



# Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri

Sunay Türkdogan<sup>1\*</sup>, Muhammet Talha Mercan<sup>2</sup>, Tuğçe Çatal<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9690-325X)

<sup>2</sup> Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 11 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.688048)

**ATIF/REFERENCE:** Türkdogan, S., Mercan, M. T. & Çatal, T. (2020). Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.

## Öz

Bu çalışmada 40 haneli 160 kişiden oluşan bir topluluğun şebekeden bağımsız bir şekilde elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılamak için çeşitli hibrit enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Ortalama 320 kWh/gün elektrik ve 142,47 kWh/gün termal yük ihtiyaçlarının karşılanması ve bu amaç için kurulacak enerji sistemlerinin üreteceği enerjinin birim fiyatının gerçeğe yakın bulunabilmesi için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı değerlerine yakın parametrelere sahip Manisa'nın Gördes bölgesi seçilmiştir. İleriki aşamalarda ise tüm Türkiye coğrafyasına hitap edebilmesi ve en uygun sistemin belirlenebilmesi için çeşitli parametreler (dizel fiyatı, jeneratör çalışma yükü, jeneratör atık ısı kullanımı, rüzgâr türbini kule yüksekliği, vb...) değiştirilerek hassasiyet analizleri yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar sonunda şebekeden bağımsız şekilde tasarlanarak sistemlerden elde edilebilecek enerjinin birim maliyet fiyatının bölgeye göre değişiklik gösterdiği ve \$0,151/kWh-\$0,198/kWh arasında değiştiği tespit edilmiştir. Şebekeden bağımsız sistem haricinde enerji nakil hatlarının uzatılması durumunda ilgili topluluğun enerji ihtiyacının karşılanması ve termal yük ihtiyacının elektrik enerjisiyle sağlanması gibi durumlar da incelenmiştir. Bu çalışma yenilenebilir enerji alanında kurulabilecek enerji sistemlerine iyi bir örnek teşkil edip özellikle ülke olarak bu alanda büyük bir potansiyele sahip olduğumuzu göstermekte ve diğer araştırmacıların da bu alanda çalışma yapmalarını teşvik edici özellikte olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit Enerji Sistemleri, Yenilenebilir Enerji, Enerji Maliyeti, HOMER

## Meeting the Electrical and Thermal Load Demands of a 40-Household Community Using Off-Grid Hybrid Energy Systems: Technical and Economic Analysis

### Abstract

In this study, technical and economic analyses of various off-grid hybrid energy systems were investigated to meet the electric and thermal load demands of a group of 160 people within 40 household. HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) program has been utilized to meet the average 320 kWh/day electricity and 142.47 kWh/day thermal load requirements and to find the unit price of the energy generated by different hybrid energy systems. In the first study, the Gördes region of Manisa, which has

\* Sorumlu Yazar: Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9690-325X, [sunay.turkdogan@yalova.edu.tr](mailto:sunay.turkdogan@yalova.edu.tr)

parameters close to the average solar radiation and wind speed values of Turkey, was selected. In the future stages, various parameters (diesel price, generator working load, generator waste heat usage, wind turbine tower height, and etc.) were modified and sensitivity analyses were made to figure the most appropriate system in different regions of TURKEY. At the end of all these studies, it was determined that the unit price of the energy varies by region and lies between \$0.151/kWh-\$0.198/kWh. The cases for grid extension and meeting the thermal energy needs by direct electricity were also examined. This study is a good example of the energy systems utilizing renewable energy and shows that we as an entire country have a great potential in this field and is thought to encourage other researchers to work in this world saving field.

**Keywords:** Hybrid Energy Systems, Renewable Energy, Energy Cost, HOMER.

## 1. Giriş

Enerji kaynakları yüzyıllardır insanlığın en önemli araştırma konularından biri olmuştur. İnsanların enerji kaynakları olan ilgisiz ve ihtiyacı endüstri devriminden sonra artmış ve günümüze dek sürmüştür. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Geçmiş yıllarda fosil yakıtların ekonomik olarak uygunluğu, üretim sistemlerinin gelişmesi ve yaygınlaşması nedeniyle kullanımları en üst seviyede olmuştur. Kömürle başlayan fosil yakıt kullanımı daha sonra petrol ve doğal gaz'ın da eklenmesiyle daha yaygın hale gelmiştir. Ancak, 20. yüzyılın sonlarına doğru çıkan petrol krizi bu kaynaklara olan güveni azaltmıştır. Ayrıca fosil yakıtların ömrünün azalması ve tükenecek olması ciddi bir problem açığa çıkarmıştır. Tüm bunlarla birlikte fosil yakıtların çevreyi olumsuz yönde etkilemesi, küresel ısınma ve çevre kirliliğine neden olması yenilenebilir enerji kullanımını arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenme gibi bir probleminin olmaması, dünya üzerinde birçok yenilenebilir enerji kaynağının homojen olarak dağılması, yenilenebilir enerjiyi popüler hale getirmiştir [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit bir sistem içinde bir arada kullanılması birçok açıdan olumlu özellikler barındırmaktadır. Güneş enerjisinin sadece gündüz saatlerinde olması, rüzgârın sürekli olmaması bu sistemlerin bağımsız kullanılmasını kısıtlamakta veya yüksek kapasitelerde kurulum depolama yapması sağlanarak enerji üretmediği durumlarda depolanan enerjinin kullanılması sağlanabilmektedir [2]. Yenilenebilir enerji sektörüne öncülük eden rüzgâr ve güneş enerjisinin hibrit enerji sistemlerinde birlikte kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Hibrit sistemlerde rüzgâr ve güneş enerjisinin yanında dizel jeneratör sisteminin kullanılması da enerjinin sürekli olmasını ve gereksiz kapasitede güneş veya rüzgâr enerjisi kurulumunu engeller ve enerji birim maliyet fiyatını düşürür [3].

Bu çalışmada 40 haneden oluşan 160 kişinin yaşadığı bir topluluğun hem elektrik ihtiyacının hem de termal yük ihtiyacının şebekeden bağımsız bir şekilde karşılanabileceği bir hibrit enerji sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Meskenin elektrik yükü ve termal yük ihtiyaçları hesaplanmış ve seçilen bölgenin meteorolojik verileri kullanılarak HOMER programında hibrit enerji sistemi modeli oluşturulmuştur. Bu sistem, Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı değerlerine yakın parametrelere sahip ve 21. yüzyıl Türkiye'sinde çeşitli bürokratik süreçlerden kaynaklı şebeke bağlantısına ulaşamayan Manisa'nın Gördes bölgesinin verileri kullanılarak modellenmiştir. Hedef bölge haricinde aynı sistemin farklı bölgelerde uygulanabilirliğini tespit etme amacıyla güneş radyasyon değerlerini ve ortalama rüzgâr hızlarını değiştirerek uygulanabilirliği incelenmiştir. Oluşturulan sistemin maliyet analizleri yapıldıktan sonra sistemin optimize edilmesi için jeneratörün farklı çalışma yüklerinde devreye alınması, jeneratörün atık ısısının kojenerasyon sistemiyle kullanılması, rüzgâr türbini gövde yüksekliğinin artırılması, dizel fiyatının artması gibi parametreler kullanılarak hassasiyet analizleri yapılmıştır. Termal yük kontrolörü ve batarya kullanımının sisteme hem ekonomik hem de teknik olarak etkileri araştırılmıştır. Tüm optimizasyonlar yapıp hassasiyet analizleri incelendikten sonra maliyetin ne kadar düşürülebileceği yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hibrit Sistem Girdileri

#### 2.1.1. Proje Uygulama Yeri

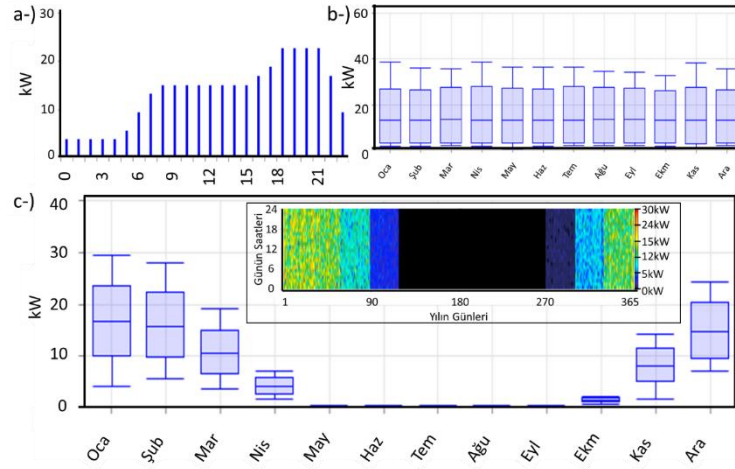
Projenin ilk uygulanma yeri Türkiye'de Ege bölgesinde bulunan Manisa ilinin Gördes (38°56' N 28°18' E) ilçesidir [4]. Araştırmalar 40 hane 160 kişiden oluşan bir topluluk için yapılmıştır.

#### 2.1.2. Elektrik ve Termal Yük Yapısı

4 kişilik bir ailenin günlük ortalama elektrik tüketimi TEİAŞ tarafından yapılan çalışmada yaklaşık olarak 8 kWh olarak bulunmuştur [5]. 40 hanenin günlük 8 kWh'ten toplam günlük ihtiyacı 320 kWh'tir. Bir meskende elektrik tüketiminin akşam saatlerinde daha yüksek olması beklenmektedir. Bu çalışmada HOMER programında ön tanımlı olan topluluk yük profili kullanılmıştır (Şekil 1a). Topluluğun günlük elektrik tüketimi 320 kWh olup gün içerisindeki tepe güç değerinin 38,62 kW olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1b).

Kurulacak olan sistem sadece elektrik yük ihtiyacını değil aynı zamanda meskenin termal yük ihtiyacını karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bir evin ortalama ısı kaybının metrekare başına 13 kWh olduğu belirlenmiş [6] ve bir evin 100 metrekare olduğu varsayarak bir evin yıllık ısı kaybı 1300 kWh olarak bulunmuştur. Toplulukta 40 hane olduğundan yıllık termal enerji ihtiyacının 52000 kWh olduğu bulunmaktadır. Ancak meskenin ısı ihtiyacı elektrik yükü gibi sabit değil, yıl içerisinde mevsim koşullarına göre değiştiği bilinmektedir. Isı ihtiyacının büyük bir kısmının kış aylarında olduğu yaz aylarında ise ısıtma ihtiyacı olmadığı için termal

yük profili belirlenmiş ve Şekil 1c' deki gibi sisteme girilmiştir. Termal yük ihtiyacının %24,13'ü Ocak, %20,92'si Aralık, %20,59'u Şubat, %14,94'ü Mart, %11,63 Kasım, %5,8'i Nisan, %1,98'i ise Ekim aylarında olduğu hesaplanmıştır. Kalan aylarda ısı kaybı olmadığı için termal yük ihtiyacı sıfır olarak kabul edilmiştir [7]. Sistemin yıl içerisindeki saatlik termal yük verileri Şekil 1c içerisinde verilmiştir.

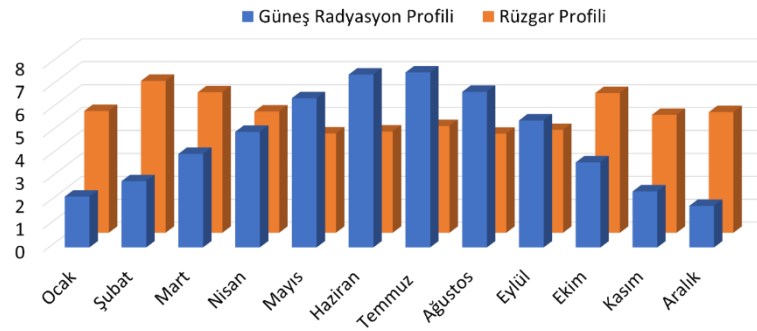


Şekil 1. Elektrik Tüketiminin (a) ün içerisinde saatlik, (b) aylık yük profilleri (c) aylık termal yük profili (İnset: yıllık termal yük profili)

### 2.1.3. Bölgenin Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapacak olan güneş panellerinin üretebileceği enerji miktarı bölgenin meteorolojik verileri ile doğru orantılıdır. Bölgenin solar enerji verileri HOMER programına entegre edilmiş olan NASA'nın veri tabanından alınmıştır. İlgili veriler Temmuz 1983-Temmuz 2005 yılları arasında 22 yıllık ölçümler sonucu elde edilmiş ve ortalaması alınarak belirlenmiştir [8]. Şekil 2' de görüldüğü gibi bölgenin solar enerji potansiyeli yaz aylarında fazlayken kış aylarında azalmakta ve yıl geneli ortalama günlük solar enerji potansiyeli 4,66 kWh/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri çok yüksek olduğundan kurulacak bölgenin rüzgâr hızı profili çok önemlidir. Bölgenin rüzgâr hızı profili yine NASA veritabanından alınmış ve ortalama 5,16 m/s olduğu gözlemlenmiştir [8]. Veritabanındaki rüzgâr hızı verileri 50m yükseklikte 1983-1993 yılları arasında yapılan 10 yıllık ölçümlerin ortalamasıdır. Bölgenin rüzgâr hızı profili Şekil 2'de gösterilmiş ve kış aylarında solar enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda rüzgâr enerjisinin tamamlayıcı enerji kaynağı olacağı ve ikisinin beraber sinerjik etki göstereceği aşikârdır. Birbirini tamamlayıcı özellik göstermesinden dolayı da hibrit sistemlerde en çok kullanılan enerji kaynakları olmuşturlar.



Şekil 2. Aylık ortalama solar radyasyon (kWh/m<sup>2</sup>/gün) ve rüzgâr hızı (m/s) profil verileri.

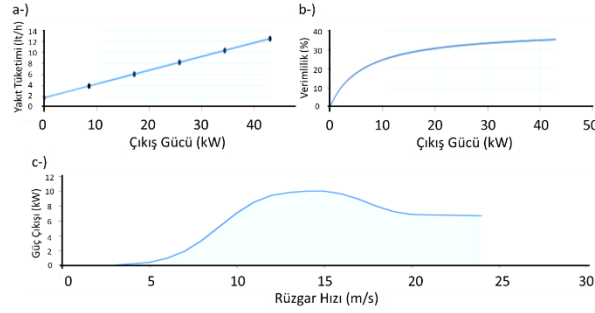
## 2.2. Kullanılan Komponentler

### 2.2.1. Dizel Jeneratör

Yapılan araştırmalara göre dizel jeneratörlerin kW başına 250\$-500\$ arasında bir maliyeti olduğu görülmüştür [3]. Bu projede kullanılan dizel jeneratör için 300 \$/kW maliyet değeri baz alınmıştır. Dizel jeneratörlerin fiyatı kapasitesi arttıkça ters orantılı olarak düşmektedir ve daha büyük kapasiteli jeneratörlerin kW başına maliyeti azalmaktadır. Hibrit enerji sisteminde kullanılan jeneratörün yakıt tüketimi ve verimlilik eğrileri Şekil 3a-b' te verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi jeneratörün etiket değerine yakın değerlerde kullanılması verimliliğin artmasına neden olmakta ve kW başına tüketilen yakıt miktarı azalmaktadır. Bu çalışmada dizel yakıtın fiyatı 1,2\$ alınmıştır [9].

### 2.2.2. Rüzgâr Türbini

Birim enerji maliyetinin düşürülmesi için en uygun sistemlerden biri rüzgâr türbini sistemidir. Ancak kurulum maliyeti yüksek olduğu için düşük kapasiteli rüzgâr santrali sistemleri fiyat bakımında elverişli değildir. Yapılan araştırmalarda rüzgâr türbini sisteminin kurulum maliyeti kW başına 2500\$ [11] olduğu görülmüştür. Sistemde kullanılan rüzgâr türbini 10 kW güce sahip olup kurulum maliyeti 25000\$'dır. Kurulum maliyetinin yanında değişim maliyeti 25000\$ ve bakım maliyeti 400\$/yıl olarak belirlenmiştir. İlgili rüzgâr türbine ait güç/hız eğrisi Şekil 3b' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Dizel jeneratöre ait a-) yakıt tüketim ve b-) verimlilik eğrileri. c-) Rüzgâr tribününe ait güç-hız eğrisi.

### 2.2.3. Güneş Paneli

Güneş panelleri herhangi bir hareketli aksana gerek kalmadan güneş ışınlarından doğrudan elektrik enerjisi üretmeye yarar ve güneş enerjisi tüm dünyanın enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilecek en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Sistemde kullanılan panel HOMER programındaki entegre panellerden bir tanesi olup önemli olan parametre watt başına maliyet bilgisidir. Güneş paneli fiyatları günümüzde watt başına 45 cent [10], güneş paneli sistemlerinin kurulum maliyetleri ise 1000 \$/kW civarlarında olup yapılan hesaplamalarda da bu değerler baz alınmıştır [11].

### 2.2.4. Batarya

Bataryalar aldığı elektrik enerjisini kimyasal formda depolayabilen elektro kimyasal elemanlardır ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen enerjinin kullanım fazlasının daha sonra kullanılma amacı ile depolanmasını sağlar. Sistemde 1 kWh kapasiteye sahip lityum iyon bataryalar kullanılmış olup maliyet değerler 1 kWh başına 200\$ olarak alınmıştır [12]. Kullanılacak olan batarya sayısı önemli oranda etkileyen deşarj derinliği yüzdesi ise %80 olarak alınmıştır.

### 2.2.5. Termal Yük Kontrolörü

Termal yük kontrolörü (Thermal Load Controller-TLC) termal yük sistemiyle elektrik yükü sistemi arasında bağlantı kurar. Elektrik sisteminde üretilen fazla enerjiyi termal yük barasına aktarır ve böylece ısınma amaçlı fazla enerji kullanımının önüne geçmiş olur. Termal yük kontrolörünün kW başına maliyeti HOMER programında verilen 200\$ esas alınarak hesaplama yapılmıştır.

### 2.2.6. Kazan

HOMER kazan (boiler) sistemini termal yükün ihtiyacını karşılamak için kullanır ve enerji kaynağı olarak dizel yakıt tüketilir. Sistemde kullanılan kazanın verimi %85 olarak girilmiştir.

## 2.3. Ekonomik Analiz Girdileri

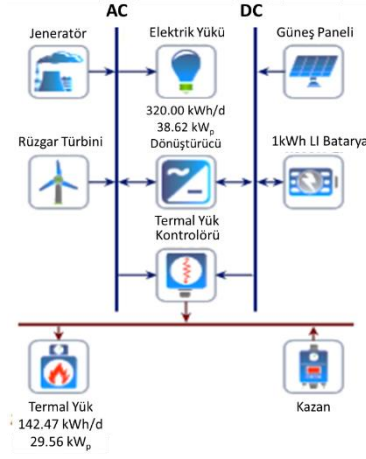
HOMER programı maliyet hesaplamaları yaparken yıllık gerçek faiz oranını kullanılır. Gerçek faiz oranı güncel faiz oranı ve enflasyon oranları kullanılarak bulunur. Yıllık gerçek faiz oranı aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$i=(i'-f)/(1+f) \quad (1)$$

burada, i yıllık gerçek faiz oranını, f yıllık enflasyon oranı, i' güncel faiz oranıdır. Bu çalışmada güncel faiz oranı %12 ve enflasyon oranı %10,50 olarak alınmıştır. Bu verilerden gerçek faiz oranının %1,36 olduğu bulunmuştur [13].

## 2.3. Hibrit Sistem Modeli

Bu çalışmada Manisa'nın Gördes ilçesinde şebekeden bağımsız bir hibrit sistemin HOMER programı ile simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonda en uygun sistemle birlikte diğer sistemlerin de enerji maliyeti ve net şimdiki maliyet değerleri bulunmuştur. Sonrasında ise ana sistem üzerinden hassasiyet analizleri ve optimizasyonlar yapılarak en uygun sistemin bulunması sağlanmıştır. Sistemde optimizasyon yapılırken dizel fiyatı, jeneratörün çalışma gücü aralıkları, jeneratörün kojenerere sistem olarak kullanılması, sistem yüklerindeki değişimler, rüzgâr türbinin kule yüksekliği ve farklı bölgelerde sistemin karşılaştırılması için güneş radyasyon değerleri ve rüzgâr hızları değiştirilmiştir. Tasarlanan hibrit sistemin şematik görünümü Şekil 4' teki gibi olup hem elektrik yük ihtiyacının hem de termal yük ihtiyacının karşılanmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan hibrit sistem modeli.

### 3. Çalışma Sonuçları ve Tartışma

Yapılan simülasyonlar neticesinde bölgeye kurulabilecek birçok sistem geliştirilmiştir. Tablo 1’de bulunan en uygun 8 sistemin sonuçları verilmiştir. Sonuçlar bulunurken bölgenin meteorolojik verileri kullanılmış, dizel fiyatı 1,2\$ alınmış, rüzgâr türbini yüksekliği 24 m kabul edilmiş, jeneratörün sadece elektrik üretimi yaptığı kabul edilmiş, jeneratörün devreye girme yükü %25 olarak alınmış ve sistem yüklerinin değişmeyeip sabit kaldığı durumlar incelenmiştir.

Tablo 1. Simülasyon sonucu açığa çıkan hibrit enerji modelleri listesi.

Architecture										Cost			System	
	PV (kW)	G10	Gen (kW)	1kWh LI	TLC (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	
	114		44,0	297	100	40,0	LF	\$0,198	\$643.674	\$20.153	\$218.861	64,5	10.462	
	107	1	44,0	267	100	38,8	LF	\$0,198	\$644.871	\$19.670	\$230.225	65,4	10.046	
		7	44,0	159	100	24,9	CC	\$0,445	\$1,25M	\$47.712	\$247.465	24,3	29.406	
			44,0	123	100	21,1	CC	\$0,520	\$1,44M	\$65.118	\$64.128	0	45.156	
	112		44,0		100	19,9	CC	\$0,623	\$1,69M	\$73.036	\$151.433	18,6	44.764	
	105	1	44,0		100	19,9	CC	\$0,630	\$1,71M	\$73.013	\$169.435	20,4	44.219	
		6	44,0		100		CC	\$0,660	\$1,78M	\$75.894	\$183.200	15,3	45.278	
			44,0		100		CC	\$0,663	\$1,79M	\$83.285	\$33.200	0	53.566	

Simülasyon belirlenen parametreler dahilinde bölgedeki en uygun sistemlerinin analizini yapar. Yapılan simülasyonda en uygun birim enerji maliyeti 0,198\$ olarak bulunmuş ve iki farklı sisteme ait aynı değer elde edilmiştir. Birinci sistem rüzgâr türbini kullanmazken ikinci sistem rüzgâr türbini kullanmaktadır. İlk sistemde 114 kW’lık güneş paneli, 44 kW’lık dizel jeneratör, 297 kWh’lık batarya depolama sistemi, 100 kW lık termal yük kontrolörü ve 40 kW’lık dönüştürücü kullanılmıştır. İkinci sistemin tek farkı rüzgâr türbininin eklenmiş olmasıdır ve bu eklenme güneş panellerinin kurulum gücünü 107 kW’a, batarya sistemini 267 kWh’a düşürmüştür ancak yenilenebilir enerji faktörünü %64,5’ten %65,4’e çıkarmıştır. Rüzgâr türbinin eklenmesiyle kışın güneş panellerinin üretilmediği elektriği rüzgâr türbini üretmiş ve jeneratörün çalışma yükünü azaltarak yakıt tüketiminin 10462 lt’ den 10046 lt’ ye düşmesini sağlamıştır. Sistemin tek dezavantajı ise rüzgâr türbinin kurulum maliyetinin yüksek olması sebebiyle ilk yatırım maliyeti artmış olmasıdır. Buna karşın Tablo 2’ de görüldüğü gibi emisyon değerlerinde %3,98’lik azalma görülmüştür. Sistemin yatırım maliyetine yapılacak bir miktar eklemeye kurulabilecek sistem çok daha çevreci olacak olup emisyon salınımlarını azaltacak ve aynı enerji maliyeti ile enerjinin üretilmesi sağlanacaktır. Sürdürülebilir bir dünya için bu ve bunun gibi eklemeler tüm sistemler için her daim düşünülmelidir.

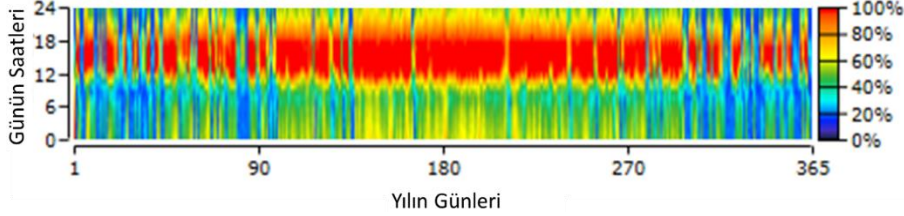
Tablo 2. En uygun hibrit enerji sistemlerinin emisyon değerleri karşılaştırması.

	1. Sistem (Birimler: kg/yıl)	2. Sistem (Birimler: kg/yıl)
Karbon Dioksit	27.544	26.455
Karbon Monoksit	79,5	73,4
Yanmamış Hidrokarbon	3,47	3,2
Patikül Madde	0,482	0,445
Sülfür Dioksit	67,9	65,2
Nitroz Oksit	74,7	69

#### 3.1. Batarya Kullanılmasının Sisteme Etkileri



Normal şartlarda batarya banklarının kullanılması sistem maliyetini önemli oranda arttıracakı düşünülerek tercih edilmezler. Ancak yapılan simülasyonlar sonucunda batarya kullanımının özellikle şebekeden bağımsız sistemlerde maliyete pozitif yönde etki ettiği görülmektedir. Güneş yoğunluğunun ve rüzgâr hızlarının yıl boyunca genele yayılmaması bataryasız sistemlerde jeneratörün kullanım sıklığını arttırmaktadır. Batarya kullanılan sistemlerde birim enerji maliyeti 0,198\$'a kadar düşerken bataryasız sistemlerde birim enerji maliyetinin 0,623\$ olduğu Tablo 1'de görülmektedir. Maliyetin yanı sıra bataryasız sistemlerin yenilenebilir enerjinin oranı %64,5'ten %18,6'a düşmüş ve beraberinde çevreye salınan zararlı gazların %428,55 oranında artmasına neden olmuştur. Alışılmışın aksine batarya depolama sisteminin hem maliyeti düşürdüğü hem de emisyon oranlarında ciddi düşüşe neden olduğu görülmüştür. Şekil 5 batayaların yıl içerisindeki şarj durumunu saatlik olarak göstermekte ve ne kadar aktif kullanım olduğu görülmektedir. Görüleceği gibi güneş ışınlarının yoğun olduğu öğle saatleri batarya bankları %100 dolu olup günün diğer saatlerinde yüklerin beslenmesinde kullanılmaktadır.



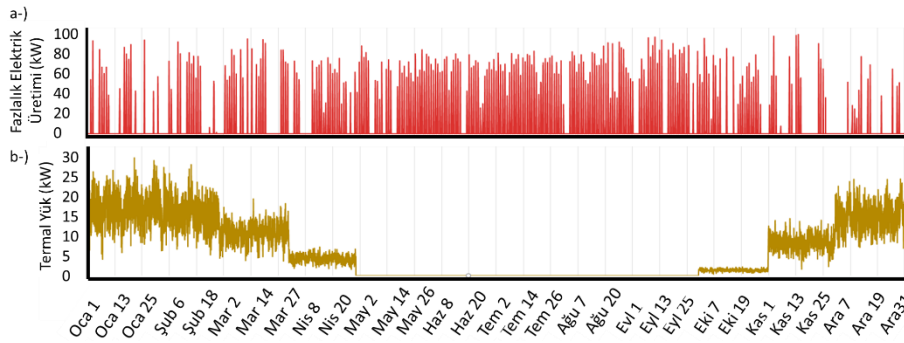
Şekil 5. Yıl boyunca saatlik batarya banklarının doluluk oranı.

### 3.2. Jeneratörün Farklı Çalışma Yüklerinin Sisteme Etkisi

Yapılan simülasyonda hassasiyet analizi olarak jeneratörün devreye girme yükü %25, %50, %75 olarak 3 ayrı kategoride incelenmiş ve dizel fiyatının zamanla artarak 1,2\$,-1,3\$,-1,4\$,-1,5\$ değerlerinde olabileceği varsayılmıştır. Simülasyon sonucunda jeneratörün sadece %75 yükten fazla çalışması durumunda birim enerji maliyetinin 0,183\$/kWh seviyelerine kadar indiği görülmüştür (tüm yüklerde kullanım halinde: 0,198\$/kWh). Ayrıca jeneratör sürekli yüksek yüklerde çalıştığı için çalışma verimi de sürekli yüksek seviyelerdedir. Jeneratörün yüksek verimlerde çalışması daha az yakıt tüketmesini sağlamaktadır. Jeneratör tüm yüklerde devreye girdiğinde ortalama 12,9 kW gücünde çalışmıştır. Yıllık 4744 Litre yakıt harcamayarak 12461 kWh elektrik üretimi yapmıştır. Jeneratörün ortalama verimi ise %26,7'de kalmıştır. Ama jeneratör minimum %75 kapasitede ortalama 33 kW gücünde çalışarak %33,7 verimlilik yakalamıştır. Yakaladığı bu verimlilikle hem yıllık 439 Litre daha az yakıt harcamış hem de 1795 kWh daha fazla elektrik üretimi yapmıştır. Jeneratörün verimli kullanılması fazla elektrik üretimini de etkilemiştir. Verimli çalışma ile yaklaşık 4000 kWh daha az fazla elektrik üretilmiştir. Ayrıca çevreye yaymış olduğu zararlı gazların %9,25 oranında azaldığı görülmüştür. Dizel fiyatı 1,4\$ seviyesini geçtiğinde sisteme rüzgâr türbini eklenmesi gerektiğini ortaya çıkmıştır.

### 3.3. Termal Yük Kontrolünün Sisteme Etkisi

Termal yük kontrolörü sistemin ürettiği fazla elektriğin 9510 kWh' lik kısmını geri kazandırarak termal yüke katkı sağlamış, böylece kazanın daha az üretim yapmasını sağlayarak çevreye salınan zararlı gaz emisyonunu %16,73 oranında azaltmıştır. Sistemimizdeki ana güç üreticimiz fotovoltaik paneller olduğundan yaz aylarında daha fazla enerji üretilerek fazlalık enerjinin yaz aylarında birikmesine neden olmaktadır. Buna karşın termal yük ihtiyacımız kış aylarında yükselmekte ve bundan dolayı fotovoltaiklerin ürettiği fazla enerjinin termal yük kontrolörü tarafından kullanılması özellikle yaz aylarında mümkün olmamaktadır. Şekil 6 yıl içerisinde üretilen fazlalık elektriğin ve termal yük ihtiyacını göstermektedir. Sistemin verimli kullanılabilmesi için özellikle Mayıs-Ekim ayları arasındaki üretilen fazlalık enerjinin farklı soğutma sistemlerinde kullanılması yaz aylarında soğutma için harcanan enerji miktarında önemli oranda azalmaya neden olur.

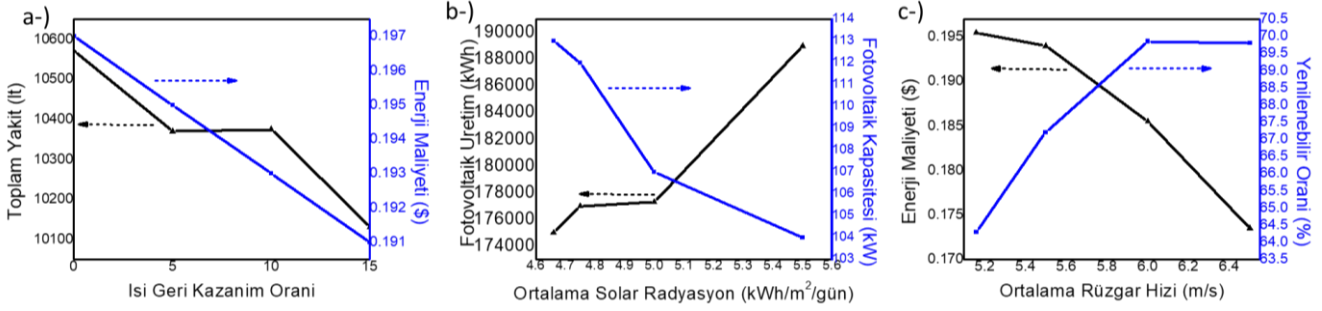


Şekil 6. Yıllık a-) fazla elektrik üretimi b-) termal yük profili grafikleri.

### 3.4. Jeneratörün Kojenerasyon Sistemi İle Atık Isısının Kullanılması

Jeneratörler elektrik üretimi yaparken kayıpların büyük kısmını ısı kayıpları oluşturur. Bu ısı kayıpları kojenerasyon sistemiyle ısı enerjisi olarak kullanılabilir. Kullanmış olduğumuz benzetim programı jeneratörün elektrik üretimi sırasında açığa çıkardığı ısıyı termal yükte kullanmak üzere geri kazanabilir. Yapılan simülasyonda ısı geri kazanım oranı %15' lere kadar artırılarak sisteme olan etkileri incelenmiştir. Jeneratörün ısı geri kazanım oranı arttıkça kazan yakıt tüketiminin yıllık 500 lt azaldığı görülmüştür. Tüketilen yakıt miktarındaki azalmanın yanı sıra CO2 ve SO2 emisyonlarında da %4,4' e varan düşüşler gözlemlenmiştir. Azalan yakıt

tüketimiyle beraber birim enerji maliyeti de azalmış ve 0,191\$' a kadar düşmüştür. Jeneratör ısı kazanım oranının birim enerjiye ve yakıt kullanımına etkisi Şekil 7a'da gösterilmiştir.



Şekil 7. a-)Jeneratör ısı kazanım oranının yakıt kullanımı ve birim enerji maliyetine etkisi. b-) Güneş radyasyonunun fotovoltaik enerji üretimine ve fotovoltaik kapasitesine etkisi c-) Ortalama rüzgâr hızının enerji maliyeti ve yenilenebilir enerji oranına etkisi.

### 3.5. Lokasyona Bağlı Solar Radyasyonun Sisteme Etkisi

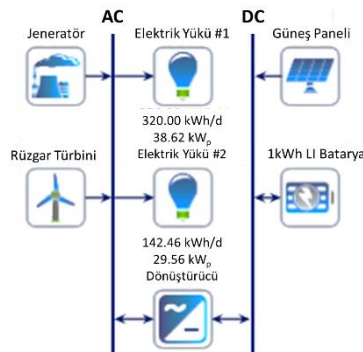
Simülasyonu yapılan hibrit sistem daha önce de bahsedildiği gibi Türkiye'nin güneş ve rüzgâr olarak ortalama potansiyeline sahip bir bölgesinde yapılmıştır. Aynı sistemin solar radyasyon açısından daha iyi konumda olan bölgelerde kullanılması durumunda ekonomik ve teknik parametrelerde nelerin değişeceğini tespit etmek için ortalama solar radyasyon olarak 4,66-4,75-5 ve 5,5 kWh/m<sup>2</sup> değerleri girilerek hassasiyet analizleri yapılmıştır. Yapılan simülasyonda günlük güneş radyasyon ortalaması arttıkça panellerin daha verimli çalıştığı, daha az paneller daha çok elektrik üretildiği ve birim enerji maliyetinin 0,179\$'a kadar düştüğü Şekil 7b'de gösterilmiştir. Kış radyasyonunun artması sonucunda termal yük kontrolörü kışın da fazla elektriği kullanabileceğinden termal yüke daha fazla katkı sağlayabilecektir. Bu sayede kazanın çalışması azalarak yakıt tüketimini düşecek ve emisyon değerlerinde azalma meydana gelecektir. Tüm bunların yanı sıra sistemin yenilenebilir enerji oranı da %66,5' lere kadar çıkacaktır. Bu artış jeneratörün etkinliğinin azalıp güneş panelleri etkinliğinin arttığını ve bu sayede atmosfere salınan zararlı gazların azaldığını göstermektedir.

### 3.6. Ortalama Rüzgâr Hızının Sisteme Etkisi

Solar radyasyonda olduğu gibi simülasyonu yapılan sistemin daha fazla rüzgâr alan farklı bir bölgede kurulması durumunda sistem parametrelerinde meydana gelecek değişikliklerin tespiti için ortalama rüzgâr hızının 5,16-5,5-6 ve 6,5 m/s olması durumları incelenmiştir. Ortalama rüzgâr hızının yaklaşık 5,2 m/s'nin üzere çıktığı zamanlarda rüzgâr türbinin aktif kullanımı birim enerji maliyetini düşürmektedir. Birim enerji maliyeti sabit kule yüksekliği ve sabit dizel fiyatında 0,174\$'a kadar düşmüş ve yenilenebilir enerji üretim oranı %71,8' e kadar çıkmıştır. Yenilenebilir enerji oranının artması zararlı gazların salınımını %10-15 oranında azaltmıştır. Rüzgâr hızı güneş radyasyonuna nazaran yıl boyunca daha orantılı olup rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerjinin yıl boyunca çok fazla değişmemesini sağlamaktadır. Termal yük kontrolörü kış aylarında solar panelden alamadığı fazla elektrik enerjisini rüzgâr türbinlerinde almakta, bu da hem jeneratör elektrik üretiminin azalması hem de kazanın daha az termal enerji oluşturmamasını önleyerek emisyon oranlarında ciddi düşüşlere neden olmaktadır. Ortalama rüzgâr hızının 6,5 m/s, kule yüksekliğinin ise 40 metreye çıkarılması birim enerji maliyetini 0,166\$'a kadar düşürmüştür. Rüzgâr hızı ve kule yüksekliğinin sisteme etkisi ve enerji maliyetinin değişimi Şekil 7c'te gösterilmiştir.

### 3.7. Termal Isı İhtiyacının Kazan Yerine Elektrikli Aletlerden Sağlanması

Şimdiye kadar incelenen sistemlerde termal ısı ihtiyacının termal yük kontrolörü (fazlalık enerji) ve kazan tarafından sağlandığı görülmüştür. Kazan sistemin karmaşık olması ve tüm evlere iletim hatlarının kurulması bazı sıkıntılara ortaya çıkarabileceğinden ısıtma ihtiyacının toprak kaynaklı ısı pompaları ve normal elektrikli ısıtıcılar tarafından karşılanması durumları da incelenerek maliyet analizleri yapılmıştır. Isı pompaları rezistanslı ısıtıcılara göre 3 katı daha verimli olup rezistanslı ısıtıcılar harcamış olduğu elektrik enerjisini doğrudan ısı enerjisine dönüştürmektedir [14-15]. Isıtma için toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığında ortalama 47,5 kWh/gün, geleneksel ısıtıcılar kullanıldığında ise 142,47 kWh/gün enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 8 termal yükün elektrik yükü olarak alınması sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi modelini göstermekte olup "Elektrik Yüğü #2" termal yükün elektrik enerjisi karşılığını ifade etmektedir.



Şekil 8. Termal yükün elektrik enerjisinden karşılanması durumunda oluşturulan HOMER modeli.

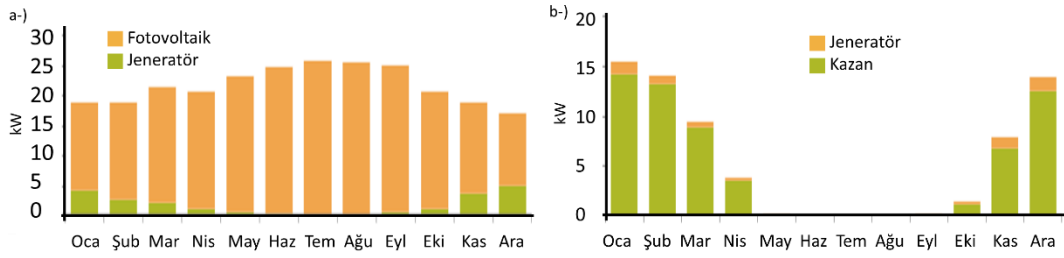
Yapılan simülasyonlar sonucunda ısıtma ihtiyacının elektrik ile karşılanması durumunda sistemin kurulu gücünün 2 katı olması gerektiği görülmüştür. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımında birim enerji maliyeti 0,218\$ iken geleneksel ısıtıcı kullanımında birim enerji maliyeti 0,248\$ olarak bulunmuştur. Toprak kaynaklı ısı pompası ve geleneksel ısıtma sistemlerinin kullanılması durumunda sistem parametrelerinin ne olacağı Tablo 3’ te görülmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımında geleneksel ısıtıcılardan elde edilen sisteme göre kurulu güç %25 oranında azalmış ve depolama ihtiyacı 531 kWh’ ten 380 kWh’e inmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımı enerji maliyetini ciddi oranda azaltmış, yenilenebilir enerji oranını %89,6’ lara çıkarmış ve kazanda üretilen enerjinin ortaya çıkardığı hava kirliliğinin de önüne geçilmiştir. Ancak toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımı her ne kadar iyimser gözükse de kazan kullanımında elde edilen enerji maliyeti seviyelerine inilememiş ve kazan sisteminin en uygun ısıtma sistemi olduğu gerçeğini ortaya koymuştur.

**Tablo 3.** Isı pompası ve geleneksel ısıtma sistemlerinin kullanılması ile elde edilen sistem verileri.

Sensitivity	Architecture								Cost				System	
Electric Load #2 Scaled Average (kWh/d)	PV (kW)	G10	Gen (kW)	1kWh Li	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
142	233	75,0	531	50,6	LF	\$0,248	\$883.710	\$24.023	\$377.306	85,7	8.752			
47,5	173	75,0	380	43,5	LF	\$0,218	\$615.258	\$15.670	\$284.928	89,6	5.285			

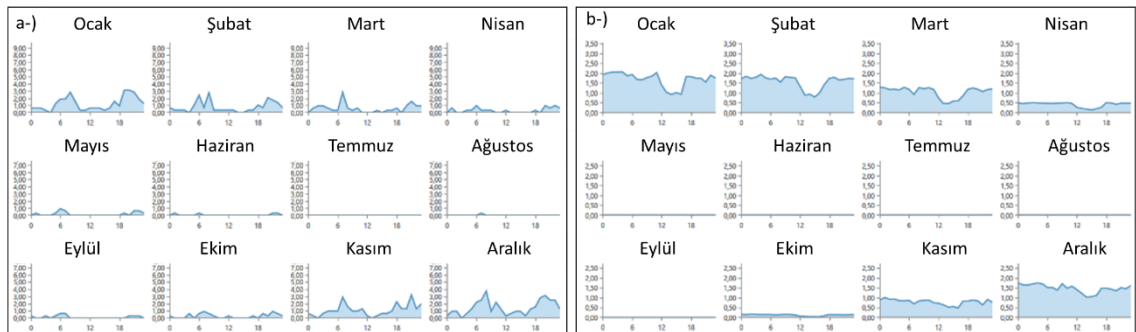
#### 4. Tüm Optimizasyon ve Hassasiyet Analizlerinin Değerlendirilmesi

Yapılan optimizasyon ve hassasiyet analizleri sonucunda sistemin daha da geliştirilebileceği açıkça ortaya konmuştur. Tüm araştırmalar sonunda maksimum verimlilikte çalışan sistemin şu özelliklere sahip olması gerektiği görülmüştür: Bataryaların etkin bir şekilde kullanılması, Jeneratörün en az %75 kapasitede çalıştırılması, Jeneratörün atık ısısından faydalanılması, Termal yük kontrolörünün (TLC) kullanılması, Kazan sistemi ile ısıtma ihtiyacının karşılanması. Tüm bu parametreler sisteme eklendiğinde sistemin birim enerji maliyetinin \$0,178 seviyelerine düştüğü görülmüştür. Elektrik üretiminin büyük bir kısmı güneş panellerinden elde edilirken jeneratörün atık ısısından faydalanılması kazanın çalışmasını azaltmış ve emisyon salınımlarını düşürmüştür. Elektrik enerjisinin ve termal enerjinin sağlanmasında kullanılan üretim metotlarının dağılımı Şekil 9’ da gösterilmiştir.



**Şekil 9.** Elektrik ve termal enerji üretiminin bileşenlere ayrılmış hali.

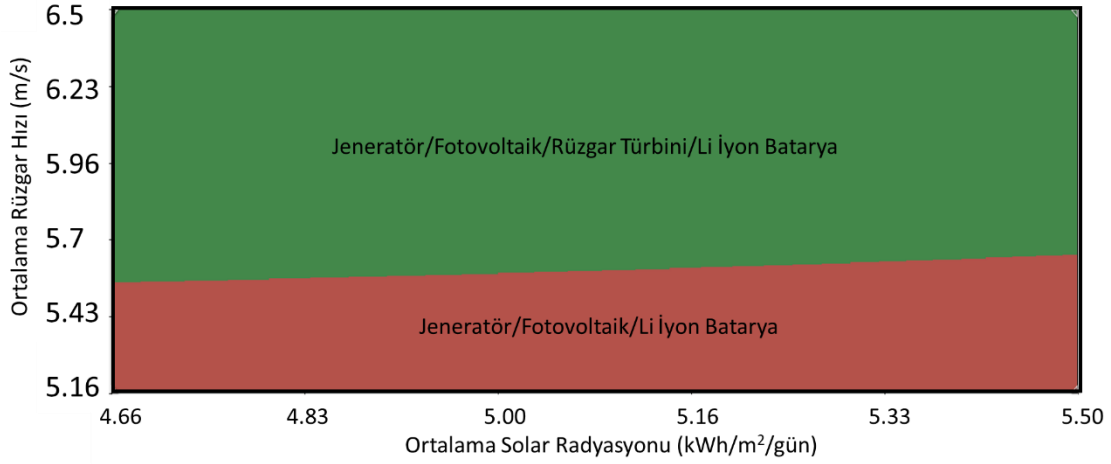
Sistemin elektrik gücünün %92,4’lük bir kısmının güneş panelleri ile sağlanması jeneratörün yaz aylarında etkin kullanılmadığını göstermektedir. Yakıt tüketiminin çoğunluğu hem kazanın hem de jeneratörün etkisiyle kış aylarında olduğu görülmüştür. Yakıt tüketiminin yaklaşık %46,4’ü jeneratör % 53,6’sı kazan tarafından kullanılmaktadır. Yıllık yakıt tüketimi Şekil 10’ da gösterilmiştir.



**Şekil 10.** Aylara göre anlık a-) Jeneratör ve b-) kazan yakıt kullanım oranları.

Yapılan araştırmalar Türkiye geneli ortalama güneş radyasyonu ve ortalama rüzgâr hızları için yapılmıştır. Ancak, Türkiye coğrafyasında ortalama rüzgâr hızının 6,5 m/s, ortalama güneş radyasyonunun ise 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/gün seviyelerine çıkabileceği konular söz konusu olabilmektedir [16,17]. Ortalama değer ile bahsedilen maksimum değerler arasında değişebilecek ortalama rüzgâr hızı ve ortalama solar radyasyon değerleriyle hassasiyet analizleri yapılmış ve Şekil 11’ deki grafik elde edilmiştir. Türkiye’de rüzgâr hızının 6,5 m/s hızlara ulaşabildiği yerlerde maliyetin rüzgâr türbinleri kullanılarak \$0,166 seviyesine indiği, güneş radyasyonunun 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/gün seviyelerine çıktığı bölgelerde ise enerji maliyetinin \$0,164 seviyelerine indiği görülmüştür. Şekil 11’ de görüldüğü gibi rüzgâr hızı 5,5 m/s seviyesine ulaştığında, sisteme rüzgâr türbini eklenmesi gerektiği görülmektedir.

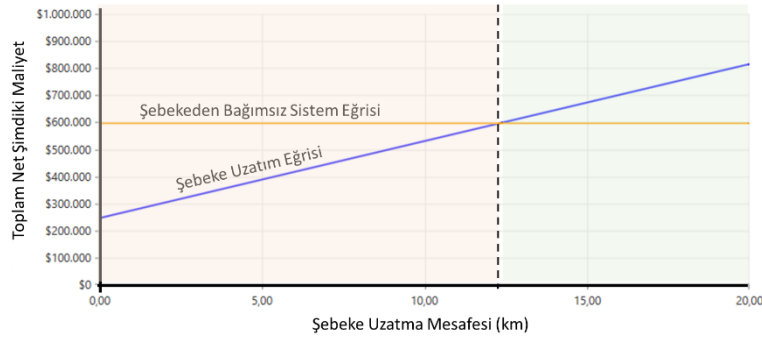




Şekil 11. Rüzgâr hızı ve güneş radyasyon değerlerine bağlı hassasiyet analiz sonucu.

Sistemin emisyon açısından değerlendirilmesi durumunda oldukça iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir. Hem jeneratör hem de kazanda aktif olarak dizel yakıtı kullanmamıza rağmen yıllık CO<sub>2</sub> salınımı 25447 kg/yıl olarak bulunmuştur. Bu değer tek başına çok gözüktüğü de Türkiye’de şebeke elektrik üretimi için salınan CO<sub>2</sub> miktarı 0,5 kg/kWh civarlarındadır [19] ve hibrit enerji sisteminin kWh başına salınım değeri sadece 0,1 kg olup şebekeye nazaran 5 kat daha az zehirli gaz salınımı yapacağı ortaya çıkmaktadır.

Sistemin yatırım maliyetleri düşünüldüğünde elektrik hatlarına kısa mesafeli konumlarda şebeke hatlarının uzatılarak elektrik enerjisi verilmesi sağlanabilir. Ancak, şebeke hatlarının km başına maliyeti ve gerekli yasal izin prosedürleri işleri zorlaştırmakta. Şebeke uzatma maliyeti ile sistem maliyeti karşılaştırıldığında 12,3 km<sup>2</sup> lik mesafeye kadar şebeke hattının uzatılması, bu mesafeden sonra ise hibrit enerji sistemin kurulmasının daha mantıklı olacağı görülmektedir. Yapılan bu karşılaştırma sadece maliyet bazlı olup çevreye salınan zararlı gazlar kesinlikle düşünülmemiştir. Tüm bunlar düşünüldüğünde mesafe ne olursa olsun yenilenebilir enerji oranının yüksek olduğu sistemler sürdürülebilir bir dünya için en iyi seçenek olmalıdır.



Şekil 12. Şebeke hattının uzatılması ve sistem maliyeti arasındaki ilişki grafiği.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada elektrik hattının ulaşamadığı veya elektriğin verilemediği bölgeler için araştırmalar yapılarak şebekeden bağımsız şekilde hem elektrik hem de ısıtma yükünün karşılanabileceği hibrit sistem analizleri yapılmıştır. Toplanan verilerin HOMER programında kullanılmasıyla farklı sistemler karşılaştırılarak simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre hibrit sistemde bataryaların etkin bir şekilde kullanılması gerektiği görülmüş, jeneratörün atık ısını kullanmanın sisteme katkıda bulunduğu açıkça gösterilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda seçilen sistemin kurulum maliyeti 215.958\$, operasyon maliyeti 18.029\$ ve tüm projenin net bugün ki maliyeti 598.958\$ olduğu hesaplanmıştır. Birim enerji maliyetinin \$0,164 seviyelerine indiği görülmüştür. Maliyetin düşmesi toplu elektrik kullanımlarında bireysel yatırımlara göre daha iyi fiyat aralığına ulaşıldığını göstermiştir. Her hanenin yaklaşık 15000 \$ yatırım yapmasıyla 25 yıllık hem elektrik hem de ısıtma ihtiyacının karşılayabileceği düşünülmektedir. Günümüz şebeke maliyeti ortalama 0,116 \$/kWh seviyelerinde olup kurulacak sistemin 25 yıllık süre boyunca hem elektrik hem de ısıtma ihtiyacının ortalama 0,164\$ seviyelerine kadar inmesi bu alanda umut var olmamızı sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle yenilenebilir enerji bileşen maliyetlerinin düşmesi, fosil yakıtların tüketimine bağlı fiyat artışıyla yakın zamanda hibrit enerji sistemlerinin ürettiği enerjinin birim maliyetinin geleneksel yolla üretilen enerjiden daha uygun olacağı gerçeğini ortaya koymaktadır.

## Kaynakça

- [1] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.

- [2] Engin, M. (2010). Bornova İçin Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2(13), 11-20.
- [3] 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.
- [4] Google Earth. (2020). Overview – Google Earth. [Online] Available At: <https://Earth.Google.Com/> [Accessed 11 Feb. 2020].
- [5] Sayfa, A. And Bilgiler, F. (2020). Türkiye’de Hane Başına Düşen Ortalama Elektrik Tüketimi Ne Kadar ?. [Online] Gazelektrik. Available At: <https://Gazelektrik.Com/Faydali-Bilgiler/Elektrik-Tuketimi> [Accessed 11 Feb. 2020].
- [6] Passivhaus-Vauban.De. (2020). Pasifev Nedir?. [Online] Available At: <https://Www.Passivhaus-Vauban.De/Passivhaus.Tr.Html> [Accessed 11 Feb. 2020].
- [7] Eser, C., Öner, F., Başoğlu, O., Bilir, L., Özcan, N. Y., & Özcan, H. G. Urla-İzmir’de Bulunan Müstakil Bir Ev İçin Bütünleşik Hibrit Sistem Analizi.
- [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](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), (26.12.2019).
- [9] <https://Www.Opet.Com.Tr/Manisa-Akaryakit-Fiyatları> [Accessed 22 Dec. 2019].
- [10] Fu, R., Feldman, D. J., & Margolis, R. M. (2018). Us Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018 (No. Nrel/Tp-6a20-72399). National Renewable Energy Lab.(Nrel), Golden, Co (United States).
- [11] Erkoç, R. (2019). Güneş Enerji Santrallerinin Modellenmesi, Ekonomik Analizi Ve Değerlendirme: Almanya Ve Türkiye Uygulamaları (Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [12] Curry, C. (2017). Lithium-İon Battery Costs And Market. Bloomberg New Energy Finance, 5.
- [13] Yılmaz, U., Demirören, A., & Zeynelgil, H. L. (2010). Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Politeknik Dergisi, 13(3), 215-223.
- [14] Energy, E. (2014). Guide To Pv Watts Derate Factors For Enphase Systems When Using Pv System Design Tools. An Enphase Energy Technical Report.
- [15] Ozdemir, M. B., & Ozkaya, M. G. (2015). Energy And Exergy Analyses Of The Vertical Type Ground-Sourced Heat Pump For Ankara Conditions. Journal Of Polytechnic-Politeknik Dergisi, 18(4), 269-280.
- [16] Mgm.Gov.Tr. (2020). Türkiye Rüzgâr Atlası - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. [Online] Available At: <https://Www.Mgm.Gov.Tr/Genel/Ruzgar-Atlasi.AspX> [Accessed 27 Dec. 2019].
- [17] Mgm.Gov.Tr. (2020). Radyasyon Mevsimler - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. [Online] Available At: [https://Www.Mgm.Gov.Tr/Kurumici/Radyasyon\\_İller.AspX](https://Www.Mgm.Gov.Tr/Kurumici/Radyasyon_İller.AspX) [Accessed 27 Dec. 2019].
- [18] Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 67-74.