



## Konya İlinde Bir Fabrikanın Enerji Talebinin Karşlanması için Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Analiz ve Tasarımı

### Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya

Abdülamed Tabak

*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya, TÜRKİYE*

**Başvuru/Received:** 15/09/2020

**Kabul / Accepted:** 26/10/2020

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 18/01/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 18/01/2021

#### Öz

Çalışmamızda Konya ilindeki bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için, şebekeye bağlı fotovoltaik (FV) güneş enerjisi sistemi, akü ve dizel jeneratörden oluşan hibrit bir sistem Çoklu Enerji Kaynakları İçin Hibrit Optimizasyonu (HOMER) yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve tasarlanmıştır. Analiz yapılırken, Konya'nın coğrafi pozisyonu, fabrikanın fiziksel ve ekonomik kısıtları gibi özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Sistemin analiz ve tasarımı yapıldıktan sonra yıllar içerisinde gerçekleşmesi muhtemel FV panellerdeki verim düşümü, yükteki artış ve elektrik kesintileri gibi durumların sisteme olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada değerlendirme kriterleri olarak net bugünkü maliyet (NBM) ve enerji maliyeti gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre fabrikanın günlük ortalama 1000 kWh olan elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için 3500 kW gücünde güneş paneli, 2400 kW gücünde dizel jeneratör, 55 kWh kapasiteye sahip batarya ve 2885 kW gücünde konvertör önerilmiştir. Bu sistemin NBM değeri 7.81 M\$ olup yatırım maliyeti 1.94 M\$ seviyesindedir. FV panellerde gerçekleşen %0.81'lik yıllık verim kaybı düşünüldüğü takdirde NBM % 7.94, enerji maliyeti % 11.16 oranında artmış ve sistemdeki yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) oranı %5.74 oranında azalmıştır. Elektrik enerjisi talebinin artış oranı yıllık %2 olarak düşünüldüğü zaman NBM %42.13, enerji maliyeti %24.29 artmıştır. Sanayide gerçekleşen elektrik kesintilerinin değerlendirildiği durumda NBM %2.56, enerji maliyeti %2.87 oranında artmıştır. Sonuç olarak, önerilen hibrit enerji üretim sistemi ile fabrikanın elektrik ihtiyacı güvenilir şekilde sağlanabilmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

*"Hibrit enerji üretim sistemi, HOMER yazılımı, Fotovoltaik güneş enerjisi, Batarya, Dizel Jeneratör, Şebeke"*

#### Abstract

In our study, in order to meet the energy demand of a plant in Konya city, a hybrid system consisting of grid-connected photovoltaic (PV) solar energy system, battery and diesel generator was analysed and designed using the Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) software. While analysing, features such as the geographical location of Konya and physical and economic constraints of the plant were taken into consideration. After the analysis and design of the system, the effects of the conditions such as decrease in efficiency in the PV panels, increase in load and power outages that are likely to occur over the years were examined. In the study, parameters such as net present cost (NPC) and energy cost were taken into consideration as evaluation criteria. According to the simulation results, in order to meet the daily electricity consumption of the plant with an average of 1000 kWh, a 3500 kW solar panel, a 2400 kW diesel generator, a 55 kWh battery and a 2885 kW converter was proposed. The NPC value of this system is 7.81 M\$ and the investment cost is 1.94 M\$. Considering the annual yield loss of 0.81% in PV panels, NPC increased by 7.94%, energy cost increased by 11.16%, and the rate of renewable energy resources (RES) in the system decreased by 5.74%. When the increase rate of electricity demand was considered as 2% annually, NPC increased by 42.13%, energy cost increased by 24.29%. When the electricity outages in plant were evaluated, NPC increased by 2.56% and energy cost increased by 2.87%. As a result, with the proposed hybrid energy generation system, the electricity demand of the plant can be met reliably.

#### Key Words

*"Hybrid energy generation system, HOMER software, Photovoltaic solar energy, Battery, Diesel Generator, Grid"*

## 1. Giriş

Son yıllarda yatırım maliyetlerinin düşmesi, kurulum/işletme alanında uzman bilgisinin artması ve çıkarılan teşviklerin katkısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Petrol/doğalgaz gibi fosil yakıtların her ülkede bulunmaması bu ülkeler için bir dezavantaj sayılırken yenilenebilir enerji kaynakları dünya üzerinde farklı formlarda ve miktarlarda dağıtık olarak her ülkede bulunmaktadır. Türkiye özelinde düşünüldüğünde bazı bölgelerde güneş enerjisi potansiyelinin ön plana çıktığı görülürken bazı bölgelerde rüzgar ya da hidroelektrik potansiyel ön plana çıkmaktadır (Akkaş, Arıkan, & Çam, 2018).

Bu kaynakların kullanımının yaygınlaşması mikro şebeke kavramının doğmasını ve gelişmesini sağlamıştır. Mikro şebekeler, alçak gerilim dağıtım sistemi ile dağıtık üreticilerin (mikro türbinler, yakıt hücreleri, fotovoltaiıklar, rüzgar türbinleri vb.) ve enerji depolayıcıların (volanlar, enerji kapasitörleri ve piller/bataryalar) bir araya gelerek oluşturduğu şebekelerdir. Mikro şebekeler merkezi üretim ve dağıtım sistemlerinden ziyade merkezi olmayan üretim modelini ön plana çıkarmaktadır. Böylece şebekeye bağlı bir tüketici, ihtiyacının bir kısmını ya da tamamını kendisi üretebileceği gibi ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini de şebekeye tekrar verebilecektir. Mikro şebekelerde şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız olarak çalışma modları bulunmaktadır (Schwaegerl & Tao, 2014).

Mikro şebekelerin parçası olan dağıtık üretimin avantajları arasında YEK'lerin farklı boyutlarda ve kombinasyonlarda kullanılabilmesinin yanı sıra enerji talebinin sağlanmasının güvence altına alınması, iletim ve dağıtım kayıplarının en aza indirilmesi ve sera gazı üretiminin azaltılması da vardır. Uzak bölgelerde üretilen elektrik enerjisi tüketim noktasına ulaşana kadar birtakım kayıplara maruz kalmaktadır. Özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin hissedilir boyutlara geldiği düşünülürse dağıtık üretimin sağlayacağı katkı azımsanamaz niteliktedir (Abdülamed Tabak, Özkaymak, Tahir, & Oktay, 2017) (Gao & Iravani, 2008). Dağıtık üretimde kullanılacak kaynaklar, üretimin olacağı coğrafi bölgeye uygun olarak seçileceğinden dolayı farklı bölgelerde farklı hibrit kombinasyonlardan faydalanmak mümkündür.

Başlarda hibrit sistemler kırsal kesimlerin elektrik talebini karşılamak için kullanılmaktayken son yıllarda şehir merkezlerine yakın, tüketimin yoğun olduğu noktalarda kullanılmaktadır. YEK'lerin ve elektrik talebinin stokastik davranışlara sahip olması, sabit ve değişken çok sayıda parametrenin değerlendirilmesi gerekliliği gibi nedenlerden dolayı hibrit enerji sistemlerinin analizi ve tasarımı zor ve karmaşıktır. Analiz ve tasarım işlemlerinde bu karmaşıklığın üstesinden gelebilmek için iki yol vardır. Bunlardan ilki tüm sistemin tasarlanıp matematiksel modeli çıkarılarak analiz edilmesi yöntemidir. Burada tasarımcı hibrit sistemin bileşenlerine çalışmanın öncesinde net bir şekilde karar verip sonrasında matematiksel modeli çıkarmalıdır. Bir kaynaktan vazgeçip başka bir kaynağa geçmek kullanılacak olan matematiksel modeli değiştireceğinden dolayı tasarım sonrasında kaynakları değiştirmek biraz zahmetli olmaktadır. İkinci yolu ise mevcut yazılım programlarından faydalanmaktır. Literatürde yaygın olarak kullanılan birtakım yazılım programları vardır. Sinha ve Chandel yaptıkları çalışmada, yaygın olarak kullanılan yazılımlardan 19 tanesini (HOMER, Hybrid2, RETScreen, iHOGA, INSEL, TRNSYS, iGRHYSO, HYBRIDS, RAPSIM, SOMES, SOLSTOR, HySim, HybSim, IPSYS, HySys, Dymola/Modelica, ARES, SOLSIM ve HYBRID DESIGNER) incelemiş ve tüm bu yazılımların içinde HOMER'in en fazla kullanılan, en fazla YEK'in kombinasyonunun oluşturulabildiği, performans optimizasyonunun ve hassaslık analizinin yapılabildiği, farklı kombinasyonların daha kolay ve hassas şekilde değerlendirilebildiği bir yazılım olduğunu belirtmişlerdir (Sinha & Chandel, 2014).

Literatürde HOMER'in kullanıldığı şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız çalışan hibrit sistemlerin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar vardır. Shahzad ve arkadaşları Pakistan'da kırsal bölgede bulunan bir çiftliğin elektrik ihtiyacını karşılayan FV/biyokütle hibrit sistemin tasarımı için HOMER programından faydalanmışlardır. Biyokütle potansiyeli ve maliyeti, güneş ışınım miktarı ve farklı yüklerde hassaslık analizi gerçekleştirmişlerdir (Shahzad et al., 2017). Khan ve arkadaşları Hindistan'ın farklı bölgelerindeki telekomünikasyon uygulamalarında ihtiyacı karşılamak adına hibrit sistem kurmak istemişler ve bu sistemin bileşenlerinin seçimi ve boyutlandırılması için HOMER'den faydalanmışlardır. Sonuç olarak FV-rüzgar-dizel-batarya hibrit sisteminin diğer düşündükleri hibrit sistemlere göre birim elektrik enerjisi maliyeti açısından daha üstün olduğunu göstermişlerdir (Khan, Yadav, & Mathew, 2017). Kalamaras ve arkadaşları elektrik şebekelerinin kurulmasının ekonomik olmadığı Yunanistan'a bağlı adalardaki kırsal ailelerin elektrik ve termal enerji ihtiyacını karşılamak adına hibrit enerji sistemi simülasyonu yapmışlardır. HOMER kullanılarak yapılan çalışmada sistem bileşenlerini FV/rüzgar/yakıt pili ve batarya olarak seçmişlerdir. Sonuç olarak böyle bir hibrit sistem ile elektrik ve termal ihtiyacın güvenli bir şekilde karşılanabileceğini tespit etmişlerdir (Kalamaras et al., 2019). Bhattacharjee ve Acharya bir eğitim binasının elektrik ihtiyacını karşılamak adına FV/rüzgar hibrit sistemin tekno-ekonomik analizini yapmak için HOMER yazılımını kullanmışlardır (Bhattacharjee & Acharya, 2015). Kumar ve arkadaşları yerleşim yerlerinin uzağında konumlandırılan ATM makinelerinin elektrik ihtiyacını karşılamak için hibrit sistemin minimum maliyete dayalı fizibilite çalışmasında HOMER'den faydalanmışlardır (Kumar, Pukale, Kumabhar, & Patil, 2016). Hibrit sistemler sadece şebekeden bağımsız değil şebekeye bağlı şekilde de kullanılmaktadır. Duman ve Güler yaptıkları çalışmada Türkiye'de çatı üzerine konumlandırılan şebekeye bağlı FV sistemlerin ekonomik analizini yapmak için HOMER'i kullanmışlardır (Duman & Güler, 2020). Rajbongshi ve arkadaşları, HOMER kullanarak farklı yük varyasyonlarında şebekeye bağlı FV/biyokütle/dizel hibrit sistemin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir (Rajbongshi, Borgohain, & Mahapatra, 2017). Kasaeian ve arkadaşları İran'da bulunan ve şebekeye bağlı bir köyün elektrik ihtiyacını

FV/biyogaz/biyodizel hibrit sistem ile karşılamak için HOMER'den faydalanarak tasarım yapmışlardır (Kasaeian, Rahdan, Rad, & Yan, 2019).

Bizim çalışmamızda Konya'da bulunan ve şebekeye bağlı bir fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için hibrit sistemin simülasyonu yapılmıştır. HOMER kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında hibrit sistemin bileşenleri için FV/dizel jeneratör/batarya düşünülmüştür. Toplam net bugünkü maliyet ve enerji maliyeti gibi ekonomik kriterler açısından değerlendirilen sistem üzerinde FV panellerdeki verim düşümü, yükteki artış ve elektrik kesintileri gibi farklı durumlar incelenmiştir.

## 2. Metodoloji

Dünya üzerinde 193 ülkede 200 binden fazla insan tarafından indirilen ve en yaygın kullanılan hibrit enerji simülasyon ve optimizasyon programı olan HOMER, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir (HOMER Pro.). Programda hibrit sistemi oluşturan farklı yenilenebilir enerji kaynakları (FV güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik, biyokütle vs.), hazır yük çeşitleri (değişken veya sabit, elektrik veya termal), enerji depolayıcıları (batarya, volan vs.) ve fosil kaynaklı üreticiler (dizel jeneratör) vardır. Aynı zamanda hibrit sistemi şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız şekilde 8760 saat (1 yıl) üzerinden modelleyebilmek mümkündür. Programda hibrit sistemin ömrü boyunca elde ettiği ekonomik faydaları görüntülemek, değerlendirmek ve bu çıktılara göre tekrar sistemi modellemek mümkündür. Simülasyon çalışmasının sonunda, program tarafından elde edilen sonuçlar hem ekonomik hem de teknik açıdan değerlendirilmek üzere tablolar halinde kullanıcıya sunulmakta ve kullanıcı yatırım için uygun olan sistemi seçebilmektedir.

Şekil 1'de hibrit sistemin blok diyagramı görülmektedir. Burada FV sistem ve batarya DC baraya; şebeke, fabrika ve dizel jeneratör AC baraya bağlanmıştır. Konvertör AC ve DC bara arasındaki çift yönlü dönüşümü gerçekleştirmek amacıyla her iki baraya bağlı gösterilmiştir.



Şekil 1. Hibrit sistemin blok diyagramı

Sistemdeki enerjinin akışı ile ilgili farklı senaryolar oluşturulabilir. Bizim çalışmada kullandığımız senaryo “yükü takip eden dağıtım stratejisidir”. Bu stratejide tüketimin karşılanması için üretim kaynaklarının tamamı seferber edilir. Burada öncelikli amaç talebi karşılamaktır ve talep karşılanırken bunun en düşük maliyetle yapılması istenir. En düşük maliyetli kaynak seçimi gerçekleştirilirken kontrol edilebilen kaynakların (jeneratör, batarya, şebeke) yakıt maliyeti, işletme/bakım maliyeti ve değiştirme maliyeti gibi ekonomik parametreler dikkate alınır. Kaydırılabilir yükler (varsa) ve bataryaların depolanması gibi işlemler daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakılır. Aşağıda hibrit sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri verilmiştir.

### 2.1. FV Güç Sistemi

FV sistemin çıkış gücünü farklı yöntemlerle elde etmek mümkündür. HOMER'de FV sistemin çıkış gücü 1 numaralı Denklem yardımı ile bulunur (HOMER Energy LLC, 2016).

$$P_{PV} = Y_{pv} f_{pv} \left( \frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c + T_{c,STC})] \quad (1)$$

Burada  $Y_{pv}$  (kW) FV sistemin nominal gücü,  $f_{pv}$  DC güç kayıplarından kaynaklanan ve güç düşümünü ifade eden indirgeme katsayısı,  $\overline{G}_T$  (W/m<sup>2</sup>) panel üzerine düşen solar ışımaya,  $\overline{G}_{T,STC}$  (W/m<sup>2</sup>) standart test koşullarındaki ışımaya,  $\alpha_p$  (%/°C) sıcaklık katsayısı,  $T_c$  (°C) FV hücrenin sıcaklığı ve  $T_{c,STC}$  (°C) standart test koşulları altında FV hücre sıcaklığıdır. Hücrenin ulaştığı sıcaklık değeri Denklem 2 yardımı ile elde edilir (Baneshi & Hadianfard, 2016).

$$T_C = T_a + G_T \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha} \right) \quad (2)$$

Burada  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) ortam sıcaklığı,  $T_{c,NOCT}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) hücre nominal çalışma sıcaklığı (HNÇS),  $T_{a,NOCT}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) HNÇS değerindeki ortam sıcaklığı,  $G_{T,NOCT}$  ( $\text{W/m}^2$ ) HNÇS değerindeki güneş ışınma değeri,  $\eta_c$  panel verimliliği,  $\tau$  (%) FV panelin solar geçirgenliği ve  $\alpha$  (%) FV panelin soğurma katsayısıdır.

## 2.2. Batarya Enerji Depolama Sistemi

HOMER'de bataryanın maksimum şarj gücü hesaplanırken göz önünde bulundurulmuş üç ayrı sınırlama Denklem 3'te verilmiştir. Bunlardan ilki, kinetik depolama modelinden gelmektedir ve Denklem 4'te verilmiştir. İkinci sınırlama, maksimum şarj hızı ile ilgilidir ve Denklem 5'te verilmiştir. Üçüncü sınırlama ise bataryanın maksimum şarj akımı ile ilgilidir ve Denklem 6'da verilmiştir. Bataryanın şarj verimliliği Denklem 7'de ifade edilmiştir (HOMER Energy LLC, 2016).

$$P_{batt,cmax} = \frac{\text{MIN}(P_{batt,cmax,kbm}, P_{batt,cmax,mcr}, P_{batt,cmax,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (3)$$

Burada;

$$P_{batt,cmax,kbm} = \frac{kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (4)$$

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{(1 - e^{-\alpha_c \Delta t})(Q_{max} - Q)}{\Delta t} \quad (5)$$

$$P_{batt,cmax,mcc} = \frac{N_{batt} I_{max} V_{nom}}{1000} \quad (6)$$

$$\eta_{batt,c} = \sqrt{\eta_{batt,rt}} \quad (7)$$

Burada  $Q_1$  (kWh) zaman aralığının başlangıcında bataryada bulunan kullanılabilir enerji miktarı,  $Q$  (kWh) zaman aralığının başlangıcında bataryada bulunan toplam enerji miktarı,  $Q_{max}$  (kWh) bataryanın toplam enerji depolama kapasitesi,  $k$  ( $\text{h}^{-1}$ ) enerji depolama hızı,  $c$  enerji depolama kapasitesi oranıdır ve birimsizdir.  $\Delta t$  (h) zaman aralığının uzunluğu,  $\alpha_c$  (A/Ah) maksimum şarj hızı,  $N_{batt}$  batarya sayısı,  $I_{max}$  (A) bataryanın maksimum şarj akımı,  $V_{nom}$  (V) bataryanın nominal gerilimi,  $\eta_{batt,c}$  batarya şarj verimi ve  $\eta_{batt,rt}$  gidiş dönüş verimliliğidir.

Bataryanın maksimum deşarj gücü Denklem 8'de verilmiştir.

$$P_{batt,dmax} = \eta_{batt,d} P_{batt,dmax,kbm} \quad (8)$$

Burada  $P_{batt,dmax,kbm}$  kinetik batarya depolama modelinden hesaplanır ve Denklem 9'da verilmiştir. Bataryanın deşarj verimi olan  $\eta_{batt,d}$  ise bataryanın şarj verimine eşittir ve Denklem 10'da verilmiştir.

$$P_{batt,dmax,kbm} = \frac{-kcQ_{max} + kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (9)$$

$$\eta_{batt,d} = \eta_{batt,c} \quad (10)$$

## 2.3. Dizel Jeneratör

Dizel jeneratörler şebekenin olmadığı yerlerde ya da elektrik enerjisinin kesildiği durumlarda talebi karşılamak için kullanılan alternatif enerji kaynaklarıdır. Denklem 11'de dizel jeneratörün yakıt tüketim oranı görülmektedir (HOMER Energy LLC, 2016).

$$F = F_0 Y_{gen} + F_1 P_{gen} \quad (11)$$

Burada  $F$  (L/hr), jeneratörün yakıt tüketim oranı,  $F_0$  (L/hr/kW) yakıt eğrisi kesme katsayısı,  $Y_{gen}$  (kW) jeneratörün nominal kapasitesi,  $F_1$  (L/hr/kW) yakıt eğrisinin eğimi,  $P_{gen}$  (kW) jeneratörün elektrik çıkış gücüdür.

## 2.4 Ekonomik Değerlendirme

Programda simülasyon çalışması net bugünkü maliyet (NBM) hesabına göre yapılır. NBM, net bugünkü değer (NBD) hesabının işaret olarak tam tersidir. NBD, projenin ömrü boyunca elde ettiği gelirlerin bugünkü değerinden; yatırım, işletme ve bakım/onarım gibi maliyetlerin bugünkü değerinin çıkarılması ile elde edilen fark değeridir. Programın değerlendirme kıstası, her bir ekipman için NBM

değerlerinin toplamı şeklinde ifade edilen toplam net bugünkü maliyet (TNBM) değerine göredir. Programda ekonomik değerlendirme ölçütü olarak verilen diğer bir çıktı ise enerji maliyetidir (COE-Cost of Energy). Denklem 12’de enerji maliyeti, HOMER’in verdiği boylar örneği üzerinden ifade edilmiştir (HOMER Energy LLC, 2016).

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} H_{served}}{E_{served}} \quad (12)$$

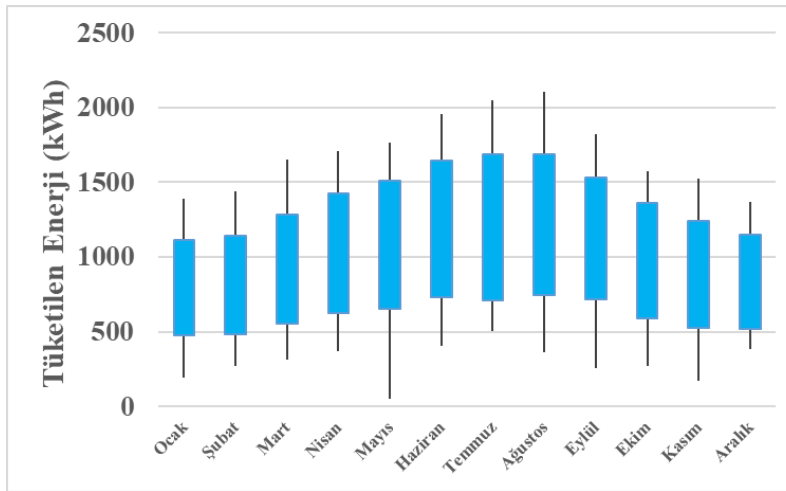
Burada  $COE$  (\$/kWh) enerji maliyetini,  $C_{ann,tot}$  (\$/yr) sistemin yıllık olarak hesaplanmış toplam maliyetini,  $c_{boiler}$  (\$/kWh) boyların marjinal maliyetini,  $H_{served}$  (kWh/yr) toplam ısı yükünü ve  $E_{served}$  (kWh/yr) toplam elektrik yükünü ifade etmektedir.

### 3. Verilerin Elde Edilmesi

#### 3.1. Yük Verisi

Çalışmada, HOMER’in endüstri kuruluşları için oluşturduğu yük profili kullanılmıştır. Bu yük profilinde tüketim yaz aylarında günlük ortalama 1200 kWh’lik değer ile en yüksek seviyelere ulaşırken kış aylarında günlük ortalama 800 kWh’lik değer ile en düşük seviyelere ulaşır. Günlük ortalama enerji tüketimi ise 1000 kWh mertebelerindedir.

Şekil 2’de fabrikanın aylara göre günlük elektrik tüketim miktarı verilmiştir. Grafikte görülen üstteki siyah çizginin en üstü o aydaki en yüksek tüketim değerini, mavi kutucuğun üst kısmı aydaki tüm günlerin günlük maksimumlarının ortalaması, mavi kutucuğun alt kısmı aydaki tüm günlerin günlük minimumlarının ortalaması ve alttaki çizginin en alt kısmı da aylık en düşük tüketim değerini göstermektedir.

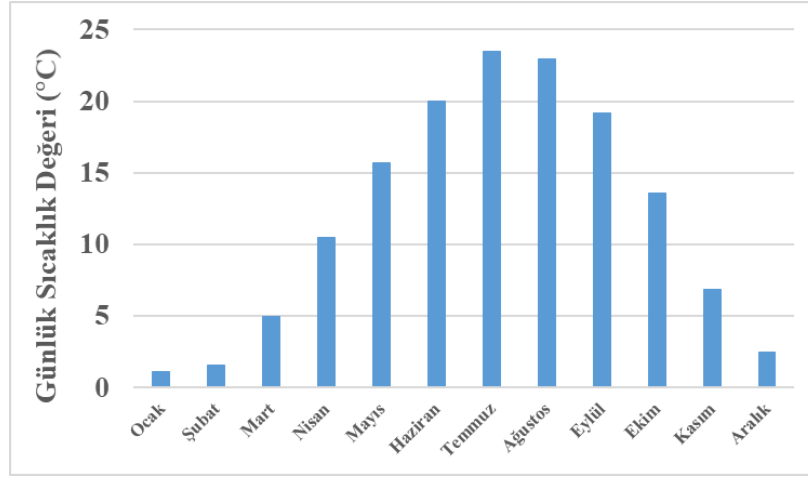


Şekil 2. Aylara göre günlük elektrik tüketim grafiği

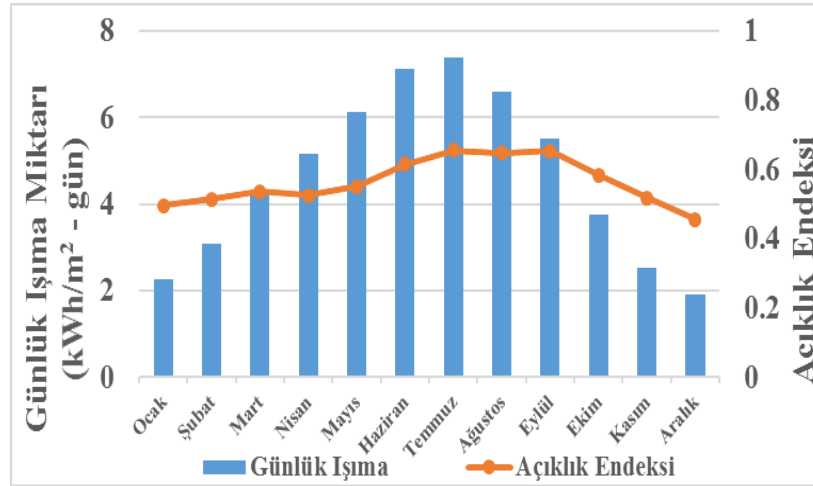
#### 3.2. Meteorolojik Veriler

HOMER’de kullanılan meteorolojik veriler, ek program kurmaya gerek kalmadan “NASA Surface Meteorology and Solar Energy” veri tabanından temin edilmektedir. Burada solar ışımaya ve hava sıcaklığı değerleri için 22 yıllık (1983-2005) verilerin ortalaması, rüzgar hızı değerleri için 10 yıllık (1983-1993) verilerin ortalaması kullanılır. Şekil 3 Konya ilinin aylara göre günlük ortalama sıcaklık değerlerini göstermektedir. Kış aylarında 1 derecelere kadar düşen sıcaklıklar yaz aylarında 23 derecelere kadar çıkmaktadır. Yıl içerisinde en soğuk ay ocak iken en sıcak ayın temmuz olduğu görülmektedir.

Şekil 4 Konya ilinin günlük ışımaya değerlerini ve açıklık endeksini göstermektedir. Kış aylarında metre kareye ortalama 2 kWh’lik enerji düşerken yaz aylarında 6.5-7.5 kWh’lik enerji düşmektedir. Bu değerler, yaz aylarında enerji tüketimi kış aylarına göre daha yüksek olan tüketiciler için daha caziptir. Açıklık endeksi, yeryüzüne ulaşan ışımanın dünyanın dışına gelen ışımaya bölünmesiyle bulunan ve 0-1 aralığında değer olarak atmosferdeki berraklığı ifade eden değerdir (Sezen, Sakarya, Topcu, Aksoy, & Incecik, 2013). Açıklık endeksi en yüksek temmuz-ağustos-eylül aylarındayken kış aylarında bu değer düşüğü görülmektedir.



Şekil 3. Konya’da aylara göre günlük sıcaklık değerleri



Şekil 4. Konya ili için günlük ışıma ve açıklık endeksi grafiği

### 3.3. Teknik ve Ekonomik Veriler

Hibrit sistemi oluşturan bileşenlere karar verildikten sonra bu bileşenlerin teknik özellikleri ve ekonomik verileri elde edilmelidir. Tablo 1’de sistem bileşenlerinin teknik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Sistem bileşenlerinin teknik verileri

FV	Panel Gücü	275 W
	Verim	%16.77
	Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	31.30 V
	Maksimum Güç Akımı (Imp)	8.79 A
	Açık Devre Gerilimi (Voc)	38.40 V
	Kısa Devre Akımı (Isc)	9.31 A
	İndirgeme katsayısı	%80
Konvertör	Nominal Giriş Voltajı (DC)	590 V
	Maksimum Giriş Akımı	180 A
	Toplam Harmonik Bozulma	<%3
	İnvertör Verimi	%96
Dizel Jeneratör	Doğrultucu Verimi	%96
	Minimum yüklenme oranı	%30
	Yakıt eğrisinin eğimi	0.236 L/hr/kW

**Tablo 1 (devam).** Sistem bileşenlerinin teknik verileri

Batarya	Nominal Kapasite	55 kWh
	Nominal Voltaj	720 V
	Gidiş Dönüş Verimliliği	%97
	Başlangıç Şarj Durumu	%100
	En Düşük Şarj Durumu	%20

Sistemde kullanılan bileşenlerin yatırım maliyeti, değiştirme maliyeti, işletme/bakım maliyeti ve faydalı ömürlerini içeren veriler Tablo 2’de verilmiştir (A. Tabak, Kayabasi, Guneser, & Ozkaymak, 2019) (Rousis, Tzelepis, Konstantelos, Booth, & Strbac, 2018) (Ramli, Hiendro, Sedraoui, & Twaha, 2015). Ekonomik değerlendirme esnasında kullanılan reel faiz oranı %3.92 olarak alınmıştır (Duman & Güler, 2020).

**Tablo 2.** Sistem bileşenlerinin ekonomik verileri

FV	Yatırım Maliyeti	410 \$/kW
	Değiştirme Maliyeti	410 \$/kW
	İşletme ve Bakım Maliyeti	4.51\$/kW-yıl
	Ömrü	25 yıl
Konvertör	Yatırım Maliyeti	65 \$/kW
	Değiştirme Maliyeti	65 \$/kW
	İşletme ve Bakım Maliyeti	3.25 \$/kW-yıl
	Ömrü	15 yıl
Dizel Jeneratör	Yatırım Maliyeti	125 \$/kW
	Değiştirme Maliyeti	125 \$/kW
	İşletme ve Bakım Maliyeti	0.01 (\$/op.hour)kW
	Yakıt Maliyeti	0.86 \$/Lt
	Ömrü	15000 saat
Batarya	Yatırım Maliyeti	17500 \$/adet
	Değiştirme Maliyeti	17500 \$/adet
	İşletme ve Bakım Maliyeti	420 \$-yıl/-adet
	Ömrü	15 yıl
Şebeke	Elektrik Alış Fiyatı	0.10 \$/kWh
	Elektrik Satış Fiyatı	0.133 \$/kWh

#### 4. Simülasyon Çalışması

Çalışmada bileşenlerin alt ve üst sınır şartları; FV sistem için 0-3500 kW, konvertör için 2000-3500 kW, batarya için 0-15 adet olarak belirlenmiştir. Dizel jeneratör için herhangi bir alt ya da üst sınır belirlenmemiştir. Tablo 3’te simülasyon çalışması sonucunda elde edilen farklı kategoriler NBM açısından sıralanmıştır. Kategoriler içerisinde dizel jeneratörün bulunmadığı 1 numaralı kategoride hibrit sistem en düşük NBM ve enerji maliyeti değerine sahipken FV sistemin bulunmadığı 3 numaralı kategoride en yüksek NBM ve enerji maliyeti değerine sahiptir. Ayrıca 3 numaralı kategoride FV sistem bulunmadığı için yatırım maliyetinin de düşük olduğu görülmektedir. Hibrit sistemde tüm bileşenlerin bulunduğu 2 numaralı kategori NBM 7.81 M\$, enerji maliyeti 0.0457 \$/kWh ve YEK oranı %48.8’dir.

**Tablo 3.** Optimizasyon sonucunda oluşturulan farklı kategoriler

Kategori	FV (kW)	Dizel Jeneratör (kW)	Batarya (kWh)	Konvertör (kW)	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Oranı (%)
1	3500	-	55	2885	7.62	0.0446	1.64 M	379,634	48.8
2	3500	2400	55	2885	7.81	0.0457	1.94 M	372,535	48.8
3	-	2400	55	2000	14.3	0.104	447,500	880,698	-

Çalışmamızda 2 numaralı kategoride oluşturulan hibrit sistem önerilmektedir ve buna göre oluşturulan Tablo 4'te sistemin yatırım maliyeti, değiştirme maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti ve hurda geliri ile bunların toplamı verilmiştir. Tabloya göre hibrit sistemde yatırım maliyeti en yüksek olan bileşen FV sistem iken bunu sırasıyla dizel jeneratör ve konvertör takip etmektedir. Çalışmada bir adet batarya olduğu için yatırım maliyeti düşük olarak görülmektedir. Şebekeden çekilen elektrik enerjisi maliyetinin, şebekenin işletme ve bakım gideri olarak gösterilmesinden dolayı şebeke için işletme ve bakım maliyeti 5,472,704 \$ çıkmaktadır. Proje ömrü 25 yıl iken konvertörlerin ömrünün 15 yıl olmasından dolayı en yüksek değiştirme maliyeti konvertörlerdedir. Tabloda hurda gelirlerinin negatif işaretli olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, 25 yıllık proje ömrü içerisinde ömrünü tamamlayan ekipmanlar yenileriyle değiştirilirken eski ekipman yeniden değerlendirilmek üzere ücreti karşılığında hurdaya ayrılır. Bu yüzden gelir olarak kaydedilir ve NBM içerisinde negatif işaretli olarak yer alır.

**Tablo 4.** Sistemin ekonomik göstergeleri

Ekipman	Yatırım Maliyeti (\$)	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt Maliyeti (\$)	Hurda Geliri (\$)	Toplam (\$)
FV Sistem	1,435,000.00	0.00	248,692.99	0.00	0.00	1,683,692.99
Batarya	17,500.00	29,522.05	6,617.11	0.00	-5,539.26	48,099.90
Dizel Jeneratör	300,000.00	0.00	0.00	0.00	-111,852.94	188,147.06
Konvertör	187,522.06	105,333.20	147,720.69	0.00	-23,903.01	416,672.94
Şebeke	0.00	0.00	5,472,704.48	0.00	0.00	5,472,704.48
Hibrit Sistem	1,940,022.06	134,855.26	5,875,735.26	0.00	-141,295.22	7,809,317.36

#### 4.1. Oluşabilecek Farklı Durumların Sisteme Etkisi

Çalışmada kullanılan ve "Sabit Sistem" olarak nitelendirilen çalışma Tablo 3'teki 2 numaralı kategoride yer alan hibrit sistemdir. Her ne kadar 1 numaralı kategoride bulunan sistem NBM ve enerji maliyeti açısından daha avantajlı görünse de elektrik kesintilerinde üretimin aksamaması için fabrikalarda jeneratör bulundurma zorunludur. Bu yüzden 2 numaralı kategoride bulunan sistemde dizel jeneratör sayesinde az bir maliyet artışı ile birlikte güvenilirlik artmıştır. FV panellerdeki verim kaybının değerlendirildiği çalışma 1. Durum, enerji talebindeki artışın değerlendirildiği çalışma 2. Durum ve elektrik kesintilerinin göz önünde bulundurulduğu çalışma 3. Durum olarak belirtilmiştir.

##### 4.1.1. 1. Durum: FV panellerdeki verim kaybının sisteme etkisi

FV panellerin verimleri silikon yapılarından dolayı kullanılmaya başlandığı andan itibaren düşmeye başlar. Bazı panel üreticisi firmalar panel kullanılmaya başlandıktan sonra kademeli olarak 10. yılda %90, 25. yılda %80 güç sağlama garantisi verirken bazıları 25. yılın sonunda direkt %80 güç sağlama garantisi vermektedir. Genel olarak bakıldığında yıllık verim düşümü %1'in altında kalmaktadır ve çalışmada bu değer yıllık %0.81 olarak alınmıştır (Copper, Jongjenkit, & Bruce, n.d.). Verim düşümü yıllık %0.81 olarak alındığında NBM, enerji maliyeti ve sistemdeki YEK oranı Tablo 5'teki gibi olmaktadır. Buna göre NBM 7.81 M\$'dan 8.43 M\$'a çıkarak %7.94, enerji maliyeti 0.0457 \$/kWh'ten 0.0508 \$/kWh'e çıkarak %11.16 oranında artmış, sistemdeki YEK oranı %48.8'den %46'ya düşerek %5.74 oranında azalmıştır.

**Tablo 5.** Sabit Sistem ile 1. Durum'un karşılaştırması

Durumlar	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynağı Oranı (%)
Sabit Sistem	7.81	0.0457	48.8
1. Durum	8.43	0.0508	46

1. yılda FV sistemden üretilen enerji miktarı 5,533,755 kWh iken, 25. Yılda bu miktar 4,552,493 kWh'e düşmüştür. Bu da aslında göz ardı edilen FV panellerdeki verim düşümünün sistemi önemli derecede etkilediğini göstermektedir.

##### 4.1.2. 2. Durum: Enerji talebindeki artışın sisteme etkisi

Enerji talebinin kamu kuruluşlarında ya da evsel uygulamalarda yıldan yıla artış sağlaması çok görülen bir durum değildir. Ancak söz konusu sanayi uygulamaları olduğu zaman sürekli üretim artışı ve fabrikayı geliştirme çalışmaları ile birlikte elektrik talebi de artış sağlamaktadır. Çalışmamızın 2. Durum'unu oluşturan kısmında yükün yılda %2 arttığı düşünülmüştür. 2. Durum'da oluşan NBM, enerji maliyeti ve sistemdeki YEK oranı Tablo 6'teki gibi olmaktadır. Buna göre NBM 7.81 M\$'dan 11.1M\$'a çıkarak %42.13, enerji maliyeti 0.0457 \$'dan 0.0568\$'a çıkarak %24.29 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı %48.8'den %41.8'e düşerek %14.34 oranında azalmıştır.



**Tablo 6.** Sabit Sistem ile 2. Durum'un karşılaştırması

Durumlar	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynağı Oranı (%)
Sabit Sistem	7.81	0.0457	48.8
2. Durum	11.1	0.0568	41.8

#### 4.1.3. 3. Durum: Elektrik kesintilerinin sisteme etkisi

Fabrikalarda yıl içerisinde arızaya, bakıma, onarıma ya da yeni yatırımlara bağlı planlı ya da plansız elektrik kesintileri olabilmektedir ve bu kesintiler üretim tesislerini zor durumda bırakmaktadır. Bu yüzden jeneratör gibi alternatif enerji kaynakları, elektrik kesintileri esnasında YEK'lerin gücünün yetmediği oranda kullanılmak üzere tesis edilirler. 3. Durum'da yılda 20 adet elektrik kesintisi olacağı, her bir kesintinin ortalama 3 saat süreceği ve kesintiler arasında %20'lik değişim olacağı öngörülerek sistem değerlendirilmiştir. Tablo 7'de, 3. Durum ile Sabit Sistem'in karşılaştırılması gösterilmektedir. Buna göre NBM değeri 7.81M\$'dan 8.01 M\$'a çıkarak %2.56, enerji maliyeti 0.0457\$/kWh'ten 0.04701\$/kWh'e çıkarak %2.87 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı ise %48.8'den %48.5'e düşerek %0.61 azalmıştır.

**Tablo 7.** Sabit Sistem ile 3. Durum'un karşılaştırması

Durumlar	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynağı Oranı (%)
Sabit Sistem	7.81	0.0457	48.8
3. Durum	8.01	0.0470	48.5

Tablo 8'de Sabit sistem ile 3. Durum, üretim ve tüketim değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Tabloya göre elektrik kesintilerinin değerlendirildiği 3. Durum'da dizel jeneratöre ihtiyaç duyulmuştur. Dizel jeneratörün üretimde yer almasıyla birlikte FV sistemden sağlanan elektrik enerjisi sabit kalırken şebekeden alınan elektrik enerjisinde düşüş görülmüştür. Yüzde değerlere bakıldığında ise hem FV hem de şebekeden alınan elektrik enerjisinde azalma olmuştur. Tüketim noktasında değerlendirme yapmak gerekirse talep değişmediği için yük sabit kalmıştır. Elektrik kesintilerinden dolayı şebekeye satış azalmıştır. Bunların yanında bataryanın sağladığı enerjiye bakılacak olursa sabit sistem ile 3. Durum arasında çok az bir fark olduğu görülür.

**Tablo 8.** Sabit sistem ile 3. Durum'un üretim ve tüketim değerleri üzerinden karşılaştırılması

	Üretim				Tüketim				Bataryanın sağladığı enerji kWh/yıl		
	FV sistem		Dizel Jeneratör		Şebekeden Alış		Yük			Şebekeye Satış	
	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%		kWh/yıl	%
Sabit Sistem	5,533,755	49.9	-	-	5,557,306	50.1	8,768,164	80.8	2,084,220	19.2	30,467
3. Durum	5,533,755	49.8	51,565	0.464	5,521,268	49.7	8,768,164	81	2,052,842	19	30,165

## 5. Sonuç

Çalışmada Türkiye'deki Konya ilinde bulunan ve günlük ortalama 1000 kWh elektrik tüketimine sahip olan bir fabrikanın talebini karşılamak için hibrit enerji üretim sisteminin analizi ve tasarımı yapılmıştır. Tasarımın ardından FV panellerdeki kullanıma bağlı verim kaybı, her yıl gerçekleşmesi muhtemel talep artışı ve elektrik kesintileri gibi zorluklar karşısında sistemin nasıl cevap vereceği incelenmiştir.

NBM ve enerji maliyeti açısından değerlendirildiğinde optimum sistem 3500 kW güce sahip güneş paneli, 2400 kW güce sahip dizel jeneratör, 55 kWh kapasiteye sahip batarya ve 2885 kW güce sahip konvertörden oluşmaktadır. Bu sistemin NBM değeri 7.81 M\$ olup yatırım maliyeti 1.94 M\$'dır. Sistemin ömrü süresince gerçekleşen değişiklikler NBM ve enerji maliyetlerini etkilemektedir. FV sistemde gerçekleşen yıllık %0.81 oranındaki verim kaybı değerlendirildiği takdirde NBM %7.94, enerji maliyeti %11.16 oranında artmış, sistemdeki YEK oranı %48.8'den %46'ya düşerek %5.74 oranında azalmıştır. Sanayide artan üretim, elektrik tüketimindeki artışı da beraberinde getireceği için çalışmada elektrik enerjisi talebinin artış oranı yıllık %2 oranında alınmıştır. Bu durumda NBM %42.13, enerji maliyeti %24.29 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı %48.8'den %41.8'e düşerek %14.34 oranında azalmıştır. Sanayide gerçekleşen elektrik kesintilerinin değerlendirildiği durumda NBM %2.56, enerji maliyeti %2.87 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı ise %48.8'den %48.5'e düşerek %0.61 azalmıştır. NBM'nin ve enerji maliyetinin az bir miktarda artarken YEK oranının da az bir miktarda azalmasının nedeni kesintiler esnasında jeneratörün aktif olarak devreye girmesi, jeneratörden kaynaklı maliyetlerin oluşması ve tüketilen enerjinin bir miktarının jeneratör tarafından sağlanmasıdır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de güneş enerjisi santrallerinin yapımında arazi uygulamaları yerine çatı uygulamalarına yönlendirme söz konusudur. Bu yüzden Konya gibi güneş enerjisinin yüksek olduğu yerlerde özellikle fabrika çatılarına kurulacak FV güneş panellerinin hibrit enerji üretim sistemi olarak tasarlanması ve şebekeye bağlı şekilde işletilmesi son derece önemli ve yatırım açısından makuldür.

## Referanslar

- Akkaş, Ö. P., Arıkan, Y., & Çam, E. (2018). Elektrik Piyasasında Sanal Güç Santrali İşletiminin Optimizasyonu için Modelleme Önerisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10(3), 12–19.
- Baneshi, M., & Hadianfard, F. (2016). Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 127, 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.008>
- Bhattacharjee, S., & Acharya, S. (2015). PV-wind hybrid power option for a low wind topography. *Energy Conversion and Management*, 89, 942–954. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.065>
- Copper, J. K., Jongjenkit, K., & Bruce, A. (n.d.). Calculation of PV System Degradation Rates in a Hot Dry Climate Calculation of PV System Degradation Rates in a Hot Dry Climate. Canberra, Australia: Asia Pacific Solar Research Conference.
- Duman, A. C., & Güler, Ö. (2020). Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey. *Renewable Energy*, 148, 697–711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.157>
- Gao, F., & Irvani, M. R. (2008). A control strategy for a distributed generation unit in grid-connected and autonomous modes of operation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2), 850–859. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.915950>
- HOMER Energy LLC. (2016). HOMER Pro Version 3.7 User Manual. HOMER Energy, (August), 416. Retrieved from <http://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>
- HOMER Pro. (2020). Retrieved June 11, 2020, from <https://www.homerenergy.com/>
- Kalamaras, E., Belekoukia, M., Lin, Z., Xu, B., Wang, H., & Xuan, J. (2019). Techno-economic Assessment of a Hybrid Off-grid DC System for Combined Heat and Power Generation in Remote Islands. *Energy Procedia*, 158, 6315–6320. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.406>
- Kasaeian, A., Rahdan, P., Rad, M. A. V., & Yan, W. M. (2019). Optimal design and technical analysis of a grid-connected hybrid photovoltaic/diesel/biogas under different economic conditions: A case study. *Energy Conversion and Management*, 198(July), 111810. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111810>
- Khan, M. J., Yadav, A. K., & Mathew, L. (2017). Techno economic feasibility analysis of different combinations of PV-Wind-Diesel-Battery hybrid system for telecommunication applications in different cities of Punjab, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(December 2015), 577–607. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.076>
- Kumar, P., Pukale, R., Kumabhar, N., & Patil, U. (2016). Optimal Design Configuration Using HOMER. *Procedia Technology*, 24, 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.085>
- Rajbongshi, R., Borgohain, D., & Mahapatra, S. (2017). Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER. *Energy*, 126, 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.056>
- Ramli, M. A. M., Hiendro, A., Sedraoui, K., & Twaha, S. (2015). Optimal sizing of grid-connected photovoltaic energy system in Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 75, 489–495. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.028>
- Rousis, A. O., Tzelepis, D., Konstantelos, I., Booth, C., & Strbac, G. (2018). Design of a hybrid ac/dc microgrid using homer pro: Case study on an islanded residential application. *Inventions*, 3(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/inventions3030055>
- Schwaegerl, C., & Tao, L. (2014). The Microgrids Concept. In N. Hatziargyriou (Ed.), *Microgrids: Architectures and Control*. Retrieved from [https://books.google.se/books?hl=en&lr=&id=ywxzAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=definition+microgrid&ots=9qw9FFQEvC&sig=W80TOKQYUF1CGi0lb3IMH2gZx3E&redir\\_esc=y#v=onepage&q=definition+microgrid&f=false](https://books.google.se/books?hl=en&lr=&id=ywxzAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=definition+microgrid&ots=9qw9FFQEvC&sig=W80TOKQYUF1CGi0lb3IMH2gZx3E&redir_esc=y#v=onepage&q=definition+microgrid&f=false)

Sezen, İ., Sakarya, S., Topcu, S., Aksoy, B., & Incecik, S. (2013). Investigation of changes in global solar radiation for clear sky days by clearness index for the Marmara and Southeastern Anatolia regions of Turkey. 24–26. İstanbul: 6th Atmospheric Science Symposium.

Shahzad, M. K., Zahid, A., Rashid, T., Rehan, M. A., Ali, M., & Ahmad, M. (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable Energy*, 106, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.033>

Sinha, S., & Chandel, S. S. (2014). Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.035>

Tabak, A., Kayabasi, E., Guneser, M. T., & Ozkaymak, M. (2019). Grey wolf optimization for optimum sizing and controlling of a PV/WT/BM hybrid energy system considering TNPC, LPSP, and LCOE concepts. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1668880>

Tabak, Abdülsamed, Özkaymak, M., Tahir, M., & Oktay, H. (2017). Optimization and Evaluation of Hybrid PV/WT/BM System in Different Initial Costs and LPSP Conditions. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(11), 123–131. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.081116>