

Araştırma Makalesi

Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açından İncelenmesi

Sunay Türkdöğän^{a,b}, Serkan Dilber^b, Barış Çam^b,*

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ^aElektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ^b Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Turkey

Öz

Bu çalışmada, Yalova'nın Erikli Yaylasında bulunan bir çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacı hesaplanmış, rüzgâr hızı ve güneş radyasyon verileri kullanılarak, bilgisayar yazılımı (HOMER-Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yardımıyla hibrit enerji sistem modeli oluşturulmuştur. Hibrit enerji sisteminde iki farklı akü depolama birimleri kullanılarak teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır. Hibrit enerji sisteminde kurşun asit ve lityum iyon akü grupları kullanılmış ve birim enerji maliyeti ve teknik açıdan lityum iyon akü grubunun kullanılması daha mantıklı bulunmuştur. Aynı zamanda rüzgâr hızı, rüzgâr türbini rotor yüksekliği ve dizel yakıt fiyatı gibi parametreler ele alınarak hassasiyet analizleri yapılmış ve farklı olasılıklar altında hangi enerji sisteminin daha uygulanabilir olacağı ortaya konmuştur. Yapılan bu çalışma tarım-hayvancılık alanında yenilenebilir enerji kullanımını teşvik edecek olup farklı hibrit sistem alternatiflerinin de değerlendirilmesine önayak olacak örnek bir çalışma olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit enerji sistemleri, HOMER, yenilenebilir enerji, enerji maliyeti, tarım ve hayvancılık.

Economic and Technical Investigation of the Feasibility of Off-Grid Hybrid Energy Systems for a Farmhouse

Abstract

This work investigates the technical and economic feasibility of an off-grid hybrid energy system for a farm located at Erikli plateau in Yalova, TURKEY. Electrical load demand was calculated and a hybrid energy system was designed via HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) program by considering the location's solar radiation and wind energy potentials. A comparative analysis for the hybrid systems with two different battery types was done to figure which system is more feasible in terms of economy and technique. The analysis result shows that the system with Lithium Ion batteries is more feasible. Moreover a number of sensitivity analyses were done by considering various wind speeds, wind turbine hub heights and diesel fuel price and as a result introduced several combinations delivering the best feasibility. This work is believed to stimulate the usage of renewable energy sources coordinately for agricultural-livestock applications and might be a good reference to urge the usage of other potential renewable energy sources.

* Sorumlu Yazar
e-mail: sunay.turkdogan@yalova.edu.tr

Received: 22.02.2018
Accepted: 16.11.2018

Keywords: Hybrid energy systems, HOMER, renewable energy, energy price, agricultural and livestock.

Giriş

Dünyadaki nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte enerjiye olan gereksinim sürekli olarak artış göstermektedir. Enerji önemli bir bileşen olmakla beraber, yaşam standartlarının yükseltilmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Enerjinin temiz, verimli ve ekonomik olarak kullanılması ülkelerin en önemli misyonudur. Ülkenin kişi başına düşen elektrik enerji tüketimi o ülkenin gelişmişlik seviyesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma için sürekli ve kaliteli bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde fosil kaynaklı yakıtların azalma eğilimi göstermesi ve belirli bir süre zarfı sonunda tükenecek olmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına önem verilmeye başlanmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanılması küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmakta ve dünyamızı yaşanmaz hale getirecek koşulların önünü açmaktadır. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve bu sistemlerin geliştirilmesine yoğunluk verilmeye başlanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer enerji kaynakları ile beraber kullanılabilirliği olması yani hibrit sistem oluşturmaları önemli bir avantaj sağlamaktadır. Hibrit enerji sistemi, yenilenebilir kaynaklı ya da fosil kaynaklı sistemlerin bir arada kullanılması ile enerji üretimi gerçekleştirmektedir. Hibrit bir enerji sisteminin performansı, çevresel koşullara bağlı olmakla birlikte, bir bölgeye özgü analiz, maliyet ve bileşenlerin boyutuna bağlıdır. Bundan dolayı bu etkenlerin araştırılması büyük ölçüde önemlidir [1]. Rüzgâr ve güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında öncülük etmekle beraber bu sistemlere yönelik araştırmalar gün geçtikçe daha fazla artmaktadır. Hibrit sistemlerde kullanılan dizel jeneratörün yakıt masrafı önemli bir

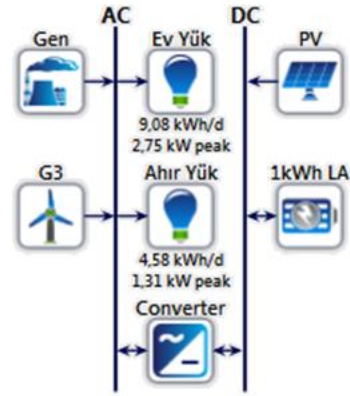
ekonomik parametredir. Sistemde tek başına dizel jeneratör kullanılması işletme maliyeti açısından pahalı olmakta ve gün geçtikçe yakıt maliyeti artış göstermektedir. Dizel jeneratörün, bir hibrit enerji sisteminde kullanılmasıyla bu yakıt masrafı önemli ölçüde azalma gösterecektir. Aynı zamanda gün geçtikçe rüzgâr türbini ve güneş panellerinin fiyatlarındaki düşüş, hibrit enerji sistemlerinin kullanılmasını arttırmakta ve daha da artıracağı tahmin edilmektedir [2,3]. Hayvancılık sektöründe sistem kapasitesine göre enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Süt hayvancılığı enerji ihtiyacının fazla olduğu sektörlerden biridir ve günde en az iki defa sağım yapılmaktadır. Süt sağma sistemlerinin çalışması için fosil kaynaklı dizel jeneratör veya direkt olarak elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Tarımsal üretim ve hayvancılık sektöründe enerji ihtiyacı oldukça önemli olup, şebekeden bağımsız uzak bölgelerde enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla hibrit enerji sistemleri kullanımı artmaktadır ve sektörde bu sistemlerin kullanılabilirliği araştırılmaktadır. HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) programı kullanılarak dünyanın farklı yerlerinde çeşitli hibrit enerji sistem modelleri geliştirilmiş ve bu modeller sayesinde ilgili coğrafik bölge için en uygun maliyetli hibrit enerji sistemi bulunmuş ve farklı optimizasyonlar ve hassaslık analizleri sonucunda da olası durumlarda hangi enerji sisteminin daha uygulanabilir olacağı açıklığa kavuşmuştur [4-7].

Bu çalışmada, Yalova'nın Erikli Yaylasında bir çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacı hesaplanmış, rüzgâr hızı ve güneş radyasyon verileri kullanılarak, HOMER

vasıtasıyla hibrit enerji sistem modeli oluşturulmuştur. Hibrit enerji sisteminde iki farklı akü grubu kullanılarak teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır. Hibrit enerji sisteminde kurşun asit ve lityum iyon akü grupları kullanılmıştır. Birim enerji maliyeti ve teknik açıdan lityum iyon akü grubunun kullanıldığı hibrit enerji sisteminin daha uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir. Uygulanabilir olan hibrit enerji sisteminin ekipmanları detaylı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda rüzgâr hızı, rüzgâr türbini rotor yüksekliği ve dizel yakıt fiyatı gibi parametreler ele alınarak hassasiyet analizleri yapılmış ve değişik senaryolar altında en uygun maliyetli sistem tespit edilmiştir.

Sistem Tanıtımı

Yalova'nın Erikli Yaylasında kurulması planlanan bir çiftlik evinin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla hibrit enerji sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çiftlikte; 120 m²'lik alana sahip 4 kişinin yaşayabileceği ev ve 280 m²'lik alana sahip 50 büyükbaş hayvanın yaşayabileceği ahır bulunmaktadır. Bu iki yer için iki ayrı elektrik yükü bulunmaktadır. Günlük elektrik yükleri ev ve ahır için sırasıyla 9,081 kWh ve 4,58 kWh olarak hesaplanmıştır. Toplam elektrik yükü ise 13,661 kWh olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan çiftlik evinde enerji; aydınlatma, su pompası, süt sağma makinesi ve elektrikli ev aletleri kullanılmaktadır. Günlük elektrik tüketiminin %9,1' i aydınlatma, %10,9' u su pompası, %17,57' si süt sağma makinesi ve %62,43' ü elektrikli ev aletleri tarafından harcanmaktadır.



Şekil 1. Hibrit enerji sistem modeli (Gen: Dizel Jeneratör, G3: Rüzgâr tribünü, PV: Fotovoltaik Panel, 1kWh LA: Batarya Depolama Birimi)

Kurulması planlanan çiftlik evinin elektrik yükünü karşılamak için oluşturulan hibrit enerji sisteminin modeli Şekil 1'de görülmektedir. Bu sistemde ev ve ahır için iki ayrı elektrik yükü bulunmaktadır. Yük 1 ev yükünü, yük 2 ise ahır yükünü temsil eder. Hibrit enerji sisteminde elektrik ihtiyacını karşılamak için dizel jeneratör, fotovoltaik (PV) panel, rüzgâr türbini ve akü grubu bulunmaktadır. Dönüştürücü ise AC ve DC elektrik hatları arasında çift taraflı elektriksel dönüşümü gerçekleştirmektedir.

Sistemin yükleri

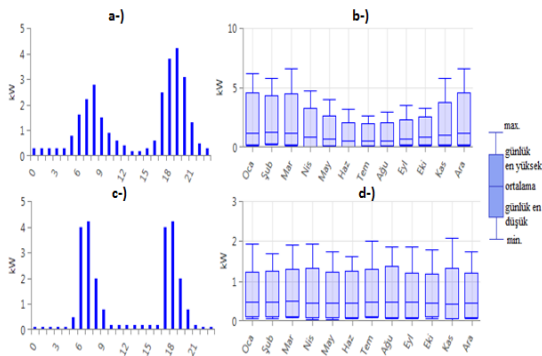
Çiftlik evinde ve ahırda kullanılan elektrikli ev cihazlarının güçleri ve günlük kullanım süreleri Tablo 1'de verilmektedir. Enerji tüketim değerleri güç ve günlük kullanım süresinin çarpımıyla bulunmuştur. Çiftlik evinin toplam enerji tüketimi 9,081 kWh, ahırda ise 4,58 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Çiftlik evinde ve ahırda kullanılan elektrikli cihazların elektriksel büyüklükleri, günlük kullanım süreleri ve tüketilen enerji miktarları.

Elektrikli Ev Cihazları	Güç (W)	Günlük Kullanım Süresi (h)	Enerji Tüketimi (Wh)
Lamba (6 adet)	23	4	552
Bulaşık Makinesi	1800	0,5	900
Çamaşır Makinesi	800	0,5	400
Buzdolabı	40	24	960
Yayık Makinesi	200	1	200
Elektrik Süpürgesi	1600	0,5	800
Ütü	2200	0,5	1.100
TV	100	4	400
Bilgisayar	100	1	100
Telefon Şarj Aleti	9	1	9
Elektrikli Şofben	2000	1	2.000
Fırın	2000	0,1	200
Derin Dondurucu	40	24	960
Saç Kurutma Makinesi	1000	0,5	500
Toplam enerji tüketimi			9.081 (kWh)

Cihazlar	Güç (W)	Günlük Kullanım Süresi (h)	Enerji Tüketimi (Wh)
Lamba (10 adet)	23	3	690
Su Pompası (2 adet)	745	1	1.490
Süt Sağma Makinesi (2 adet)	600	2	2.400
Toplam enerji tüketimi			4.580 (kWh)

Çiftlik evinde günlük elektrik tüketimi sabah ve akşam saatlerinde artmaktadır. Kış aylarında elektrik tüketimi yaz aylarına göre biraz daha fazladır. Şekil 2(a,b)'de çiftlik evi için ve Şekil 2(c,d)'de ahır için günlük ve aylık elektrik tüketim değerleri gösterilmektedir. Ahır için de elektrik tüketimi sabah ve akşam saatlerinde artmaktadır. Bunun nedeni günde iki defa olmak üzere sabah ve akşam saatlerinde sağım yapılmasıdır. Kış ve yaz aylarında elektrik tüketim değerleri pek farklılık göstermemektedir.

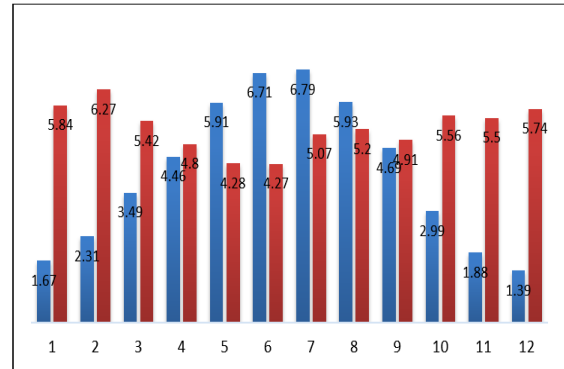


Şekil 2. Çiftlik evi için oluşturulan (a) günlük ve (b) aylık yük değişimleri. Ahır için oluşturulan (c) günlük ve (d) aylık yük değişimleri.

Analiz ve Yöntem

Bölgenin meteorolojik verileri

Bölgenin solar enerji profili Şekil 3'de görülmektedir. HOMER programı bu verileri NASA (yüzey meteorolojisi ve güneş enerjisi) veri tabanından almaktadır. Bu veriler Yalova (40.5 enlem, 29.5 boylam) için alınmıştır.



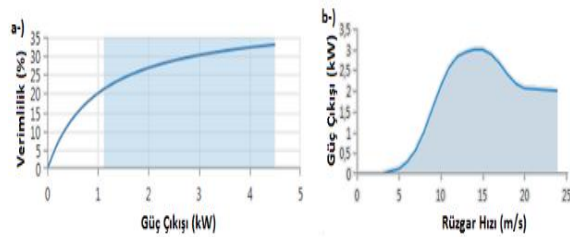
Şekil 3. Ortalama aylık güneş radyasyonu ve rüzgâr hızının (50 m'de) aylara göre değişimi. 12 aya bölünmüş olan grafikte her aya ait iki sütun görülmekte ve bu sütunların soldakisi güneş radyasyonunu ($kWh/m^2/gün$) sağdakisi ise rüzgâr hızını (m/s) temsil etmektedir.

Veri tabanından alınan meteorolojik veriler, 22 yılın ortalaması olup, 1983-2005 yılları arasında alınan verilerdir [8]. Şekil 3 incelendiğinde yılın günlük ortalama radyasyon değeri $4,02 kWh/m^2/gün$ olduğu görülmektedir. Ayrıca yaz aylarında yüksek ışınım şiddeti gözlemlenirken, kış aylarında yaz aylarına göre daha düşük ışınım şiddeti gözlemlenmektedir. Bölgenin rüzgâr hızı profili de yine aynı grafikte (Şekil 3) görülmektedir. Rüzgâr hızının aylara göre değişimi, 10 yıllık (1983-1993) ölçülmüş verilerin ortalamasıdır [8]. Kış aylarında rüzgâr hızının arttığı gözlemlenirken, yaz aylarında bu değer daha düşüktür. Yıllık ortalama rüzgâr hızı değeri $5,24 m/s$ 'dir.

Hibrit enerji sisteminde kullanılan ekipmanlar

Dizel jeneratör

Piyasada bulunan bir dizel jeneratörün kW başına maliyeti 250\$ ile 500\$ fiyat aralığında değişmektedir. Dizel jeneratörlerde kW başına maliyet değeri daha düşük güçlü kapasitedeki jeneratörler için daha yüksektir [4]. Dizel jeneratörün verimi, çıkış güç değeri arttıkça artmaktadır. Simülasyonda kullanılan dizel jeneratörün verim-güç değişim grafiği Şekil 4'te gösterilmektedir. Dizel jeneratörün her litre başına açığa çıkarttığı karbon emisyonu HOMER programında tanımlıdır ve toplam karbon emisyonu bulunurken bu değer temel alınır.



Şekil 4. (a) Dizel jeneratörün verim-güç grafiği. (b) 3 kW'lık rüzgâr türbininin rüzgâr hızına göre güç çıkış eğrisi

Güneş paneli

Güneş panelleri hibrit sistemin en önemli parçalarından biri olup üzerine düşen güneş ışınlarını herhangi bir hareketli aksam olmadan direk olarak elektrik enerjisine çevirir. Yapmış olduğumuz çalışmada PV panellerinin teknik özellikleri göz önünde bulundurulmamakta olup toplam ne kadar kapasitede PV panel kullanmamız gerektiği bulunmaktadır. Sistemde güneş paneliyle ilgili olan kısım kW başına maliyet fiyatıdır. PV dizilerinin kurulum maliyeti kW başına 4.000\$ ile 6.000\$ fiyat aralığında değişmektedir [9]. Sistemde 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 kW kapasitelerinde PV dizileri kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve kullanılan bu kapasite değerlerine göre

HOMER programı ayrı ayrı benzetim yaparak en uygun kapasiteyi belirlemiştir.

Rüzgâr türbini

Rüzgâr türbininden enerji elde edilmesi, büyük ölçüde rüzgâr değişimlerine bağlıdır. Bundan dolayı rüzgâr türbinin derecelendirilmesi, ortalama elektrik yükünden daha yüksektir. Bu analizde 3 kW'lık bir rüzgâr türbini düşünülmektedir. Bu türbinin maliyeti 18.000\$ olarak kabul edilirken, değiştirme ve bakım maliyetleri sırasıyla 14.000\$ ve 200\$ değerindedir. Rüzgâr türbinin güç çıkışı rüzgâr hızına bağlıdır ve kullanılan türbin için Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Rüzgâr hızı belirli bir seviyenin üzerindeyken rüzgâr türbini güç üretmeye başlar ve rüzgâr hızı belli bir seviyeyi aştığında rüzgâr türbini çalışmayı durdurarak mekanik aksanların zarar görmesini engeller.

Akü grubu

Akü grubu yedekleme sistemi olarak kullanılır. Bu sistem ayrıca yük boyunca gerilim değerini sabit tutar. Sistem modellenirken kurşun asit ve lityum iyon pilleri için ayrı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Akü grubu seri/paralel konfigürasyonda sıralanmış akülerden oluşur. Piyasada bir kurşun asit akünün alım maliyeti 300\$, değiştirme maliyeti ise 250\$, lityum iyon pillinin alım maliyeti 600\$, değiştirme maliyeti ise 550\$ değerinde olduğu saptanmıştır.

Tablo 2. Akü cinsine göre elektriksel özellikler

Akü cinsi =	Kurşun Asit	Lityum İyon
Nominal voltaj (V)	12	6
Max. şarj akımı (A)	16,7	167
Max. deşarj akımı (A)	24,3	500
İlk şarj durumu (%)	100	100
Minimum şarj durumu (%)	40	20
Ömür (yıl)	10	15

Dönüştürücü

AC ve DC elektrik enerjisinin akışını sağlamak ve sistemi korumak için güç elektronik dönüştürücüsüne (konvertör) ihtiyaç vardır. 1 kW'lık sistem için kurulum ve değiştirme maliyeti sırasıyla 700\$ ve 500\$ olarak alınmıştır. Sistemde 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 kW kapasitelerinde dönüştürücüler kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon aracı

Simülasyon aracı olarak kullanılan HOMER yazılımı, hibrit enerji sisteminin bileşenlerinin seçimi ve boyutlandırılması için kullanılmıştır. HOMER yazılımının temel yeteneği, bir güç sisteminin uzun vadeli çalışmasını simüle etmektir. Simülasyon sürecinde yazılım, sistemin optimizasyonu, hassasiyet analizi, belirli sistem parametreleriyle çeşitli sistemlerin kombinasyonunu ve işletme stratejisi gibi birçok kalemde bilgi vermektedir [4]. HOMER yazılımı kullanıcı tarafından belirlenen hibrit sistemlerin tüm kombinasyonlarını simüle eder. Uygulanabilir olmayan tüm kombinasyonları elimine eder ve mevcut maliyetin artmasına göre uygulanabilir sistemlerin sıralamasını yapar. Ayrıca optimal bir sistem türünün tanımlamak için hassaslık değişkenlerine karşın bir dizi parametrelerin belirlenmesine izin verir.

Simülasyon Modeli

HOMER yazılımı ile Şekil 1' de görüldüğü gibi bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Modelde evin günlük elektrik yükü 9,08 kWh olup, tepe gücü 2,75 kW değerindedir. Diğer yük olan ahırın elektrik yükü günlük 4,58 kWh olup, tepe gücü 1,31 kW değerindedir. Bu elektrik yüklerinin karşılanması için kullanılması gereken en verimli enerji sistemleri simülasyon aracımızın optimizasyon özelliği ile bulunmuştur. Simülasyon, ekipmanların farklı

kapasitelerine göre gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Ayrıca simülasyonda hassasiyet analizi yapılırken, türbin gövde yüksekliği, ortalama rüzgâr hızı ve dizel yakıt fiyatı değişimleri göz önüne alınmıştır (Tablo 4). Bu hassasiyet parametrelerinin yanında akü cinsine göre de simülasyon gerçekleştirilmiştir. Hibrit enerji sistemlerinin analizi, optimizasyonu ve ekonomileri değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlar iki ayrı akü grubuyla gerçekleştirilmiştir. Birinci simülasyon akü gruplarının lityum iyon olduğu hibrit sistem, ikincisi ise kurşun asit olduğu sistemdir. Akü ve dizel jeneratörün sayısı/kapasitelerinde sınırlama getirilmemiş ve HOMER yazılımı tarafından uygun sayı/kapasite belirlenmiştir.

Tablo 3. Simülasyonda kullanılan ekipmanların kapasite sınırları.

	Bileşenler		
	PV (kW)	Rüzgâr Türbini (adet)	Dönüştürücü (kW)
Boyutları/Sayıları	0	0	0
	1	1	1
	2	2	2
	3		3
	4		4
	5		5

Tablo 4. Hassasiyet analizde kullanılan değişkenler.

	Dizel yakıt fiyatı (\$/L)	Türbin gövde yüksekliği (m)	Rüzgâr hızı (m/s)
Değerler	1,35	17	5,238
	1,40	20	5,500
	1,45	25	6,000
	1,50	30	6,500
	1,55		

Simülasyonda kullanılan ekipmanların maliyet değerleri

Simülasyonda kullanılan ekipmanların alım, değiştirme ve işletme maliyetleriyle ömürleri kullanıcı tarafından girilmiştir. Sistemin çalışma ömrü 25 yıl

kabul edilerek, simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tablo 5'te ekipmanların maliyet değerleri verilmektedir. Yapılan tüm simülasyonlar bu maliyet tablosuna göre değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Simülasyonda kullanılan ekipmanların maliyet değerleri.

Ekipman	Başlangıç Maliyeti (\$)	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Ömür (yıl)
PV(\$/kW)	5.000	3.000	50	25
Rüzgâr Türbini (\$/adet)	18.000	14.000	200	20
Konverter(\$/kW)	700	500	0	15
Akü(\$/kW)-Kurşun Asit	300	250	10	10
Akü(\$/kW)-Lityum İyon	600	550	10	15
Jeneratör(\$/kW)	500	500	0,03	15.000hr

Simülasyonda kullanılan ekonomik parametreler

Simülasyonun daha gerçekçi yapılabilmesi için ekonomik değerlerin hesaplanmasında bazı parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Faiz oranı ve enflasyon oranı gibi proje ömrünce maliyeti etkileyecek parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Faiz oranı bir ekonomik varlığın bugünkü değerinin hesaplanmasında kullanılan oranı iken, enflasyon oranı ise alım gücünü ifade etmektedir. Simülasyonda kullanılan faiz oranı %8, enflasyon oranı ise %11'dir [10]. Dizel jeneratör hibrit sistemde kullanılması ön görülen fosil kaynaklı tek güç sistemidir. Dizel yakıt fiyatının dolar üzerinden artışının göz önünde bulundurulması ve bu olası artışın sistem maliyetini doğrudan etkileyeceğinden bu ekonomik parametrenin belirli sınırlar içerisinde belirlenmesi gerekmektedir. Dizel yakıtın litre fiyatı 5,7 ₺ olarak alınmıştır (1 \$ = 3,8 ₺ değerindedir) [11,12].

Analiz Sonuçları

Akü seçimine göre analiz sonuçları (Kurşun asit-Lityum iyon) (Analysis result based on the battery type)

HOMER yazılımı ile elde edilen analizlerde hassasiyet parametreleri doğrultusunda birçok veriye ulaşılmıştır. HOMER yazılımı ile temel parametreler (türbin gövde yüksekliği 17 m, dizel yakıt maliyeti 1,35 \$/L, ortalama rüzgâr hızı 5.24 m/s) doğrultusunda elde edilen simülasyon değerleri aşağıda tablolar halinde verilmiştir. Burada temel parametreler olarak tanımlanan değerler sistem için minimum değerlerdir. Örneğin, türbin gövde yüksekliği türbin dizaynından dolayı en az 17 m yüksekliğe sahip bir kuleye yerleştirilmelidir. Ayrıca HOMER yazılımı yıllık rüzgâr verilerini NASA'dan alarak bu yıllık rüzgâr hızı ölçümlerinden ortalama bir değer ile çözüm yapmaktadır. Ortalama rüzgâr hızı değeri 5,24 m/s olarak yazılım tarafından bulunmuştur. Aynı zamanda dizel yakıt litre fiyatı 1,35 \$ olarak alınan bu değer güncel olup, sistem simülasyonunda en minimum dizel yakıt sarfiyatı değeridir.

Tablo 6. Akü grubu (a) Lityum İyon ve (b) Kurşun Asit olan hibrit sistemlerin simülasyon sonuçları (en uygun ilk altı sistem). (PV: Fotovoltaik (FV), G3: Rüzgar jeneratörü, Gen: Dizel jeneratör, 1kWh LI veya Pb Acid: 1kWh kapasitesinde Lityum İyon veya Kurşun Asit batarya, Converter: AC \leftrightarrow DC konvertör, COE: Birim enerji maliyeti, NPC: Net şimdiki fiyat, Operating Cost: Operasyon maliyeti, Initial Cost: İlk atırım maliyeti, Ren. Frac.: Sistemin yenilenebilir olma yüzdesi.)

	PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh LI	Converter (kW)	CC	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)
	5,00		4,50	18	3,00	CC	0,446 \$	80.953 \$	1.396 \$	30.150 \$	60,7
	5,00	1	4,50	16	3,00	LF	0,476 \$	86.437 \$	1.085 \$	46.950 \$	90,1
	5,00	1		36	2,00	CC	0,572 \$	100.734 \$	1.229 \$	56.000 \$	100
		1	4,50	14	3,00	CC	0,672 \$	122.011 \$	2.507 \$	30.750 \$	24,4
			4,50	6	4,00	CC	0,732 \$	132.869 \$	3.413 \$	8.650 \$	0
		5		42	4,00	CC	1,20 \$	209.662 \$	2.518 \$	118.000 \$	100
Kurşun Asit Batarya Grubu											
	5,00		4,50	34	2,00	LF	0,515 \$	93.441 \$	1.775 \$	28.850 \$	71,8
	5,00	1	4,50	32	3,00	LF	0,548 \$	99.441 \$	1.442 \$	46.950 \$	92,1
	4,00	2		32	3,00	CC	0,649 \$	114.104 \$	1.495 \$	59.700 \$	100
		1	4,50	10	1,00	CC	0,775 \$	140.595 \$	3.205 \$	23.950 \$	20,8
			4,50	8	1,00	CC	0,813 \$	147.536 \$	3.906 \$	5.350 \$	0
		7		40	4,00	CC	1,45 \$	252.253 \$	3.062 \$	140.800 \$	100

Simülasyon sonucunda; sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin, kWh başına ortalama maliyetini ifade eden birim enerji maliyeti (COE) değerine göre, HOMER yazılımı tarafından sonuçlar sıralanır. COE değeri en düşük olan PV-Dizel Jeneratör-Kurşun Asit Akü hibrit enerji sistemidir (Tablo 6). Bu sistemde 5 kW kapasiteye sahip PV, 4,5 kW kapasiteye sahip dizel jeneratör ve 34 adet 1kWh kapasiteye sahip kurşun asit akü grubu ve 2 kWh değerine sahip konvertör ünitelerinden oluşur. PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sistemi 28.850 \$ değerinde ilk yatırım maliyetine sahiptir.

Akü grubu Lityum iyon olan sistemlerin simülasyon sonuçları Tablo 6'nın üst grubunda görülmektedir. Simülasyon sonucunda, COE değerine göre sıralama yapıldığından, en düşük COE değerine sahip hibrit sistemin PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sistemi olduğu görülmektedir. Bu sistem 5 kW kapasiteye sahip PV, 4,5 kW kapasiteye sahip dizel jeneratör ve 18 adet 1kWh kapasiteye sahip

lityum iyon akü grubu ve 3 kWh değerine sahip konvertör ünitelerinden oluşur. PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sistemi 30.150 \$ değerinde ilk yatırım maliyetine sahiptir.

Kurşun asit ve Lityum iyon akü ünitelerinin karşılaştırılması

HOMER yazılımı ile temel parametreler (türbin gövde yüksekliği 17 m, dizel yakıt sarfiyatı 1,35 \$/L, ortalama rüzgâr hızı 5.24 m/s) doğrultusunda elde edilen simülasyon değerleri aşağıda tablo halinde verilmiştir. Bu simülasyon değerleri iki farklı akü grubuna (Teknik özellikler için Tablo 7'ye bakınız) ait hibrit enerji sistemlerinin, COE değerine göre en minimum değerleri olan sonuçlarıdır.

Tablo 7. Kurşun asit ve Lityum iyon akü grubuna ait hibrit sistem sonuçları

Akü grubu	Kurşun asit	Lityum iyon
PV kapasitesi (kW)	5	5
Akü sayısı	34	18x2
Convetör (kW)	2	3
Dizel jeneratör (kW)	4,5	4,5
COE (\$)	0,514	0,446
NPC (\$)	93.440	80.952
İşletme Maliyeti (\$)	1.774	1.395
İlk yatırım maliyeti (\$)	28.850	30.150

İki farklı akü grubunun simülasyon sonuçlarına bakıldığında, ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına karşın, kWh başına ortalama maliyeti ifade eden COE değeri daha düşük olan Lityum iyon akü grubuna sahip hibrit enerji sistemidir. Kurşun asit akü ünitelerine sahip hibrit enerji sisteminin ilk yatırım maliyeti 28.850\$ iken, kWh başına ortalama enerji birim maliyeti 0,514\$ değerindedir. Lityum iyon akü ünitelerine sahip, hibrit enerji sistem ise ilk yatırım maliyeti 30.150\$ iken, kWh başına ortalama enerji birim maliyeti 0,446\$ değerindedir. Lityum iyon akü sisteminin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın, işletme ve net şimdiki fiyat (NPC) değerleri daha düşüktür. Lityum iyon akülerin ömrü 15 yıl iken kurşun asit akülerin ömrü 10 yıldır (Tablo 7). Bu da doğrudan sistemin ekonomik değerlerini etkilemektedir. Ayrıca lityum iyon akülerin çıkış voltajı 6 Volt değerindedir. Bundan dolayı 12 V olan sistemde kullanılması için seri/paralel elektriksel bağlantı yapılarak 12 V çıkışa sahip akü üniteleri elde edilir. 25 yıllık proje ömrü göz önüne alındığında, lityum iyon akü gruplarının bulunduğu sistem ekonomik açıdan daha karlı olacaktır. Dizel jeneratör ve PV kapasiteleri aynı olan bu iki farklı akü grubuna sahip hibrit enerji sisteminde konvertör (dönüştürücü) kapasiteleri farklı olmaktadır. Bunun sebebi ise akü gruplarının elektriksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Lityum iyon akü grubuna ait hibrit enerji sistemlerinin simülasyon sonuçları

Bir önce ki simülasyon sonuçlarından anlaşılacağı gibi Lityum iyon akü grubuna sahip olan hibrit enerji sisteminin daha ekonomik olacağı görülmüştür. Bu sebepten dolayı lityum iyon akü grubuna ait hibrit enerji sistemlerinin simülasyon sonuçları detaylı olarak incelenmiş ve hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarından, 5 farklı sistem kombinasyonu ele alınmıştır. Bu sistemlerle ilgili teknik ve ekonomik analiz sonuçları tablolar halinde verilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8’de farklı hibrit enerji sistemlerinin simülasyon sonuçları görülmektedir. Bu tabloda CO₂ emisyonu açısından bakıldığında PV-Rüzgâr-Akü sisteminin hiç emisyon salınımı olmadığı ve sistemin yenilenebilir oranının %100 olduğu görülmektedir. Buna karşın elektrik yükü ihtiyacının dizel jeneratör güç sisteminden karşılanması durumunda ise yıllık olarak 12.955 kg değerinde CO₂ emisyon salınımı gerçekleşecektir. Otonomi süresi; sistem yükünün tamamen akü gruplarından karşılanmasının süresini ifade etmektedir. En fazla otonomi süresine sahip hibrit sistem PV-Rüzgâr-Akü hibrit enerji sistemidir. Simülasyon sonuçlarından elde edilen 5 farklı hibrit enerji sisteminin maliyet değerleri Tablo 8’de verilmektedir. Sistem konfigürasyonları değişikçe sistemin ekonomik değerlerinin değiştiği de gözlemlenmektedir. Bu ekonomik değişiklikler sistemde bulunan ekipmanların yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Birim enerji maliyeti açısından bakıldığında en uygun hibrit enerji sisteminin PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sistemi olduğu görülmektedir (Tablo 8). Buna karşın yenilenebilir enerji oranı %60,7 değerindedir. İlk yatırım maliyeti açısından bakıldığında dizel jeneratör güç sisteminin diğer sistemlere göre daha düşük olduğu görülür. Lakin bu durumda dizel jeneratörün yakıt sarfiyatını içeren ve periyodik bakımları kapsayan

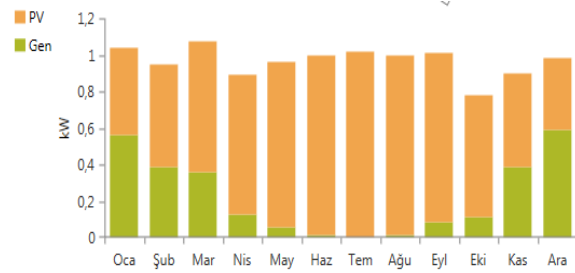
maliyetler sistem ömrünce (25 yıl) göz önüne alındığında COE değerinin, diğer hibrit sistemlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Farklı sistem kombinasyonlarının teknik ve ekonomik analiz sonuçları

Parametreler	PV-Rüzgâr-Dizel-Akü	PV-Rüzgâr-Akü	Rüzgâr-Dizel-Akü	PV-Dizel-Akü	Dizel
Sistem boyutları	PV: 5 kW Rüzgâr: 3 kW Dizel: 4,5 kW	PV: 5 kW Rüzgâr: 3kW	Rüzgâr: 3kW Dizel: 4,5 kW	PV: 5 kW Dizel: 4,5 kW	Dizel: 4,5 kW
Akü sayısı	16	36	14	18	0
Sistem yükü (kWh/yıl)	4.986,27	4.986,27	4.986,27	4.986,27	4.986,27
CO2 Emisyonu (kg/yıl)	596	0	3.095	1.619	12.955
Fotovoltaik (kWh/yıl)	6.507 (%69,4)	6.507 (%73,2)	0	6.507 (76,9)	0
Rüzgâr (kWh/yıl)	2.380 (%24)	2.380 (26,8)	2.380 (%38,7)	0	0
Dizel jeneratör (kWh/yıl)	492 (%25,4)	0	3.769 (%61,3)	1.960 (%23,1)	10.785
Toplam enerji (kWh/yıl)	9.379 (%100)	8.887 (%100)	6.149 (%100)	8.467 (%100)	10.785 (%100)
Fazla Elektrik (kWh/yıl)	3.884	3.515	310	2.757	5.798
Otonomi süresi (h)	25,5	50,6	19,7	25,3	0
Yenilenebilir oranı (%)	90,1	100	24,4	60,7	0
COE (\$)	0,476	0,572	0,672	0,446	1,83
NPC (\$)	86.437	100.734	122.011	80.953	33.2292
İşletme maliyeti (\$)	1.085	1.229	2.507	1.396	9.068
Yatırım maliyeti (\$)	46.950	56.000	30.750	30.150	2.250

Birim enerji maliyeti en düşük olan hibrit enerji sisteminin (PV- Dizel Jeneratör - Akü) incelenmesi

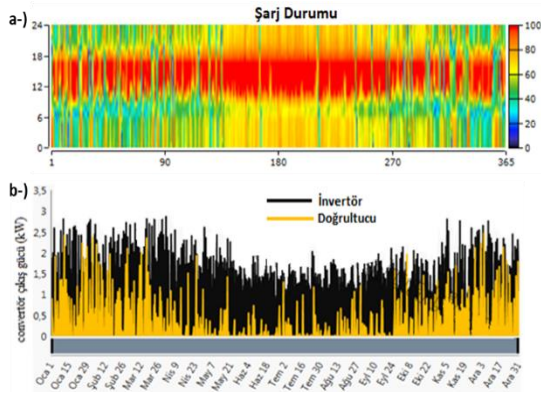
Simülasyon sonuçları doğrultusunda kW başına en düşük maliyet değerine sahip olan hibrit enerji sisteminin teknik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bu sistem PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sistemidir. Bu sistem 5 kW kapasiteye sahip PV, 4,5 kW kapasiteye sahip dizel jeneratör, 18 adet 1kWh kapasiteye sahip lityum iyon akü grubu ve 3 kWh değerine sahip konvertör ünitelerinden oluşur (Tablo 8).



Şekil 5. PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sisteminin aylık güç üretim payları

Şekil 5' te en düşük yatırım ve enerji birim maliyetine sahip olan PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sisteminin aylık üretim paylarının bir sene içerisindeki değişimi görülmektedir. Kış aylarında güneş ışınım şiddetinin az olduğu ve bundan dolayı PV kapasitenin yanında dizel jeneratöründe yük ihtiyacını karşılamak için devreye girdiği görülmektedir. Buna karşın yaz aylarında PV güç kapasitesi yeterli olduğundan dizel jeneratörün devreye girmesine gerek kalmamıştır. Yaz aylarında ise sistem sadece PV/Akü üniteleriyle enerji ihtiyacını karşılamıştır. PV-Dizel Jeneratör-Akü hibrit enerji sisteminin yıllık üretim payları PV ve dizel jeneratör için sırasıyla şu şekildedir; Enerji (kWh/yıl): 6.507 / 1.96. PV / Dizel Jeneratör / Akü hibrit enerji sisteminin yıllık enerji üretimi 8,467 MWh/yıl'dır. Bu değer %76,9'si PV/Akü sisteminden üretilirken, %23,1'i ise dizel jeneratör tarafından üretilmektedir.

Şekil 6'da PV/Dizel Jeneratör/Akü hibrit enerji sisteminde kullanılan akü grubunun yıl içerisindeki şarj durumunu belirten grafik görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde akü grubu şarj durumunun çoğunlukla % 95-50 arasında olduğu gözlenmektedir. Ayrıca akü grubunun şarj durumu gün içerisinde 11:00 ve 18:00 saatleri arasında %80-100 oranında dolu olduğu görülmektedir. Lityum iyon akünün deşarj derinliği en fazla % 20 olduğundan bu değerden aşağıda bir değer grafikte görülmemektedir.



Şekil 6. (a) Lityum iyon tipi akü grubunun yıllık şarj durumu. (b) İnvörtör ve doğrultucunun yıllık güç çıkış değişimi.

Tablo 9. Konvertörün (invertör-doğrultucu) elektriksel özellikleri

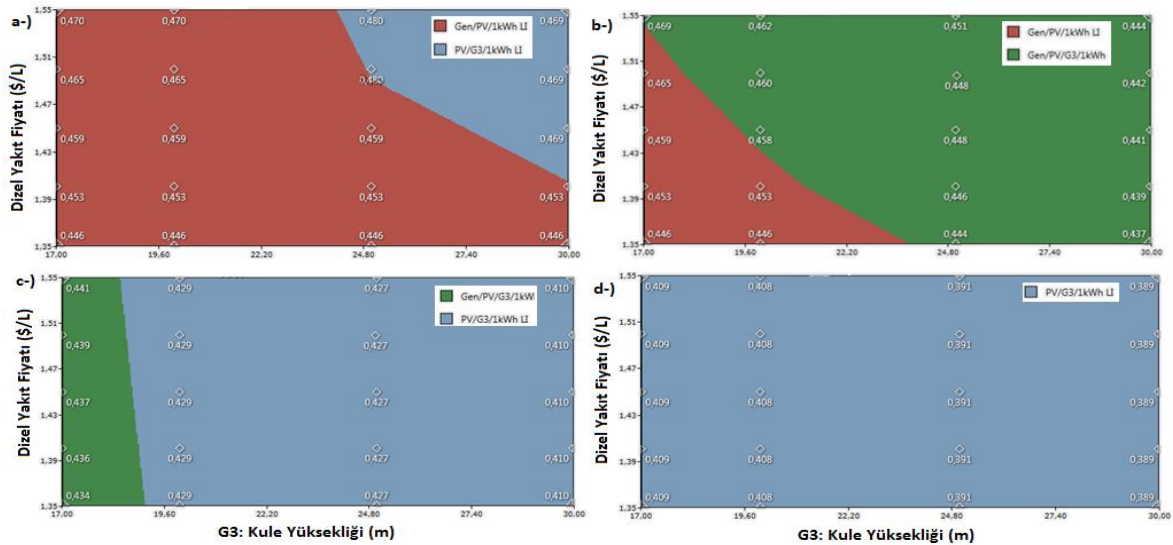
	İnvörtör	Doğrultucu	Brimler
Kapasite	3	3	kW
Ortalama çıkış	0,504	0,143	kW
Minimum çıkış	0	0	kW
Maksimum çıkış	2,72	3	kW
Kapasite oranı	16,8	4,77	%
Çalışma saatleri	8285	471	kWh/yıl
Enerji çıkışı	4419	1253	kWh/yıl
Enerji girişi	4652	1392	kWh/yıl
Kayıplar	233	139	kWh/yıl
Verimlilik	95	90	%

Tablo 9’ da PV/Dizel Jeneratör/Akü hibrit enerji sisteminde kullanılan invertör ve doğrultucunun elektriksel büyüklükleri

görülmektedir. İnvörtör ve doğrultucu 3 kW’lık kapasiteye sahip olup, yıllık kayıpları invertör için 233 kWh/yıl iken, doğrultucu için 139 kWh/yıl değerindedir. Şekil 6(b)’ de sistemde kullanılan konvertörün yıl içerisinde güç çıkışı değişimi verilmiştir. Bu değişim grafiği incelendiğinde hibrit sistemin invertör ünitesi, doğrultucu ünitesinden daha yüksek güç çıkışı verdiği görülmektedir. Hibrit enerji sisteminde dizel jeneratör AC çıkış vermektedir. Dizel jeneratör AC hattı üzerinden konvertör yardımıyla DC hattına bağlı akü gruplarını şarj eder. AC elektrik enerjisini DC elektrik enerjisine dönüştüren ise konvertörün doğrultucu kısmıdır. Doğrultucunun çıkış gücü değişiminin invertör değişimine oranla az olması dizel jeneratörün, PV/Akü sisteminden daha az çalıştığını işaret etmektedir.

Hassasiyet analizi sonuçları

Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi analizinde üç farklı hassasiyet değişkeni ele alınarak, olası tüm sistem konfigürasyonları simüle edilmiştir. Simülasyonda kullanılan hassasiyet değişkenleri dizel yakıt sarfiyatının olası artışı, türbin kule yüksekliği ve ortalama rüzgâr hızının değişimidir.



Şekil 7. Hassasiyet parametreleriyle hibrit enerji sistem konfigürasyonunun değişimi. Rüzgâr ortalama hızı (a) 5.24 m/s, (b) 5.5 m/s, (c) 6 m/s, ve (d) 6.5 m/s.

Şekil 7(a), 7(b), 7(c) ve 7(d)' de sırasıyla ortalama rüzgâr hızının 5,24 m/s (mevcut durum hızı), 5.5 m/s, 6 m/s, ve 6.5 m/s olduğu hibrit enerji sistemlerinin dizel yakıt sarfiyatı ve türbin kule yüksekliğine bağlı değişim grafikleri görülmektedir. Ayrıca bu grafiklerde birim enerji maliyet değerleri de gösterilmektedir. Şekil 7(a) incelendiğinde iki farklı hibrit enerji sistem modeli görülmektedir. Jeneratör/PV/Akü ve PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemleridir. Jeneratör/PV/Akü hibrit enerji sisteminde dizel yakıtın fiyatı arttıkça sistemin birim enerji maliyetinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda rüzgâr türbini rotor yüksekliğinin 25 metreden sonra ve dizel yakıt litre fiyatının 1,50 \$'a ulaştığında Jeneratör/PV/Akü hibrit enerji sisteminin değil, PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sisteminin daha uygun olduğu görülmektedir. Şekil 7(b) incelendiğinde 2 farklı hibrit enerji sistem modeli görülmektedir. Bunlar, Jeneratör/PV/Akü ve Jeneratör/PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemleridir. Ortalama rüzgâr hızının artması ile sistem konfigürasyonu değişmiştir. Şekil 7(a)' da Jeneratör/PV/Akü ve PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemleri görülürken, Şekil 7(b)' de Jeneratör/PV/Akü ve Jeneratör/PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistem modelleri görülmektedir. Bu da rüzgâr hızının değişimi o bölge için kurulacak sistem modelinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Şekil 7(c)' de yine 2 farklı hibrit enerji sistem modeli görülmektedir. Dizel Jeneratör/PV/Rüzgâr/Akü ve PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemleridir. Ortalama rüzgâr hızının artmasıyla rüzgâr türbinini içeren hibrit sistemlerin daha da çok uygulanabilir olduğu görülmektedir. Aynı zamanda birim enerji maliyetinin de azalmasına neden olmuştur. Şekil 7(b)' de 0,437\$ en düşük enerji maliyetine sahip olan Jeneratör/PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemi iken, Şekil 7(c)' de ise 0,410\$ enerji birim maliyetine sahip PV/Rüzgâr/Akü

hibrit enerji sistemidir. Minimum türbin rotor yüksekliği 17 metredir. Bu değere sahip olan bir sitemin yerine türbin yüksekliği 20 metre olan bir hibrit enerji sistemi seçildiğinde sistemin dizel jeneratörden bağımlılığı kalkar ve dizel yakıt fiyat değişiminden etkilenmeyecek daha düşük enerji maliyetli bir sistem açığa çıkar. Şekil 7(d)' de tek bir hibrit enerji sistem modeli görülmektedir. Bu da PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemidir. Şekil 7(d)' deki grafik incelendiğinde türbin rotor yüksekliğinin değişimi sadece enerji birim maliyetini etkilemektedir. Sistemde dizel jeneratör olmadığından yakıt fiyatı artışlarından etkilenmemektedir.

Sonuç Ve Öneriler

Bu çalışmada HOMER yazılımı kullanılarak şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi için birçok farklı sistem alternatifleri simüle edilmiştir. Hibrit enerji sisteminde iki farklı akü grubu kullanılarak teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır. Hibrit enerji sisteminde kurşun asit ve lityum iyon akü grupları kullanılmış olup birim enerji maliyeti ve teknik açıdan lityum iyon akü grubunun kullanıldığı hibrit enerji sisteminin bu çalışma için daha uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda Lityum Asit akü grubuna sahip olan hibrit enerji sistemleri detaylı olarak incelenmiş ve uygulanabilir olan sistemler birim enerji maliyeti ve net şimdiki değer göz önüne alınarak sıralanmıştır. Bu çalışma sonucunda numaralandırılmış şu sistem konfigürasyonları karşılaştırılmıştır; 1-) PV/Rüzgâr/Dizel jeneratör/Akü hibrit enerji sistemi, 2-) PV/Rüzgâr/Akü hibrit enerji sistemi, 3-) PV/Dizel jeneratör/Akü hibrit enerji sistemi, 4-) Rüzgâr/Dizel jeneratör hibrit enerji sistemi, 5-) Dizel jeneratör güç sistemi. Bu sistem konfigürasyonlarından enerji birim maliyeti en düşük olan sistemin PV/Dizel

jeneratör/Akü hibrit enerji sisteminin olduğu saptanmıştır. En yüksek enerji birim maliyetine sahip sistemse Dizel jeneratör güç sistemi olduğu belirlenmiştir. Uygulanabilirliği en yüksek olan sistemin ilk yatırım maliyeti 30.150\$, işletme maliyeti 1.309\$, birim enerji maliyeti 0,446\$ ve proje ömrünce sistemin net bugünkü maliyeti 80.953\$ olduğu belirlenmiştir. Bu sistem 5 kW kapasiteye sahip PV, 4,5 kW kapasiteye sahip dizel jeneratör ve 18 adet 1kWh kapasiteye sahip akü grubu ve 3 kWh değerine sahip konvertör ünitelerinden oluşmaktadır.

Yenilenebilir kaynaklı ve fosil kaynaklı hibrit sistemlerinin kullanılması ile CO₂ emisyonu azalmaktadır. Dizel güç sistemi fosil kaynaklı güç sistemi olup, yıllık 10.785 kWh elektrik enerjisi üretmesine karşılık yılda 19.955 kg değerine sahip emisyon salınımı gerçekleştirmektedir. PV/Dizel jeneratör/Akü hibrit enerji sisteminin kullanılmasıyla, dizel jeneratörün yıllık 1.960 kWh enerji üreterek emisyon değeri yılda 1.619 kg değerine düşmektedir. PV/Dizel jeneratör/Akü hibrit enerji sisteminin kullanılmasıyla, yıllık olarak çevreye salınacak olan 18.336 kg CO₂ emisyonunun önüne geçilmiş olacaktır.

Ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr türbini rotor yüksekliği ve dizel yakıt fiyatı gibi parametreler ele alınarak hassasiyet analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ortalama rüzgâr hızının artması ile rüzgâr türbinin hibrit enerji sistemlerinde uygulanabilirliği daha da artmaktadır. Dizel yakıt fiyatının 1,35 \$/L, türbin gövde yüksekliğinin 17 m olmak şartıyla, ortalama rüzgâr hızının; 5,24 m/s olduğunda birim enerji maliyeti 0,446 \$, 5,5 m/s olduğunda 0,446 \$, 6 m/s saniye olduğunda 0,434 ve 6,5 m/s olduğunda 0,409\$ olduğu belirlenmiştir. Yani ortalama rüzgâr hızının artması ile birim enerji maliyeti düşüş göstermekte ve sistem konfigürasyonu değişmektedir (Tablo 7' ye bakınız). Aynı

zamanda türbin rotor yüksekliğinin ve dizel yakıt sarfiyatının değişimi sistem konfigürasyonunun değişimine sebep olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerinin kurulmadan önce fizibilite çalışmalarının ciddi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunu için sistem kurulmadan önce o bölgenin güneş ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gereklidir. Aynı zamanda ihtiyaç olan elektrik yükünün detaylıca belirlenmesi de önemli bir unsur teşkil etmektedir. Hibrit enerji sistemleri, bölgenin meteorolojik verileri ve sistemin elektrik yükünün değişimi doğrultusunda, sistemlerin konfigürasyonu değişmesiyle birlikte ekonomik açıdan da değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada yapıldığı gibi detaylı bir analiz gerektirmektedir. Bu çalışmada, yenilenebilir ve fosil kaynaklı enerjilerin, sistem konfigürasyonları ele alınmış ve en uygun çözüm bulunmuştur. Daha verimli ve ekonomik sistemlerin bulunabilmesi için, o bölgedeki jeotermal, hidrolik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından da yararlanılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Habib, M.A., Said, El-Hadidy S.A.M., Al-Zaharna, Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system, Energy, Vol. 24, 919-929, (1999).
- [2] Ernest, F.B., Matthew, A., Feasibility of solar technology adoption: A case study on Tennessee's poultry industry, Renewable Energy, 34, 3, 748-754, (2009).
- [3] Öztürk, H.H., Yaşar, B., Eren, Tarımda Enerji Kullanımı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Ankara, (2010)
- [4] Khan, M.J., Iqbal, M.T., Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland,

Renewable Energy, 835-854, Canada, (2005).

[5] Yıldız, M., Bingöl, F., Küçük ve mikro ölçekli enerji yatırımı için hibrit enerji modeli, 4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, İzmir, (2017).

[6] Nema, P., Nema, R.K., Rangekar, S., Pv-solar/wind hybrid energy system for GSM/CDMA type mobile telephony base station, Energy And Environment, 1, 2 , 359- 366, İndia, (2010).

[7] Ngan, M.S., Tan, C.W., Assessment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Malaysia, 634-647, (2012).

[8] NASA, Surface Meteorology and Solar Energy, https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=210131&lat=40&submit=Gnder&hgt=100&veg=17&sitelev=600&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&step=2&lon=29, (22.12.2017).

[9] Ashok S., Optşmized model for community based-Hybrid Energy systems, Renewable Energy, 1155-1164, (2007).

[10] TCMB Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tcmb+tr/tcmb+tr/main+menu/para+politikasi/fiyat+istikrari/enflasyon+raporu>, (16.12.2017).

[11] TCMB Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, <https://www.turkiye.gov.tr/doviz-kurlari>, (16.12.2017).

[12] Shell Türkiye Akaryakıt Satış Fiyatları, <http://www.shell.com.tr/motorists/shell-fuels/akaryakit-pompa-satis-fiyatlari.html>, (16.12.2017).