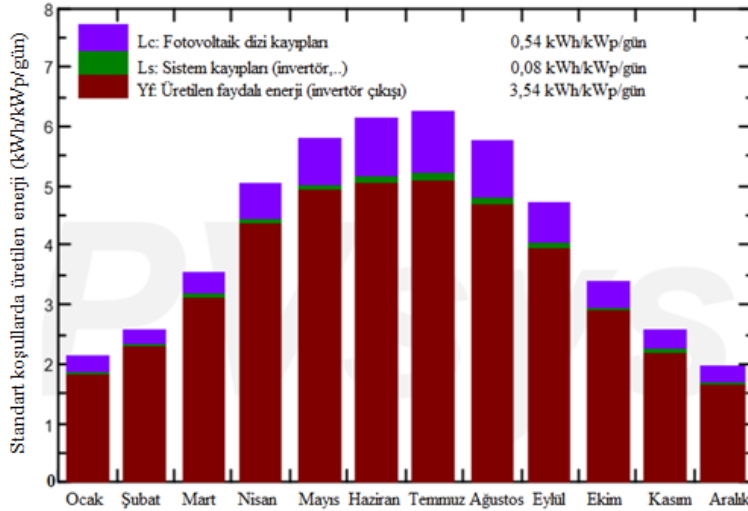
Select the inverter		Output voltage 400 V Tri 50Hz	
Available Now	REFU Elektronik GmbH	60 kW	250 - 850 V TL
50/60 Hz		Rekusal 20K (867P)	
Since 2016			
Nb. of inverters	1	Operating Voltage:	250-850 V
		Input maximum voltage:	1000 V
		Global Inverter's power	20.0 kWac
		<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz	
		<input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz	

Design the array		Operating conditions	
Number of modules and strings		V _{mpp} (60°C)	554 V
Mod. in series	21	V _{mpp} (20°C)	652 V
<input type="checkbox"/> between 10 and 24		V _{oc} (-10°C)	858 V
Nbre strings	3	Plane irradiance	1031 W/m ²
<input checked="" type="checkbox"/> only possibility 3		I _{mpp} (GMax)	33.1 A
Overload loss	0.0 %	I _{sc} (GMax)	33.9 A
Phom ratio	1.02	<input checked="" type="radio"/> Max. in data	
<input type="checkbox"/> Show sizing		Max. operating power at 1031 W/m ² and 50°C	
Nb. modules	63	Area	107 m ²
		I _{sc} (at STC)	33.9 A
		Array nom. Power (STC)	20.5 kWp

System overview	Cancel	OK
-----------------	--------	----

Şekil 3. 20 kW güç üretebilmek için tek kristalli silisyum FV sistem donanımı

Şekil 4'de standart koşullarda üretilen faydalı enerji grafiği verilmiştir. kWp başına elektrik üretimi Haziran ve Temmuz aylarında 5,1 kWh/kWp/gün ile en yüksek iken, en düşük değer Aralık ayında ve 1,7 kWh/kWp/gün'dür.



Şekil 4. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (tek kristal silisyum)

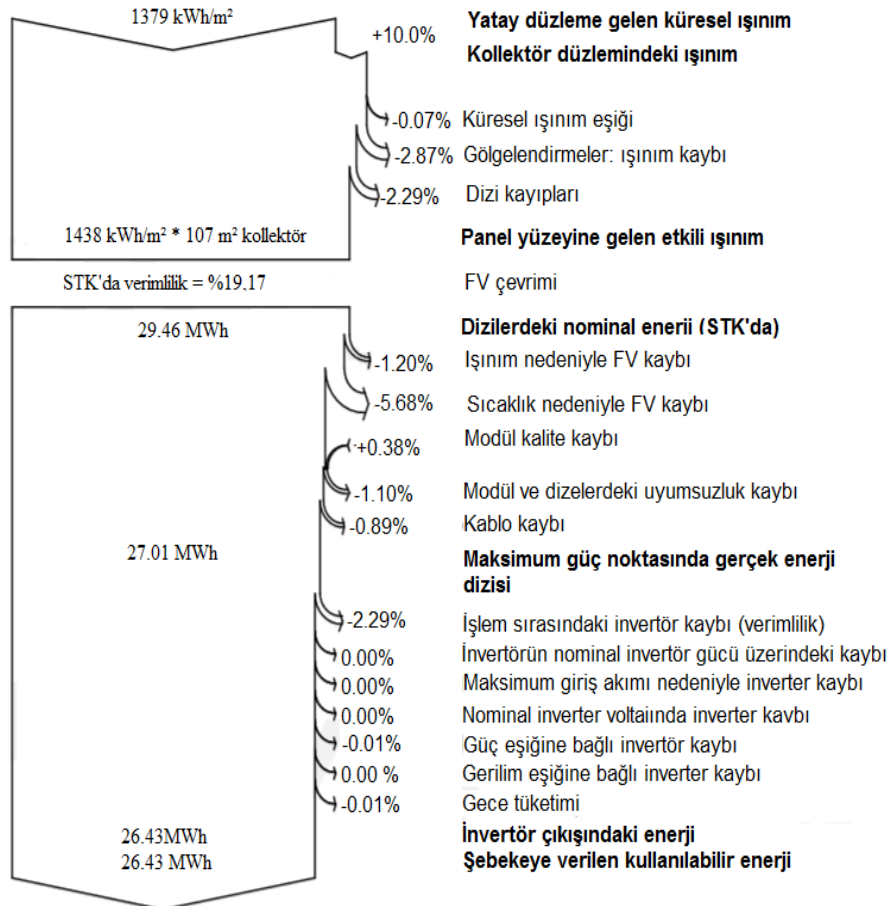
Projeksiyonun olası sistem çıktıları Tablo 5'de verilmiştir. Panel üzerine etkiyen ışığa ile enerji çıktısı verilerinin paralellik gösterdiği görülmektedir. Tek kristal silisyum fotovoltaik sistem için en yüksek enerji çıktısı 3,328 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

FV tasarımlarında dikkate alınması gereken bir diğer unsur ise sistem kayıplarıdır. Sistem verimlilik oranının ve kullanılabilir elektrik enerjisinin maksimum değerde tutulması için kayıpların en aza indirgenmesi gerekir. Simülasyon sonucunda tek kristal silisyum sistem tasarımı için elde edilen, detaylı FV panel ve denge bileşenleri kayıpları Şekil 5'de verilmiştir. Elde edilen diyagramda tesisin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen küresel ışınım miktarı 1379 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik paneller 20°'lik açıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı %10 artmaktadır. Verimlilik standart test koşullarında (STK) % 19,17 olarak bulunmuştur.

Tüm kayıplardan sonra santralden yılda 26,43 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.

Tablo 5. Şebeke bağlantılı tek kristal silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri

	Yataya küresel güneş ışıması kWh/m ²	Ortam sıcaklığı, °C	Panele gelen toplam ışıma, kWh/m ²	Etkili ışıma (gölgelenme vs.), kWh/m ²	Dizinin çıkışında etkin enerji, MWh	Şebekeye verilen enerji, MWh	Performans oranı
Ocak	48,4	4,41	65,4	59,3	1,200	1,173	0,875
Şubat	59,0	4,82	72,1	68,5	1,364	1,333	0,904
Mart	96,0	8,75	109,7	104,5	2,039	1,995	0,888
Nisan	140,5	12,43	150,6	143,7	2,746	2,689	0,872
Mayıs	177,1	17,98	179,9	171,7	3,197	3,130	0,850
Haziran	185,0	22,20	183,1	174,8	3,189	3,122	0,833
Temmuz	193,9	25,39	194,0	185,7	3,328	3,257	0,820
Ağustos	168,5	25,22	178,1	170,4	3,064	3,000	0,823
Eylül	124,2	19,79	141,0	134,7	2,497	2,445	0,847
Ekim	84,2	15,83	104,3	99,0	1,896	1,856	0,869
Kasım	57,6	10,47	77,0	71,2	1,396	1,365	0,866
Aralık	44,2	6,01	61,1	54,6	1,097	1,072	0,856
Yıllık	1378,6	14,50	1516,3	1438,0	27,013	26,435	0,851



Şekil 5. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı tek kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması

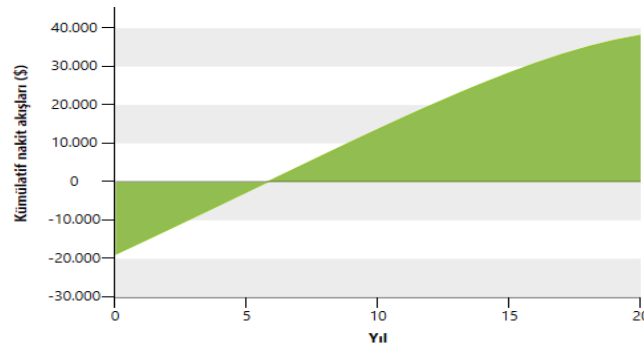
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla gerçekleşen emisyon azaltımı çevreye büyük katkı sağlamaktadır. Çünkü fosil yakıt kullanımı ile çalışan enerji santralleri çevreye NO_x, SO₂, CO₂ gibi sera gazlarının yayılmasına neden olur [19]. RETScreen ile yapılan analizlere göre FV sistem ile üretilen 26,43 MWh'lık enerji 12,5 tCO₂ salınımının önüne geçmiştir. Bu değer 4,3 ton geri kazanılan atık, 5373.3 tüketilmeyen benzin litresi'ne eşittir.

Tek kristal silisyum FV sistem tasarımı için sistemin maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Tablo 6'da verilmiştir. Elektrik ihracat geliri, sera gazı azaltma maliyeti, temiz enerji üretim maliyeti ve maliyet fayda oranı parametreleri de modele eklendiğinde sistemin basit geri ödeme süresi 5,9 yıl olarak bulunmuştur.

Tablo 6. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (Mono-si)

Toplam ilk maliyet (\$)		18.886
Yıllık ciro		
Elektrik ihraç geliri (\$)		3.076
Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂)		10,9
Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık		218
Sera gazı azaltım geliri (\$)		164
TE üretimi (MWh)		23,1
TE üretim geliri (\$)		162
Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$)		3.401
Finansal sürdürülebilirlik		
Vergi öncesi İGO varlıklar (%)		15,8
Basit geri ödeme (yıl)		5,9
Öz sermaye geri ödeme (yıl)		5,8

Analiz sonuçlarına göre FV sistemin mali akış grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Enflasyon-eskalasyon oranları, kredi faizi ve ekipman maliyetleri sistem ömrü ve geri ödeme süresi parametreleri dikkate alınarak yapılan analizler en verimli sonuçları vermektedir. Proje için toplam ilk maliyetler 18.886 \$ olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü 20 yıl olarak ön görülen tasarım için kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi 5,9 yıldır, 20 yılın sonunda eldeki net para 259.074 \$'dır.



Şekil 6. Tek kristal silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği

3.2. Çoklu kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımına yönelik sonuçlar

Çevresel şartlar ve denge bileşenlerinin değiştirilmediği durumda FV modül yapısı çoklu kristal ile değiştirildiğinde sistem donanımı Şekil 7'deki gibi olmaktadır. Yine panel eğimi 20°, azimut açısı 0° kabul edilmiş ve 20 kW elektrik üretimi için sistem tasarımı yapılmıştır. Uygulama yapılması planlanan çatı alanının kısıtlı olması nedeniyle elektrik üretim değeri arttırılamamıştır.

Bu projeksiyon için 325 Wp gücünde, 32V çıkış gerilimine sahip Canadian Solar Inc. Marka çoklu kristal silisyum FV modül seçilmiştir. İntertör seçimi değiştirilmemiştir. Seçimlerimize göre çoklu kristal silisyum panel tipi için program sonuçları Tablo 7'de vermiştir.

Global System configuration

Number of kinds of sub-arrays: 1

Global system summary

Nb. of modules:	64	Nominal PV Power:	20.8 kWp
Module area:	127 m ²	Maximum PV Power:	19.4 kWdc
Nb. of inverters:	1	Nominal AC Power:	20.0 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 20°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No sizing

Enter planned power: 20.0 kWp

or available area(modules): 123 m²

Select the PV module

Available Now: Filter: All PV modules

Canadian Solar Inc. | 325 Wp 32V Si-poly CS3U-325P-AG 1500V Since 2018 Manufacturer 2018

Sizing voltages: Vmpp (60°C): 32.6 V

Voc (-10°C): 50.3 V

Select the inverter

Output voltage 400 V Tri 50Hz

REFU Elektronik GmbH | 20 kW 250 - 850 V TL 50/60 Hz RefuSol 20K (867P) Since 2016

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 250-850 V

Global Inverter's power: 20.0 kWac

Input maximum voltage: 1000 V

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 16

Nbre strings: 4

Overload loss: 0.0%

Pnom ratio: 1.04

Nb. modules: 64

Area: 127 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C): 522 V

Vmpp (20°C): 618 V

Voc (-10°C): 805 V

Plane irradiance: 1031 W/m²

Imp (GMx): 35.6 A

Isc (GMx): 36.5 A

Isc (at STC): 36.5 A

Max. operating power at 1031 W/m² and 50°C: 19.4 kW

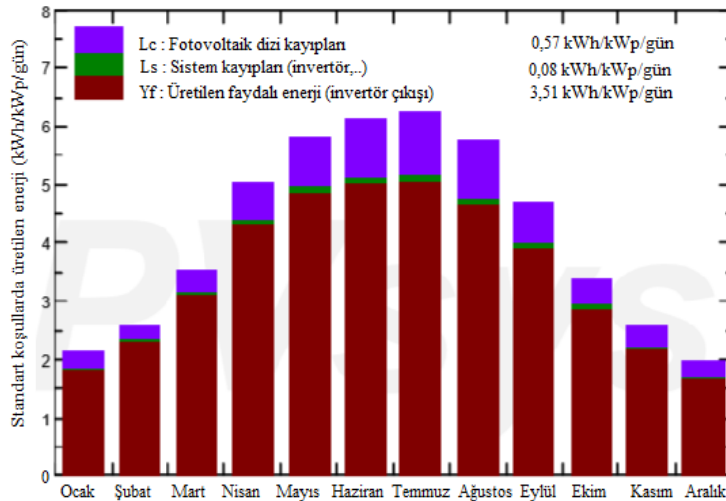
Array nom. Power (STC): 20.8 kWp

Şekil 7. 20 kW güç üretebilmek için çoklu kristalli silisyum FV sistem donanımı

Tablo 7. Çoklu kristal silisyum için sistem çıktıları

Panel adedi	64
İnvertör adedi	1
Toplam modül alanı (m ²)	127
Maksimum FV gücü (kW)	19,4
Nominal AC gücü (kW)	20,8
Elde edilen yıllık güç (MWh)	26,61
Performans oranı (ortalama) (%)	84,39
Pnom oranı	1,04

Yaz aylarındaki yüksek güneş ışınmasıyla kış aylarına göre daha fazla üretim yapılmaktadır. Şekil 8'de standart koşullarda üretilen faydalı enerji grafiği verilmiştir.



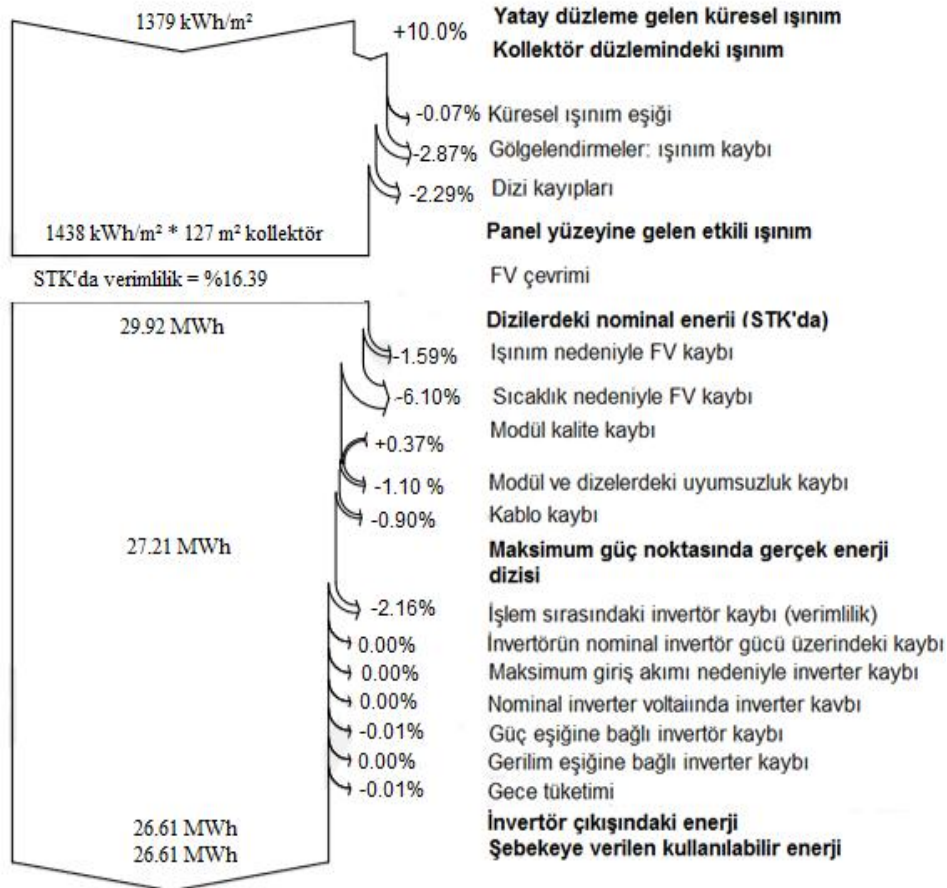
Şekil 8. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (çoklu kristal silisyum)

Bu projeksiyon için olası sistem çıktıları Tablo 8'de verilmiştir. Performans ve Pnom oranları kabul edilen değerler içinde çıkmıştır. Performans oranı yıl içerisinde 0,81 ile 0,89 arasında değişiklik göstermiştir. Şebekeye verilen enerji, en yüksek temmuz ayında ve 3,274 MWh, en düşük ise 1,082 MWh ile Aralık ayındadır.

Tablo 8. Şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri

	Yataya küresel güneş ışıması kWh/m ²	Ortam sıcaklığı, °C	Panele gelen toplam ışıma, kWh/m ²	Etkili ışıma (gölgeleme vs.), kWh/m ²	Dizinin çıkışında etkin enerji, MWh	Şebekeye verilen enerji, MWh	Performans oranı
Ocak	48,4	4,41	65,4	59,3	1,212	1,184	0,870
Şubat	59,0	4,82	72,1	68,5	1,376	1,345	0,898
Mart	96,0	8,75	109,7	104,5	2,056	2,011	0,881
Nisan	140,5	12,43	150,6	143,7	2,767	2,709	0,865
Mayıs	177,1	17,98	179,9	171,7	3,219	3,150	0,842
Haziran	185,0	22,20	183,1	174,8	3,209	3,139	0,824
Temmuz	193,9	25,39	194,0	185,7	3,347	3,274	0,811
Ağustos	168,5	25,22	178,1	170,4	3,082	3,015	0,814
Eylül	124,2	19,79	141,0	134,7	2,514	2,460	0,839
Ekim	84,2	15,83	104,3	99,0	1,910	1,869	0,862
Kasım	57,6	10,47	77,0	71,2	1,408	1,376	0,859
Aralık	44,2	6,01	61,1	54,6	1,108	1,082	0,851
Yıllık	1378,6	14,50	1516,3	1438,0	27,208	26,615	0,844

Simülasyon sonucunda çoklu kristal silisyum sistem tasarımı için elde edilen, detaylı FV panel ve denge bileşenleri kayıpları Şekil 9'da verilmiştir. Çoklu kristal silisyum projeksiyonu için verimlilik standart test koşullarında (STK) %16,39 olarak bulunmuştur. Tüm kayıplardan sonra santralden yılda 26,61 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.

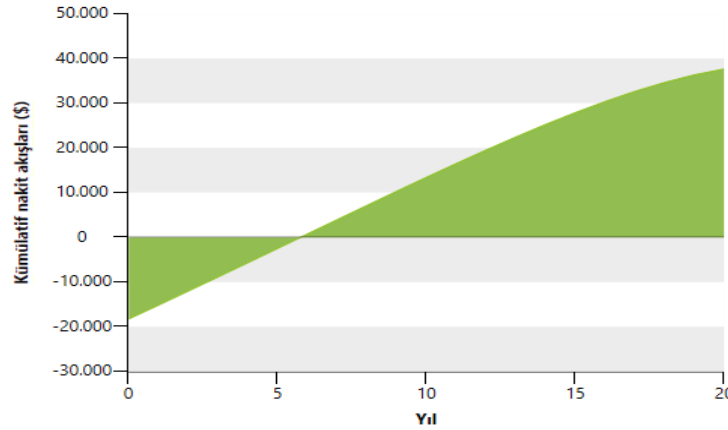
**Şekil 9.** PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması

FV sistem ile üretilen 26,6 MWh'lık enerji 12,5 tCO₂ salınımının önüne geçebilmektedir. Bu değer 4,3 ton geri kazanılan atık, 5409,5 tüketilmeyen benzin litresine eşittir. Çoklu kristal silisyum FV sistem tasarımı için sistemin maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Tablo 9 'da verilmiştir. Elektrik ihracat geliri, sera gazı azaltma maliyeti, temiz enerji üretim maliyeti ve maliyet fayda oranı parametreleri de modele eklendiğinde sistemin basit geri ödeme süresi 5,9 yıl olarak bulunmuştur.

Tablo 9. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (Poly-si)

Toplam ilk maliyet (\$)	
	18.268
Yıllık ciro	
Elektrik ihraç geliri (\$)	2.975
Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂)	10,5
Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık	211
Sera gazı azaltım geliri (\$)	158
TE üretimi (MWh)	22,4
TE üretim geliri (\$)	157
Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$)	3.290
Finansal sürdürülebilirlik	
Vergi öncesi İGO varlıklar (%)	15,8
Basit geri ödeme (yıl)	5,9
Öz sermaye geri ödeme (yıl)	5,8

Analiz sonuçlarına göre FV sistemin mali akış grafiği Şekil 10'da verilmiştir. Enflasyon-eskalasyon oranları, kredi faizi ve ekipman maliyetleri sistem ömrü ve geri ödeme süresi parametreleri dikkate alınarak yapılan analizler en verimli sonuçları vermektedir. Proje için toplam ilk maliyetler 18.268 \$ olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü 20 yıl olarak ön görülen tasarım için kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi 5,9 yıldır, 20 yılın sonunda eldeki net para 255.906 \$'dır.



Şekil 10. Çoklu kristal silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği

3.3. İnce film amorf silisyum FV Panel için sistem tasarımına yönelik sonuçlar

Amorf silisyum FV modül verimliliğinin düşük olması nedeniyle tek kristal ve çoklu kristal silisyum modülün ürettiği enerji değerinin sağlanabilmesi için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır buna karşın kWp başına maliyeti düşüktür. Çevresel şartlar ve denge bileşenlerinin değiştirilmediği, şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemin FV panelleri ince film amorf silisyum yapısına değiştirilerek yeni bir sistem tasarlanmıştır. Uygulama yapılması planlanan çatı alanının kısıtlı olması sebebiyle üretilen güç miktarı azaltılmak zorunda kalmıştır.

Amorf silisyum ince film yapılı FV sistem donanımı Şekil 11'de verilmiştir. Pnom oranı kabul edilen değerler içinde çıkmış olmasına karşın performans oranının yıl içerisinde 0,8'den düşük

olduğu aylar görülmüştür, yıl içinde performans oranının 0,75 ile 0,83 arasında değiştiği görülmektedir.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

Nb. of modules	24	Nominal PV Power	7.6 kWp
Module area	110 m ²	Maximum PV Power	7.4 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	7.0 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 20°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No sizing

Enter planned power: 8.0 kWp

or available area(modules): 115 m²

Select the PV module

All modules: Filter: All PV modules

Approx. needed modules: 25

Xunlight Corporation 315 Wp 51V a-SiH triple XR36-315 Since 2012 Manufacturer 2012

Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 53.8 V

V_{oc} (-10°C) 88.7 V

Select the inverter

All inverters: Output voltage 277 V Mono 60Hz

SMA 600kW P=0-480V L=11m 60 Hz Sunny.Bov 7000 LIS-12277 Since 2012

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 250-480 V

Global Inverter's power: 7.0 kWac

Input maximum voltage: 600 V

Design the array

Number of modules and strings

Initial degrad: 10 % should be

Mod. in series: 6 between 5 and 6

Nbre strings: 4 only possibility 4

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 1.08

Operating conditions

V_{mpp} (60°C) 323 V

V_{mpp} (20°C) 382 V

V_{oc} (-10°C) 532 V

Plane irradiance: 1031 W/m²

I_{mpp} (GMMax) 21.8 A

I_{sc} (GMMax) 25.4 A

I_{sc} (at STC) 25.4 A

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant)

Max. in data

Max. operating power at 1031 W/m² and 50°C: 7.4 kW

STC

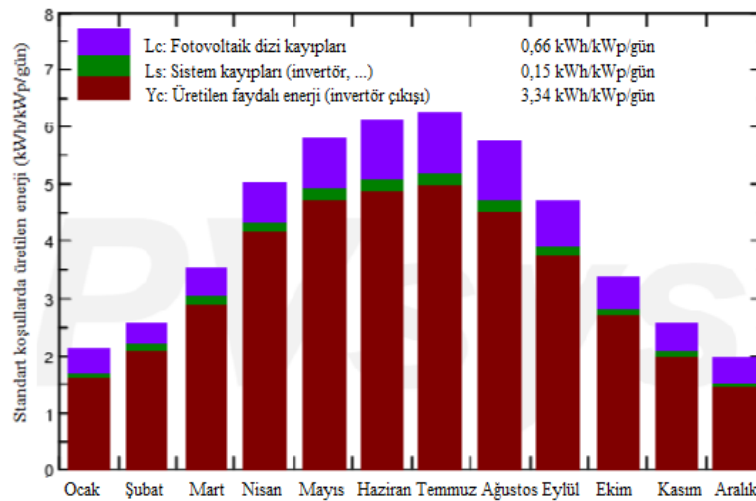
Array nom. Power (STC): 7.6 kWp

Nb. modules: 24 Area: 110 m²

Şekil 11. 8 kW güç üretebilmek için ince film amorf silisyum yapılı FV sistem donanımı

Tablo 10. Amorf silisyum ince film için sistem çıktıları

Panel adedi	24
İnvertör adedi	1
Toplam modül alanı (m ²)	110
Maksimum FV gücü (kW)	7,4
Nominal AC gücü (kW)	7,6
Elde edilen yıllık güç (MWh)	9,22
Performans oranı (ortalama) (%)	80,40
Pnom oranı	1,08



Şekil 121. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (ince film amorf silisyum)

Sistem ve dize kayıplarının düşük olması istenmektedir. İnce film amorf silisyum FV sistem tasarımı için dize kayıpları 0,66 kWh/kWp/gün, sistem kayıpları ise 0,15 kWh/kWp/gün gün ile diğer FV sistem tasarımlarından yüksek çıkmıştır (Şekil 12).

Amorf silisyum ince film panel kullanılarak oluşturulan sistemin muhtemel sistem göstergeleri Tablo 11’de verilmiştir. Şebekeye verilen yıllık enerjinin 9,2 MWh olduğu ve diğer projeksiyonlarda da olduğu gibi en yüksek üretimin 1,166 MWh ile Temmuz ayında gerçekleştiği görülmüştür.

Tablo 11. Şebeke bağlantılı ince film amorf silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri

	Yataya küresel güneş ışınması kWh/m ²	Ortam sıcaklığı, °C	Gelen toplam ışınma, kWh/m ²	Etkili ışınma (gölgelenme vs.), kWh/m ²	Dizinin çıkışında etkin enerji, MWh	Şebekeye verilen enerji, MWh	Performans oranı
Ocak	48,4	4,41	65,4	58,6	0,403	0,381	0,769
Şubat	59,0	4,82	72,1	67,8	0,473	0,449	0,824
Mart	96,0	8,75	109,7	103,6	0,721	0,688	0,829
Nisan	140,5	12,43	150,6	142,5	0,986	0,946	0,831
Mayıs	177,1	17,98	179,9	170,2	1,158	1,110	0,816
Haziran	185,0	22,20	183,1	173,3	1,162	1,114	0,805
Temmuz	193,9	25,39	194,0	184,3	1,216	1,166	0,795
Ağustos	168,5	25,22	178,1	169,0	1,115	1,070	0,795
Eylül	124,2	19,79	141,0	133,6	0,897	0,860	0,807
Ekim	84,2	15,83	104,3	9,0	0,664	0,634	0,805
Kasım	57,6	10,47	77,0	70,4	0,477	0,454	0,780
Aralık	44,2	6,01	61,1	54,0	0,367	0,346	0,749
Yıllık	1378,6	14,50	1516,3	1425,3	9,638	9,217	0,804

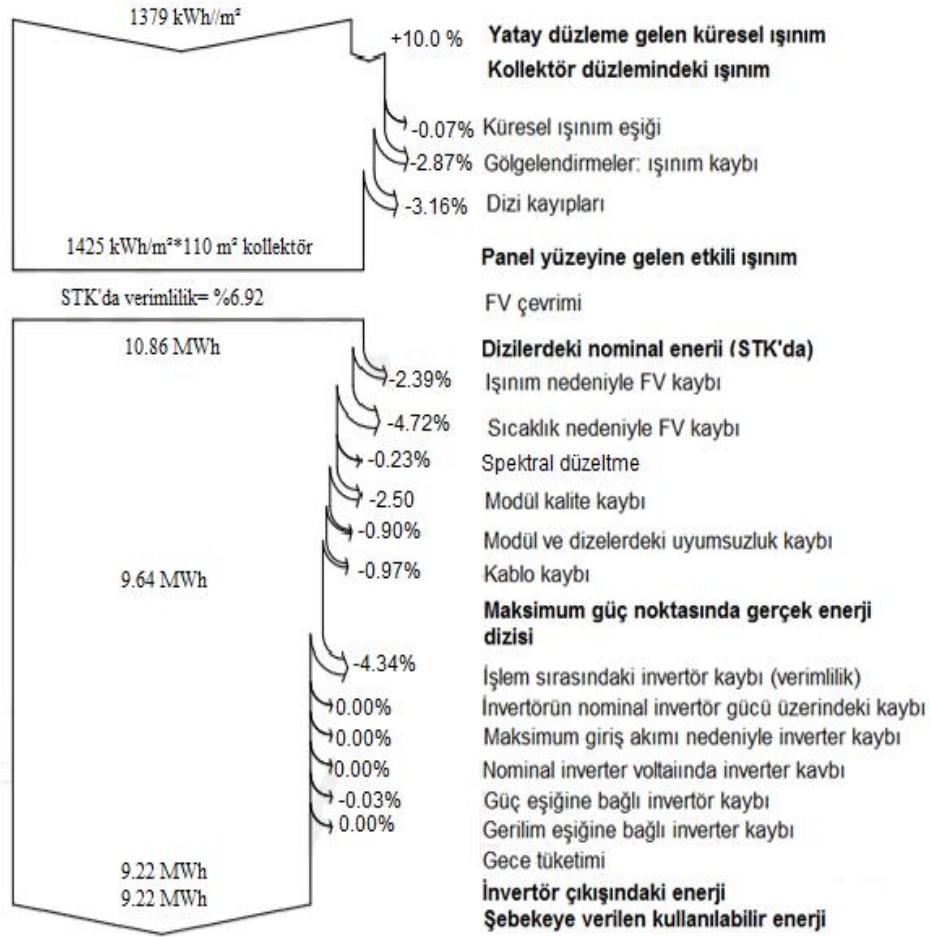
İnce film amorf silisyum FV panelli tasarımda kWp başına maliyeti düşük olmasına karşın, alanın yetersiz olması nedeniyle yıl boyunca ve yük talebinin fazla olduğu yaz aylarında üretimin düşük olmaktadır.

PVsyst’ten elde edilen şebeke bağlantılı amorf silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması Şekil 13’de verilmiştir. Seçilen panelin standart test koşullarındaki verimliliği %6,92’dir.

Amorf silisyum FV model tasarımı ile yıllık 10,3 MWh’lik elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Bu değer yıllık 4,4 tCO₂ sera gazı azaltımı anlamına gelmektedir. Yıllık 4,4 tCO₂; 1878 litre tüketilmeyen benzin litresi, 1,5 ton geri kazanılan atığa eşdeğerdir. Bu sistem tasarımı için maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Tablo 12’de verilmiştir. Elektrik ihracat geliri, sera gazı azaltma maliyeti, temiz enerji üretim maliyeti ve maliyet fayda oranı parametreleri de modele eklendiğinde sistemin basit geri ödeme süresi 5,6 yıl olarak bulunmuştur.

Analiz sonuçlarına göre amorf silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği Şekil 14’de verilmiştir. Proje için toplam ilk maliyetler 8.197 \$ olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü 20 yıl olarak ön görülen tasarım için kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi 5,7 yıldır, 20 yılın sonunda eldeki net para 126.505 \$’dır.

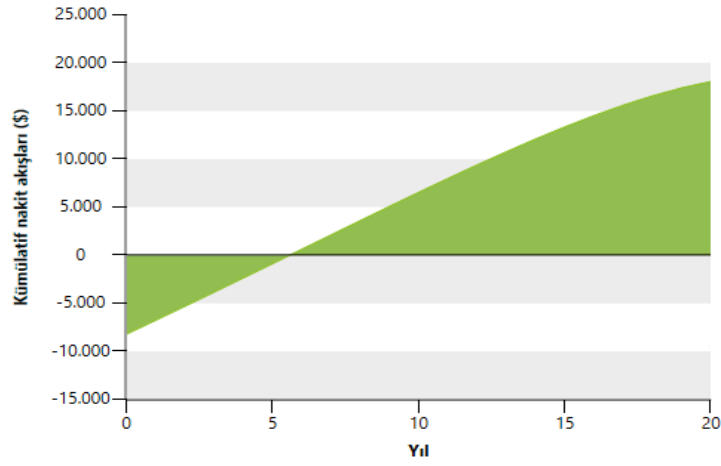
PVsyst ve RETScreen programları ile yaz aylarındaki yük talebi dikkate alınarak yapılan sabit açılı fotovoltaik sistem tasarımları Tablo 13’de karşılaştırılmıştır. Seçilen panel ve invertörler ülke piyasasında bulunabilen veya ikamesine ulaşılabilen tiplerdir. İnce film amorf silisyum FV tasarımının, tek kristal ve çoklu kristal FV panellerine göre daha fazla alan kaplamasından dolayı diğerlerine göre yaklaşık 3 kat daha az elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir. Üretilen enerjinin şebekeye verilmesiyle sağlanılacak yıllık kazanç tek kristal silisyum için 3516 \$, çoklu kristal silisyum için 3540 \$, ince film amorf silisyum içinse 1226 \$ bulunmuştur.



Şekil 13. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı amorf silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması

Tablo 12. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (A-si)

Toplam ilk maliyet (\$)	
	8.197
Yıllık ciro	
Elektrik ihraç geliri (\$)	1.378
Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂)	4,9
Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık	98
Sera gazı azaltım geliri (\$)	73,30
TE üretimi (MWh)	10,4
TE üretim geliri (\$)	72,54
Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$)	1.524
Finansal sürdürülebilirlik	
Vergi öncesi İGO varlıklar (%)	16,7
Basit geri ödeme (yıl)	5,7
Öz sermaye geri ödeme (yıl)	5,6



Şekil 14. Amorf silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği

Tablo 13. PVsyst ve RETScreen çıktılarına göre şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemlerinin karşılaştırılması

Panel tipi	Tek kristal	Çok kristal	İnce film asi
Panel eğim	20°	20°	20°
Azimut	0°	0°	0°
Panel gücü (Wp)	325	325	315
Panel adedi	63	64	24
Toplam alan (m ²)	107	127	110
FV anma gücü (kWp)	20,5	20,8	7,6
Maksimum FV gücü (kWp)	19,2	19,4	7,4
Nominal AC gücü (kW)	20	20	7
En yüksek güç noktası (60°C) (V)	26,4	32,6	53,8
Açık devre (-10°C)(V)	40,9	50,3	88,7
Modül serisi	21	16	6
Dize sayısı	3	4	4
Pnom oranı	1,02	1,04	1,08
Dize kayıpları (kWh/kWp/gün)	0,54	0,57	0,66
Sistem kayıpları(kWh/kWp/gün)	0,08	0,08	0,15
Üretilen faydalı enerji (kWh/kWp/gün)	3,54	3,51	3,34
Kurulu güç başına elektrik üretimi (kWh/kWp/yıl)	1291	1280	1219
İnvertör sayısı	1	1	1
İnv, 60°C'de en yüksek güç noktası (V)	554	522	323
İnv, 20°C'de en yüksek güç noktası (V)	652	518	382
İnv, açık devre (-10°C)	858	805	532
Performans oranı (%)	85,15	84,39	80,40
Şebekeye verilen enerji (MWh/yıl)	26,44	26,62	9,22
Üretilen enerjinin şebekeye verilmesiyle sağlanacak kazanç (\$/yıl)	3516	3540	1226
Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂)	12,5	12,5	4,4
Sera gazı azaltım geliri (\$)	188	188	66
İlk maliyetler (\$)	18.886	18.268	8.197
Sera gazı azaltım geliri (\$)	164	158	73,30
TE üretim geliri (\$)	185	186	65
Sistem ömrü (yıl)	20	20	20
Sistem basit geri ödeme (yıl)	5,9	5,9	5,6

Kilowatt başına yıllık elektrik üretimi değerleri 1219-1280-1291kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır ve bu değerler literatürdeki değerlerle uyumludur. Performans oranı değerlerinin %80 üzerinde olması istenir ve yapılan çalışmada bu oranlar %80 ile %85 arasında çıkmıştır, bu değer Yalçın (2010)'ın yaptığı çalışmadaki %83-89, Haydaroglu ve Gümüş (2016)'ün yaptığı çalışmadaki %83 değerleri ile paralellik göstermiştir [11,17].

Tek kristal silisyum ve çoklu kristal silisyum yapıdaki FV sistem tasarımlarının mali ve verim açısından yaklaşık çıktılar sunmuştur. Arslan (2018) yaptığı çalışmada Tekirdağ ili güneş ışınım miktarları düşünüldüğünde çoklu kristal silisyum panel kullanımının yüksek verimi açısından uygun olduğunu belirtmiştir [20].

4. Sonuç

Tarımsal üretim yapan tesislerde enerji yük talebinin fazla olması nedeniyle, özellikle bu tür tesislerde atıl durumda kalan çatılara kurulacak FV paneller ile elektrik üretimi yapılarak tesislerdeki elektrik tüketiminin bir kısmı veya tamamı karşılanabilir. Sistem uygulaması yapılmadan önce paket programlar vasıtasıyla simülasyonların yapılması işletme sahiplerine ekonomik açıdan büyük avantaj sağlayacaktır.

Bu çalışma ile, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi çatı alanı için teorik, saha ve teknik güneş enerji potansiyeli belirlenmiş, yıllık elektrik tüketim veri seti oluşturularak FV panel kullanımı ile üretilebilecek elektrik enerjisi ve azaltılacak karbon emisyonu miktarları 2 farklı yazılım programı ile simüle edilmiştir. Tesisin elektrik talebinin FV modüllerle karşılanabilirliği değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma ile üretilen yıllık üzüm suyu miktarına bağlı olarak işletmenin enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Faturalar incelendiğinde üzüm suyunun üretildiği Eylül, Ekim ve Kasım aylarında tesiste tüketilen enerji miktarı aylık ortalama 4059,822 kWh olarak bulunmuştur. Optimum FV panel açısı, yıllık dönem için 32° , kış dönemi için 52° , yaz dönemi için ise 20° derece en uygun açı değerleri olarak seçilmiştir. Yaz döneminde açısız değişim faktörünün en yüksek (1.05), kayıpların en düşük (%0.0) olduğu FV panel açısı 20° derece seçilmiş, yapılan bütün tasarımlar için bu değer ve azimut açısı (0°) sabit tutulmuştur. Panel açısının 20° kabul edildiği sistem için teknik güneş enerjisi potansiyeli yıllık 1543 kWh/m^2 bulunmuştur.

PVsyst ile yapılan şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistem simülasyonlarında tek kristalli silisyum yapıda performans oranı %85,15, sistem kayıpları 0,08 kWh/kWp/gün, kurulu güç başına elektrik üretimi 1291 kWh/kWp/yıl; çoklu kristal silisyum yapıda FV modül kullanımı performans oranı %84,39, sistem kayıpları 0,08 kWh/kWp/gün, kurulu güç başına elektrik üretimi 1280 kWh/kWp/yıl; ince film amorf silisyum yapıda FV modül kullanımı performans oranı %80,40, sistem kayıpları 0,15 kWh/kWp/gün, kurulu güç başına elektrik üretimi 1219 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır.

RETScreen ile yapılan şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistem simülasyonlarında tek kristalli silisyum yapıda ilk maliyet 18.886 \$, kapasite faktörü %13,1; çoklu kristal silisyum yapıda ilk maliyet 18.268 \$, kapasite faktörü %13,1; amorf silisyum yapıda ilk yatırım 8.197\$, kapasite faktörü %13,5 olarak hesaplanmıştır. FV sistem tasarımlarının teknoekonomik ömürleri genellikle 20-30 yıl arasında değişmektedir. Bu çalışmada ekonomik ömür 20 yıl olarak öngörülmüş ve sistemlerin geri ödeme süreleri tek kristal silisyum, çoklu kristal silisyum ve amorf silisyum yapılar için sırasıyla; 5,9 yıl, 5,9 yıl, 5,6 yıl bulunmuştur.

Yıllık 23,1 MWh elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda (tek kristal silisyum) $10,9 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$; 22,4 MWh elektrik üretimi ile (çoklu kristal silisyum) $10,5 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$; 10,3 MWh elektrik üretimi ile

ise 4,9 tCO₂/yıl sera gazı azaltımı sağlanabilir. Elde edilen emisyon azaltımı karbon piyasasında satışa sunulurken gelir olarak kullanılabilir, devletten sera gazı azaltım geliri elde edilebilir.

Yapılan çalışma sonucunda ince film amorf silisyum panel tipinin kullanıldığı sistem tasarımlarının kWp başına maliyeti düşük olmasına rağmen uygulama yapılan tesisin çatı alanının kısıtlı olması nedeniyle uygun olmadığı görülmüştür. Tek kristal silisyum ve çoklu kristal silisyum yapıdaki FV sistem tasarımlarının mali ve verim açısından yaklaşık çıktılar sunmuştur.

Kaynaklar

- [1]. Anonim, Türkiye ve Dünya Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Raporu, 2017, (15).
- [2]. Alcan, Y., Demir, M., Duman, S., “Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz Ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi” ElCezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(1); 35-44
- [3]. İşler Y.S., Salihmuhsin M., “Özel Üretim Performansının Belirlenmesi” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(1); 97-107.
- [4]. Anonim, 2018 Yılı Kasım ayı sonu itibariyle Ülkemizin Birincil Kaynaklara göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kurulu Güç.
- [5]. <http://www.guyad.org/pdf/KasimSonuBirincilKaynaklaraGoreElektrikEnerjisiUretimiKuruluGuc.pdf> Erişim Tarihi 25.12.2018
- [6]. Maturi, L., Sparber, W., Kofler, B., Bresciani, W., Analysis and Monitoring Results of a BIPV System in Northern Italy, In Proceedings of the 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, and the 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2010.
- [7]. Kıyanççek, E., Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013.
- [8]. Gülcü, M., Taşeri, L., Trakya Yöresinde Üzüm Suyu Üretiminin Geliştirilmesi Üzerine Çalışmalar: Tekirdağ Örneği, International Food, Agriculture And Gastronomy Congress, 15-19 February 2012, Antalya.
- [9]. MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/> Erişim Tarihi 17.05.2019
- [10]. GEPA, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> Erişim tarihi 17.05.2019.
- [11]. Çağlar, A., Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2018, 22(2), 849-854.
- [12]. Yalçın, L., Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma Ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, Ankara.
- [13]. Girgin, M.H., Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, 2011, İstanbul.
- [14]. Küçükgoze, O.M., Kaya, M., Erzincan İli İçin 50 kW Kurulu Gücünde Bir Güneş Enerji Santralının Maliyet Analizi, International Multilingual Academic Journal, 2016, 4 (3).
- [15]. Özek, E., Peyzaj mimarisi uygulamalarında güneş enerjisinin kullanımının değerlendirilmesine yönelik bir araştırma ve Yalova-Termal Yolu örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009, İstanbul.
- [16]. Kenar, N., Ketenoğlu, O., Konya Güneş Kaynaklı Ultraviyole Radyasyonunun Karasal Ekosistemler Üzerine Etkileri, SÜ Fen Fakültesi Fen dergisi, 2009, 33, 67-77.
- [17]. Altan, A.D., Çiğ Süt Üretim İşletmesinde Enerji Yönetim Sistemi Altyapısının Oluşturulması, Doktora Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017, Tekirdağ.

- [18]. Haydaroğlu, C., Gümüş, B., Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Pvsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2016, 7 (3), 491-500.
- [19]. Anonim, PVsyst. <http://www.pvsyst.com/en/> Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- [20]. Agai, F., Caka, N., Komoni, V., Design optimization and simulation of the photovoltaic systems on buildings in southeast Europe, International Journal of Advances in Engineering & Technology, 2011, 58-68.
- [21]. Arslan, İ., Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018, Tekirdağ.