

HİBRİT SİSTEMLERLE ENERJİ ÜRETİMİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Belgin Emre TÜRKAY¹, Ali Yasin TELLİ²

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa, İstanbul *e-turkay@elk.itu.edu.tr*

²Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa, İstanbul *e-telli@itu.edu.tr*

ABSTRACT

A development area in Turkey was selected and the renewable energy potential on the area was analysed during the study; then the analyses of this potential, together with network, was made in terms of cost in meeting the demands of electricity on the region.

The HOMER (NREL, US) program was used to simulate the system operation and calculate technical economic parameters for each configuration. The program requires input values such as technology options, component costs and reconciliation of resources, and arranges applicable combinations by net cost for different system configurations, using all these facts/information. As the pilot area, on which the energy to be obtained from renewable energy sources shall be utilised, İstanbul Technical University Faculty of Electrical and Electronic Engineering was preferred.

1.GİRİŞ

Çalışmada Türkiye’de pilot bir bölge seçilip bölgenin yenilenebilir enerji potansiyeli incelenmiş ve mevcut potansiyelin bölgedeki elektrik talebini, şebeke ile birlikte karşılamada kullanılmasının maliyet olarak analizi yapılmıştır.

Sistem HOMER (NREL, US) programı ile simüle edilmiş ve HOMER kullanılarak her bir konfigürasyon için teknik ekonomik parametreler ile hesaplanmıştır. Programa, teknoloji opsiyonları, bileşen maliyetleri ve kaynak uygunluğu verileri giriş bilgisi olarak verilip , farklı sistem konfigürasyonları için net maliyete göre uygulanabilir sistem kombinasyonları hesaplanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin kullanılacağı pilot bölge olarak ise İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi seçilmiştir.

2.YÖNTEM

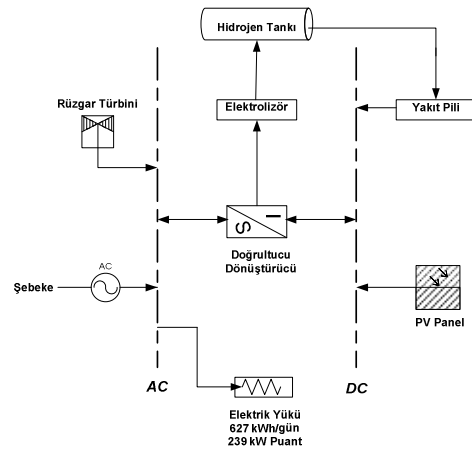
Çalışmada kullanılan HOMER yazılımı hesaplamaları saatlik temele göre yapmaktadır. Yılın her bir saatinde HOMER programı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik talebini karşılayıp karşılamayacağını belirler. Eğer bu kaynaklar yetersiz kalıyorsa, generator, şebeke gibi kaynakların gerekli talebi temin etmek için en uygun şekilde devreye girmesini sağlamaktadır. HOMER programı sistem kontrolünü sağlarken temel prensip, maliyetin minimize edilmesidir. Programda her bir kontrol edilebilir enerji kaynağının maliyeti,

saatlik sabit maliyet, kWh başına enerji maliyeti olarak ifade edilmektedir.. Bu maliyet değerleri güç kaynaklarının herhangi bir zamanda enerji üretmeleri için gereken üretim maliyetleridir. Bu maliyet değerlerini kullanarak HOMER programı, yükü karşılayacak kaynakların kombinasyonunu araştırmakta ve talebi karşılayacak kombinasyonlar arasından bunu en düşük maliyete yapan sistemi bulmaktadır.[1]

Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik üretiminin analizini yapmanın yanında bu tür bir enerji üretiminin geleneksel sistemlerle kıyaslanması ve rekabet edebilirliğinin ölçüt ve sınırlarının belirlenmesidir. Ayrıca bu sınırlar belirlenirken, gerçek hayatta bir uygulamasını göremediğimiz hidrojen enerjisinden faydalanmanın ve hidrojenin kararsız formdaki yenilenebilir enerji kaynaklarına entegrasyonunun da ekonomik boyutu incelenecektir. Sonuç olarak, bölge enerji ihtiyacının geleneksel yöntemlere ek olarak rüzgar-güneş-hidrojen sisteminden karşılanmasının ekonomik olarak uygulanabilirliği değerlendirilecektir

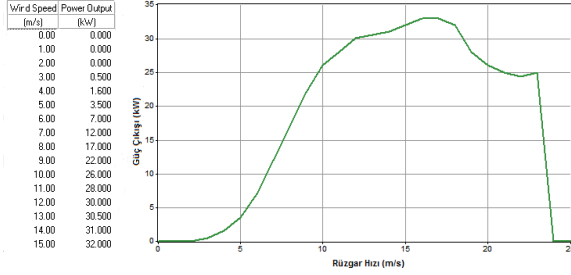
3.SİSTEM VE BİLEŞENLERİ

Sistemin kurulacağı ve ekonomik optimizasyonun yapılacağı örnek yer olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi’ndeki Elektrik-Elektronik Fakültesi seçilmiştir. Yük değerlerinin belirlenmesinde fakülte geçmiş elektrik talep değerlerinden faydalanılmıştır. Bu yük değerini besleyen enerji sisteminin şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil. 1 Simülasyonu Yapılacak Sistem

Kurulacak sistemde güneş panelleri (PV) ve rüzgar türbinlerinden (RT) elde edilen talep fazlası elektrik enerjisi elektrolizör (EL) aracılığıyla hidrojen üretiminde kullanılıp ve elde edilen hidrojen tanklarda (HT) depolanmaktadır. İhtiyaç halinde ise bu hidrojenin yakıt pilleri (YP) 'nin elektrik enerji üretiminde kullanılması planlanmıştır.. Kullanılan sistem bileşenlerinin karakteristikleri Tablo 1-5 ve Şekil 2-3'de verilmiştir. Hesaplama, rotor çapı 13m ve kule uzunluğu 26 m değerinde olan rüzgar türbini (Fuhrlander 30) kullanılmaktadır ve maliyet olarak 78000\$ alınmıştır.



Şekil. 2 Kullanılan RT Güç Değerleri ve Eğrisi

Tablo 1'de çalışmada kullanılan RT'nin de bulunduğu türbin markalarının maliyet değerleri yaklaşık olarak verilmiştir. [2]

Tablo.1 RT Maliyetleri(Üreticilere Göre)

Üretici	İsim	Güç (kW)	Hub Yüksekliği (m)	Maliyet (\$/kW)
Bergey	Excel-S	10	30	5000
Fuhrlander	FL 30	30	27	4400
Entegrity	EW15	50	25	4000
Fuhrlander	FL 100	100	35	3100
Fuhrlander	FL 250	250	50	2500
Enertech	E48	600	60	2100
General Electric	GE1.5	1500	80	1600

Tablo. 2 Literatürde Kullanılan Türbin Maliyetleri

Rüzgar Türbini				
Boyut	Sermaye Maliyeti (\$)	Değişim Maliyeti	Bakım Maliyeti	Ref
1 kW	\$ 1500-\$2250	%10 SM	%5 SM	[3]
1 kW	\$1.200			[4]
600 kW	\$575.000	\$400.000	\$13.000	[5]
75 kW	\$19.400	\$15.000	75\$/yıl	[6]
1800kW	\$3.500.000		%2 SM	[7]
50 kW	\$147.000		4400\$/yıl	[7]
1 kW	\$1.350			[8]

Tablo. 3 Literatürde Kullanılan PV Maliyetleri

PV		
Boyut	Sermaye Maliyeti (\$)	Ref
1 kW	\$6.750	[9]
1 kW	\$8000-\$12000	[10]
1kW	\$4200-\$6000	[3]
1kW	\$7.500	[11]
1kW	\$10.200	[4]
1 kW	\$10.000	[7]
75W	\$355	[12]
1 W	\$5,3	[13]

Tasarlanan sitemde, PV panel maliyet değeri 5000\$/kW olarak alınmıştır ve bakımı maliyeti 0 kabul edilmiştir.

Tablo. 4 Literatürde Kullanılan EL Maliyetleri

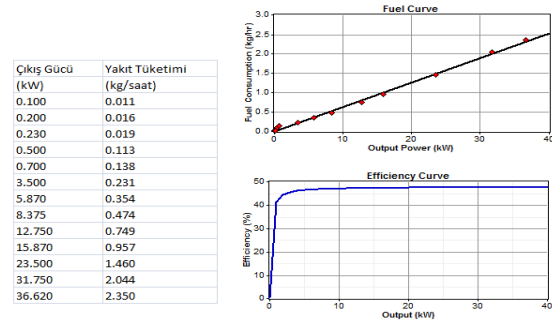
Elektrolizör				
Boyut	Sermaye Maliyeti (\$)	Değişim Maliyeti	Bakım Maliyeti	Ref
1 kW	\$2.184	%10 SM	%2 SM	[9]
1 kW	\$1500-\$3000	\$1125-\$2250	\$1,5-\$30	[6]
1 kW	\$740	%30 SM	%5 SM	[14]
1 kW	\$1.500			[4]
1 kW	\$1.450			[8]

Sistemde EL maliyet değerleri yapılan araştırmaya göre 3128 \$/kW olarak seçilirken değiştirme ve bakım maliyetleri sırasıyla sermaye maliyetinin 1/2 ve 1/20 oranında seçilmiştir.

Tablo 5. Literatürde Kullanılan YP Maliyetleri

Yakıt Pili				
Boyut	Sermaye Maliyeti (\$)	Değişim Maliyeti	Bakım Maliyeti	Ref
1 kW	\$4.000		%1 SM	[10]
1 kW	\$3000-\$6000			[9]
1 kW	\$3.000	\$2.500	0,02\$/h	[9]
1 kW	\$1.840			[4]
1 kW	\$4.000			[12]
1W	\$7			[13]

Tasarlanan sistem de YP maliyet değeri 5000\$/kW yer değiştirme maliyeti 3000\$ ve bakım onarım maliyeti 0,1 \$/saat alınmıştır. YP güç ve verim grafiği Şekil 3'teki gibidir. [8,15,16]

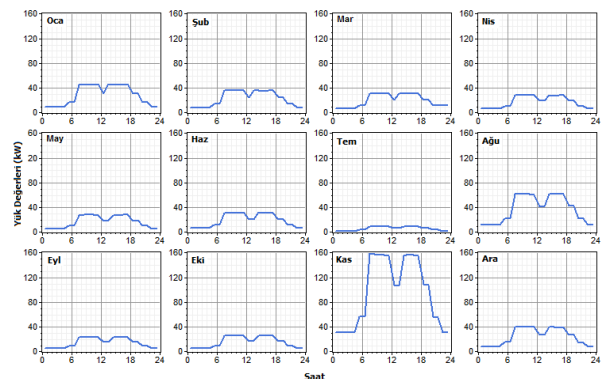


Şekil. 3 YP Güç Eğrisi

Sistemde 3.2 kg için tank ve depolama maliyeti 2288\$, değiştirme maliyeti 195\$ ve bakım-onarım maliyeti yıllık 9\$, doğrultucu sermaye değiştirme ve bakım-onarım maliyet değerleri ise sırasıyla 1000\$/kW, 1000\$/kW ve 100\$/yıl dır.

4.BÖLGE YÜK, RÜZGAR ve GÜNEŞ KARAKTERİSTİKLERİ

Yük profili oluşturulurken geçmiş faturalardan fakültenin çektiği güç değerleri HOMER programına aylık olarak girilmiştir. Sistemlerin optimizasyonu için yük karakteristikleri büyük önem taşımaktadır. Örnek olarak, eğer puant yük talebi akşam saatlerinde oluyor ise, doğrudan güneş enerjisi ile yükü karşılamak olanaksızdır [3]. Bu durumda puant yük talebi gün boyunca rüzgâr ve güneş enerjisi (PV) tarafından üretilmiş ve depolanmış hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla karşılanacaktır. Şekil 4'de aylara göre yük profilleri gösterilmiştir.

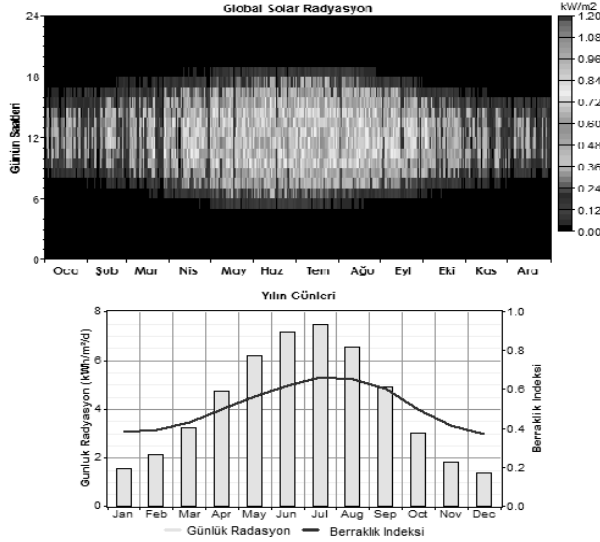


Şekil. 4 Bölge Yük Profili

Bölgenin aylık ortalama berraklık indeksi ve günlük radyasyon oranı (kWh/m²/g) Tablo 6'da özetlenerek ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

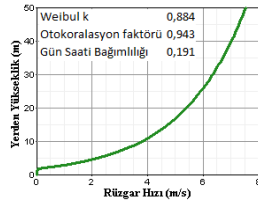
Tablo. 6 Bölge Güneşlenme Değerleri

Aylar	Berraklık indeksi	Günlük Radyasyon kWh/m ² /g	Aylar	Berraklık indeksi	Günlük Radyasyon kWh/m ² /g
Ocak	0.383	1.550	Temmuz	0.661	7.450
Şubat	0.390	2.130	Ağustos	0.650	6.540
Mart	0.431	3.220	Eylül	0.602	4.920
Nisan	0.498	4.750	Ekim	0.499	3.020
Mayıs	0.562	6.180	Kasım	0.415	1.810
Haziran	0.619	7.180	Aralık	0.372	1.350
Ortalama	0.541	4.186			

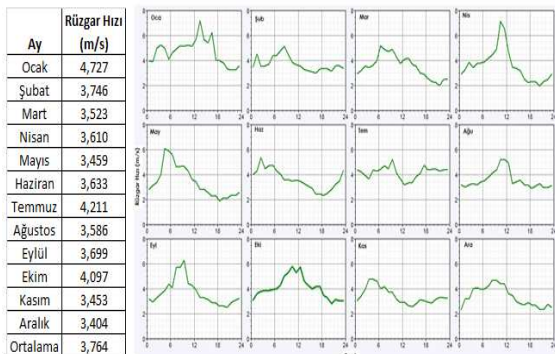


Şekil. 5 Bölge Güneşlenme Eğrisi ve Skalası

Rüzgar hızı değerleri yerden 10 m yükseklikte ölçülmüştür ve türbin yüksekliğindeki rüzgar hızı değişimi Şekil 6'daki gibi olmaktadır.[17] Bölgenin aylık rüzgar hızı değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil.6 Kullanılan Rüzgar Hızı Profili



Şekil.7 Aylık Ortalama Rüzgar Hız ve Profilleri

5. OPTİMUM HİBRİT SİSTEM

Pilot bölge enerji ihtiyacını en düşük maliyete karşılayacak olan optimum sistem (OS), HOMER tarafından hesaplandığında, sistem 40 kW'lık bir PV,

20 kW gücünde YP ve EL, 30 kW gücünde doğrultucu ve dönüştürücü güç elektroniği ekipmanı, 100 kg kapasitesinde bir hidrojen tankı ve şebeke bağlantısını içermektedir. Bu yapının toplam maliyeti 789.300\$ ve kWh için birim enerji maliyet değeri 0,307\$/kWh olmaktadır. Elde edilen optimum konfigürasyonda yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %25 dir. Yıllık elektrik üretiminin %24'lük bir kısmı PV panellerden, %75'lik bir oranı şebekeden ve %1 gibi küçük bir kısmı ise YP'den karşılanmıştır. Toplam maliyet en fazla şebeke ve PV tarafında olmuştur.

Bu sistemde bir yıl için 228.649 kWh bir AC birincil yük karşılanmış ve 5707 kWh'lik bir EL yükü beslenmiştir. Bölgenin rüzgar potansiyelinin güneşe göre daha az olması sebebi ile optimum sonuçta PV kullanımı tercih edilmiştir. RT'lerin maliyet değerinin bugünkü değerinden yarı yarıya azaldığı durum için de ayrı bir simülasyon yapılmıştır

5.1 RT Maliyetinin % 50 Azaltıldığı Durum

Bu durum için HOMER sonuçlarına bakıldığında OS'de PV panelleri kullanılmamaktadır ve paneller yerini 5 adet RT'ye bırakmıştır. Bu durumda elektrik ihtiyacının %70'i RT'lerden karşılanmaktadır ve enerji maliyeti 0,299 \$/kWh olmaktadır. Toplam maliyet 769.170\$ olarak hesaplanmıştır.

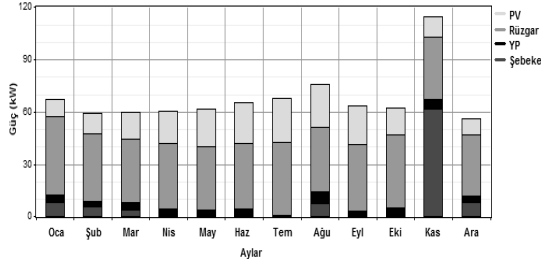
5.2 PV Panel Maliyetinin % 50 Azaltıldığı Durum

Bu durumda pilot bölge enerji ihtiyacını en düşük maliyete karşılayacak olan HOMER tarafından hesaplanan optimum sistem, 40 kW'lık bir PV, 20 kW gücünde YP ve EL, 30 kW gücünde doğrultucu ve dönüştürücü güç elektroniği ekipmanı, 100 kg kapasitesinde bir hidrojen tankı ve şebeke bağlantısı olarak bulunmuştur. Bulunan optimum sistemin, maliyeti 689.300\$ ve kWh için birim enerji maliyet değeri 0,268 \$/kWh olmaktadır. Optimum konfigürasyonda yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %25 olmaktadır.

5.3 Şebeke Elektrik Fiyatının Yükseldiği Durum

Şebeke elektrik enerjisi fiyatının artması ve 2\$/kWh değerine ulaşması durumu için de bir analiz yapıldığında bulunan OS, 100 kW'lık bir PV, 20 kW gücünde YP, 30 kW EL, 50 kW gücünde doğrultucu ve dönüştürücü güç elektroniği ekipmanı, 200 kg kapasitesinde bir hidrojen tankı 5 adet RT ve şebeke bağlantısını dan oluşmaktadır. Bu sistemin toplam maliyeti 3.320.820\$ ve kWh için birim enerji maliyet değeri 1,292\$/kWh olarak HOMER tarafından hesaplanmıştır.

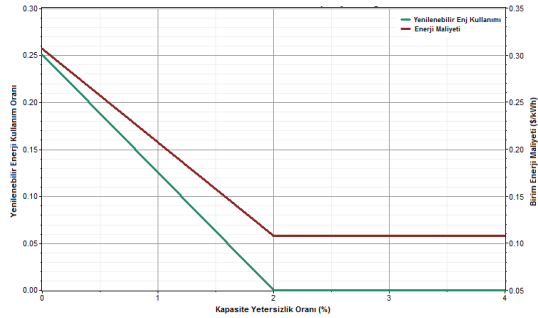
Elde edilen optimum konfigürasyonda yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise ilk sisteme göre 3 kat artarak %88 olmaktadır. Şebeke elektrik maliyetinin yüksek olması neticesinde OS'de elektrik ihtiyacının %57'si rüzgar enerjisinden, %26'sı güneşten, %6'sı YP'den ve %12'si şebekeden karşılanmıştır.



Şekil. 8 IV. Durum İçin Aylık Enerji Üretim Oranları

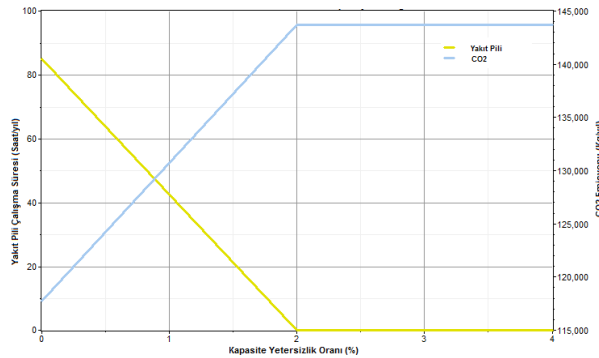
5.4 Yıllık Müsaade Edilen Kapasite Yetersizlik Oranının Artması Durumundaki Sistemi İnceleme

Seçilen tesis de bazı birimlerin aydınlatmasının belirli dönemlerde kesilmesi ve belirli oranda kapasite yetersizliğinin tolere edilmesi durumunda optimum (minimum maliyetli) sistem konfigürasyonu değişebilecek yada belirgin bir sistem tipindeki bileşenlerin çalışma ve güç değerleri farklılaşacaktır. [11] Söz konusu hesaplamada kapasite yetersizlik oranı yük değerinin %0 ile %4 oranı arasında seçilmiştir ve bu değerler arasında yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranı ile birim enerji maliyeti değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kWh başına enerji maliyeti sistem konfigürasyonun değişmesiyle 0,307\$/kWh değerinden 0,18 \$/kWh değerine azalmıştır ve şebeke enerjisinin kullanılmasından dolayı yenilenebilir enerji kullanım oranı da azalmaktadır.



Şekil. 9 KYO Değişiminin Enerji Maliyetine Etkisi

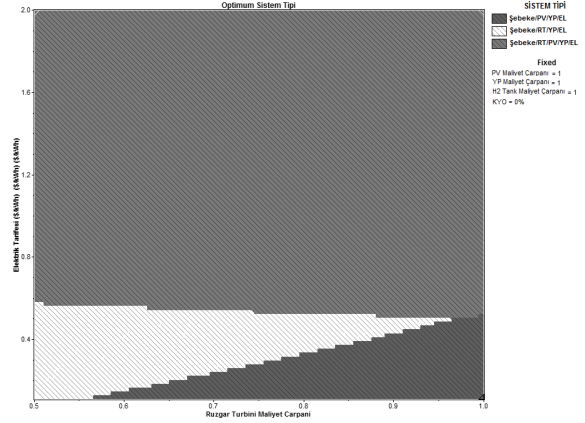
Şekil 10'da kapasite yetersizlik oranı değişiminin YP çalışma süresine ve CO₂ salınım değerlerine etkisi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi YP'nin çalışma süresi belirli oranda karşılanmamış talebe izin verildiğinde zamanla düşmekte ve 0 değerine ulaşmaktadır ve söz konusu aralıkta CO₂ emisyon değerlerinde de artma gözlenmektedir.



Şekil.10 KYO Değişiminin CO₂ Emisyonu ve YP Çalışmasına Etkisi

5.5 Tüm Durumlar İçin Sistemin Değişimini İnceleme

Şekil 11'de, RT çarpanının 0,55 değerinin üstüne çıkması durumunda PV kullanımının daha maliyet etkin bir çözüm olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bölgenin güneş potansiyelinin rüzgar kapasitesinden daha fazla olmasından dolayı enerji üretiminin daha düşük maliyete sağlanmasıdır. Şebeke elektriği fiyatının artması durumunda ise rüzgar ve güneş enerjisiyle birlikte hidrojen enerji sistemi de optimum konfigürasyonda şebekeye ek olarak yer almaktadır.



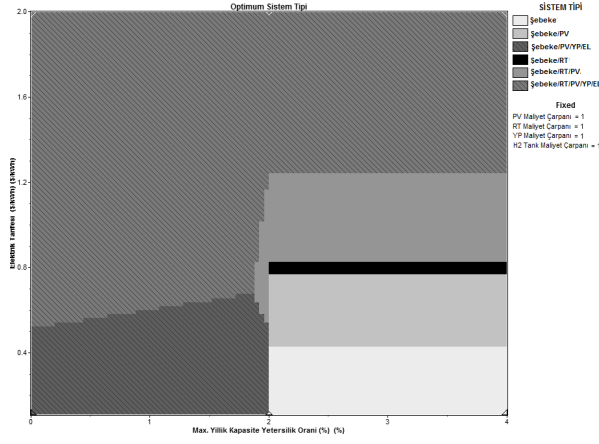
Şekil.11 Elektrik Tarifesi-RT Maliyeti Değişiminde Sistem Yapısı

Şekil 12' de şebeke elektriği birim fiyatı ve yıllık izin verilen kapasite yetersizlik oranının değişiminde OS yapısının nasıl farklılaştığı görülmektedir. Simülasyon sonucu elde edilen OS yapısı (Şebeke,PV,YP,EL) elektrik birim fiyatı 0,5 \$/kWh değerine ulaşana kadar devam etmektedir. Ancak elektrik birim fiyatının artmaya devam etmesi durumunda optimum sisteme rüzgar enerjisi de eklenmektedir.

İzin verilen KYO değerinin artması ve % 1,86 değerine ulaşması durumunda (Şebeke, PV, Rüzgar) sistemi optimum olmaktadır. Burada görüldüğü gibi optimum konfigürasyonda daha önce kullanılan YP'li hidrojen enerji sistemi yer almamaktadır. Hidrojen enerji sistemi enerji depolayıcısı olarak kullanılmaktadır ve izin verilen enerji kesintisi oranı arttığında bu depolama ihtiyacı azalmakta ve sistem maliyeti artacağı için optimum konfigürasyona dahil edilmemektedir.

İzin verilen KYO'nun %2 ile % 4 arasında değişmesi durumunda OS, elektrik birim fiyatı değerine bağlı olarak sırasıyla şebeke, şebeke-PV, şebeke-rüzgar, şebeke-rüzgar-PV ve şebeke-rüzgar-PV-Hidrojen sistemi olarak değişmektedir. Görüldüğü gibi, şebeke elektriği birim fiyatının 0,4 \$/kWh değerinin üzerine çıkması durumunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı makul olmaktadır, 0,8 \$/kWh değerinden sonra ise rüzgar ve güneş enerjisi birlikte kullanılmaktadır.

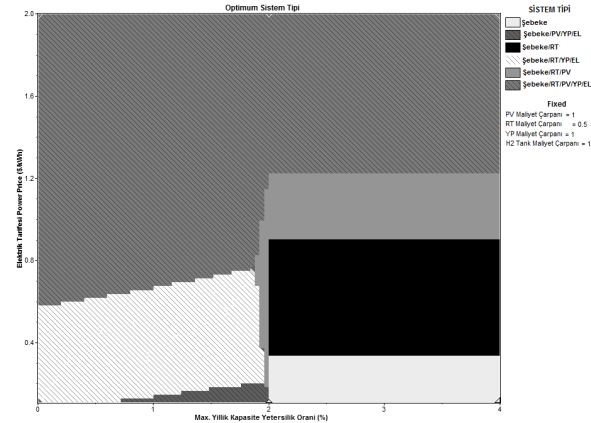
Elektrik birim fiyatının 1,2 \$/kWh değerine kadar çıkması durumunda ise yenilenebilir enerji kaynaklarına ek olarak hidrojen enerji sistemi optimum konfigürasyonda yer almaya başlamıştır.



Şekil.12 Elektrik Tarifesi-KYO Değişiminde Sistem Yapısı

Burada enerji maliyetinin daha düşük olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesi artmıştır ve üretilen fazla elektrik enerjisi hidrojen formunda depolanarak güneş-rüzgar olmayan günlerde şebeke fiyatıyla rekabet edebilir maliyete enerji üretmektedir.

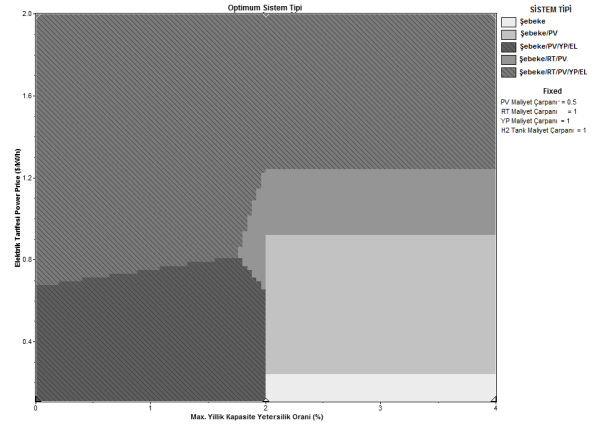
Aynı şekilde sırasıyla RT ve PV panel maliyetlerinin uzun dönemde önemli oranda düşecekleri varsayımıyla bu iki sistemin maliyetini sırasıyla 1/2 oranında azaltırsak; optimum sistem Şekil 13-15'deki konfigürasyonlardan oluşmaktadır.



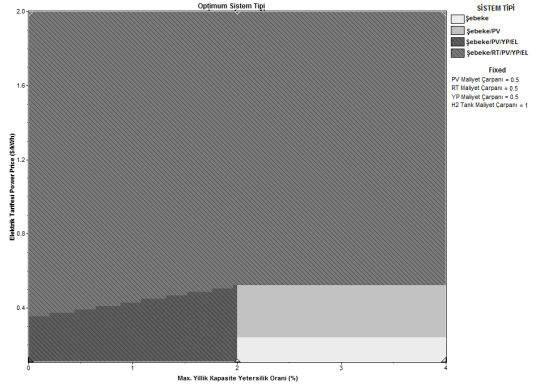
Şekil.13 Elektrik Tarifesi -KYO Değişiminde Sistem Yapısı (RT Maliyet Çarpanı 0,5)

Şekil 12-15 incelendiğinde, RT ve PV maliyetinin düşmesiyle şebekeden enerji çekme ihtiyacının azaldığı, PV maliyetinin azalınca, pilot bölgede rüzgar sisteminin tek başına kullanılmadığı görülmektedir.

Kapasite yetersizliğinin %2'ye kadar izin verildiği değer aralığındaki hidrojen sisteminde de rüzgar enerjisi kullanımının çok azaldığı, görülmektedir. Bu sonuçlara göre seçilen bölgede güneş enerjisinden faydalanmanın daha ucuz olabileceği söylenebilir.



Şekil. 14 Elektrik Tarifesi -KYO Değişiminde Sistem Yapısı (PV Maliyet Çarpanı 0,5)



Şekil.15 Elektrik-KYO Değişiminde Sistem Yapısı (RT,PV,YP Maliyet Çarpanı 0,5)

6. SONUÇ

Modelleme sonunda farklı sistem varyasyonları için minimum maliyetler Tablo 7'de sıralanmıştır ve burada en üst satırda ayrıntılarını makale içerisinde verdiğimiz OS yapısı yer almaktadır.

Tablo. 7 KYO=0 ve % 4 durumlarında OS yapısı

KYO=0 için Sistem	Toplam Maliyet (\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	KYO= %4 için Sistem	Toplam Maliyet (\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)
Şebeke-PV-YP	789.300	0,307	Şebeke-PV	473.631	0,185
Şebeke-RT-YP	964.170	0,375	Şebeke-YP	512.969	0,201
Şebeke-RT-PV-YP	1.114.525	0,433	Şebeke-PV-YP	681.769	0,266
Şebeke-RT-PV	2.706.431	1,053	Şebeke-RT	692.265	0,270
			Şebeke-RT-PV	897.632	0,350
			Şebeke-RT-YP	924.516	0,360
			Şebeke-RT-PV-YP	1.105.770	0,431

Elde edilen sonuçlara göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzında, şebeke ile birlikte kullanılmasının ,günümüz koşullarında en uygulanabilir çözüm olduğu görülmektedir. Tüm dünyadaki benzer hibrit sistem uygulamalarına bakıldığında, yenilenebilir enerji kullanım oranı, % 11-25 arasındadır[17] .

Yapılan çalışmada, elektrik fiyatı ve yenilenebilir enerji sistemi ekipmanlarının maliyet çarpanının optimum konfigürasyon modelinde ve enerji üretim maliyetinde önemli farklılıklar oluşturduğu gözlenmiştir. Sistem yapısını etkileyen söz konusu temel değerlerin, değişim sınırlarında maliyet ve önemli çalışma koşullarının, emisyon, enerji maliyetlerinin değişimleri Tablo.8 de verilmiştir.

Tablo. 8 Sistem Yapısını Etkileyen Bazı Değerlerin Bileşenlere Etkisi

	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Güncel Maliyet Değerleri		Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Maliyet Değerlerinin %30's	
	Elektrik Fiyatı (0,108\$/kWh)	Elektrik Fiyatı (2\$/kWh)	Elektrik Fiyatı (0,108\$/kWh)	Elektrik Fiyatı (2\$/kWh)
Enerji Maliyeti (\$/kWh)	0,307 \$/kWh	1,292 \$/kWh	0,219 \$/kWh	1 \$/kWh
Şebekeden Alınana Elektrik (kWh/yıl)	186321 kWh/yıl	71356 kWh/yıl	186321 kWh/yıl	59776 kWh/yıl
Şebekeden Karşılanan Oran (%)	75%	12%	75%	8%
Rüzgar Enerjisi Kullanımı (%)	0%	57%	0%	68%
Güneş Enerjisi Kullanımı (%)	24%	26%	24%	19%
Yakıt Pili Kullanımı (%)	1%	6%	1%	5%
Yenilenebilir Enerji Oranı (%)	25,0%	88,0%	25,0%	92,4%
Yıllık Hidrojen Üretimi (kg/yıl)	116 kg/yıl	3079 kg/yıl	116 kg/yıl	2347 kg/yıl
Yakıt Pili Çalışma Süresi (saat/yıl)	85 saat/yıl	2643 saat/yıl	85 saat/yıl	3075 saat/yıl
Yakıt Pili Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1675kWh/yıl	3280 kWh/yıl	1675kWh/yıl	3713kWh/yıl
Yakıt Pili Kapasite Faktörü (%)	0,956%	18,8%	0,956%	21,2%
CO ₂ Salınımı (kg/yıl)	117755 kg/yıl	45097 kg/yıl	117755 kg/yıl	37779 kg/yıl

Elden edilen sonuçlara göre, yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyet değerlerinin azalması ve günlük yük ihtiyacını karşılamak için de depo enerji olarak hidrojenin kullanılması hibrit sistemin kullanılabilirliğini artırmış ve şebeke den çekilen yükü azaltmıştır. Ayrıca kapasite yetersizliğine belirli oranda müsaade edilmesi durumunda, sistem ve enerji maliyeti önemli oranda azalmıştır. Çünkü talebi karşılamak için kısa süreli puant yük değerlerini dahi besleyecek yüksek kapasiteli YES ekipmanları kullanılmaması ve işletme süresinin büyük çoğunluğunda, pahalı bileşenler sisteme dâhil edilmemiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen, hibrit sistemde kullanılan ekipmanlara ait performans ve maliyet değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo.9 Sistem Performans Sonuçları

RT Enerji Üretim Maliyeti	0,136 \$/kWh
RT Kapasite Faktörü	0,233
PV Panel Enerji Üretim Maliyeti	0,293 \$/kWh
PV Panel Kapasite Faktörü	0,173
YP Verimi	47,50%

Tablo 9’daki RT kapasite faktörü, bölge için belirlenen yıllık ortalama rüzgâr hızında üretilen elektrik enerjisinin türbinin maksimum kapasitesine bölünmesinden elde edilen “%” cinsinden değerdir. Genelde rüzgâr santrallerinde, kapasite faktörü %20-%45 arasında değişmekte olduğundan üretilen enerji için yatırım maliyetini etkilemektedir [18]. Aynı RT modeli kullanılarak yapılan başka bir sistemde kapasite faktörü 0,3 olarak hesaplanmıştır ve bu çalışmadaki değere yakındır [2]. Hesaplanan değerler, bugüne kadar literatür de elde edilen değerler ile uyumludur.

KAYNAKLAR

- [1] Lambert, T., Gilman, P., Lilienthal, P., Micropower system Modelling with HOMER, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Elkinton, M. R., McGowan, J. G., Manwell, J. F., Wind Power Systems for zero net energy housing in the United States, Renewable Energy 34 (2009), 1270-1278
- [3] Alphen, K., Sark, G.J.H.M., Hekkert, M., Renewable Energy Technologies in Maldives-determining the potential, Renewable and Sustainable Energy Reviews
- [4] Beccali, M., Brunone, S., Cellura, M., Franzitta, V., Energy, economic and environmental analysis on RET-hydrogen systems in residential buildings, Renewable Energy 33 (2008), 366-382

- [5] Rehman, S., El-Amin. I.M., Ahmad, F., Shaahid, S.M., Al-Shehri, A.M., Bakkashwain, J.M., Shash, A., 2005., Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [6] Khan MJ, Iqbal MT. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. Renew Energy 2005;30:835–54.
- [7] Dalton, G.J., Lockington, D.A., Baldock, T.E., Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel, Renewable Energy 33 (2008), 1475-1490
- [8] Garde, R., Aguado, M., Ayerbe, E., Azcarate, C., Blanco, R., Mallor, F., Rivas, D., Economical assessment of a wind-hydrogen energy system using WindHyGen software, Int Journal of Hydrogen Energy 34 (2009).
- [9] Zoulias EI, Glockner R, Lymberopoulos N, Tsoutsos T, Vosseler I, Gavalda O, Mydske HJ, Taylor P., Integration of hydrogen energy technologies in stand-alone power systems analysis of the current potential for applications. Ren Sust Energy Rev 2006;10(5):432–62.
- [10] Zoulias E.I., Lymberopoulos, N., 2006. Techno – economic analysis of the integration of hydrogen energy technologies in renewable energy-based stand-alone power systems, Renewable Energy.
- [11] Lilienthal, P., Givler, T., Using HOMER Software, NREL’s Micropower Optimization Model, to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems, NREL Technical Report, Case Study: Sri Lanka, Power-Gen Conf. 2006.
- [12] Leva, S., Zaninelli, D., Hybrid renewable energy-fuel cell system: Design and performance evaluation, Electric Power System Research 79 (2009), 316-324.
- [13] Lagorse, J., Paire, D., Miraoui, A., Sizing stand - alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery, Renewable Energy 34 (2009), 683-691.
- [14] Levene, J., Kropski, B., Sverdrup, G., 2006. Wind Energy Production of Hydrogen and Electricity-Opportunities for Renewable Hydrogen, POWER-GEN Conference paper
- [15] Wen, C., Lin, Y., Lu, C., Performance of a proton exchange membrane fuel cell stack with thermally conductive pyrolytic graphite sheets for thermal management, Journal of Power Sources 189 (2009).
- [16] <http://www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm>.
- [17] Shaahid, S.M., Elhadidy, M.A., 2006. Technical and economic assessment of grid- independent hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments, Renewable and Sustainable Energy Reviews
- [18] Gökçınar, R.E; Uyumaz, A., 2008, Rüzgar Enerjisi Maliyetleri ve Teşvikleri, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’08, 17-19 Aralık 2008.