

Araştırma Makalesi

Yüreğir Ovasında Tarımsal İşletmeler İçin Fotovoltaik Piller ile Elektrik Üretiminde En Uygun Eğim Açısının Belirlenmesi ve Modellenmesi

Mehmet Emin BİLGİLİ¹, Adil AKYÜZ²

¹Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana

²KSÜ Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Sorumlu yazar: eminbilgili@gmail.com

Geliş Tarihi: 02.10.2019 / Kabul Tarihi: 19.11.2019

Özet

Tarımsal üretimde, enerji girdileri önemli ve sürekli artan bir maliyet oluşturmaktadır. Tarımda artan enerji maliyetleri ve sera gazı emisyonlarına ilişkin endişeler bağlamında işletme içi enerji tüketimi dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, Türkiye gibi birçok ülkede tarımda elektrik enerjisi kullanımıyla ilgili araştırmalar yetersizdir. Bu durum enerji iyileştirmesi için yaklaşımların ve yatırım kararlarının son değerlendirmesini kısıtlamaktadır. Geleneksel yakıtların sınırlı ve elektrik enerjisinin yüksek maliyetli olmasından dolayı ucuz, yenilenebilir ve kolay elde edilebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin PV paneller ile tarımsal işletmelerde kullanılabilirliğinin araştırılması ve farklı eğim açıları kullanılarak bölgede tarımsal işletmelerde atıl olan çatılarda PV (PV-Çatı Sistemleri) ile etkin elektrik üretimi için optimum eğim açısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, Çukurova koşullarında modern tarım işletmelerinde elektrik enerjisinin fotovoltaikler ile karşılanması ve karbondioksit azaltımı için PV-Çatı sistemleri tasarımı geliştirilmiş ve 5 farklı panel konumlandırma ile 8 farklı eğim açısına göre 40 ayrı modül oluşturulmuştur. Şebeke elektriğine alternatif olarak tasarlanan PV-Çatı sistemi, İstatistiksel analiz sonucu ve optimum koşullar için tekno-ekonomik yönden belirlenmiştir. 330 kW'lık kurulu fotovoltaik güç, 2 154 m²'lik panelden elde edilmiştir. Sistemin geri ödeme süresi 6 yıl ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden, tarımsal işletmede kullanılan enerjinin fotovoltaik ile karşılanması ve bu enerjinin CO₂ azaltımı baz alınarak Türkiye'de tüketilen enerjinin %6'sına denk gelen tarımda kullanılan 12 387 GWh'e eşit enerjinin PV ile karşılanması ve 6 540 222 tCO₂.yıl⁻¹ azaltımı uzun dönemde uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu değer diğer ülkeler ile farklı olmasındaki temel neden, çiftliklerdeki çevresel koşullar ve teknolojilerdeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal işletme, elektrik enerjisi, fotovoltaik, PV-çatı, Adana

Araştırma Makalesi

Determination and Modeling of Optimal Slope Angle in Photovoltaic Batteries for Agricultural Enterprises in Yüreğir Plain *

Abstract

Energy inputs are important and constantly increasing costs in agricultural production. Increased energy costs in agricultural and concerns about global greenhouse gas emissions draw attention to internal enterprise energy consumption. However, researches on the use of electricity in agricultural are inadequate in many countries such as Turkey. This situation limits the energy recovery decisions and final assessment of investment. Due to the limited reserves of traditional fuels and high cost of electrical energy, it is aimed to investigate the usability of solar power, which is an inexpensive, renewable and easily available energy source, in agricultural enterprises with PV panels by using different inclination angles and also to determine the optimum inclination angle for electricity production. In this study, design of a PV-Roof systems was conducted to meet the electrical energy demand by photovoltaics and to reduce carbon dioxide consumption by this way in modern agricultural enterprises in Çukurova conditions. For these aims, where the data sets are insufficient, a methodology has been developed on the use of photovoltaics. These are composed of 40 different modules including 5 different panel positionings and 8 different slope angles. As a result of the statistical analysis, a PV-Roof system is designed as an alternative to grid electricity for optimum conditions including techno-economic determinations. The installed photovoltaic power of 330 kW was obtained from 2 154 m² panel. The repayment of the system was 6 years and economic life was 20 years. According to the obtained data, whole electricity used in agriculture (12 387 GWh) which corresponds to 6% of the total electrical energy consumption in Turkey may be produced by PV systems. Also this could reduce CO₂ production by 6 540 222 t.year⁻¹. The main reason to see different values from other countries are the differences in environmental conditions and technologies used in the farms.

Keywords: Agricultural enterprise, electric energy, photovoltaic, PV-roof, Adana

1. Giriş

Enerji talepleri geleneksel enerji kaynakları ile karşılanır iken yapılan araştırmalar hem fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenme noktasına yaklaştığını hem de çevresel sorunları beraberinde getirdiğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler (BM), çevresel

Araştırma Makalesi

etkilerin minimum düzeye indirilmesi amacıyla birçok ülke tarafından imzalanan Kyoto Protokolü gibi yasal düzenlemeler yaparak, konunun gündemde kalmasını sağlamıştır.

Türkiye’de, enerji ihtiyacının 3/4’ünün dışa bağımlı olması, geleneksel enerji kaynaklarının çevre açısından olumsuzlukları dikkat çekmektedir (Aybek ve Üçok, 2017). Bu nedenle yeni alternatifleri gündeme getirmiştir. Bunlardan, Karafil ve ark. (2016), “güneş enerjisi”, temiz, tükenmez ve kullanımının kolay olması nedeniyle bunu daha cazip hale getirmektedir. Ancak bu sistemler ileri teknolojiler ile gerçekleştirildiğinden, maliyetli olabilmektedir. Fizibilite analizinin iyi yapılması, yatırım maliyetlerini düşürür iken sistemin verimliliğini de artırır.

Koç ve ark. (2013)’e göre Türkiye'nin coğrafi konumdan dolayı, güneşlenme süresi yıllık ortalama 2 640 saat ve yıllık ortalama güneş ışınımı miktarı 1 311 kWh m⁻²'dir. Türkiye’de güneş enerjisi ile ilgili yatırımlara bağlı olarak, günde 1 100 kWh m⁻² enerji elde etmek mümkündür. Ayrıca ısıl güç amaçlı güneş kolektörlerinden elde edilen değer 9.3 GW kadar olduğu ve fotovoltaik (PV) tesislerin kurulu gücünün ise 5 MW düzeyinde olduğu belirtilmektedir.

Tarımsal işletmelerin, şebeke elektriğinden uzak olmaları durumunda; enerji ihtiyacının karşılanması için PV’den yada benzer kaynaklardan faydalanabilir. Özellikle taze ürün işleyen işletmelerde, PV sistemlerinin kullanılması ve mevcut sistemlerin de verimli pozisyonda çalıştırmak önemlidir.

Çalışmanın amacı, Yüreğir Ovası’nda tarımsal işletmelerde atıl olan çatılarda PV (PV-Çatı Sistemleri) ile etkin elektrik üretimi için optimum eğim açısının belirlenmesi, PV’lerden enerji üretimine göre ve CO₂ emisyonu ile tekno-ekonomik analizi yapmak ayrıca bu tür çalışmalarda bilgi eksikliği olan enerji, ekoloji ve ekonomi konusunda fayda sağlamak, karar vericilere ve politika üreticilere ayrıca konu çalışanlarına bilimsel veri seti sağlamaktır.

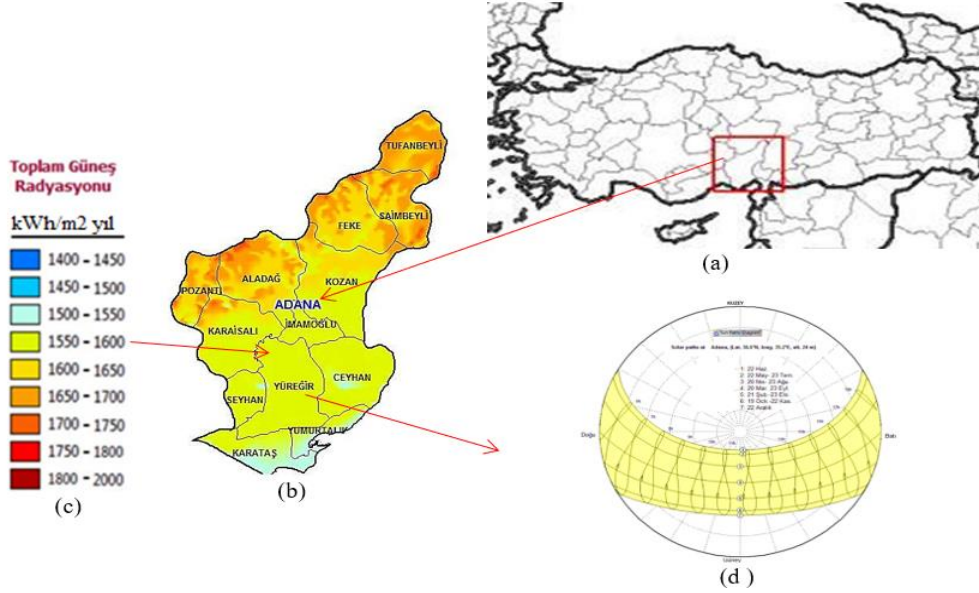
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmanın materyali iki ana bölümden oluşmaktadır. Birincisi bir tarımsal işletme, ikincisi farklı eğim açılara sahip 4 adet 1.25 kW_p kapasiteli PV deneme düzeneğinden oluşmaktadır. Araştırma, Adana, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (DATAEM)’de yürütülmüştür. Bina üzerine kurulan PV üniteleri, tarımsal işletmenin elektrik enerjisini karşılamak için bir tip proje tasarımı geliştirilmiştir.

Araştırma Makalesi

Tarımsal işletme, 36°49'00" Kuzey (K) enlemi ve 35°16'00" Doğu (D) boylamı koordinatlarında yer almaktadır. Güneşin yıl içerisindeki izlemiş olduğu yedi yörünge (Oregon.edu, 2017a) ve araştırma alanı ile ilgili görünümler Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırma alanı İl-ile yer görself (a-b), GEPA değeri (c) ve deneme alanındaki güneşin yıl içerisindeki yörünge (d)

2.1.1. Araştırmanın yürütüldüğu işletmenin genel durumu,

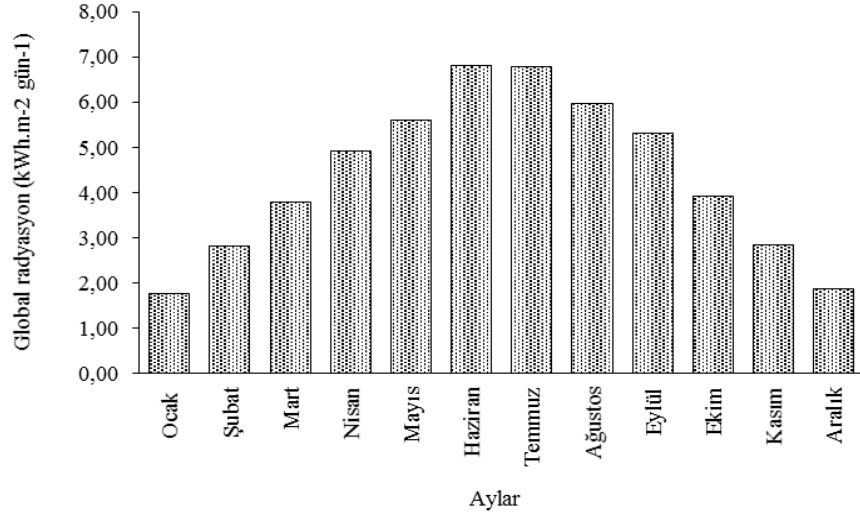
atı Doğu-Batı istikametinde olup eğimi 17°, “tam güneye bakan” yüzey 80x16 m ölçülerinde, trapez çinko sa ve elik konstrüksiyon üzerine 8 Őiddetinde depreme dayanıklı ayrıca ilave 15-20 kg m⁻² yük gelecek Şekilde inşa edilmiştir.

2.1.2. Çalışmadaki iklimsel veriler,

DATAEM gözlem istasyonundan alınmıştır. Uzun yıllık iklimsel verilerin ortalamaları ise (MGM, 2017a), sıcaklık, 18.9 °C, aylık en yüksek sıcaklık 34.7 °C, aylık en düşük sıcaklık ise 5.1 °C olmaktadır. Günlük sıcaklığın 25 °C’ye veya üstüne çıktığı gün sayısı 179 gündür. Güneşlenme, ışınım ve bulutluluk, Adana ili, uzun yıllık (1927-2016) iklim verilerine göre ortalama 118-281 gün güneşli geçmektedir. Günlük güneşlenme süresi yaklaşık 7 saat 24 dakikadır. En çok güneşlenme 10.5 saat ile Temmuz, en az 4.3 saat ile Aralık ve Ocak aylarında olmaktadır. Adana’nın yıllık bulutluluk oranı “10 birim” üzerinden 3.3’tür. Bulutluluğun en fazla olduğu ay 5.6 ile Şubat, en az olduğu ay ise 1.9 ile Eylül ayıdır. Bulutluluk indisi yıllık ortalama 4.0’dır (MGM, 2017b).

DATAEM istasyonu 2016 yılı verilerine göre ortalama global ışınım değerleri Şekil 2’de verilmiştir.

Araştırma Makalesi



Şekil 2. Adana ili Yüreğir ilçesi aylık global ışı nım değerleri (2016)

Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) verilerine göre Adana İli -Yüreğir İlçesi yıllık güneş ışı nım değerleri EİE, (2017a) ve Yegm, (2017)'den alınmıştır.

2.1.3. Deneme alanında PV sistemin kurulumu ve meteorolojik ölçümler

Ocak 2016 ile Ocak 2017 arasında, işletmedeki binanın çatısında (yerden 10 m yüksekte), 15 m rakımlı ve $36^{\circ}51'17''$ K ile $35^{\circ}20'37''$ D koordinatlarında kaydedilmiştir. PV'ler zeminden 75 cm yüksekte ve çelik şase üzerine 4 farklı eğim açısı (15° ; 30° ; 45° ve 60°) olacak şekilde monte edilmiştir. Her bir ünite 5 adet 250 W'lık PV panelden oluşmuştur. Paneller seri olarak bağlanmış, dikey (portre) ve gölgeleme yapmayacak mesafede yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Fotovoltaiklerin çatıda farklı eğim açlarındaki montajı

Araştırma Makalesi

Çalışmada invertörler, 1 000 W'lık ısıtıcı rezistanslar, PC'ler ve diğer ölçüm materyalleri kullanılmıştır. İşletmenin bir yıllık üretim periyodunda, elektrik enerjisi tüketim değişimi, enerji talep yönetimi, motor güçleri gibi değerleri ölçen aletler ve aydınlatma armatörleri ile bazı enerji tüketicileri de teorik olarak hesaplanmıştır.

2.1.4. Fotovoltaik güneş panelleri

Araştırmada kullanılan panellerin standart test koşullarına (STC) göre; 60 adet hücreden (matrix) oluşmuştur. Hücre tipi polikristal olup, her hücre 156 x 156 mm ölçüsündedir. Her panel 19 kg ağırlığa sahiptir. Panel ölçüsü, U x E x Y 1628 x 982 x 40 mm'dir. Tyco tipi bağlantı yapılmıştır. Bu paneller, ulusal ve uluslararası sertifikalar ve test prosedürlerine uygun olup TUV, IEC, PV CYCLE, ETL, CE sertifikalarına sahiptir.

2.1.5. Çalışmada kullanılan ölçüm cihazları

Her bir eğim açısına göre birer adet olmak üzere toplam 4 adet invertör kullanılmıştır. İntertör; verileri sayısallaştırmakta ve kaydetme özelliğine sahiptir. Voltaj ve akım büyüklüklerini, enerji harcamalarını ekranlamak ve sistem parametrelerini 60 sn ölçerek bunları raporlama cihazıdır. Opsiyonel olarak SNMP, modbus ve AS-400 kartı ile iletişim destekleyici ve webden statik IP ile dataları bilgisayara indirebilme özellikleri ile desteklenebilen, bilgi saklama özelliklerine sahiptir. Akümülatörle desteklenebilen, PV'lerden gelen nominal voltaja göre devreye girmekte ve PV voltajı nominal voltajın altına düştüğü durumlarda sistem kendiliğinden kapanmaktadır. İntertör ile PC arasında veri transferini sağlayan "power solar" programı kullanılmıştır. Çalışma için gerekli olan çıkış gücü verilerininin 1 saatlik ortalama değerleri kullanılmıştır.

2.2. Metot

Araştırma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, DATAEM'de üretim işletmesinin, elektrifikasyon durumu incelenerek, ihtiyaçları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise toplanmış olan veriler ve çeşitli literatürden yararlanılarak bu konuda çalışan teknik elemanların ihtiyaç duyduğu PV'li elektrik enerjisinden faydalanılabilen, PV-Çatı dizaynı yapılmıştır.

PV kullanarak ve bazı parametreler değerlendirilerek, enerji kullanımını baz alarak, tasarım esasları için veri tabanı geliştirilmiştir. Geliştirilen parametreler Mikrosoft (MS) Excel programı yardımıyla hesaplanabilir veri tabanı haline dönüştürülmüştür.

Araştırma Makalesi

PV sistemlerinin; uygun eğim açısı hesaplanmış, PV üniteleri ile elektrik üretimleri aritmetik ortalamalar ve standart sapmalar ile karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Diğer değerlendirmeler için benzer çalışmalarda olduğu gibi matematiksel ve trigonometrik bağıntılardan faydalanılmıştır. Bunların dışında, grafiksel analizler, polinom eğrileri ve belirlilik katsayısı (R^2) gibi karşılaştırmaları yapılmıştır. PV yatırımlarının geri ödeme süreci hesaplanmıştır.

2.2.1. Güneşlenme süresinin ölçülmesi

Çalışma alanında uzun yıllık güneşlenme süresi 7 saat 24 dakika olarak belirlenmiştir. Çalışmada, genel olarak saat 6⁰⁰-19⁰⁰ aralarındaki güneşlenme süreleri dikkate alınmıştır.

2.2.2. Güneşlenme şiddetinin ölçülmesi

10 dakika aralıklarla $W m^{-2}$ olarak kaydedilen güneş ışınımı değeri bilgisayara RS-232 ile seri bağlanmıştır. Çalışmada, özellikle sabah ve öğleden sonraki saatlerde, güneş ışınım şiddetinin yatay yüzeye $9 Wh m^{-2}$ ' den az olan durumları dikkate alınmamıştır.

2.2.3. PV sistemin enerji üretimi ve hesabı

PV'lerin ürettikleri enerjiyi invertör üzerinden PC'lere "power solar programı" ve iletişim portu, "RS-232/USB" yardımıyla aktarılmıştır. Ölçümler 60 sn'de bir veri kaydedilebilmektedir. Bu çalışmada, 10 dakikalık zaman biriminde alınan veriler daha sonra 1 saate göre aritmetik ortalamaları alınmıştır. Çalışmada, Güneş enerjisinden elektrik üretimi Eşitlik 1. ile yapılmıştır (Software, 2017).

$$E = A \cdot \eta \cdot H \cdot PR \quad (1)$$

Burada; E = Enerji (kWh), A = Toplam panel alanı (m^2), η = PV panel verimi (%)'dir. Toplam sistem gücü = ηA ; H = Eğimli panelde yıllık ortalama güneş ışınımı (gölgeleme hariç) ($kWh m^{-2}$), PR = Performans oranı, kayıplar katsayısı (0.9- 0.5) varsayılan = 0.75 dir). Çalışmada PV Sistem enerji kayıp miktarları (%), sistem ölçüleri, teknolojisi ve bölgeye göre değişiklik gösterir.

Invertör kayıpları (IK), %6-15; Sıcaklık kayıpları (SK), %5-15; DC kablo kayıpları (DCK), %1-3; AC kablo kayıpları (ACK), %1-3; Gölgeleme kayıpları (GK) (bölgeye göre değişir), %0-40; Zayıf ışın kayıpları (ZIK), %3-7; Toz, kar vs kayıpları (TK), %2; Diğer kayıplar (DK), %0-10; Toplam Kayıplar (TOPK), %28 olarak hesaplanmıştır.

Araştırma Makalesi

$$TOPK = (1-İK).(1-SK).(1-DCK).(1-ACK).(1-GK).(1-ZİK).(1-TK).(1-DK) \quad (2)$$

İşletmede “tam güney” yönünde olan çatısında ve faydalanılabilen, PV amaçlı 2 154 m²'lik çatı üzerine 330 kWh'lık PV sistem kurulması tasarlanmıştır. Sistemin kayıpları %28 ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak kabul edilerek, hesaplanmıştır.

2.2.4. Elektrik üretimi –tüketimi hattındaki ölçümler

PV'in enerji üretimi, invertördeki sayaç ile ölçülmüştür. Ünitelerden günde 4 defa voltmetre ve ampermetre ile anlık voltaj-akım kablolar üzerinden ölçülmüştür. Haftada bir defa PV'lerin yüzeyleri toz ve kirlenmelere karşı kireçsiz su ile yıkanmıştır.

2.2.5. PV beklenen enerji üretiminin ölçümü

Kurulu gücün ve panel veriminin tespiti için panel gücü Eşitlik 3. ve sistem (tesis) gücü Eşitlik 4. ile hesaplanmıştır (İbrahim, 2006).

$$EpP = \text{Panel alanı} \times \text{Işınım değeri} \times \text{Verim} \quad (3)$$

$$EpS = \text{Kurulu gücü} \times \text{Kayıp oranı} \times \text{Güneşlenme süresi} \quad (4)$$

Bu hesaplamalarda kayıplar için şu kriterler izlenmiştir. İnvertör verimi %90- 92 tercih edilmiştir. Dolayısıyla, panelin m² değeri seçilen invertöre göre 0.9'a bölünmüştür. Ayrıca diğer kablolama ve sistem kayıpları için, sisteme bağlı bulunan değeri ortalama 0.90- 0.95'e bölünmüştür. Bu hesaplamalardan sonra, PV sisteminin gereken alanı (m²) hesaplanmıştır. Daha sonra birim alana gelen enerjinin ve elde edilen enerjinin miktarı hesaplanmıştır.

2.2.6. En uygun eğim açısının belirlenmesi

PV'de enerjinin en üst seviyeye çıkarılması ancak optimum eğim açısı ile konumlandırılmasıyla gerçekleşebilir (Güneşsistemleri, 2017).

Çalışmada, 36°51'17" K ve 35°20'37" D koordinatlarında, optimum eğim açısının matematiksel hesaplanması yapılmıştır. Eğik düzleme gelen aylık maksimum güneş ışınımı değerleri MS Excel ortamında hesaplanmıştır. 15°-60° eğim açısı değerleri arasında 15°'lik açı farkıyla dört farklı eğim için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra maksimum ışınımın olduğu açı değeri tespit edilerek optimum açı değeri saptanmıştır. Elde edilen açı

Araştırma Makalesi

değeri MS Excel ortamında grafiksel olarak çizilmiştir (Şekil 4). Aylık hesaplamada (Vssolmo, 2016) parametreler dikkate alınmıştır.

Optimum eğim açısı ile maksimum ışınım arasındaki ilişkiyi belirlemek için “saçılma grafiği”nden faydalanılmıştır. Bu yöntem en küçük kareler metodu denilmektedir (Gürsakar, 2002), Bu fonksiyonun ($y=ax^2+bx+c$) minimum olabilmesi için a ve b parametrelerine göre birinci dereceden türevleri bulunup sıfıra eşitledikten sonra gerekli sadeleştirme işlemleri yapıldığında normal denklemler adı verilen denklem sistemi elde edilir (Yavuz, 2009). Bulunan belirlilik katsayısı (R^2), bağımsız değişken değerlerindeki değişimlerin ne kadarının (%) kurulan regresyon modeli ile açıklandığını gösterir. Değer $0 \leq R^2 \leq 1$ arasında değişmektedir. R^2 , 1'e yaklaştıkça modelin uygunluğu artmaktadır (Yavuz, 2009; Yüzer, 2009). Çizilen grafiğin Quadratik Modelde olması nedeniyle modelin kırılma noktası aranır. Bu nokta eğrinin optimum noktası olarak bilinir. Noktanın tespitinde kullanılan fonksiyonun ($y=ax^2+bx+c$) türevi alınır ve $y= -b (2a)^{-1}$ şekline dönüştürülerek koordinat sistemi üzerinde y noktası belirlenir. Belirlenen bu noktadan yararlanarak asıl fonksiyondaki yerine yazılır. Yapılan hesaplama ile koordinat sistemindeki x noktası tespit edilir. Elde edilen x noktası burada optimum eğim açısını verir (Üstün, 2007). Bu durumda, optimum eğim açısında, doğal olarak y noktasındaki ışınım değeri; en yüksek verimle elde edilen enerji miktarıdır.

2.2.7. PV panellerinin çatıya montajı ve tasarım yöntemi

PV panellerin çatıya montajında, iki farklı uygulama yapılmıştır. Birincisi panellerin çatı açısı ile çatı yüzeyine paralel monte edilmesi ikincisi ise panellerin belirli bir açı ile çatı açısından farklı bir eğim açısı ile monte edilmesidir. PV panellerinin çatıya montaj durumuna göre doğu-batı yönünde (yatay) ya da kuzey-güney istikametinde (dikey) olarak montajları durumunda enerji verimlilikleri değerlendirilmiştir. Eğim açılarının belirlenmesinde mevcut çatının eğim açısı (17°) baz alınmış buna göre daha sonraki eğim açıları 5'er derece ($^\circ$) eklenerek 8 uygulama tasarlanmıştır. PV-çatı sistemlerinde çatıda birer metre kenar boşlukları ve panel çatı arası 20 cm havalandırma boşluğu bırakılmıştır (Hikmet ve Kapıcıoğlu., 2015). Panel satırlarının birbirini gölgelendirmemeleri için literatüre göre; güneşin en düşük açıyla geldiği 21 Aralık günü saat 09^{00} ile 15^{00} 'deki açısı (Oregon.edu, 2017b) grafik yardımıyla tespit edilmiştir.

Elde edilen mesafeye göre panel satırları belirlenmiştir. MEB (2017)'nin “Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Yapılarda Güneş Panel Sisteminin Kurulması” isimli kaynaktan, “Çatı Montaj Yeri Tespiti” konusundaki bilgiler esas alınmıştır. Buna göre PV panel grupları arasındaki mesafe hesaplanması önerilmiştir.

Araştırma Makalesi

Türkiye'nin bulunduğu koordinatlar nedeniyle güneş ışınlarının en eğik geldiği tarih 21 Aralık olarak hesaplanmıştır (İbrahim, 2006). Ayrıca diğer faktörler dikkate alınmıştır.

2.2.8. PV üzerine gölge düşme durumunun kontrolü

Gölgeleme yapan ile PV arasındaki mesafe (L), $H/\tan\alpha$ değerinden büyük ise nesneden dolayı kesinlikle gölge oluşmayacak demektir. Başka bir ifade ile, $L > H/\tan(\alpha)$ kabulü dikkate alınmıştır.

PV'lerin yerleştirilmesinde gelen güneş ışınlarının bir önceki PV panelleri tarafından engellenmemesi gerekir. PV'lerin birbirinin güneş ışınlarını kesmemesi için aralarında bulunması gereken en az mesafe Eşitlik 5. ile hesaplanmıştır (MEB, 2017).

$$A = [(\sin(\alpha)/\tan(\beta)) + \cos(\alpha)].L \quad (5)$$

Burada; β : güneş ışınlarının geliş açısı ($^{\circ}$), α : panellerin yatay yüzeye yaptığı açı ($^{\circ}$), L: Panelin kenar uzunluğu (m), A: Panel grupları arasındaki mesafedir (m)'dir.

PV'lerin çatıya yatay ile 17° ve devamında $+5^{\circ}$ eklenerek montaj edilmesi ancak ilk sıradan sonra gelen sıradaki PV'lere gölge bırakmaması için mesafe bırakılmıştır. (Quaschnig ve ark., 1998; Özgün, 2015; MEB, 2017).

2.2.9. Çatıya panellerin montajında izlenen yöntem

Çatının kenarlarından 1 m mesafe bırakılarak, panellerin konumlandırma hesabı yapılmıştır. Panellerin çatıya monte edilme tasarımında, 5 farklı şekilde panel konumlandırma (PV₁-ÇPY, PV₂-ÇPD, PV₃-YTA, PV₄-DTA, PV₅-YÇA) ve 8 farklı eğim açısı ile toplam 40 adet montaj tasarımı yapılmıştır. İlk iki panel grubunda (17° ve 22° eğimli çatılarda (Shoshani ve ark., 2013; Okuroğlu ve ark., 2015; Ekmekyapar, 2012)) paneller çatıya 20 cm havalandırma boşluğu bırakılarak (Ironridge, 2017; Hikmet ve Kapıcıoğlu., 2015) çatıya paralel monte edilmesi planlanmıştır. Bu çatıdan aylık elde edilecek olan enerji miktarı $2 \times 18909 \text{ kWh ay}^{-1} = 37818 \text{ kWh ay}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

2.2.10. İşletmenin enerji ihtiyacının belirlenmesi

İşletmenin elektrik enerjisi tüketen noktalar belirlenmiştir. Mevcut işletmenin enerji ihtiyacı TEDAŞ enerji nakil hattına bağlı 200 kW'lık trafo ile sağlanmaktadır. İşletmede 275 kW'lık dizel jeneratör ve sıcak su ihtiyacı için 1000 L'lik bir güneş enerjili su ısıtma kollektörü tesisatı mevcuttur.

Araştırma Makalesi

2.2.11. İşletmenin toplam elektrik enerjisi tüketim hesabı

İşletmenin toplam elektrik enerjisi tüketim hesabı, Eşitlik 6. ile hesaplanmıştır.

$$Q_t = Q_{mc} + Q_{wh} + Q_L + Q_{wp} + Q_{as} + Q_n + Q_d \quad (6)$$

Burada, Q_t : Toplam enerji tüketimi (kWh), Q_{mc} : soğutma için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi (kWh), Q_{wh} : Su ısıtılması için enerji tüketimi (kWh), Q_L : Aydınlatma ile tüketilen elektrik tüketimi (kWh), Q_{wp} : Su pompaları tarafından tüketilen elektrik tüketimi (kWh), Q_{as} : Otomatik sistemlerinin elektrik tüketimi (kWh), Q_n : Fanın motorunun elektrik tüketimi (kWh), Q_d : İşletmenin diğer tüketilen saatlik toplam elektrik enerjisi miktarı (kWh)'dır.

2.2.12. Yatırım maliyetinin geri ödeme süresinin hesaplanması

Yatırım maliyetinin geri ödeme süresinin hesaplanması (Ekoanaliz, 2017)'a göre yapılmıştır.

2.2.12. Toplam enerji tüketiminde CO₂ emisyonunun hesaplanması

CO₂ gelirini hesaplayabilmek için ne kadar CO₂ emisyon azaltımı olduğu Birleşmiş Milletler ve Çevre Kalkınma “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” (UNFCCC) tarafından yöntem olarak belirlenmiş olan “işletim marjı emisyonu metodu” ile belirlenmiştir (UNFCCC, 2015).

3. Bulgular ve Tartışma

Geliştirilen PV-Çatı sistemi kapsamında, 40 ayrı PV-Çatı sistemi oluşturulmuştur. Araştırma alanındaki iklim verileri, PV'nin teknik özellikleri STC' na (Besli ve ark., 2010; Islam ve ark., 2014; Karafil ve ark., 2016) göre PV panel sıcaklık değerleri 25 °C kabul edildiğinden; 2016 yılı sıcaklıkları kayıt altına alınarak ortalama sıcaklıkları hesaplanmıştır. Buna göre, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında sıcaklık 25 °C'tan fazla olduğu gözlenmiştir. Bu sıcaklıkların 1°C artması sonucu PV üzerine %0.37V ve %0.05A azalma göstereceği ifade edilmiştir (Masters, 2013). Buna göre yılın en sıcak günlerinin, toplamda 100-150 gün olduğu aylarda sıcaklığın 25 °C'dan fazla (25-35 °C) olduğu hesaplanmıştır.

Çalışma alanında güneşlenme, saat 6⁰⁰ ile 19⁰⁰ arasındaki yatay yüzeye güneş ışınım şiddetinin 9 W m⁻² ve daha fazlası dikkate alınmıştır. 12 ay süresince yatay yüzeye saatte gelen enerji miktarları ve en kısa güneşlenmenin Aralık - Ocak aylarında saat 07⁰⁰ ile 16⁰⁰ arasında olduğu, en uzun güneşlenmenin ise Haziran ve Temmuz aylarında saat 06⁰⁰ ile 19⁰⁰

Araştırma Makalesi

arasında olduğu gözlenmiştir. Buna göre saat 12⁰⁰ için en düşük Ocak ayında ortalama 277 W m⁻² iken en yüksek güneş ışınımı Temmuz ayında ortalama 827 W m⁻² olarak ölçülmüştür.

Yatay yüzeye gün içerisinde gelen toplam güneş ışınımının (Wh m⁻² gün⁻¹), regresyon analizi yapılarak en iyi kuadratik bir eğri oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu eğrinin polinom eğrisi çizilerek belirlilik katsayısı (R²=0.96) hesaplanmıştır. Bu verilere göre gelen güneş ışınımının %96 oranında bir yılın gününe bağlı olarak elde edilebileceğini göstermiştir.

3.1. Araştırma alanındaki tarımsal işletmenin elektrik enerjisi tüketimi

Araştırma alanındaki tarımsal işletmenin elektrik enerjisi tüketimi bir yıllık elektrik enerjisi tüketiminin belirlenmiştir. Üç farklı tarifeye göre -gündüz (06⁰⁰-17⁰⁰), puant (17⁰⁰-22⁰⁰) ve gece (22⁰⁰-06⁰⁰) olarak kayıt altına alınmıştır. Buna göre enerjinin gündüz (saat 06⁰⁰-17⁰⁰) tüketimi diğer iki tüketime göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İşletmede, elektrik enerjisinin yıllık tüketimi ortalama 309 196 kWh, aylık ortalama tüketimi 25 766 kWh ve günlük ortalama tüketimi 859 kWh olarak hesaplanmıştır. Yılı içerisinde günlük elektrik enerjisi tüketimi en az Ocak ve Mayıs aylarında 564-585 kWh gün⁻¹ iken en çok tüketim ise Şubat, Ağustos ve Ekim aylarında 1 132-1 145 kWh gün⁻¹ olarak ölçülmüştür. Bazı çalışmalarda (Duman, 2014); (Kasap, 1985) benzer sonuçları elde etmiştir.

3.2. Enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli çatı alanı,

Enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli çatı alanı, işletmedeki çatının taban dış ölçüleri; 80 x 32 m' dir. Bu yapının tam güneşe bakan ve PV için uygun olan, çatının üstünde çalışılacak alan için kenarlardan 1 m boşluk bırakılmıştır. Çatının, PV için toplam kullanılacak alanı, 1 092 m² (78 m x 14 m)'dir. Çatının güney tarafından gölgeleme yapacak yüksek binalar, ağaçlar ve başka herhangi bir unsur yoktur.

3.3. Günlük enerji ihtiyacının değişimi ve karşılanma oranı

Günlük enerji ihtiyacının değişimi ve karşılanma oranı, elektrik enerjisinin gün içerisinde tüketildiği noktalar ve tüketim oranları, hesaplanmıştır. Yıl içerisinde günlük elektrik enerjisi tüketimi en az Ocak ve Mayıs aylarında 564-585 kWh gün⁻¹ iken en çok tüketim ise yaklaşık %100 artarak Şubat, Ağustos ve Ekim aylarında 1 132-1 145 kWh gün⁻¹ olarak ölçülmüştür. PV tasarımında, "en çok enerji tüketimi" ve "en az enerji üretim" koşulları dikkate alınarak planlanmıştır.

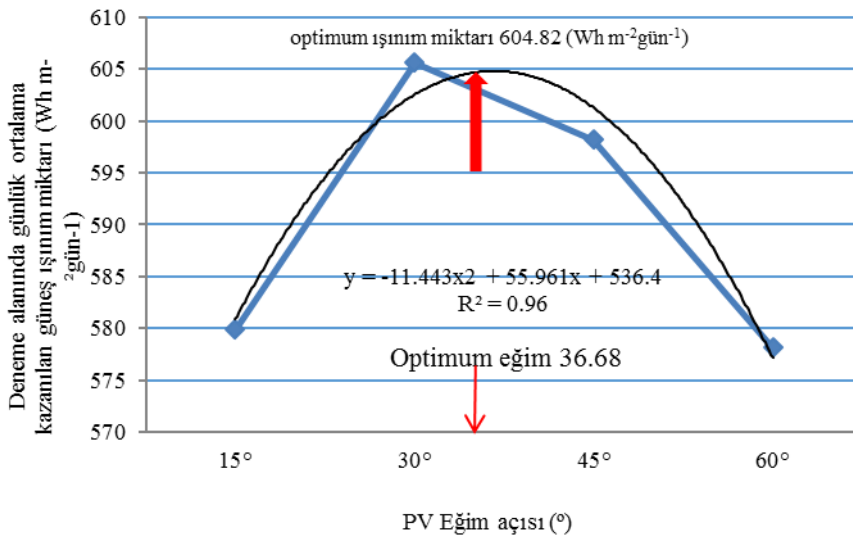
Kurulu gücü 1 250 Wp olan ve 8.2 m²'lik alana sahip PV sisteminin birim zaman içinde toplamış olduğu enerji miktarı Wh m⁻² birimine dönüştürülmüştür.

Araştırma Makalesi

İşletmenin yıllık enerji ihtiyacını PV'lerden karşılamak amacıyla tasarlanan sistemin optimum eğim açısı ve optimum güneş ışınım miktarı elde etme noktası Şekil 4'de verilmiştir. Bu verilere göre PV-Çatı tasarımı modülleri Çizelge 1'deki gibi oluşturulmuştur.

İşletmenin yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla tasarlanan PV-Çatı sisteminden maksimum düzeyde enerji elde edilebilen sonuca göre; sistemin bulunduğu koordinatlardaki yıllık optimum güneş ışınımı değeri (Wh gün), eğim açısına göre kayıt altına alınarak; yıllık optimum enerji değeri, Şekil 4.'de gösterilmiştir. Burada; en yüksek enerji üretim değeri (stn, 2007) çizilen quatratik modelin polinom eğrisi ve eğrinin eşitliği yardımı ile hesaplanmıştır. Ayrıca eğim açısı ile ışınım arasındaki belirlilik katsayısı ($R^2=0.96$) bir yaklaşım olarak hesaplanmıştır (Gürsakal, 2002). Buna göre enerji üretimi %96 oranında eğim açısından etkilenir iken %4 farklı nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Burada, deneme alanındaki koşullara bağlı olarak bir yıllık optimum güneş ışınım miktarı $604.82 \text{ Wh m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ve koordinat derecesine göre optimum eğim açısı 36.68° olarak hesaplanmıştır. Elde edilen polinom eğrisi eşitliği yardımı ile 15° - 60° eğim arasındaki herhangi bir eğimde PV'nin eğim açısını konumlandırmak amacıyla nokta belirlenebilir. Ayrıca eğrinin eşitliği ($y = -11.443x^2 + 55.961x + 536.4$) yardımı ile verim ile açı arasındaki noktalar tespit edilebilir. Bu eşitlikte optimum nokta (stn, 2007)'e göre hesaplanmıştır. PV-Çatı tasarımında, farklı eğim açlarına göre PV'lerin 1 m^2 yüzey alanına gelen ışınım miktarı hesaplanmasında bu eşitlik ve Şekil 4. baz alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 4. Optimum eğim açısına göre deneme alanında yıllık ışınım miktarı

Çalışmada, yapılan gözlem ve hesaplamalara göre 2016 yılı aylık sıcaklık ($^\circ\text{C}$), yatay yzeeye gelen ışınım miktarı ($\text{Wh.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$) ve PV panellerinin enerji üretim durumu ($\text{Wh.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$)

Araştırma Makalesi

².gün⁻¹) verilmiştir. Buna göre sıcaklık değerleri 8-28 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. PV panelleri için kritik sıcaklık olan STC göre 25°C üstü sıcaklıklar 6., 7., 8. ve 9. aylarda ölçülmüştür. Buradaki veriler önceki çalışmalar (Keçel ve ark., 2008) (Işıker ve ark., 2006) ile benzerlik göstermektedir.

3.4. İşletmenin elektrik ihtiyacı için gerekli panel alanı ve tasarım hesabı

İşletmenin elektrik ihtiyacı için gerekli panel alanı ve tasarım hesabı, PV-Çatı sistemlerinin tasarımı için eğim açılarına göre ve panellerin yatay (manzara) ya da düşey (portre) konumlandırılmalarına göre ihtiyaç duyulan enerji miktarlarına bağlı gerekli olan PV alanı hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca panellerin farklı eğim açıları ile çatının üstüne ek profiller ile tasarımı ve montajı hesaplanmıştır.

Araştırmada, tarımsal işletme için tasarlanan PV-Çatı sisteminin modülü Çizelge 1’de verilmiştir. Eğim açısına göre 8 farklı (17°, 22°, 27°, 32°, 37°, 42°, 47° ve 52°) eğim ve konumlandırmaya göre 5 farklı grupta (PV₁-ÇPY, PV₂-ÇPD, PV₃-YTA, PV₄-DTA ve PV₅-YÇA) çatıya montaj durumuna göre PV- Çatı sistemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu durumda, toplam 40 alternatif PV-Çatı sistem elde edilmiştir. Çatıdan ve PV panellerinden en iyi faydayı sağlamak amacıyla, tasarımın değerlendirilmesinde; eğim açısı ve çatı alanına bağlı olarak 10 parametre hesaplanmıştır. Daha sonra istatistiksel analizde tek yönlü varyans analiz yapılarak (Üstün, 2007) en uygun PV-Çatı sistem tespiti yapılmıştır. Bu değerlendirmede, barınağın güneye bakan çatı kısmının PV için kullanılabilir olan kısmına “mevcut alan” (MA) (m²), olarak ifade edilmiştir. Bu alan, çatının tabanı sabit kalmak üzere eğim açısına bağlı olarak çatının dış kenar çarpanları (en x boy) ile elde edilmiştir. Burada, baz alınan mevcut alan, yani çatının tam güneye bakan 17° (%30 eğimli) dikdörtgen şeklinde 16 x 80 m (1 280 m²) ölçülerinde kullanılabilir açık alandır. Daha sonra 14 x 78 m (1 092 m²) yüzey üzerine PV çatı sistemleri planlanmıştır.

Araştırmada, kurulu güç en az 79 kW ile en fazla 270 kW olarak hesaplanmıştır. En çok kurulu güç 52°’lik PV₁-ÇPD sisteminde hesaplanır iken en az kurulu güç 8 farklı eğimdeki PV₃-YTA konusunda hesaplanmıştır. Kurulu güç çalışmada önemli bir kriter olarak dikkate alınmıştır. Bu nedenle en az 96 kW kurulu gücü verebilen PV –Çatı sistemlerinin diğer konulara göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Deneme alanına göre “PV-Çatı sistemlerinin” günlük üretebilecekleri güç (kW) hesaplanır iken şu yöntem izlenmiştir: Deneme alanından farklı eğim açılarında 1.25 kW’lik ünitelerden elde edilen optimum eğimde ve enerjide, PV’de 1 m²’ye ortalama günlük gelen enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen değer ve kurulu gücün (kW) kapladığı PV alanının çarpımı ile elde edilmiştir.

Araştırma Makalesi

Model gücü (MG) ($\text{kW m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), panel sayısı (PS) ile bir panel alanının (1.63 m^2) ve denemeden eğim açlarına göre elde edilen optimum 1 m^2 alana gelen ışınım değerinin çarpılması ($\text{PS} \times 1.63 \times \dots \text{ kW.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$) ile elde edilmiştir. PDK: panelin dik (a) kenarı (m), panellerin çatıya paralel değil de farklı eğim açıları ile konumlandırılması sonucu; 17° baz alınarak, eğim açılarından dolayı oluşan profil malzeme boyudur. Pisagor teoremi esas alınarak panelin konumlandırmasına göre kısa kenar (eni) ya da uzun kenar (boyu) hipotenüs kabul edilerek karşı dik kenar olarak PDK ($a = \sin(\alpha) \times \text{panel kenarı}$) hesaplanan uzunluktur. İÇP: ilave çatı profili (m), panel dik kenarı ile panel sayısının çarpımının yarısı ($\text{PDK} \times \text{PS} / 2$) kadardır. ÜE: günlük üretilen enerji (kWh ay), model gücünden elde edilen günlük enerjinin bir aylık ($\text{MG} \times \text{ay}$) toplamıdır. M: maliyet (TL), kurulu güç ile birim maliyetin çarpımı ($\text{KG} \times 3500 \text{ TL kWh}^{-1}$) ile elde edilmiştir. Bu değerlendirmeler Çizelge 1.'de $17^\circ - 37^\circ$ arasındaki modüller yani optimum eğim açısına kadar olanlar verilmiştir. Burada verilen parametreler;

Çizelge 1. İşletme için planlanan PV-ÇATI sistemi tasarım modülü

EĞİM (°)	PV Çs	MA (m ²)	STRS (adet)	STNS (adet)	KPVA (m ²)	PS (adet)	KG (kWp)	MG (kWh/)	PDİK (m)	İÇP (m)	ÜE (kWhay)	M (TL)
17°	PV ₁ -ÇPY	1280	14	45	1027	630	158	601	0.00	0	18022	551250
	PV ₂ -ÇPD	1280	8	77	1077	661	165	630	0.00	0	18909	578375
	PV ₃ -YTA	1280	8	45	587	360	90	343	0.29	52	10298	315000
	PV ₄ -DTA	1280	6	77	753	462	116	441	0.51	118	13216	404250
	PV ₅ -YÇA	1280	5	45	734	450	113	429	0.58	131	12873	393750
22°	PV ₁ -ÇPY	1326	14	45	1027	630	158	610	0.00	0	18299	551250
	PV ₂ -ÇPD	1326	9	77	1130	693	173	671	0.00	0	20129	606375
	PV ₃ -YTA	1326	7	45	513	315	79	305	0.37	58	9150	275625
	PV ₄ -DTA	1326	5	77	628	385	96	373	0.61	117	11183	336875
	PV ₅ -YÇA	1326	4	45	587	360	90	349	0.75	135	10457	315000
27°	PV ₁ -ÇPY	1380	15	45	1100	675	169	660	0.00	0	19805	590625
	PV ₂ -ÇPD	1380	9	77	1130	693	173	678	0.00	0	20333	606375
	PV ₃ -YTA	1380	7	45	513	315	79	308	0.45	71	9242	275625
	PV ₄ -DTA	1380	5	77	628	385	96	377	0.74	142	11296	336875
	PV ₅ -YÇA	1380	4	45	587	360	90	352	0.91	164	10562	315000
32°	PV ₁ -ÇPY	1450	16	45	1174	720	180	709	0.00	0	21266	630000
	PV ₂ -ÇPD	1450	10	77	1255	770	193	758	0.00	0	22742	673750
	PV ₃ -YTA	1450	7	45	513	315	79	310	0.53	83	9304	275625
	PV ₄ -DTA	1450	5	77	628	385	96	379	0.87	167	11371	336875
	PV ₅ -YÇA	1450	4	45	587	360	90	354	1.06	191	10633	315000
37°	PV ₁ -ÇPY	1540	17	45	1247	765	191	754	0.00	0	22632	669375
	PV ₂ -ÇPD	1540	10	77	1328	815	204	804	0.00	0	24111	713125
	PV ₃ -YTA	1540	7	45	513	315	79	311	0.60	95	9319	275625
	PV ₄ -DTA	1540	5	77	628	385	96	380	0.99	191	11390	336875

Araştırma Makalesi

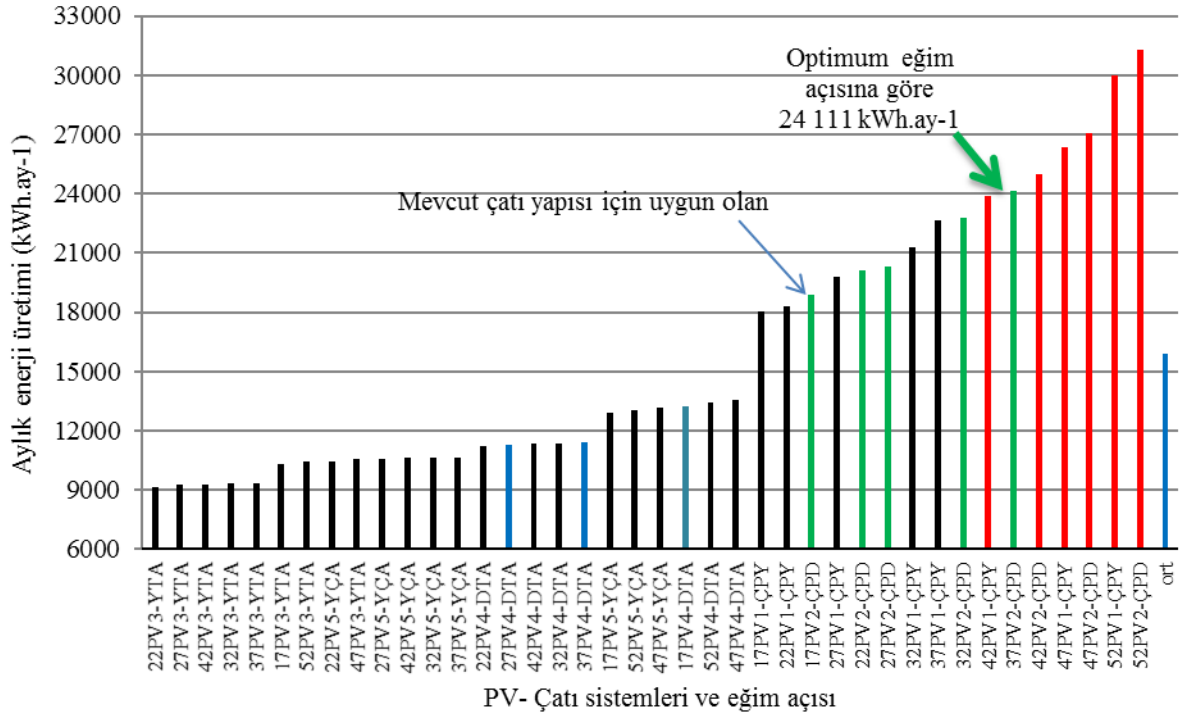
PV ₅ -YÇA	1540	4	45	587	360	90	355	1.20	216	10650	315000
----------------------	------	---	----	-----	-----	----	-----	------	-----	-------	--------

E: Eğim (derece), PV-ÇS: PV Çatı sistemi, MA: Mevcut alan (m²), STRS: Satır sayısı (adet), STNS: Sütun sayısı (adet), KPVA: Kullanılan PV alanı (m²), PS: Panel sayısı (adet), KG: Kurulu güç (kW), MG: Model gücü (kWh.m⁻².gün⁻¹), PDK: panelin dik (a) kenarı (m), İÇP: ilave çatı profili (m), ÜE: günlük üretilen enerji (kWh ay), M: maliyet (TL), PV₁-ÇPY: Çatıya paralel yatay, PV₂-ÇPD: Çatıya paralel düşey, PV₃-YTA: Çatıya yatay tek açılı PV, PV₄-DTA: Çatıya düşey tek panel açılı PV, PV₅-YÇA: Çatıya yatay çift panel açılı.

Eğim açılarına göre ilk sistem 17° (%30 eğim) ile tasarlanmış daha sonraki sistemler ise 5'er derece eğim artırılarak 52°'ye kadar 8 farklı eğim açısına göre tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre; PV-çatı sistemlerinden birincisi (PV₁-ÇPY) ve ikincisi (PV₂-ÇPD) çatı örtüsüne paralel, çatının dörtkenarından birer metre (1 m) ve paneller ile örtü arasında 20 cm havalandırma mesafesi bırakılarak bu iki uygulama sadece 17° ve 22° olan çatılar için tasarlanmıştır. Üçüncüsü (PV₃-YTA), (17°'lik çatı için) çatının üstüne paneller eğim açılarına göre ve birbirini gölgelendirmeyecek konumda birer adet satırları oluşturacak şekilde uzun kenarı yere gelecek (manzara) konumda, 8 farklı eğim açısına göre yatık pozisyonda konumlandırılmıştır. Dördüncüsü ise (PV₄-DTA), çatının üstüne paneller 8 farklı eğim açısına göre yan yana gelecek şekilde birer adet; satırları oluşturmak için kısa kenarı yere gelecek şekilde, dikey pozisyonda (portre) konumlandırılmıştır. Son olarak beşincisi, (PV₅-YÇA), çatının üstüne paneller eğim 8 farklı eğim açısına göre uzun kenarları üst üste gelecek şekilde ikişer adet; satırları oluşturmak için uzun kenarı yere gelecek konumda, yatık pozisyonda konumlandırılmış olarak hesaplanmıştır.

Araştırmada, PV-ÇATI sistemleri için tasarlanan; 8 farklı açığa göre ve 5 farklı gruptaki sistemin, kendi aralarındaki en iyi performansı belirlemek için üretmiş oldukları aylık elektrik enerjisi miktarı esas alınarak; Çizelge 1.'deki enerji değerleri grafiksel olarak Şekil 5.'te verilmiştir.

Araştırma Makalesi



Şekil 5. PV- Çatı sisteminde 40 farklı uygulama ve aylık enerji üretimi

Bu durumun grafik ile analizi yapılmıştır. Burada, 40 farklı PV-ÇATI sisteminin değerleri karşılaştırılmıştır. Ortalama enerji üretim miktarı ve kullanılabilir PV-Çatı sistemleri tespit edilmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, en çok enerji miktarı 52PV₂-ÇPD sisteminde elde edilebileceği hesaplanmıştır. Ancak yöredeki çatı konstrüksiyonları, ek maliyetler ve rüzgâr yükü gibi çevresel koşullardan dolayı bu sistemin uygulanabilirliği mümkün görülmemiştir. Aynı nedenlerden dolayı 52PV₁-ÇPY, 47PV₂-ÇPD, 47PV₁-ÇPY, 42PV₂-ÇPD ve 42PV₁-ÇPY sistemlerinin de uygulanabilirliği mümkün görülmemektedir. Bu 6 sistemin eğim açısından kaynaklı çatı yüzey alanındaki artışa sebep olması nedeniyle çatı yüzeyine uygulanabilecek PV panel sayısındaki artıştan kaynaklı enerji miktarı fazla görülmektedir. Fakat tesis maliyetindeki artış (çatı malzemesi, ek profil vb.) ve eğim açındaki artış; rüzgâr yükü riski gibi bu sistemlerin uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı bu 6 sistem tekno-ekonomik yönden uygun bulunmamıştır.

İdeal olan sistemlerin belirlenmesinde dikkate alınan kısıtlar, işletmenin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek “optimum koşullarda çatı alanı”, “PV tesis maliyeti”, “üretilen elektrik enerjisi miktarıdır”. Bu üç kısıt esas alınarak, PV-ÇATI sistemi tercihi yapılmıştır. İşletmenin enerji ihtiyacını belirlemek için yıl içerisinde günlük “en yüksek tüketimin olduğu gün” ile “enerji üretiminin en az üretildiği gün” baz alınmıştır. Aylık tüketimin

Araştırma Makalesi

belirlenmesinde ise yine en yüksek tüketimin olduğu gün dikkate alınmıştır. Elde edilen verilere göre PV-Çatı sistemi çatı örtüsüne paralel montaj edilmesi durumunda yöredeki çatı eğimlerine uygun olan modelin 17° ya da 22° eğime sahip olan PV₂-ÇPD sistemi olduğu sonucunu vermiştir.

Çalışmada, tasarlanan 40 adet PV-Çatı uygulaması 5 farklı grupta PV-ÇATI sistemi ve kendi aralarında 8 farklı açığa göre üretmiş oldukları aylık elektrik enerjisi miktarına göre tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Burada, regresyon analizi ve eşitliği (Eşitlik7-11) ile R² değerleri tespit edilmiştir.

$$\text{PV-ÇPD Üretim (kWh ay}^{-1}\text{)} = 11\ 603.18 + 324.83X + 6.71(X-34.5)^2 \quad (7)$$

$$\text{PV-ÇPY Üretim (kWh ay}^{-1}\text{)} = 10\ 263.31 + 328.22X + 7.23(X-34.5)^2 \quad (8)$$

$$\text{PV-DTA Üretim (kWh ay}^{-1}\text{)} = 10\ 093.62 + 31.43X + 6.97(X-34.5)^2 \quad (9)$$

$$\text{PV-YÇA Üretim (kWh ay}^{-1}\text{)} = 9\ 169.82 + 35.78X + 8.37(X-34.5)^2 \quad (10)$$

$$\text{PV-YTA Üretim (kWh ay}^{-1}\text{)} = 8\ 526.79 + 19.32X + 3.85(X-34.5)^2 \quad (11)$$

Burada, işletmenin elektrik enerjisine en çok ihtiyaç duyduğu ay ile en düşük elektrik enerjisi üretiminin olduğu ayların hesabı yapılmıştır. Çizelge 1.'de yapılan istatistiki analizde en uygun tasarım 17° eğim ile PV₂-ÇPD Çatı sistemi tespit edilmiştir. Bu sistemden 2 adet çatıya montaj yapılması durumunda, işletmenin her dönem enerji ihtiyacının karşılanabileceği hesaplanmıştır. 17° PV₂-ÇPD Çatı sistemi ile her bir çatıya 165 kW'lık PV monte edilirse ve iki çatıya toplamda 330 kW'lık bir kurulu güç elde edilmiş olacaktır. Bu PV-Çatı sisteminde toplamda aylık 34 818 kWh'lık enerji elde edilmiş olacaktır. Bu enerji miktarı da işletmenin en çok ihtiyaç duyduğu miktarı karşılamaktadır. En düşük enerji üretimi, 17° eğimde Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında gerçekleşmiştir. Bu aylarda ortalama 280 Wh m⁻² gün hesabıyla değerlendirme yapılmıştır. PV-Çatı sisteminden enerjinin en düşük üretildiği dönemde, işletmenin enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir üretim mevcuttur.

Sistemin kurulu gücü 330 kW, yıllık panel enerji kaybı %0.25, kurulum maliyeti 1 156 750 TL, sistemin birinci yıl enerji üretim miktarı 453 816 kWh, TEDAŞ 2017 elektrik satış fiyatı 0.366 TL kWh⁻¹ yıllık elektrik fiyat artış oranı %8, iskonto oranı %5, yıllık enflasyon %9, tesisin ekonomik ömrü 20 yıl kabul edilmiştir. PV-Çatı sisteminin CO₂ azaltım bedeli parasal olarak finansal analize eklenmemiştir. Türkiye için karbon piyasa fiyatı olarak 50\$ (tCO₂)⁻¹ baz alınarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bulgulara göre; PV için finansal model durumu incelenmiş, nakit akış diyagramı içerisinde özkaynak, vergi ödemeleri ve işletme giderleri verilmiştir. 330 kWp

Araştırma Makalesi

gücündeki tesisin kendisini 6 yıl içinde finanse edebildiği ve proje iç verim oranı %21.1 olarak hesaplanmıştır.

3.5. Elektrik Enerjisinin Depolanma Durumu

Elektrik Enerjisinin Depolanma Durumu, bu tüketim (puant ve gece tüketimleri) için yaklaşık 450-500 kW kapasiteli akümülatör gerektiği hesaplanmıştır. Bu kapasitenin depolanması amacıyla 12V, 250A'lık 150 adet akümülatöre ihtiyaç vardır. Depolama için akümülatörlerin ve yardımcı malzemelerin yaklaşık maliyeti 250 000 -300 000 TL'dir.

3.6. İşletmede Elektrik Enerjisi Talep Yönetimi

İşletmede Elektrik Enerjisi Talep Yönetimi, işletmede, günün 24 saati içerisindeki elektrik enerjisi talep yönetimi oluşturulmuştur. Buna göre, günlük 9 farklı noktada enerji talebi olduğu ve bu taleplerin de günün saatlerine göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. En çok enerji talep saatleri 07⁰⁰-08⁰⁰ saatleri ile 14⁰⁰ ve 19⁰⁰ saatlerinde oluşmaktadır. PV-Çatı sistemleri açısından değerlendirilecek olursa, günün ilk saatleri 06⁰⁰-07⁰⁰ ile saat 19⁰⁰; 20⁰⁰ ve 21⁰⁰ saatlerindeki enerji talebi karşılanmayabilir. Bu yöntemin başka sektörlerde uygulandığı ve önceki çalışmalar (Olgun, 2009) ile benzer yaklaşımlar gösterdiği tespit edilmiştir.

İşletmenin elektrik enerjisinin tüketildiği saatleri ve tüketim süresi günlük en fazla 6 işin birlikte ya da sıralı yapıldığı tespit edilmiştir.

3.7. İşletmenin PV ile enerji, ekoloji ve ekonomi dengesi yaklaşımı

Bu çalışma ile tarımsal işletmede elektrik enerjisinin PV'ten sağlanması, ekoloji ve ekonomi konusunda ulusal veri yetersizliği dikkate alınarak bir eksiğin tamamlanmasına fayda sağlanmıştır.

Bu çalışmada, "karbon geliri", karbondioksit emisyon miktarı (Howley ve ark., 2011; Bekiroğlu, 2014; UNFCCC, 2015)'na göre hesaplanmıştır. Buna göre, Türkiye'de elektrik enerjisinde kullanılan kaynak türüne göre, bir birim elektrik enerjisi için 528-600 gCO₂ kWh⁻¹ işlem marjı emisyonu dikkate alınmıştır. Bu değer, PV-ÇATI sisteminden bir yılda elde edilen elektrik enerjisi ile çarpan olarak kullanılmış ve yıllık CO₂ azaltım miktarı hesaplanmıştır. PV-ÇATI sistemi kurulu gücü 330 kW'lık bir sistemde 221.76 tCO₂ yıl⁻¹ gibi bir miktar ile CO₂ gazı emisyonunu azaltması beklenmektedir. Ayrıca karbon piyasasında yılda yaklaşık 11 088 \$ gelir elde edilebilir.

Araştırma Makalesi

İşletmelerdeki atıl çatıların, 17° ve PV-ÇPD sistemi ile ekonomiye kazandırılması amacıyla ve 1 000 m²'lik PV için bir çatı ile 210 684 kWh.yıl⁻¹ enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır. Elde edilen enerjinin bir yılda 111.24 tCO₂ emisyonun azaltılmasına fayda sağlayabildiği gibi ayrıca parasal olarak ekonomiye 19 467 TL.yıl⁻¹ değer, fayda sağlayacaktır. Bir başka yaklaşım ise 100 kW'lık kurulu bir güce sahip bir PV sistemi için 250 W_p'lık PV'ler ile kurulması durumunda, 400 adet PV panel ve 652 m² PV kurulum alanına ihtiyaç vardır. Bu 100 kW'lık sistemin yıllık enerji üretimi 17° ve PV-ÇPD sistemi ile 11 430 kWh ve 6 042 tCO₂ emisyonun azaltılmasına fayda sağlayabildiği gibi ayrıca parasal olarak ekonomiye 1 208 TL yıl⁻¹ fayda sağlayacaktır. Bu verilere göre PV-Çatı sistemi ve CO₂ azaltımı arasındaki değişimi önceki çalışmalar (Association (2011) ile desteklenmektedir.

Bu çalışmada, işletmenin çatı örtüsüne paralel PV-çatı sisteminin montajı durumunda çatı yüzey alanın ne kadarlık bir bölümünün kullanılmayacağı (bakım onarım, montaj ve iş güvenliği açısından) hesaplanmıştır. Buna göre panellerin portre yada manzara konumu dikkate alınarak 1 280 m²'lik bir çatının yaklaşık %12-16 kadar bir alan kullanılmamaktadır.

4. Sonuçlar

Tarımsal üretimde, girdi maliyetlerinin içerisindeki elektrik enerjisi maliyetleri son yıllarda artan çevre sorunları ve sera gazı emisyonu etkisi, bazı tarımsal üretim işletmelerinin çevresel kirliliğe sebep olarak gösterilmesi, kontrollü üretime tutulması, CO₂ gaz salınımına sebep olarak gösterilen bazı faaliyetlere dikkat çekilmesi bu işletmelerin meskûn mahallerden uzaklara taşınması gibi baskılar gündemdedir.

Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yakıtlar fosil kökenli olmasından dolayı çalışmada üretilen bu temiz enerji, "işletim marjı" eşitliği kullanılarak 221.76 tCO₂ yıl⁻¹ emisyonunu önlenmiş olacaktır.

Bu tür tesislerin tekno-ekonomik ömürleri 20-30 yıl olarak dikkate alındığından, bir işletme için maliyetlerin bilinçli kullanımı açısından tesis girdi maliyetlerinin tasarım öncesi dikkate alınması ve ona göre tercih edilmesi önemlidir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında yapılan piyasa araştırmasında, girdilerin yaklaşık %55-65'i panel alımına, %7-12'si invertöre, montaj için ise %10-15 ve diğer giderler ise yaklaşık %8 olduğu tespit edilmiştir.

İşletmelerin ilk yatırım maliyetleri içerisindeki enerji yatırımları, enerji nakil hattı, trafo, jeneratör ve elektrikli motorlarının maliyetleri işletmedeki birim üretim miktarı veya hayvan başına özgül enerji gideri yüksek maliyetler tutmaktadır. Bu proje kapsamında, yapılan fiyat araştırmasına göre, işletmenin TEDAŞ şebekesinden 1 km mesafe uzaklıkta olması halinde; elektrik enerjisi nakil hattı (50 m aralıkla 19 taşıyıcı direk) ve 200 kW'lık trafo tesisi için

Araştırma Makalesi

yaklaşık maliyetin 150 000 TL olduğu belirlenmiştir. PV ile elektrik enerjisi üretim dönemleri ve tarımsal işletme için kullanım durumu değerlendirilmiştir. İşletmelerin çatı yapıları PV-Çatı sistemine uygun ise işletmeler tam güneşe bakan çatı yüzeyine PV ile gündüz (06⁰⁰-20⁰⁰) saatleri arasında elektrik enerjilerini kendileri üretebilirler.

Tarımsal işletmelerde ve barınak yapılarında çatı yüzeylerinde herhangi bir kısıt yok ise PV ile 17° ve PV-ÇPD sistemi ile 1 000 m²'lik PV için bir çatı ile 210 684 kWh yıl⁻¹ enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır. Elde edilen enerjinin bir yılda 111.24 tCO₂ emisyonun azaltılmasına fayda sağlayabildiği gibi çevreye olan katkının dışında ayrıca parasal olarak ekonomiyeye 19 467 TL yıl⁻¹ fayda sağlayacaktır.

Çalışmada, PV panel optimum eğim açısı 36.63° olarak belirlenmiştir. Optimum eğim açısının enerji üretimine etkisi ve verimliliği (604 Wm⁻² gün⁻¹) hesaplanmıştır. Farklı eğim açılara sahip PV panellerinde yıllık enerji üretiminde, yatay yüzeye gelen ışınım grafiğindeki eğrilerin kırılmalarında, bir açının kırılırsa diğer açılarda da kırılma göstermektedir.

Bölgede, yaygın olan çatı eğim açısı ve hayvan refahı için havalandırma göz önünde bulundurularak 17° ile 22° eğimli çatılarda PV panellerin çatıya paralel olarak monte edilmesi daha uygun olacağı ve bu panellerin de dikey ya da yatay konumda monte edilme durumları karşılaştırılmıştır. PV-Çatı sistemlerinde panellerin dikey (portre) konumda yerleştirilmesi enerji verimliliği yatay (manzara) konuma göre (%3-9 arası) daha avantajlı olduğu hesaplanmıştır.

PV'lerin açılı montajından kaynaklı gölge etkisi hesabı değerlendirilmiştir. Çalışmadaki mevcut eğim açılara (17°-52°) göre panellerin çatıya açılı montajı durumunda satırlar arası 1.5-4 m arası mesafe bırakılması gerektiği tespit edilmiştir.

Nakit akışı, özkaynak borçlanma vergiler ve işletme giderleri hesaplanmıştır.

Üretilen enerjinin depolanması veya depolanmadan kullanılması ayrıca satılabilirliği gibi seçenekler tartışılmıştır.

Bu tür çalışmalarda, rüzgâr yönü ve şiddeti dikkate alınmalı, panel çatı konstrüksiyonu ve yerden yüksekliği, çatıya bağlantı noktası sağlam olmalıdır. Paraşütlemeyi ve rüzgâr yükünü önlemek için rüzgâr kıran kullanılabilir. Çatı eğim açıları 17°-22° arasında ise PV'ler çatıya paralel olarak montaj yapılabilir. Çatıya panellerin çatı örtü yüzeyine paralel yerleştirilmesi durumunda, panel ile çatı örtüsü arasında 20 cm havalandırma boşluğu bırakılmalıdır. Çatıların eğim açıları yükseltilemez ise PV sistemleri optimum eğim açısına göre çatılara ek ilaveler ile montajı yapılabilir. Eşlenik olmayan çatılar ile güney cephede daha fazla çatı alanı elde edilebilir dolayısıyla daha fazla PV-Çatı sistemi kurulabilir.

Araştırma Makalesi

Teşekkür

Bu makale, ilk yazarın Doktora tezinden, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından desteklen TAGEM/TSKAD/15/A13/P08/04 nolu projeden türetilmiştir

Kaynaklar

Association, W. N. (2011). Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources. WNA Report, London.

Aybek, A., Üçok, S. (2017). Determination and evaluation of biogas and methane productions of vegetable and fruit wastes with Hohenheim Batch Test method. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 10(4), 207-215.

Bekiroğlu, O. (2014). Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi.

Besli, N., Aktacir, M. A., Yesilata, B. (2010). Fotovoltaik Panellerin Gerçek Arazi Koşullarında Test ve Karakterizasyonu. Engineer & the Machinery Magazine(601).

Duman, A. (2014). Süt sağım mekanizasyonunda enerji maliyetlerinin ve enerji verimliliğini etkileyen unsurların saptanması üzerine bir araştırma. Namık Kemal Üniversitesi.

EİE. (2017a). Adana Global Radyasyon Değerleri. URL (erişim tarihi) 26.07.2017 <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/1.aspx>

EİE. (2017b). Verimlilik Arttırıcı Projeler (VAP). URL (erişim tarihi) 25.07.2017

Ekmekyapar, T. (2012). "Tarımsal İnşaat" (Vol. 232). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Zir. Fak. Yayınları.

Ekoanaliz. (2017). "Proje değerlendirme- analiz". URL (erişim tarihi) 01.10.2017 www.cem.gov.tr/erozyon/Files/erozyon/Fizibilite/Ekoanaliz.docx

Gürsakar, N. (2002). Bilgisayar Uygulamalı İstatistik II, I. Baskı, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul.

Hikmet, E., Kapıcıoğlu, A. (2015). Farklı Yüksekliklere Yerleştirilen Güneş Pillerinin Verimlerinin İncelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(2).

Howley, M., Dennehy, E., Holland, M., Gallachóir, B. (2011). Energy in Ireland 1990–2010: 2011 report. Energy policy statistical support unit. Sustainable Energy Ireland, Dublin, Ireland.

İbrahim, D. (2006). Güneş enerjisi uygulamaları: Bileşim Yayınları.

Araştırma Makalesi

Ironridge. (2017). Pitched roof design guide. URL (erişim tarihi) 01/08/2017, http://files.ironridge.com/pitched-roof-mounting/resources/brochures/Pitched_Roof_Design_Guide.pdf

Işıker, Y., Yeşilata, B., Bulut, H. (2006). Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 150-155.

Karafil, A., Özbay, H., Kesler, M. (2016). Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu.

Kasap, A. (1985). "Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Elektrik Enerjisinin Optimum Kullanılma Sınırları". Tarımsal Mekanizasyon 9. Ulusal Kongresi. Adana.

Keçel, S., Yavuzcan, H. (2008). Türkiye'deki Bölgesel Sıcaklık Değişimlerinin Güneş Panellerinin Verimliliğine Etkisi. Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, 12-20.

Koç, E., Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44.

Masters, G. M. (2013). Renewable and efficient electric power systems: John Wiley & Sons.

MEB. (2017). "Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Yapılarda Güneş Paneli Sisteminin Kurulması". U R L (erişim tarihi) 20.10.2017 http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yapılarda_Panel_Sisteminin_Kurulması.pdf

MGM. (2017a). "İklim Verileri". U R L (erişim tarihi) 02.08.2017 <https://mgm.gov.tr/?il=Adana>

MGM. (2017b). Meteoroloji tanımlar, rüzgar. U R L (erişim tarihi) 01.10.2017 <https://mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/tanimlar.pdf>

Okuroğlu, M., Yağanoğlu, A. V. (2015). "Kültürteknik" (Vol. 886). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Yayınları

Olgun, B. (2009). Turizm bölgelerinde elektrik enerji tüketimi ve talep tarafı yönetiminin modellenmesi. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Oregon.edu. (2017a). "Sun path chart program". URL (erişim tarihi) 01.09.2017, 2017 <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

Oregon.edu. (2017b). University of Oregon Solar radiation monitoring laboratory, Sun path chart program. U R L (erişim tarihi) 01.10.2017, <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

Araştırma Makalesi

Özgün, H. (2015). Fotovoltaik enerji sistemleri. Ankara: Günder.

Quaschnig, V., Hanitsch, R. (1998). Increased energy yield of 50% at flat roof and field installations with optimized module structures. Paper presented at the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion.

Shoshani, E., Hetzroni, A. (2013). Optimal barn characteristics for high-yielding Holstein cows as derived by a new heat-stress model. *animal*, 7(1), 176-182.

Software, P. (2017). "How to calculate the annual solar energy output of a photovoltaic system?". URL (erişim tarihi) 28.10.2017, <http://photovoltaic-software.com/PV-solar-energy-calculation.php>

UNFCCC. (2015). I. Definitions, Scope, Applicability And Parameters Definitions, Tool, Draft Methodological. URL (erişim tarihi) 01.10.2017 <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v2.pdf>

Üstün, A. (2007). "Deneme Tekniği SAS ve JMP Kullanımı Ders Kitabı". İstatistik. Tohum Tescil. Ankara.

Vssolmo. (2016). Calculate sun. U R L (erişim tarihi) 10/02/2016 <http://vitalsigns.ced.berkeley.edu/res/downloads/vssolmo.xls>

Yavuz, S. (2009). Regresyon Analizinde Doğrusala Dönüştürme Yöntemleri ve Bir Uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23(1).

Yegm. (2017). "Güneş enerjisi potansiyeli atlası". URL (erişim tarihi) 25.07.2017 <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/1.aspx>

Yüzer, A. F. (2009). İstatistik (Vol. 1448): Anadolu Üniversitesi.