



Bir sera işletmesi için şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız rüzgâr, fotovoltaik ve jeneratör sistemlerinin teknik ve ekonomik değerlendirmesi

Technical and economical evaluation of grid connected and stand-alone wind, photovoltaic and generator systems for a greenhouse company

Nuri ÇAĞLAYAN

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya

Sorumlu yazar (Corresponding author): N. Çağlayan, e-posta (e-mail): nuricaglayan@akdeniz.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 13 Mart 2019
Düzeltilme tarihi 27 Mayıs 2019
Kabul tarihi 02 Temmuz 2019

Anahtar Kelimeler:

Sera
Fotovoltaik Enerji
Modelleme
Enerji Maliyeti (EM)
Optimizasyon

ÖZ

Bu çalışmada, bir sera işletmesinin elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için şebeke, rüzgâr (RT), güneş (FV) ve jeneratör enerji sistemlerinin modelleme ve bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Bilgisayar benzetiminde işletmenin elektrik yükü günlük 369.52 kWh olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu sistemlerin ekonomik fizibilitesi birim enerji maliyetine (EM) göre değerlendirilmiştir. Benzetim (Simülasyon) sonuçlarına göre, fotovoltaik ve rüzgâr enerji sistemlerinin enerji maliyetleri sırasıyla 0.084 ve 0.059 \$ kW⁻¹ olmaktadır. EM sonuçlarına göre, fotovoltaik sistem, rüzgâr enerji sistemine göre daha pahalıdır. Yıllık enerji üretim miktarları incelendiğinde ise, rüzgâr enerji sistemi fotovoltaik enerji sisteminden 3.1 kat daha fazla enerji üretebilmektedir. Öte yandan, dizel jeneratörün enerji maliyeti (0.554 \$ kWh⁻¹) fotovoltaik sistemle birlikte bu işletme için en pahalı enerji kaynağıdır. Çalışmada ayrıca zararlı gaz emisyon değerleri de araştırılmıştır. Rüzgâr enerji sistemi kurulursa, yılda 34742 kg CO₂, 151 kg SO₂ ve 73.7 kg NO_x salınımı önenebilecektir. Elde edilen sonuçlara göre sera işletmesi için en uygun sistemin rüzgâr enerjisi olduğu görülmüştür.

ARTICLE INFO

Received 13 March 2019
Received in revised form 27 May 2019
Accepted 02 July 2019

Keywords:

Greenhouse
Photovoltaic Energy
Modelling
Cost of Energy (COE)
Optimization

ABSTRACT

In this study, modeling and computer simulations were made by using grid, wind (WT), solar (PV) and generator energy systems in order to meet the electricity needs of a greenhouse company. In the computer simulation, the electrical load of the company was found as 369.52 kWh per day and optimization and sensitivity analyzes were performed for the most suitable system to meet this electric load. The results were evaluated according to the cost of energy (COE). According to the simulation results, the energy cost of photovoltaic and wind energy systems is 0.084 and 0.059 \$ kW⁻¹, respectively. COE results show that the photovoltaic system is more expensive than the wind energy system. When the annual energy production amounts are examined, the wind energy system can produce 3.1 times more energy than the photovoltaic system. On the other hand, the energy cost of the diesel generator (0.554 \$ kWh⁻¹) is the most expensive energy source for this operation with the photovoltaic system. In the study, harmful gas emission values were also investigated. If a wind energy system is installed, 34742 kg CO₂, 151 kg SO₂ and 73.7 kg NO_x emissions can be prevented annually. According to the results, it was found that the most suitable system for greenhouse operation was wind energy.

1. Giriş

Türkiye'nin 2017 yılı sonu itibarıyla elektrik üretimi 295.5 milyar kWh, tüketimi ise 294.9 milyar kWh olmuştur (BP 2019). Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama %4.8 artışla 385.10⁹ kWh'e ulaşması beklenmektedir. Türkiye'deki elektrik üretiminin %28.2'si doğal gaz, %21.6'sı kömür, %44.2'si yenilenebilir enerjilerden, %5'i ticari olmayan yakıtlardan ve %0.4'ü akaryakıt gibi kaynaklar kullanılarak elde edilmiştir. Yenilenebilir enerji

kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin %7.7'si rüzgârdan ve %1.7'si ise güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilmektedir (ETKB 2019).

Türkiye, elektrik talebindeki hızlı büyüme ve fosil yakıtların tükenmesiyle birlikte, fosil yakıt rezervlerinin ömrünü uzatmak için yenilenebilir enerjinin önemini kavramış ve küresel iklim değişikliğiyle, özellikle de sera gazı salımlarıyla mücadelede

sürdürülebilir çözümler getirmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)'nın 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na göre, tüketiciler lisans alma veya şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklardan ürettikleri 1 MW güce kadar elektrik enerjisi üretebilecek ve ihtiyaç fazlasını dağıtım şebekesine satabileceklerdir. Türkiye'deki lisanssız üretim tesislerinin kurulu gücü 2017 yılı sonu itibarıyla 3173.32 MW güce ulaşmıştır. Belirtilen toplam enerji değerinin %93.90'ı ile güneş santrallerine aittir. Güneş santrallerini sırasıyla %2.71 ile doğal gaz, %2.10 ile biyokütle ve %1.01 ile de rüzgâr enerjisi tesisleri izlemiştir (EPDK 2017).

Maliyetlerin gün geçtikçe daha çok önem kazandığı günümüz ekonomik şartlarında, enerji maliyetlerin sürekli artması, özellikle tarım işletmelerini tasarruf yapmaya ve mümkün olan en düşük fiyatla elektrik elde edebilecekleri çözüm yolları bulmaya zorlamaktadır. Bu amaçla, enerji kaynaklarını çeşitlendirmekle ilgilenen tarım işletmelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelikleri görülmektedir. Özellikle jeotermal kaynakların bulunduğu bölgelerde, sera işletmelerinin sayısında belirgin oranda artışlar gözlenmektedir. Öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik devlet teşviklerinin artmasıyla birlikte, çiftlik ve açık arazi sulaması için elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla güneşten fotovoltaik yöntemle üretilen elektrik kullanımı da giderek artmaktadır. Tarım işletmelerinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılama konusundaki beklentiler; enerjilerini güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmek, hatta üretecekleri fazla enerjiyi şebekeye satmaları yönündedir. Böylece, potansiyel yeşil elektriğin en yüksek elektrik talep dönemlerinde elektrik şebekesine satılarak, çevre kirlenici maddelerin azaltılmasının yanı sıra, işletme maliyetlerinin düşürülmesine de önemli katkılar sağlanabilecektir.

Yenilenebilir enerji kaynağının kurulmasından önce fizibilite çalışması yapmak, yatırımın ekonomikliği konusunda fikir vermesi açısından oldukça önemlidir. Literatürde bazı tarım işletmelerinde elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilmesine yönelik pek çok modelleme ve gerçek çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda bilgisayar benzetimlerine sıklıkla başvurulmakta, hızlı, güvenilir ve gerçeğe oldukça yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu amaçla kullanılan bilgisayar benzetim yazılımları arasında Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL: National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilen HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) yaygın olarak kullanılmaktadır. HOMER yazılımı ile tek ve hibrit enerji sistemi modelleri geliştirilebilmektedir. Geliştirilen modeller sayesinde ilgili coğrafik bölge için en uygun maliyetli enerji sistemi tayin edebilmenin yanında, optimizasyon ve duyarlılık analizleri sonucunda hangi enerji sisteminin daha uygulanabilir olacağı belirlenebilmektedir (Ngan ve Tan 2012).

Byrne ve ark. (2005), bir tavuk çiftliğinde güneşten elektrik üretimi ve fizibilite çalışması yapmışlardır. Çalışmada, bilgisayar benzetimi modeli yaklaşımı ile alternatif senaryolar ve maliyet koşullarını değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, güneşten elektrik üreten toplam 1.5 kW gücünde bir PV dizinin tavuk çiftliği için ekonomik olduğu ve sistemin kullanılmasyla, 112 ton CO₂, 1.8 ton SO₂ ve 0.4 ton NO_x azaltılabileceği öngörülmüştür.

Türkdoğan ve ark. (2018), bilgisayar benzetimi kullanarak bir çiftlik evi ve 50 büyükbaş hayvanın yaşayabileceği bir barınığın elektriksel yük ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çiftlik evinin elektriksel

yük ihtiyacı hesaplanmış, rüzgâr hızı ve güneş radyasyon verileri kullanılarak, HOMER yazılımı ile hibrit enerji sistemi modeli oluşturulmuştur. Modellenen enerji sisteminde kurşun asit ve lityum iyon akü grupları kullanılmış, teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, birim enerji maliyeti ve teknik açıdan lityum iyon akü grubunun kullanıldığı hibrit enerji sisteminin daha uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

Tudorache ve Morega (2008), jeneratör destekli fotovoltaik ve rüzgâr enerji sistemlerinin güç üretiminde en ekonomik sistem mimarisinin elde edilmesine yönelik modelleme ve bilgisayar benzetimleri yapmışlardır. Sistemlerin eş zamanlı çalışması göz önüne alınarak yapılan çalışmada, en ucuz elektrik maliyetinin, bir dizel jeneratör, dört fotovoltaik modül, iki rüzgâr türbini ve sekiz bataryadan oluşan sistem ile elde edileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Himri ve ark. (2008), Cezayir'in güney batısında bulunan bir bölgede şebeke bağlantısı olmayan hibrit enerji sistemleri için teknik ve ekonomik bir değerlendirme gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada enerji üretiminin, yaşam döngüsü maliyetlerinin ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi için en uygun enerji sistemi modellenmiştir. Araştırmacılar, 5 m s⁻¹ den daha düşük rüzgâr hızları için simülasyonda kullanılan dizel yakıt fiyatı aralığı boyunca mevcut dizel enerji santralinin uygun tek çözüm olduğu sonucuna varmışlardır. Öte yandan, dizel yakıt fiyatının ≥ 0.162 \$ l⁻¹ ve rüzgâr hızının ≥ 5.48 m s⁻¹ olduğu durumda da rüzgâr -dizel hibrit enerji sisteminin daha uygun bir çözüm olduğunu sonucuna ulaşmışlardır (OECD 2016).

Dalton ve ark. (2008), yaptıkları yenilenebilir enerji modellemesinde, büyük ölçekli şebeke bağlantılı uygulamalar için fotovoltaik sistemler yerine rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin ekonomik bakımdan daha uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Alternatif bir uygulama olan hidrojen yakıt hücrelerinin kullanımının ve hidrojen depolanmanın şebeke bağlantılı sistemlerde ekonomik olmadığı sonucuna varmışlardır.

Yapılan çalışmada da bir sera işletmesinin elektrik yükünün güneş, rüzgâr ve jeneratör güç sistemleriyle karşılanabilme olanakları incelenmiş, önerilen sistemler için bilgisayar modellemesi, benzetim ve optimizasyon araçları kullanılarak teknik ve ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

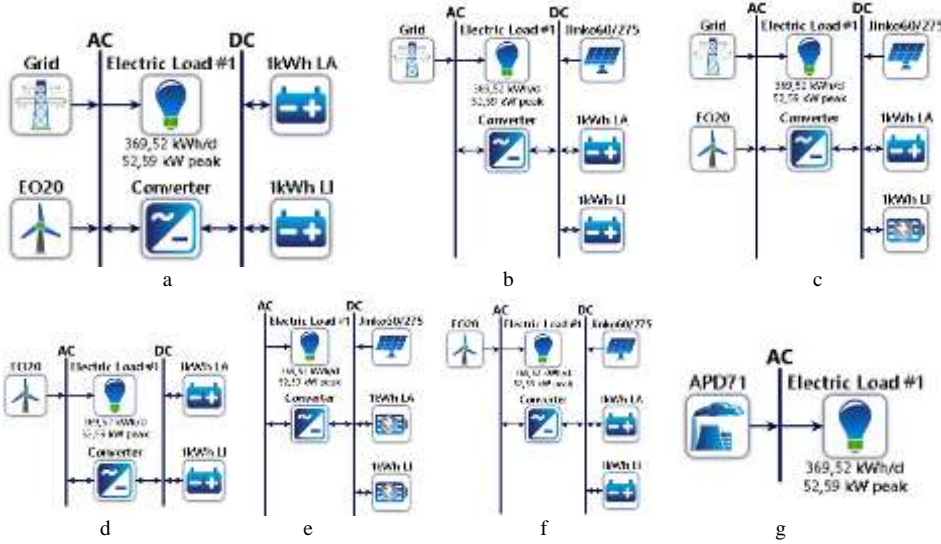
2.1. Modelleme ve bilgisayar benzetimleri

Çalışma kapsamında elektrik yükü incelenen sera işletmesi Sandıklı (Afyonkarahisar) ilçesi sınırları (38.27° N; 30.16° E) içerisinde bulunmaktadır. İşletme, işletme binası, ısıtma merkezi ve toplam 15 da sera alanına sahiptir. Sera, gotik çatılı, oluk altı yüksekliği 4.5 m ve tünel açıklığı 9.6 m'dir. Yan duvarları çift plastik ile örtülü olan serada ısı perdesi bulunmakta ve jeotermal enerji kullanılarak ısıtma yapılmaktadır. Topraksız tarım yapılan tesiste yıl boyu kesintisiz faaliyet sürdürülmektedir.

Çalışmada işletme için şebeke bağlantılı (Grid connected) ve şebeke bağlantısız (Stand-alone) hibrit enerji sistemleri modellenmiştir. Şebeke bağlantısı olan sistemlerde (Şekil 1 a, b ve c); şebeke ile birlikte rüzgâr türbini (RT), fotovoltaik (FV) ve (FV+RT) enerji sistemleri, şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde (Şekil 1 d, e, f ve g); her biri yalnız olmak üzere RT, FV, RT+FV ve jeneratör kullanılarak modellenmiştir. Tüm

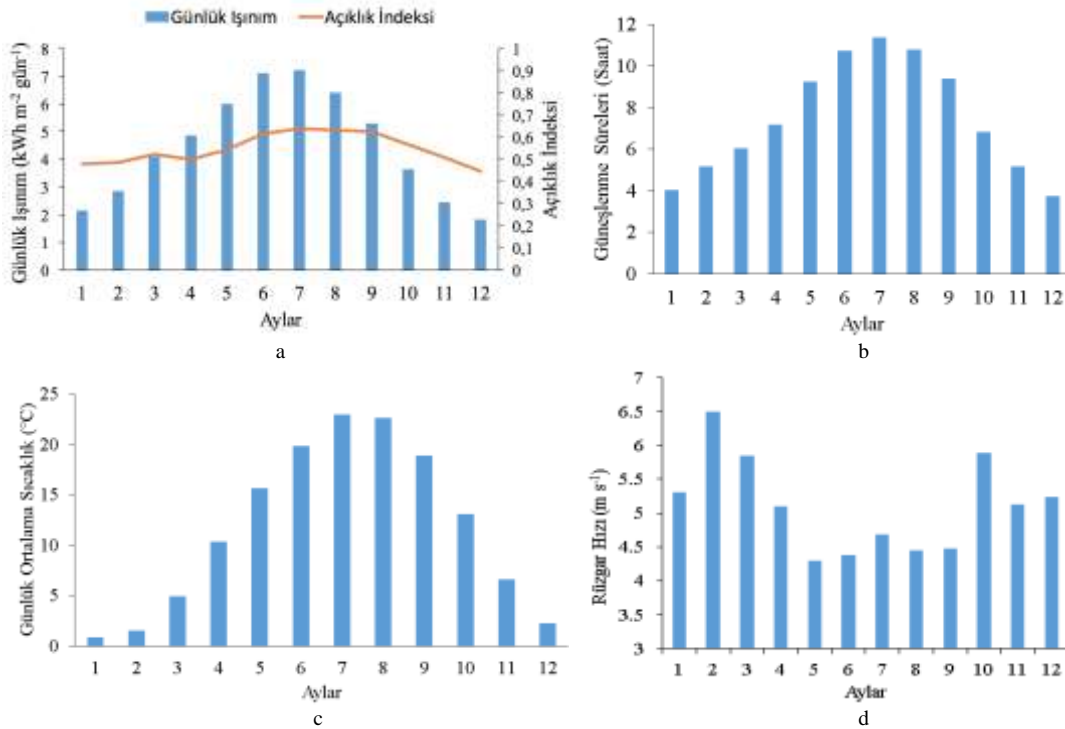
modellerde kurşun asid (LA) ve lityum iyon (LI) akü grubu kullanılmış ve farkları incelenmiştir. Modelleme ve bilgisayar benzetimlerinde veri girişi olarak, işletmenin bulunduğu Sandıklı'nın güneş ışınımı, açıklık indeksi, güneşlenme süreleri, sıcaklık ve rüzgâr hızı verileri (Şekil 2 a, b, c ve d) kullanılmıştır. Bu veriler, NASA Yüze Meteorolojisi ve Güneş Enerjisi veri tabanındaki 22 yıllık ortalama aylık verilerden elde edilmiştir (NASA 2019).

Bilgisayar benzetimlerinde farklı girdi değerleri kullanılarak belirli sınır koşullarının değiştirilmesiyle farklı durumlar için kaynakların yeterliliğine, maliyet varyasyonlarına ve yük durumuna göre optimizasyon yapılmış ve en uygun yenilenebilir enerji temelli sistem tasarımı belirlenmeye çalışılmıştır. Sistemlerin analizlerinde, HOMER Pro (ver. 3.11) yazılımı kullanılmıştır (HOMER 2019). HOMER, benzetim, optimizasyon ve duyarlılık analizi olmak üzere üç temel görev gerçekleştirir. Benzetim işleminde, yılın her bir saati için belirli



Şekil 1. Şebeke bağlantılı sistemler: a. RT, b. FV ve c. FV+RT, şebeke bağlantısız sistemler: d. RT, e. FV, f. FV+RT ve g. Jeneratör.

Figure 1. Grid-connected systems: a. Wind türbine (WT), b. Photovoltaic (PV) and c. PV+WT, Stand-alone systems: d. WT, e. PV, f. PV+WT ve g. Generator.



Şekil 2. a. Günlük ışınım ve açıklık indeksi, b. Güneşlenme süreleri, c. Sıcaklık ve d. Aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri.

Figure 2. a. The values of daily radiation and clearness index, b. Sunshine duration, c. Temperature and d. Average monthly wind speed.

bir mikro enerji sistem yapılandırmasının performansı, sistemin teknik fizibilitesi ve yaşam döngüsü maliyetini belirleyebilmek için modellenir. Optimizasyon işlemi, en düşük yaşam döngüsü maliyetini elde edebilmek ve teknik kısıtlamaları karşılayan en uygun sistem mimarisini yakalayabilmek için birçok farklı sistem mimarisinin benzetimi sağlanmaktadır. Sistemi oluşturan elemanların kombinasyonu ve bu elemanların her birinin büyüklüğü veya niceliği gibi sistem tasarımcısının kontrolündeki değişkenlerin en uygun değerini belirlemektedir. Duyarlılık analizi işlemi ise, model girişlerindeki değişikliklerin veya belirsizliklerin etkilerini ölçmek için bir giriş varsayımları dizisi altında çok sayıda optimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Ortalama rüzgâr hızı, ışıınım değeri veya gelecekteki yakıt fiyatı gibi tasarımcının kontrolü dışındaki değişkenlerin veya belirsizliklerin etkilerinin değerlendirilmesinde önemli rol oynar (Lalwani 2010).

2.2. Modelleme parametreleri

Bilgisayar benzetimlerinde birinci aşamada işletmenin günlük elektrik yük miktarı ve yıl içindeki görünüşü incelenmiştir. İkinci aşamada ise önerilen sistemleri oluşturan ekipmanların kapasite ve maliyet değerleri (Çizelge 1) göz önüne alınarak, sistemlerin teknik ve ekonomik fizibilitesi için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim aracının optimizasyon özelliği kullanılarak, yükü karşılayabilecek en uygun enerji sistemlerinin net bugünkü değerleri (NBD) ve enerji maliyetleri (EM) gibi ekonomik göstergeleri elde edilmiştir. Duyarlılık analizlerinde, güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve sıcaklık için iki değişim durumu göz önüne alınırken, dizel yakıt için üç farklı yakıt fiyatının olması durumu göz önüne alınmıştır. Buna göre, güneş ışıınımı; 4.49 ve 7 kWh m⁻² gün⁻¹, rüzgâr hızı; 5.10 ve 6.50 m s⁻¹, sıcaklık; 11.63 ve 25°C ve dizel yakıt fiyatı; 0.50, 1.19 ve 1.50 \$ l⁻¹ değişimlerine göre hesaplamalar yapılmıştır.

2.2.1. İşletmenin elektrik yükü

İşletmenin yük dağılımı tespitinde, serada kullanılan havalandırma, sulama, ısıtma sistemindeki elektrikli makine ve cihazların elektrik güçleri, günlük kullanım süreleri hakkında bilgi alınmış ve aylık elektrik faturaları üzerinden kıyaslamalar yapılarak veriler toplanmıştır. İşletmenin elektriksel yükünün dağılımına bakıldığında, işletme binasının %13, ısıtma sisteminin %39, sulama ve havalandırma sistemlerinin ise %24'er paya sahip oldukları hesaplanmıştır.

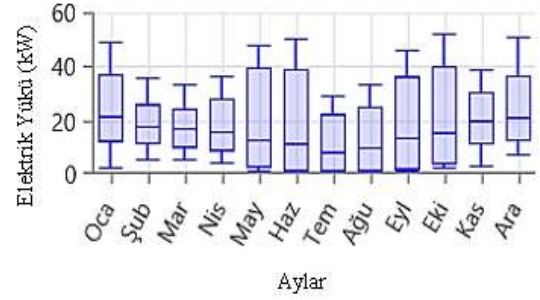
Yük verileri, günlük elektrik tüketiminin 369.52 kWh, en yüksek güç talebinin 52.59 kW olduğunu göstermiştir. İşletmenin yıllık elektrik yükü görünüşü Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sistem ekipmanlarının maliyet değerleri.

Table 1. Cost values of system equipment.

Ekipman	Yatırım Maliyeti		Değiştirme Maliyeti		İşletme Maliyeti (\$ yıl ⁻¹)	Ömür (yıl)
	(\$ kW ⁻¹)	(\$ Adet ⁻¹)	(\$ kW ⁻¹)	(\$ Adet ⁻¹)		
FV	4500		2500		50	25
RT		33200		33200	1000	20
Dönüştürücü	115		115		0	15
Jeneratör	200		200		0.03 \$ h ⁻¹	15000 h
LA Akü		300		300	10	10
LI Akü		550		550	10	15

FV: Fotovoltaik panel, RT: Rüzgâr türbini, LA: Kurşun asit akü, LI: Lityum iyon akü.



Şekil 3. İşletmenin yıllık elektrik yükü görünüşü.

Figure 3. Annual electricity load profile of the greenhouse company.

2.2.2. Güneş enerjisi (FV: fotovoltaik) sistemi

Fotovoltaik modül, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine (Doğru akım) dönüştüren yarıiletken malzemelerden üretilmektedir. Güneş enerjisi, PV hücrenin yapısına bağlı olarak %5 ila %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla yüzeylerine dik ışın gelecek şekilde çok sayıda güneş modülü eğimli yüzey üzerine monte edilir ve elektriksel olarak birbirine paralel-seri bağlanarak MW seviyesindeki güçlere kadar fotovoltaik elektrik üretim santralleri oluşturulabilir. Bir FV dizisinin ürettiği güç Eşitlik 1 ile hesaplanabilir (HOMER 2019):

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{\bar{G}_r}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (1)$$

Burada, Y_{PV} FV dizisinin toplam kurulu gücünü, f_{PV} bozulma faktörünü, G_r FV yüzeyine gelen solar ışıınımı (kW m⁻²), $G_{T,STC}$ standart test koşullarındaki ışıınımı (1 kW m⁻²), α_p FV sıcaklık katsayısını (% °C⁻¹), T_c FV hücre sıcaklığını ve $T_{c,STC}$ standart test koşullarındaki hücre sıcaklığını (25°C) göstermektedir. Güneş modüllerinin kullanıldığı benzetimlerde, Şekil 2'de verilen güneş ışıınımı ve sıcaklık değerleri esas alınmıştır. Modelleme ve bilgisayar benzetimlerinde 275 W gücünde ve %16.80 verimle çalışan polikristal silikon fotovoltaik modüller (JINKO Solar 2019) kullanılmıştır.

2.2.3. Rüzgâr enerjisi (RT: rüzgâr türbini) sistemi

Yapılan modellemelerde 20 kW gücünde, kule yüksekliği 36 m olan 3 kanatlı rüzgâr türbinleri (Eocycle Inc. 2019) kullanılmıştır. Türbinlerin kullanıldığı benzetimlerde, Şekil 1 d'de verilen rüzgâr hızı ortalama değerleri esas alınmıştır.

2.2.4. Dizel jeneratör

Modellemelerde 3 faz, 71 kVA (56.80 kW) gücünde bir dizel jeneratör kullanılmıştır (AKSA 2019). Jeneratörün verimi, çıkış güç değeri ile logaritmik olarak artmaktadır. Dizel jeneratörlerde kW başına maliyet değeri daha düşük güçlü kapasitedeki jeneratörler için daha yüksektir. Elde edilen bilgisayar benzetim sonuçlarında jeneratörün her litre yakıt tüketimi başına açığa çıkarttığı toplam karbon emisyonu da belirlenmiştir.

2.2.5. Akü grubu

Akü gurubu seri ve paralel bağlı akülerden oluşan yedekleme sistemi olarak kullanılmakta ve yük boyunca gerilim değerini sabit tutmaktadır. Modellemelerde, 12 V, 83.4 Ah, 1 kWh kurşun asit, (LA) ve 6 V, 167 Ah, 1 kWh lityum iyon, (LI) tip iki farklı akü grubu kullanılmıştır.

2.2.6. Dönüştürücü

Dönüştürücü (Converter), FV modüller ve akü grupları gibi doğru akım kaynaklarından elde edilen akımın alternatif akıma dönüştürülmesinde kullanılmaktadır. Dönüştürülen bu akım, sera işletmesinde kullanılan motor, kompresör, pompa gibi elektrik makineleri için gerekli olan alternatif akım ihtiyacını karşılamaktadır. Bilgisayar benzetimlerinde %95 verimli dönüştürücü kullanılmış, sistemde kullanılacak dönüştürücü gücü optimizasyon sonucunda belirlenmiştir.

2.2.7. Şebeke bağlantısı

Sera işletmeleri, tarımsal sulama için belirlenen tarifeye göre, şebekeden elektrik satın almaktadırlar. İşletmenin elektrik enerjisi aldığı firma ile 150 kW güç sözleşmelidir. Modellemelerde elektriğin birim fiyatı 0.12 \$ kWh⁻¹ olarak alınmış ve 2013 yılında EPDK tarafından yayınlanan lisanssız enerji üretimi yönetmeliğine (EPDK 2013) göre ihtiyaç fazlası enerji satılarak işletmeye gelir sağlanabileceği varsayılmıştır. Bu amaçla modellemelerde EPDK'nın belirlediği, fotovoltaik enerji satışı için 0.133 \$ kWh⁻¹, rüzgârdan üretilen enerji satışı için ise 0.073 \$ kWh⁻¹ verileri kullanılmıştır.

2.3. Ekonomik analiz

2.3.1. Ekonomik göstergeler

Bilgisayar benzetimlerinde kullanılan kazanç oranı yıllık faiz oranıdır. Bu oran anlık maliyetler ile yıllık hale getirilmiş maliyetler arasındaki dönüşümü sağlamak için kullanılan indirim oranıdır ve Eşitlik 2'de verildiği gibi net nominal faiz oranına bağlıdır (Yılmaz 2008).

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (2)$$

Burada, i gerçek faiz oranı, i' net nominal faiz oranı ve f yıllık enflasyon oranıdır. Türkiye için, $i' = \%22.50$ ve $f = \%18.49$ kullanılmıştır (2019 yılı Mart ayı verileri esas alınmıştır) (TCMB 2019). Bu durumda gerçek faiz oranı %3.38 olarak bulunmuştur. Öte yandan jeneratör için kullanılacak dizel yakıtın litre fiyatı 1.19 \$ olarak alınmış (PO 2019) ve ayrıca yakıt fiyatının 0.5 ve 1.5 \$ l⁻¹ olması durumunda da duyarlılık analizleri yapılmıştır.

2.3.2. Net bugünkü değer (NBD)

Bir yatırımın net bugünkü değeri (NBD), yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı getirinin bugünkü değerinden yatırım giderlerinin bugünkü değerinin düşülmesi ile elde edilen farkı ifade eder. Bu fark pozitif ($NBD > 0$) ise proje kabul edilir. Eğer $NBD = 0$ olursa yıllık hâsılat akımlarının işletme maliyetlerini ve yıllık yatırım maliyetlerini anca karşıladığı anlaşılır. NBD Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanabilir (Sarıslan 1990).

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Burada, B_t t yılındaki nakit girişi; C_t t yılındaki nakit çıkışı, n yıldır.

2.3.3. Enerji maliyeti (EM)

Sistem tarafından üretilen enerjinin birim maliyeti aynı zamanda teknik ve ekonomik değerlendirme kriteri olarak da kullanılmakta ve toplam yıllık maliyetin yıllık üretim enerjisine bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Eşitlik 4).

$$COE = \frac{C_{tot}}{E_{tot}} \quad (4)$$

Burada C_{tot} sistemin tüm parçalarıyla birlikte yıllık toplam maliyeti (\$ yıl⁻¹) ve E_{tot} yıllık üretilen enerjiyi (kWh yıl⁻¹) göstermektedir (Fakhim ve ark. 2017).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Şebeke bağlantılı sistemler

Şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Bilgisayar benzetimlerinde çevresel faktör girdisi olarak, ışınım, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerlerinin ortalama ve en yüksek değerleri kullanılmıştır. Bilgisayar benzetimlerinde bu değişkenler girdi olarak alınmış ve önerilen her sistem için EM değerleri sıralanmıştır. En uygun EM değeri, birim enerji maliyeti en düşük olan, kurulabilecek en ekonomik sistemi göstermektedir.

FV+RT sistemi için yapılan optimizasyon sıralamasında, ilk sırada yalnız RT sistemin yer aldığı (FV sistemin olmadığı) yapının yer aldığı görülmüştür. Bunun anlamı hibrit sistemin kurulması bu işletme için ekonomik değildir. Sıralamaya göre FV+RT seçeneği ancak dördüncü en uygun sistemdir. Optimizasyon sonuçlarından elde edilen önemli bir çıktı da EM değerinin hem RT hem de FV+RT sistemleri için aynı olmasıdır. Bu durum da FV+RT yerine yalnız RT sisteminin kurulması daha uygundur. Hibrit yapıda FV sistemden elde edilmesi düşünülen enerjinin şebekeden satın alınmasının daha ekonomik, enerji maliyetinin daha düşük olacağı sonucuna varılmıştır.

Tek olarak şebekeye bağlanacak FV sistemi, RT ve FV+RT enerji sistemleriyle karşılaştırıldığında ise, (ışınım ve rüzgâr hızının ortalama değerleri esas alındığında) EM değeri (0.084 \$ kWh⁻¹) diğer sistemlerden (0.059 \$ kWh⁻¹) daha yüksektir. Enerji üretim miktarlarına bakıldığında, RT sistemi FV sisteminden 3.1 kat daha yüksek enerji üretebilmektedir. Ayrıca çevre şartları en yüksek değere (ışınım: 7 kWh m⁻² gün⁻¹; rüzgâr hızı: 6.5 m s⁻¹ ve sıcaklık: 25°C) çıktığında ise, RT (ve FV+RT)

sistemin EM değeri 0.045 \$ kWh⁻¹ seviyesine inmektedir. Bu değer, şebeke bağlantılı sistemler arasındaki en düşük enerji maliyetini göstermektedir. Tüm sistemler enerji maliyetleri açısından değerlendirildiğinde, şebeke bağlantılı sistemler

arasındaki en ekonomik sistemin RT enerji sistemi olmaktadır. RT sistemi için nakit akışları Çizelge 3 ve 4'te, şebeke bağlantılı ve bağlantısız sistemler için yıllık maliyetler Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 2. Şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analiz sonuçları.

Table 2. Technical and economic analysis results of grid-connected renewable energy systems.

	FV		RT ve (FV+RT)	
Güneş ışınımı (kWh m ⁻² gün ⁻¹)	4.49	7.00	4.49	7.00
Sıcaklık (°C)	11.63	25.00	11.63	25.00
Rüzgâr hızı (m s ⁻¹)	5.10	6.50	5.10	6.50
FV gücü (kW)	31.63	34.37		
RT sayısı (Adet)			3	2
Dönüştürücü gücü (kW)	28.20	30.36		
EM (\$ kWh ⁻¹)	0.084	0.079	0.059	0.045
NBD (\$)	1177249	1102958	815770.40	632987.10
İşletme maliyeti (\$ yıl ⁻¹)	9982.30	9141.96	6929.60	5482.25
Yatırım maliyeti (\$)	145584.70	158141.70	99600	66400
Yenilenebilir enerji oranı (%)	33.18	40.99	59.24	65.95
Enerji üretimi (kWh yıl ⁻¹)	52402.77	67682.16	162563.30	149379.00
Şebekeden alınan enerji (kWh)	90116.66	79593.80	54971.03	45921.68
Şebekeye verilen enerji (kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 3. Şebeke bağlantılı RT sistemi için nakit akışları (Bileşene göre).

Table 3. Cash Flow for the grid-connected WT system (by component).

	Yıllar												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Nominal												
	RT (Eocycle EO20)												
Sermaye	-99600												
İşletme masrafları		-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-99600	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000
	Şebeke bağlantısı												
Sermaye													
İşletme masrafları		-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam		-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112
Nominal Toplam	-99600	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112
	Yıllar												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Nominal												
	RT (Eocycle EO20)												
Sermaye													
İşletme masrafları	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000
Hurda değeri													74700
Değiştirme maliyeti								-99600					0
Toplam	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-3000	-102600	-3000	-3000	-3000	-3000	71700
	Şebeke bağlantısı												
Sermaye													
İşletme masrafları	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112	-5112
Nominal Toplam	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-8112	-107712	-8112	-8112	-8112	-8112	66588

İşinim: 4.49 kWh m⁻² gün⁻¹; rüzgâr hızı: 5.1 m s⁻¹ ve sıcaklık: 25°C.

Çizelge 4. Şebeke bağlantısız RT sistemi için nakit akışları (Bileşene göre), (\$).

Table 4. Cash Flow for the stand-alone WT system (by component), (\$).

	Yıllar												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nominal													
RT (Eocycle EO20)													
Sermaye	-199200												
İşletme masrafı		-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-199200	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000
Akü grubu (LI)													
Sermaye	-156200												
İşletme masrafı		-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-156200	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840
FV (Jinko JKM275-60)													
Sermaye	-82966												
İşletme maliyeti		-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-82966	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922
Çevirici													
Sermaye	-8818												
İşletme maliyeti													
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-8818												
Nominal Toplam	-447185	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762	-9762
Yıllar													
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Nominal													
RT (Eocycle EO20)													
Sermaye													
İşletme masrafı	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000
Hurda değeri													149400
Değiştirme maliyeti									-199200				
Toplam	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-205200	-6000	-6000	-6000	-6000	143400
Akü grubu (LI)													
Sermaye													
İşletme masrafı	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840
Hurda değeri													52067
Değiştirme maliyeti			-156200										
Toplam	-2840	-2840	-159040	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	-2840	49227
FV (Jinko JKM275-60)													
Sermaye													
İşletme maliyeti	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922
Hurda değeri													
Değiştirme maliyeti													
Toplam	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922	-922
Çevirici													
Sermaye													
İşletme maliyeti													
Hurda değeri													2939
Değiştirme maliyeti			-8818										
Toplam			-8818										2939
Nominal Toplam	-9762	-9762	-174780	-9762	-9762	-9762	-9762	-208962	-9762	-9762	-9762	-9762	194644

Çizelge 5. Şebeke bağlantılı ve bağlantısız sistemler için yıllık maliyetler (\$).**Table 5.** Annualized costs for grid-connected and disconnected systems (\$).

	Sermaye	İşletim masrafları	Değiştirme maliyeti	Hurda değeri	Finans kaynağı	Toplam
Şebeke bağlantılı sistem						
RT	963.72	3000	6153	-7336		2781
Şebeke		5112				5112
Sistem	963.72	8112	6153	-7336		7893
Şebeke bağlantısız sistem						
RT	2249	7000	14358	-17117		6489
Akü grubu	1799	3380	7225	-6086		6318
Çevirici	76.20		306.07	-257.80		124.47
Sistem	4124	10380	21889	-23461		12.932

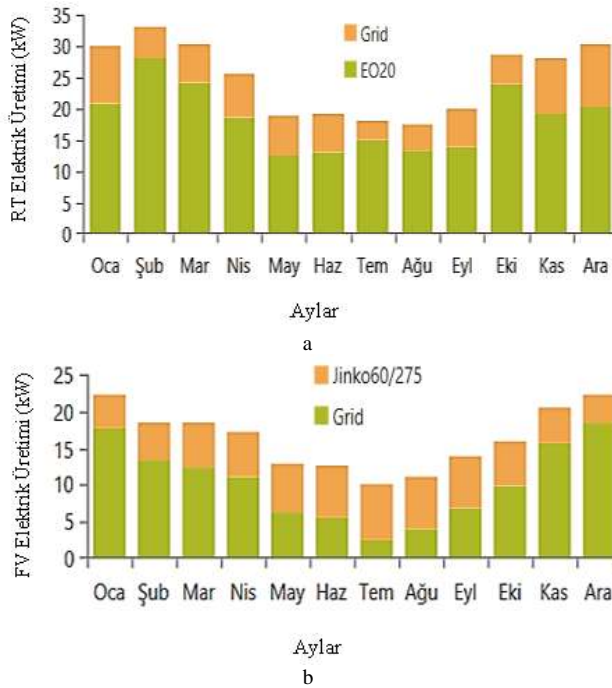
Şebeke bağlantılı önerilen sistemlerin optimizasyon çalışması sonucu elde edilen diğer sonuçlar şunlardır:

- İncelenen sistemlerde akü gruplarının kullanılması ekonomik görülmemektedir. Bu nedenle en uygun sistemlerin sıralandığı sonuçlarda akü bağlantısı bulunmamaktadır.
- İşletme için kurulabilecek sistemlerin hiçbirinden ihtiyaç fazlası enerji elde edilemeyecek ve şebekeye enerji satışı mümkün olamayacaktır.
- Şebeke dışında, işletmenin elektrik ihtiyacını karşılama oranlarına bakıldığında, FV sistemi %36.8 ve RT sistemi %74.7 (Şekil 4 a ve b) olarak belirlenmiştir.
- Emisyon değerleri incelendiğinde, şebekeden elektrik alınması yerine, RT sisteminin kurulması durumunda yılda 34742 kg CO₂, 151 kg SO₂ ve 73.7 kg NO_x, FV sisteminin kurulması durumunda ise yılda 56954 kg CO₂, 247 kg SO₂ ve 121 kg NO_x salınım önlenilebilecektir.
- Ekonomik analiz sonuçlarına göre, enflasyon oranının

%18.49 iken iskonto edilmiş geri ödeme süresinin RT enerji sistemleri için 11.81 yıl olacağı, enflasyon değerinin %10 olması durumunda ise bu sürenin 9.08 yıla düşebileceği hesaplanmıştır.

3.2. Şebekeye bağlı olmayan sistemler

İşletmenin elektrik yükünün karşılanabilmesi için, şebekeye bağlı olmayan tek başına yenilenebilir enerji sistemi çözümleri Çizelge 6'da verilmiştir. Bu sistemler EM değerine göre incelendiğinde, işletme için en ekonomik sistemin (Ortalama ışım, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklık verilerine göre) FV+RT ve RT sistemlerinde sırasıyla 0.098 \$ kWh⁻¹ ve 0.100 \$ kWh⁻¹ olduğu belirlenmiştir. FV sisteminin optimizasyon sonuçlarına bakıldığında ise, EM değerinin diğer sistemlerin yaklaşık üç katı olduğu bulunmuştur. Öte yandan işletme maliyetine bakıldığında, RT ve FV+RT birbirine yakın değerlerde olurken FV sisteminin işletme maliyeti bunların 2.5 katından fazla olmaktadır. Fakat FV sisteminin enerji üretiminin az farkla da olsa diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

**Şekil 4.** Şebeke bağlantılı a. RT ve b. FV enerji sistemlerinin aylık ortalama elektrik üretimleri.**Figure 4.** Monthly average electricity energy production of grid-connected a. WT and b. PV systems.

Önerilen şebeke bağlantısız sistemlerin optimizasyon çalışması sonucu elde edilen diğer sonuçlar şunlardır:

- Jeneratör sistemi hariç, diğer sistemlerde enerjinin depolanması için kurşun asit (LA) ve lityum iyon (LI) olmak akü grupları önerilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre, en uygun akü grubunun LI akü grubu olduğu bulunmuştur. Öte yandan, otonomi süresi en yüksek akü grubu FV sisteme bağlı akü grubudur. Otonomi süresi, güneşli gün hiç olmasa dahi ihtiyaç olan enerjinin akülerden sağlanacağı süreyi göstermektedir. Analizlerde, FV sistemine bağlı akülerin otonomi süresi 38.35 saat olarak tespit edilmiştir. Bu süre diğer sistemlere bağlı akülerin sahip olduğu otonomi süresinin iki katından fazladır. Bu önemli bir avantaj gibi görünse de birim enerji maliyetlerinin yüksek olması, FV sisteminin tercih edilmemesinin en önemli nedenidir.
- FV panellerinin ve rüzgâr türbinlerinin kapladıkları alana bakıldığında, bu işletme için sadece 7 adet rüzgâr türbini yeterli olduğu ve daha az yer kaplayacağı görülmektedir. Fakat etkin rüzgâr alabilmeleri için FV panellerinin aksine türbinlerin bir arada dizi şeklinde değil birbirlerinden daha uzak noktalara yerleştirilmesi gerekecektir.

Bilgisayar benzetim sonuçlarına göre, RT sistemindeki 7 türbinin en yüksek çıkış gücü toplam 129 kW, ortalama güç 43.3 kW ve çalışma süresi yılda 6901 saat olarak elde edilmiştir.

- Tüm yükün dizel jeneratör tarafından karşılanması durumunda en uygun jeneratör gücü 56.80 kW olarak bulunmuştur. Jeneratör güç sistemi EM değeri bakımından en pahalı enerji kaynağı olarak görülmektedir (Çizelge 6).
- Jeneratörün atmosfere yılda 146191 kg CO₂, 995 kg CO, 358 kg SO₂ ve 79.6 kg NO_x salımı olacağı tespit edilmiştir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı ve şebekenin de olmadığı durumlarda, jeneratör tek enerji kaynağı olması bakımından işletmede bulundurulması önerilmektedir.
- Tüm sistemler için 25 yıl boyunca sürecek nakit akışları ve iskonto edilmiş geri ödeme süreleri incelendiğinde, RT, FV ve FV+RT sistemleri için sırasıyla, 8.86, 14.03 ve 9.03 yıl olacağı, dizel jeneratör için bu sürenin 25 yılın üzerinde çıkacağı öngörülmektedir.

Çizelge 6. Şebekeye bağlantısız olmayan enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analiz sonuçları.

Table 6. Technical and economic analysis results of stand-alone energy systems.

	FV		RT		FV+RT		JENERATÖR		
	Durum 1	Durum 2	Durum 1	Durum 2	Durum 1	Durum 2	Durum 1	Durum 2	Durum 3
Güneş ışınımı (kWh m ⁻² gün ⁻¹)	4.49	7.00	4.49	7.00	4.49	7.00			
Sıcaklık (°C)	11.63	25.00	11.63	25.00	11.63	25.00			
Rüzgâr hızı (m s ⁻¹)	5.10	6.50	5.10	6.50	5.10	6.50			
Yakıt maliyeti (\$ l ⁻¹)							0.5	1.19	1.5
FV güç (kW)	248.58	133.10			18.44				
RT sayısı (Adet)			7	4	6	4			
LA akü sayısı (Adet)									
LI akü sayısı (Adet)	738	729	338	242	284	242			
Dönüştürücü gücü (kW)	80.32	93.76	68.48	42.70	76.68	42.70			
EM (\$)	0.286	0.202	0.100	0.064	0.098	0.064	0.361	0.647	0.775
NBD (\$)	3844013	2712717	1336492	858767.9	1316142	858767.9	5032714	9018457	10809150
İşletme maliyeti (\$ yıl ⁻¹)	22353.81	16468.76	8808.146	5689.026	8407.956	5689.026	48586.19	87151.91	104478.50
Yatırım maliyeti (\$)	1533760	1010680	426175.2	270810.4	447184.7	270810.4		11360	
Yenilenebilir enerji oranı (%)	100	100	100	100	100	100			
FV enerji üretimi (kWh yıl ⁻¹)	411820.3	262126.8			30543.92				
RT enerji üretimi (kWh yıl ⁻¹)			379314.4	298758.1	325126.6	298758.1			
Jeneratör enerji üretimi (kWh yıl ⁻¹)								165857.80	
Yıllık bakım maliyeti (\$ yıl ⁻¹)			7000	4000	6000	4000		14925.34	
LI akü otonomi süresi (h)	38.35	37.88	17.56	12.57	14.76	12.57			
LI nominal kapasitesi (kWh)	738.00	729.00	338.00	242.00	284.00	242.00			
Evirici çıkış gücü (kW)	14.83	14.83	3.91	3.08	4.22	3.08			
Yakıt gideri (\$ yıl ⁻¹)							27946.17	66511.89	83838.52
Yakıt tüketimi (l yıl ⁻¹)								55892.34	
Jeneratör gücü (kW)								56.80	

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Afyonkarahisar ili Sandıklı İlçesi'nde faaliyet gösteren bir sera işletmesinin elektrik yükünün karşılanabilmesine yönelik modelleme ve bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Çalışmada, şebeke bağlantılı ve bağlantısız yenilenebilir enerji kaynakları ile jeneratör kullanılması durumlarına göre farklı sistem mimarileri incelenmiş ve işletme için teknik ve ekonomik fizibilite çalışması yapılmıştır. Uygun sistemler, EM değerlerine göre değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. İlave olarak işletme için tercih edilebilecek en uygun sistemin geri ödeme süresi ve sera gazı emisyon değerleri de incelenmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız çalışacak sistemlerin her ikisi için de rüzgâr enerjisi sisteminin daha ekonomik ve geri dönüş süresinin de daha kısa olacağı öngörülmektedir. Öte yandan FV sisteminin jeneratör sistemiyle birlikte enerji maliyeti bu işletme için en yüksek sistemler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- AKSA (2019) AKSA APD71A Jeneratör Teknik Dökümanı. <https://www.aksa.com.tr/FrontProduct/CreatePDF/275>. Erişim 20 Ocak 2019.
- BP (2019) BP Energy Outlook. 2018 Edition. <http://kojenturk.org/uploads/dokumanlar/bp-energy-outlook-2018.pdf>. Erişim 15 Ocak 2019.
- Byrne J, Glover L, Hegedus S, VanWicklen G (2005) The potential of solar electric applications for Delaware's poultry farms. Final Report. Center for Energy and Environmental Policy, University of Delaware, State of Delaware.
- Dalton GJ, Lockington DA, Baldock TE (2008) Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel. *Renewable Energy*, Vol. 33, no. 7, pp. 1475-1490.
- Eocycle Inc. (2019) EO20 Rüzgâr Türbini Teknik Dökümanı. <https://eocycle.com/small-wind-turbine/>. Erişim 10 Şubat 2019.
- EPDK (2013) Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-0-49/yonetmelikler>. Erişim: 21 Ocak 2019.
- EPDK (2017) Elektrik Piyasası Gelişim Raporu. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <http://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-167/resmi-istatistikler>. Erişim 25 Şubat 2019.
- ETKB (2019) T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. Erişim 25 Şubat 2019.
- Fakhim HA, Sarir MF (2017) Economic feasibility of power supply using hybrid system for a Hotel in cold climate, *Int. J. Energy Econ. Pol.* 7(2): 255-261.
- Himri Y, Stambouli AB, Draoui B, Himri S (2008) Techno-economical study of hybrid power system for a remote village in Algeria. *Energy* 33: 1128-1136.
- HOMER (2019) HOMER Pro Software Getting Started Guide. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy.
- JINKO Solar (2019) JKM275-60 255-275 panel Teknik Dökümanı. [https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM275P-60\(4BB\)-tr.pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM275P-60(4BB)-tr.pdf). Erişim 10 Ocak 2019.
- Lalwani M, Kothari DP, Singh M (2010) Investigation of solar photovoltaic simulation softwares. *Int. J Appl Eng Res* 1: 585-601.
- NASA (2019) Nasa Surface meteorology and Solar Energy Database. <https://power.larc.nasa.gov/>. Erişim 10 Ocak 2019.
- Ngan MS, Tan CW (2012) Assessment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1): 634-647.
- OECD (2016) Factbook 2015-2016 Economic, Environmental and Social Statistics. <http://www.oecd.org/publications/oecd-factbook-18147364.htm>. Erişim: 17 Şubat 2019.
- PO (2019) Petrol Ofisi Dizel Yakıt Fiyatları. <https://www.petrolofisi.com.tr/akaryakit-fiyatları>. Erişim 06 Mart 2019.
- Sarıaslan H (1990) Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi, Planlama-Analiz-Fizibilite, Turhan Kitapevi, Ankara, s. 240.
- TCMB (2019) T.C. Merkez Bankası Enflasyon Verileri. <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri>. Erişim 10 Mart 2019.
- Tudorache T, Morega A (2008) Optimum Design of Wind/PV/Diesel/Batteries Hybrid Systems, International Conference on Modern Power Systems, Cluj-Napoca, Romania, 12-14 November, pp. 261-264.
- Türkdoğan S, Dilber S, Çam B (2018) Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açından İncelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 3(2): 52-65.
- Yılmaz U (2008) Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.