



Modeling a Hybrid Renewable Energy System with HOMER, Economical and Technical Analysis

Zafer ÖZTÜRK^{1*}, Salih TOSUN², Ali ÖZTÜRK³

^{1*}Düzce Üniversitesi, FBE, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, Türkiye

²Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

³Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

Keywords:

HOMER
Hybrid Renewable
Energy Systems
Energy Cost
Renewable energy
Optimization
Battery Groups

Abstract

Electrical energy consumption values are increasing in people's living spaces and consequently the need for electricity resources increases. Electricity production has been provided from a high percentage of fossil sources from the past to the present. Fossil resources; They are costly and cause environmental pollution. Therefore, it is necessary to reduce the need for electrical energy from fossil sources to a more environmentally friendly energy source and to integrate it effectively. Furthermore, the requirements must be met with the lowest possible energy cost. In this study, the technical and economic applicability of the sample hybrid renewable energy system, which is considered to meet the electrical load requirement of the industrial area in Gemlik district of Bursa province, is investigated. It is ensured that the most appropriate electrical energy production planning is made. With the values obtained, it was observed from which elements how much of the electrical load is provided. In addition, some sensitivity analysis and energy optimization studies have been carried out. With the planning, it has been observed that the improvement in terms of environmental pollution is achieved and a significant economic gain can be achieved in case energy needs are met.

Örnek Bir Hibrit Yenilebilir Enerji Sisteminin HOMER ile Modellenmesi, Ekonomik ve Teknik Yönden Analizleri

Anahtar Kelimeler:

HOMER
Hibrit Yenilebilir
Enerji Sistemleri
Enerji Maliyeti
Yenilebilir Enerji
Optimizasyon
Akü Grupları

Özet

İnsanların yaşam alanlarında elektrik enerji tüketim değerleri artış göstermekte ve bunun sonucunda elektrik kaynaklarına gereksinim artmaktadır. Elektrik üretimi geçmişten günümüze yüksek oranda fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Fosil kaynaklar; maliyeti fazla ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bundan ötürü elektrik enerjisi ihtiyacını fosil kaynaklardan azaltarak daha çevreci bir enerji kaynaklarına yönelmek ve bunu etkili şekilde sisteme entegre etmek gerekmektedir. Ayrıca mümkün olan en düşük enerji maliyeti ile gereksinimler giderilmelidir. Bu çalışmada, Bursa ili Gemlik ilçesindeki sanayi alanının elektriksel yük ihtiyacının karşılanması için düşünülen örnek hibrit yenilebilir enerji sisteminin şebekeli ve şebekesiz olarak, teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği araştırılmıştır. En uygun elektrik enerji üretim planlamasının yapılması sağlanmıştır. Çıkan değerler ile elektrik yükünün ne kadarının hangi elemanlardan sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bazı hassasiyet analizleri ile enerji optimizasyon çalışmaları yapılmış, farklı olasılıklar ile hangi sistemin daha uygulanabilir olacağı ortaya konmuştur. Yapılan planlama ile enerji ihtiyacının sağlanması durumunda çevre kirliliği açısından iyileştirme olduğu ve önemli oranda ekonomik kazanç sağlanabildiği görülmüştür.

1 GİRİŞ

Dünya’da ve Türkiye’de özellikle şehirleşme oranının artmasına bağlı olarak nüfus artmaktadır. Bu değişim neticesinde elektrik tüketim ihtiyacı da hızla artmaktadır. Teknolojinin ve sanayileşmenin gelişimine bağlı olarak enerjiye gereksinim oldukça fazlalaşmaktadır. Bu durumda enerji önemli bir bileşen olmaktadır ve yaşam kalitesinin artmasında büyük bir rol oynamaktadır [1].

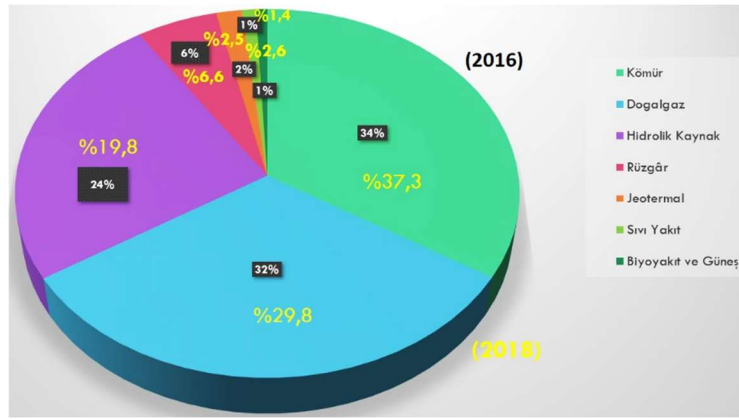
Enerji, hayatımızın her alanını önemli derecede etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Dünya’da insan nüfusunun artması neticesinde elektrik tüketimi de artmaktadır. Özellikle toplu yaşamın olduğu bölgelerde enerjinin tüketimi oldukça fazladır. Tüketimin artması ile elektriğe ihtiyaç artmaktadır ve bunun sonucunda elektrik kaynaklarının kullanımı fazlalaşmaktadır [2]. Elektrik üretimde çoğunlukla fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Bu kaynakların kullanılması ile belli başlı problemler de meydana gelmektedir: Dünya enerji rezervinin gitgide azalması, çevreyi kirletmeleri, sera etkisi, maliyet açısından yüksek olmaları gibi nedenleri sıralayabiliriz. Bu nedenle bu kaynakların tüketimdeki etkilerinin azaltılması ve yerine yenilebilir enerji kaynaklarının daha fazla tercih edilmesi önemlidir. Ülkemizin bulunduğu şartlar dikkate alındığında yenilebilir enerji potansiyeli bulundurması da bu geçiş için önemli avantaj sağlamaktadır. Ayrıca mevcut yeraltı kaynaklarının gittikçe azalması, iklim şartlarının bozulması ve ekonomik açıdan olumsuz etkiler yaratması da yenilebilir enerji kaynaklarının önemini ortaya koymaktadır [3].

Dünyanın sahip olduğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların özellikle 20. yüzyılda yoğun bir şekilde kullanılması ile ozon tabakası delinmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi etkileri, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı karşıya bırakmaktadır [4]. Ayrıca fosil yakıtların sonlu bir rezerve sahip olması nedeni ile önümüzdeki yıllarda bu yakıtların tamamen tükeneceği de bilinmektedir. Dünya genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama elektrik tüketimi 2376 kWh/kişi.yıl iken, Türkiye ortalaması, kaçak ve kayıplar dışında net 1281 kWh/kişi.yıl düzeyindedir [5]. Türkiye güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, hidroenerji gibi yenilenebilir kaynaklar açısından zengin olmasına karşın, yenilenebilir enerjiler için resmi hedefler yoktur; fosil yakıt bağımlılığını daha da arttıracak enerji tesislerinin ithalini sağlayan ihale planları vardır. Türkiye’de elektrik enerjisinin %70’i çevre kirliliği yaratan ve küresel ısınmaya yol açan fosil yakıtlardan (%31-doğal gaz; %29-linyit, %10 petrol türevleri, taş kömürü, vb.) elde edilmektedir [6]. Dünya’da enerji kaynaklarının sınırlı miktarda olduğu düşünülürse enerji ekonomik kullanılmalı ve bunun paralelinde yenilebilir enerji kaynakları sisteme etkili şekilde dahil edilmelidir [7].

Son yıllarda tüketimin artması sonucunda elektrik enerjisine olan talep artmıştır. Bunun sonucunda elektrik hattından çekilen güç değeri de büyümüştür. Türkiye’de 2016 yılındaki elektrik tüketimi 277,5 milyon kWh, elektrik üretimi 272,56 milyon kWh idir. Bu sayı 2025 yılında yıllık ortalama %6,2 olarak (yaklaşık 450 milyar kWh) artış gösterebileceği düşünülmektedir. Türkiye’de 2016 yılına bakıldığında toplam elektrik üretiminin %33,9’u kömürden, %32,2’si doğalgazdan, %24,7’si hidrolik kaynaklardan, %5,7’si rüzgârdan, %1,8’i jeotermalden, %1,0’i sıvı yakıtlardan, %0,8’i biyoyakıtlar ve güneş enerjisinden karşılanmıştır. Türkiye’nin toplam elektrik tüketimi 2018 yılında %0,8 artışla 292 milyar 168 milyon 386 bin kilovatsaate (kWh) yükselmiştir [7]. Enerji Günlüğü’nün Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) geçici verilerinden derlediği bilgilere göre, Türkiye’nin elektrik tüketimi 2018 yılında artmaya devam etti. Ancak artış oranı %0,8 ile geçmiş yılların oldukça altında gerçekleşmiştir. 2017 yılında 289 milyar 979 milyon 557 bin kWh seviyesindeki Türkiye’nin toplam elektrik tüketimi, 2018 yılında 292 milyar 168 milyon 386 bin kWh seviyesine yükselmiştir. 2016 rapordan gözüken sonuç artan enerji talebinin mevcut elektrik şebeke altyapısı ile karşılanması çok zor görünmektedir. Verilen oranlardan fosil yakıtlara dayalı sistemin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca Dünya’da kaynak rezervlerinin zamanla azalacak olması sonucunda rüzgâr ve güneş olmak üzere yenilebilir enerji kaynaklarına kayması zorunlu olmaktadır. Yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının artırılması ile fosil yakıtlarının çevreye verdikleri zararlı etkileri minimize edilecek, enerjideki çeşitlilik sağlanacak, enerjideki arz güvenilirliği yükselecek ve özellikle tüketici açısından elektrik maliyeti düşecektir [8, 9].

Tablo 1. Türkiye toplam tüketim miktarı (MWh) [9, 10]

AYLAR	2017 YILI	2018 YILI	ARTIŞ/AZALIŞ ORANLARI
Ocak	25.101.647	25.929.477	%3,3
Şubat	22.450.450	22.844.496	%1,8
Mart	23.585.382	24.145.065	%2,4
Nisan	21.936.981	22.785.833	%3,9
Mayıs	22.852.166	23.192.820	%1,5
Haziran	22.301.303	23.005.314	%3,2
Temmuz	27.775.991	28.265.839	%1,8
Ağustos	27.550.793	26.637.203	-%3,3
Eylül	23.807.838	24.211.946	%1,7
Ekim	23.161.713	22.666.263	-%2,1
Kasım	23.860.824	23.339.970	-%2,2
Aralık	25.594.468	25.144.161	-%1,8
TOPLAM	289.979.557	292.168.386	%0,8



Şekil 1. Türkiye toplam elektrik tüketim grafiği (2016-2018) [10]

Yenilebilir enerji kaynaklarının fosil enerji kaynakları ile beraber kullanılıyor olması neticesinde hibrit enerji sistemleri geliştirilmiştir ve bu sistemler önemli avantajlar sağlamaktadır [11]. Hibrit enerji sistemi ile bu iki farklı enerji kaynakları verimli şekillerde bir arada kullanılabilen ve daha temiz ve uygun özellikte enerji elde edilebilmektedir. Burada hibrit sistemin performansı, çevresel koşullara bağlı olmakta birlikte; bir bölgeye ait maliyet, analiz ve bileşenlerin boyutuna bağlı olmaktadır. Bu nedenle çevresel etkenlerin iyi bir şekilde araştırılması gerekmektedir [2]. Burada güneş ve rüzgâr enerjisi bu sistem içerisinde öncülük etmektedir ve bunların kullanımındaki payı gün geçtikçe artmaktadır; ancak iklim şartları dikkate alındığında değişkenliklerin fazla olması ile kullanım oranları orandaki değeri değiştirebilmektedir [12].

Yenilebilir enerji kaynakları diğer enerji kaynakları ile birlikte hibrit sistem oluşturabilirler. Bu hibrit sistemleri, genel olarak farklı enerji üretim sistemlerinin bir arada çalışarak yükü beslediği sistemlerdir. Bu sistemler şebekeli veya şebekesiz olarak çalışabilirler. Şebekesiz çalışan sistemlerde hibrit sistemlerinin temelini dizel generatörler oluşturmaktadır; ancak bu sistemlerde kullanılacak dizel yakıtların maliyette yarattığı etkiler neticesinde yenilebilir enerji kaynaklarının sisteme daha fazla oranla etkilerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Çevreyi çok fazla kirletme, dizel yakıt maliyetlerinin fazlalığı gibi nedenler dizel generatörün az şekilde kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu hibrit sistemlerde az fosil kaynak kullanılması da düşünülen nedenlerin başında gelmektedir. Elektrik kesintilerinde dizel generatörün etkili şekilde kullanılması da ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle yenilebilir enerji kaynaklardan etkili şekilde yararlanmak ve olası kesintilerde dizel generatörden daha az yararlanmak adına enerjinin etkili şekilde depolanması gerekmektedir. Bu nedenle sistemde kullanılacak bataryalar önemli etki yaratmaktadır. Seçilecek bataryanın türü, gücü, kapasitesi, maliyeti gibi birçok faktör seçim aşamasında bizlere yardımcı olmaktadır. Kapasite değerinin artması ile maliyet ciddi oranda yükselmektedir. Bu nedenle az kapasite ile çok sayıda kullanmak, yüksek kapasite ile az sayıda kullanmaktan kullanıcıya oldukça yarar sağlamaktadır.

Hibrit sistemlerinin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte bu sistemlerin nasıl tasarlanıp kullanılacağı da önem taşımaktadır. Günümüzde HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable), TRNSYS (A TRAnscient SYStems Simulation), H2RES (Energy Planning of Islands And Isolated Regions), NEPLAN, EnergyPLAN vb. birçok programda hibrit sistemlerinin modellenmeleri yapılmaktadır [13]. Bu yazılımlar

içerisinde kullanım kolaylığı, alınan sonuçların gerçekliğe yakınlığı, daha çok kaynağın etkili olarak hesaplanması gibi sebeplerden dolayı HOMER yazılımı ön plana çıkmaktadır [14].

HOMER, enerji sisteminin davranışını, kurulum maliyetini, yaşam süresince oluşabilecek gelir ve giderleri, çeşitli durumlar ışığında hangi kaynakların nasıl kullanılması gerektiğini teknik ve ekonomik değerler çerçevesinde modelleyerek kullanıcıya tasarım seçenekleri sunar. Ayrıca enerji sistemindeki girişlerde değişimlerin ve belirsizliklerin ölçülmesinde olanak sağlar. Bu belirsizlikler içerisinde yenilebilir enerji kaynaklarındaki kendine has nedenler (mevsimsel enerji değişkenlikleri, gün içi saatlerde farklı enerji üretimleri vb.) önemli ölçüde sebep oluşturmaktadır [15]. HOMER; simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi şeklinde üç görev altında bu işleri yürüterek bütün bu zorlukların üstesinden rahatlıkla gelmektedir [16].

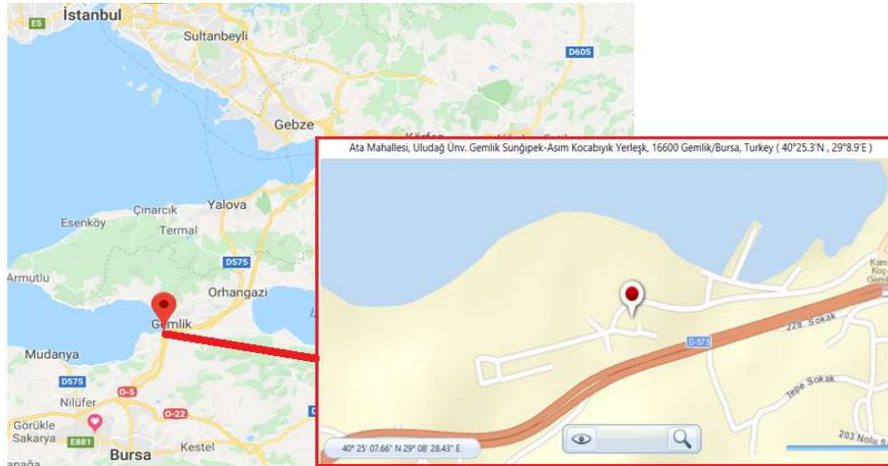
Bu çalışmada, Bursa ili Gemlik İlçesi'nde yer alan sanayi bölgesinin elektriksel yük ihtiyacını karşılaması için şebekesiz ve şebekeli sistemlerin durumunda tasarlanan hibrit yenilebilir enerji sisteminin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği araştırılmış, bataryanın etkileri ele alınmış ve iki sistem ana hatlarıyla ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır. Hibrit sistem üzerinde gerekli hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir ve iki senaryo altında oluşan etkiler incelenmiştir. Bunun sonunda en uygun sistem tespit edilmiştir.

2 MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, Gemlik ilçesinde yer alan sanayi bölgesinin enerji ihtiyacının karşılanması adına bir hibrit sisteminin modellenmesi HOMER yazılımı ile gerçekleştirilecek ve sistem şebekenin olup olmaması durumuna uygun olarak ekonomik – teknik açıdan analizleri yapılarak karşılaştırılacaktır. Bunun sonucunda en uygun sistem modelinin planlamasına karar verilecektir.

2.1 Bölgenin Konumu ve Profili

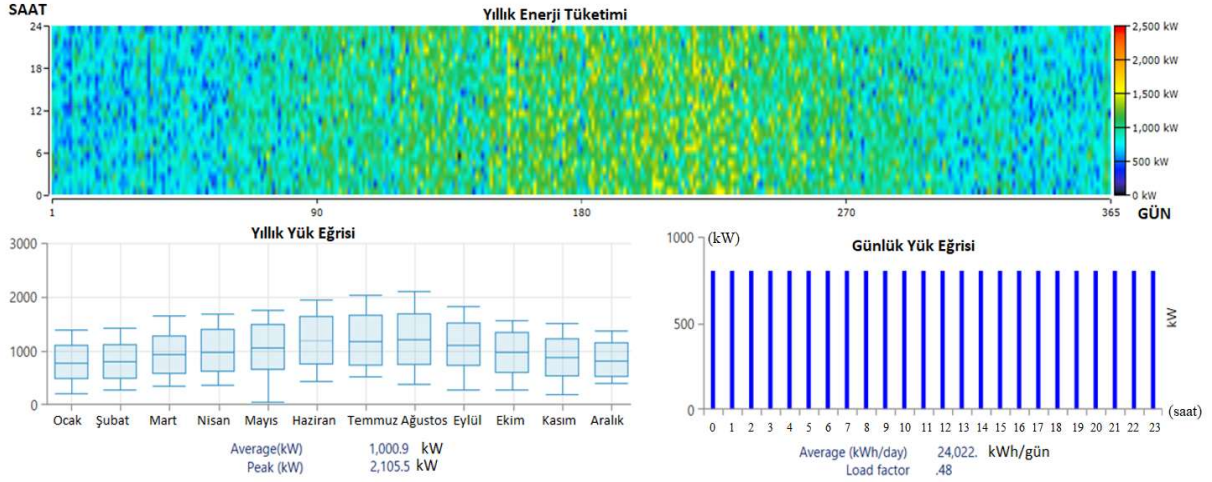
Gemlik, Marmara Denizi kıyısında bulunan, Bursa'nın bir ilçesidir. Gemlik'in üç tarafı kısmen ihtiyarlanmış tek ve sıradağlarla kuşatılmış olup yalnız batısı Marmara Denizi'ne doğru açıktır. İznik Gölü'nden gelen Karsak Deresi Gemlik'i ikiye bölmüştür. 376 km² alana ve 5 m rakıma sahiptir. 2018 verilerine göre 112 bin nüfus bandına sahiptir [17]. İstanbul – Bursa arasında önemli konumu olması neticesinde sanayisi oldukça gelişmektedir. Özellikle Bursa ile ticari ilişki yakınlığı da dikkate aldığımızda önemli etkisi olmaktadır. Şekil 2'de analizi yapılması düşünülen Gemlik Sanayi Bölgesi'nin haritadaki yeri görülmektedir. Haritada 40° 25' 07.66" N, 29° 08' 28.43" E konumunda bulunmaktadır.



Şekil 2. Bursa ili Gemlik ilçesinde yer alan Gemlik Sanayi Bölgesi'nin haritadaki konumu

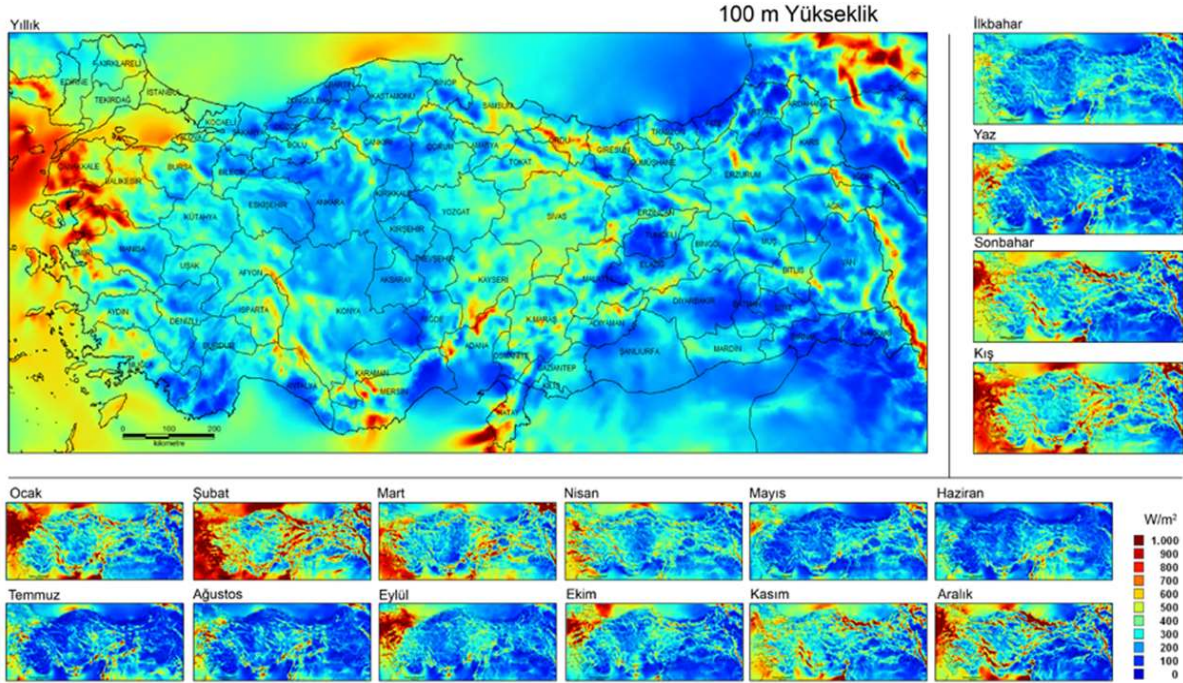
2.2 Yük Profili

Şekil 3'de Gemlik Sanayi Bölgesinin günlük ve yıllık yük profilleri görülmektedir. Bulunan bölge sanayi olduğundan her saat diliminde ciddi oranda bir enerjiye gereksinim duymaktadır. Günlük ortalama yük değeri 24.037 kWh, yük eğrisinde maksimum yük tüketimi 2,105.5 kW ve yük profil faktörü %48 olarak belirlenmiştir. En fazla enerjiyi Ağustos ayında, en az enerjiyi Ocak ayında tüketmektedir. Sanayi olduğundan ötürü her saat diliminde belli miktarda enerji tüketmektedir.



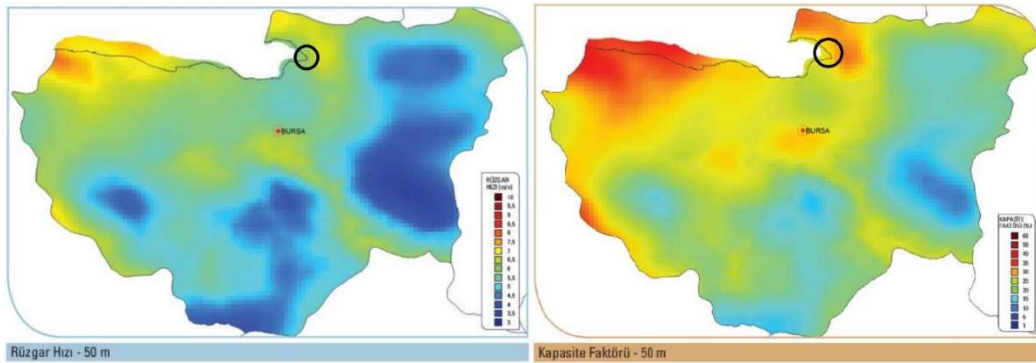
Şekil 3. Gemlik sanayi bölgesinin yük profil eğrileri

2.3 Bölgenin Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyelleri



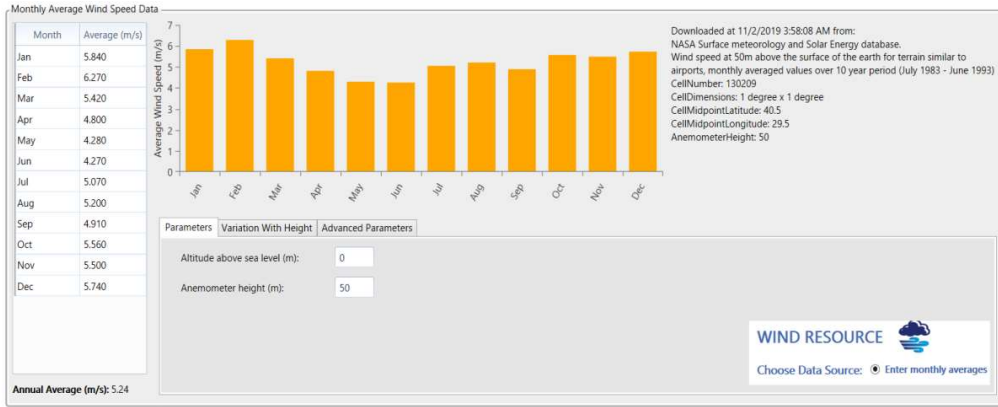
Şekil 4. Türkiye'nin rüzgâr potansiyel haritası [18]

Şekil 4'de Türkiye'nin rüzgâr potansiyelini gösteren harita verilmiştir. Bu harita 100 m yüksekliğe göre baz alınmıştır. Buna göre en etkili rüzgarlar Kuzey Ege ve Marmara Bölgesi çevresinde görülmektedir.



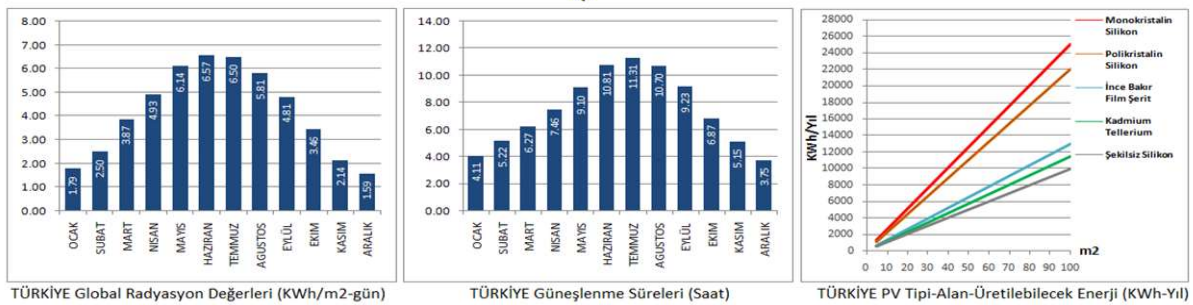
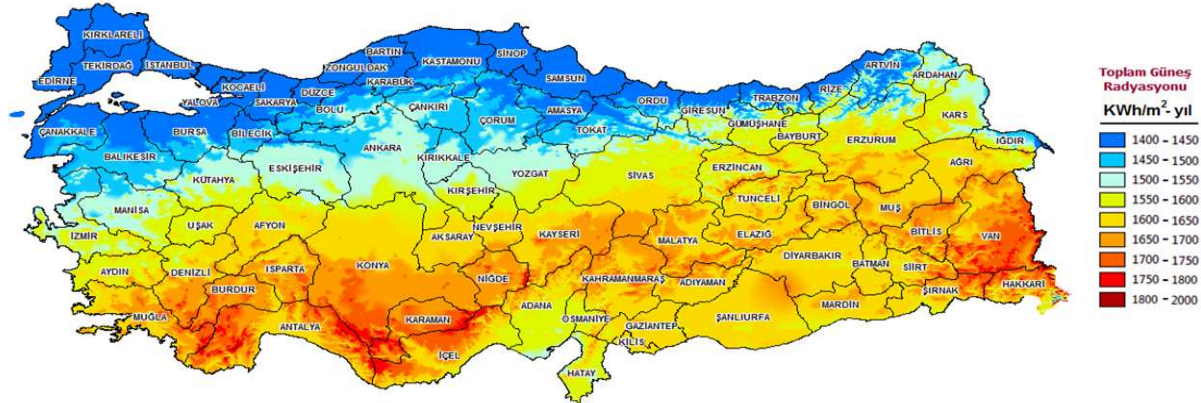
Şekil 5. Bursa ili rüzgâr hızı ve kapasite faktörü [19]

Şekil 5’de Bursa iline ait rüzgâr haritası ve kapasite faktörü (50 m) görülmektedir. Şekil 5’e göre Gemlik bölgesinin rüzgâr hızı 6 – 6,5 m/s, rüzgâr kapasite faktörü %25-30 civarındadır.



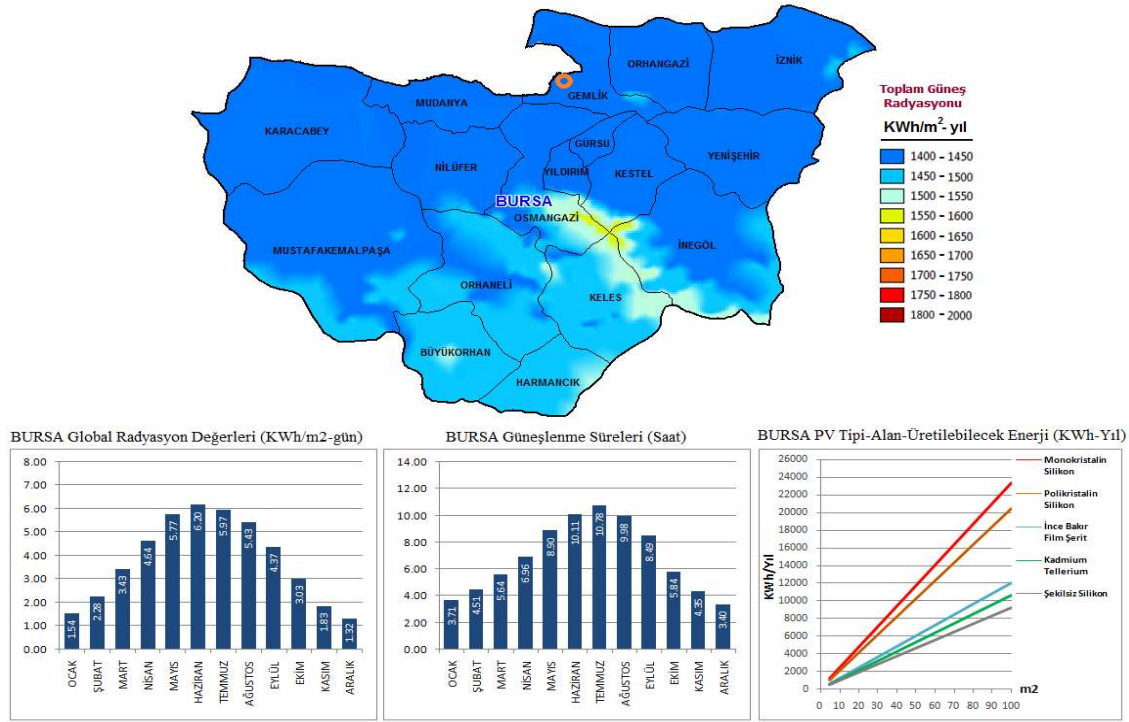
Şekil 6. Bölgenin rüzgâr hızı profili (NASA verileri)

Şekil 6’da NASA verilerine göre program verilerine göre bölgenin rüzgâr verileri görülmektedir, buna göre bölgenin rüzgâr hızı 5,24 m/s şeklindedir. Bursa ili açısından rüzgâr gücü yeterli seviyede görülmektedir. Ekonomik RES (Rüzgâr Elektrik Santrali) yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgâr hızı gerekmektedir. Bursa’da bu hız değeri 5,24 m/s (6-6,5 m/s) idir. Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir. Bursa’da bu oran %25-30 civarındadır. Buna göre bölgede rüzgâr santralının kurulması için yeterince rüzgâr bulunmaktadır.



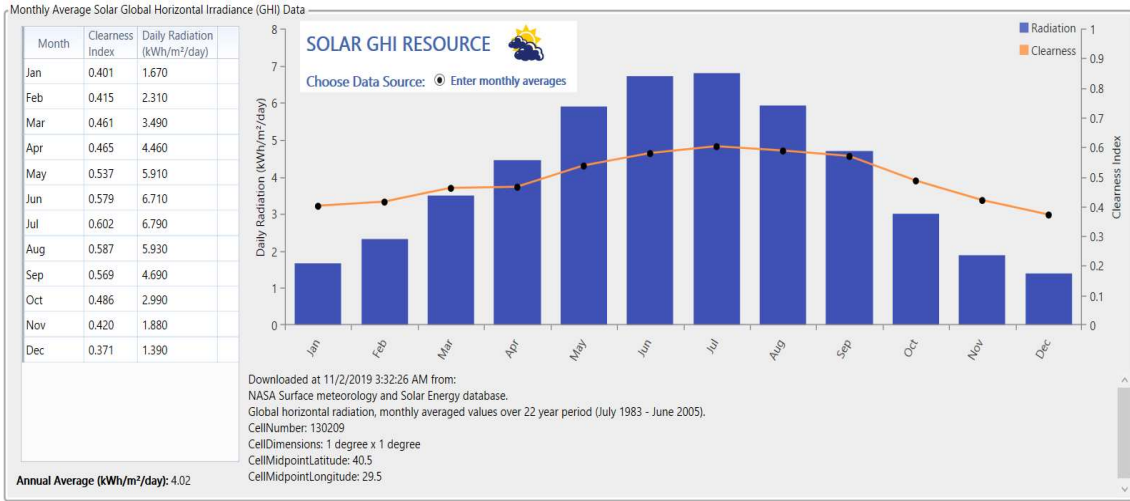
Şekil 7. Türkiye Güneş enerji potansiyeli haritası verileri [20]

Şekil 7’de Türkiye’nin Güneş etkilerinin radyasyon olarak değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 8. Bursa ili Güneş enerji potansiyeli ve etkileri [21]

Şekil 8’de Bursa ilinin Güneş enerjisi verileri görülmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8’deki veriler Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) ve Meteoroloji ile iş birliğinde oluşturulmuştur. En fazla güneş radyasyon verileri Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmektedir. Bursa ili açısından bu değer düşük olmasına rağmen yeterince güneş radyasyon değerini alabilmektedir.



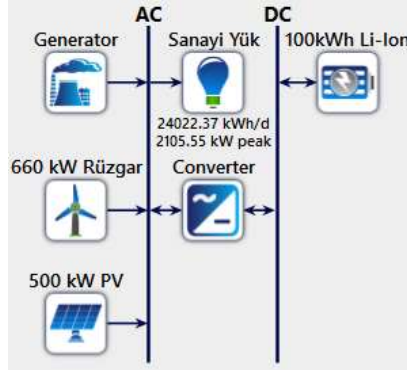
Şekil 9. Bölgenin güneş radyasyon profili (NASA verileri)

Şekil 9’da NASA verilerinden elde edilerek HOMER programında oluşturulan Güneş değerleri görülmektedir. Ekonomik GES (Güneş Enerji Santrali) yatırımı için 1500 kWh/m²/yıl eşik değerinin üzerinde ve yılda en az 2000 saat güneşlenme süresince kurulmalıdır. Buna göre 4 kWh/m²/gün olarak ele aldığımızda (Tablo 2) bölgemiz güneş santralleri kurulması için elverişlidir. Burada kış şartlarında güneşlenme süresi ile radyasyon değerinin düşük olması neticesinde kış şartlarında verim oldukça düşük olacaktır.

Tablo 2. Türkiye ile Bursa arasında Güneş radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

Özellikler	Türkiye (Minimum)	Bursa (Minimum)
Güneşlenme Süresi (Toplam Saat)	2000 Saat	2480 Saat
Güneşlenme Enerjisi Değeri (kWh/m ²) (yıllık)	1500 kWh/m ²	1400~1450 kWh/m ²
4 Saatlik Güneşlenme Süresine Sahip Gün Sayısı	150 Gün	10x30= 300 Gün

2.4 Şebekesiz Hibrit Sistemin Modellenmesi



Şekil 10. Bölgenin şebekesiz olarak hibrit sisteminin modellenmesi

Şekil 10'da hibrit sisteminin şebekesiz olarak tasarlanması görülmektedir. Bu sistemde; 50 m yüksekliğinde 660 kW'lık rüzgâr türbini, 500 kW'lık flat tipi PV paneli, 700 kW'lık konvertör, 2400 kW'lık dizel generatör ve 100 kWh'lık Lityum-Ion batarya tercih edilmiştir. Tercih edilirken yükün değerinin %5-20 aralığına ve peak değerine dikkat edilmiştir. Batarya büyük güçte seçilebileceği gibi küçük güçte de seçilebilir; ancak güç yükseldiği anda maliyetler ciddi oranda artacaktır. Ömür süresi 25 yıl tercih edilmiştir.

Sistem modellenirken her bir sistemin gerekli maliyetlerinin oluşturulması gerekmektedir. Günümüz şartlarda maliyetler arasında ciddi değişkenlikler görülmektedir. Bu nedenle en uygun maliyet belirlenmiş ve ilgili kısımda değerleri girilmiştir. Tablo 3'de her bir elemanların maliyetleri görülmektedir.

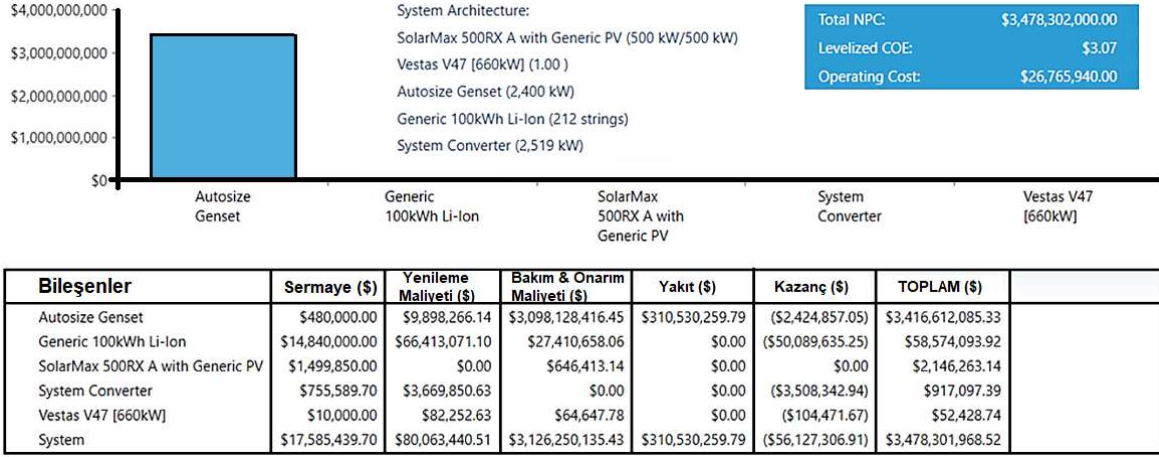
Tablo 3. Sistemlerin birim maliyetleri

Malzemeler	Sermaye Masrafı (\$)	Yenileme Masrafı (\$)	İşletme – Bakım Maliyeti (\$/yıl)
Dizel Jeneratör (1 kVA)	200 \$	160 \$	3 \$/saat
Rüzgâr Türbini (1 kW)	1000 \$	1000 \$	20 \$
Güneş Modülleri (1 kW)	7000 \$	7000 \$	10 \$
Batarya (Li-Ion) (100 kWh)	70.000 \$	70.000 \$	1.000 \$
Çevirici (1 kW)	1000 \$	1000 \$	10 \$

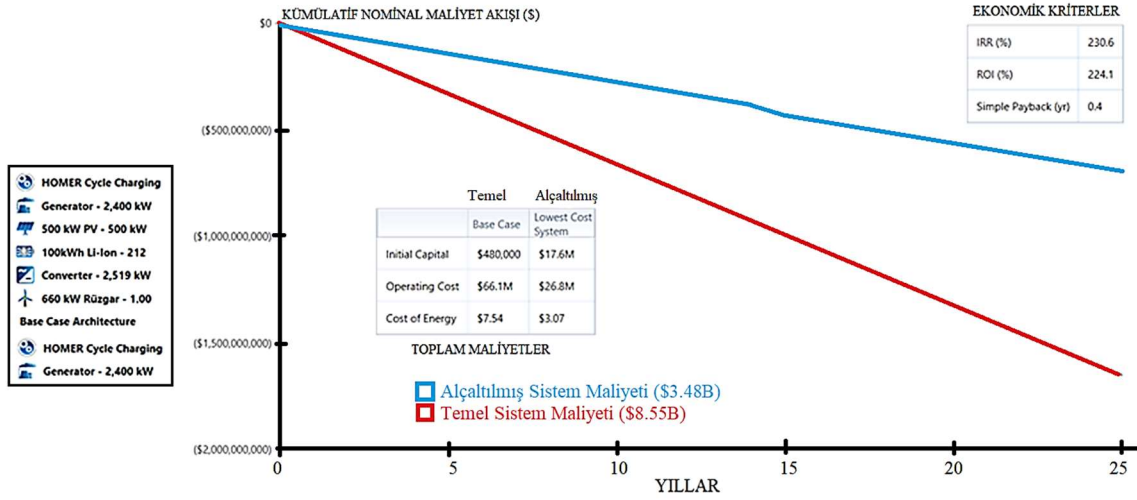
Tablo 4'de sistemin optimizasyon sonuçları görülmektedir. Tabloda görüldüğü üzere faydalı birim maliyet (COE) değerine göre sistemler sıralanır. Burada en uygun sistem tüm bileşenlerin bulunduğu kısımdır. Buna göre tüm kaynakların kullanılması durumu, sistem için en uygun sonuçtur. Bu sistemde; 1 adet 500 kW PV paneli, 1 adet 660 kW'lık rüzgâr türbini, 2400 kW'lık dizel generatör, 2 adet 100 kWh'lık Lityum-Ion batarya ve 2519 kW'lık konvertör belirlenmiştir. Buna göre COE değeri \$3.07, işletme maliyeti (Operating Cost) \$26.8M (yıllık), ilk sermaye maliyeti \$17.6M, 25 yıllık proje olarak düşünüldüğünde bu süre sonundaki maliyeti (NPC) \$3.48B şeklinde olup yenilebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı %8,93 idir. Bu oran oldukça düşüktür ve istenmeyen durumdur. Ayrıca yıllık yakıt kullanımı 2.001,424 litre olarak hesaplanmıştır. Şekil 11'de bu verilerin toplam olarak gösterildiği grafik görülmektedir.

Tablo 4. Şebekesiz hibrit sistemin optimizasyon sonuçları

					Faydalı Birim Maliyet (COE) (\$)	Şimdiki Net Maliyet (NPC) (\$)	Bakım-Onarım Maliyet (\$/yıl)	Sermaye Maliyeti (\$)	Yenilebilir Enerji Kullanımı
500 kW	660 kW	212 kWh	2,519 kW	2,400 kW	3.07 \$	3.48B \$	26.8M \$	17.6M \$	%8,93
-	660 kW	251 kWh	2,369 kW	2,400 kW	3.37 \$	3.82B \$	29.4M \$	18.8M \$	%0
500 kW	-	219 kWh	2,402 kW	2,400 kW	3.47 \$	3.93B \$	30.2M \$	18.0M \$	%0
-	-	257 kWh	2,040 kW	2,400 kW	3.75 \$	4.25B \$	32.7M \$	19.1M \$	%0
500 kW	660 kW	-	-	2,400 kW	7.50 \$	8.51B \$	65.8M \$	1.99M \$	%13,5
-	660 kW	-	-	2,400 kW	7.52 \$	8.52B \$	65.9M \$	490,000 \$	%7,78
500 kW	-	-	-	2,400 kW	7.52 \$	8.53B \$	66.0M \$	1.98M \$	%6,76
-	-	-	-	2,400 kW	7.54 \$	8.55B \$	66.1M \$	480,000 \$	%0



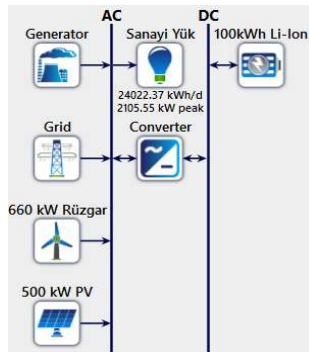
Şekil 11. Şebekesiz tasarlanan hibrit sisteminin toplam maliyet analizleri



Şekil 12. Şebekesiz sistemin ömür süresindeki maliyet akış grafiği

Şekil 12’de şebekesiz sistemin 25 yıl sonunda maliyet akış grafiği görülmektedir. Burada dizel jeneratör ile besleme (base case) ile optimizasyon sonucunda elde edilen (lowest cost system) sistemin karşılaştırılması görülmektedir. 25 yıl sonunda dizel jeneratörün getirdiği net maliyet 8.55B \$ iken tasarlanan uygun sistemin getirdiği net maliyet 3.48B \$ şeklindedir. Arada 5,07B \$ toplamda kâr elde edilmiştir.

2.5 Şebekeli Hibrit Sistemin Modellenmesi



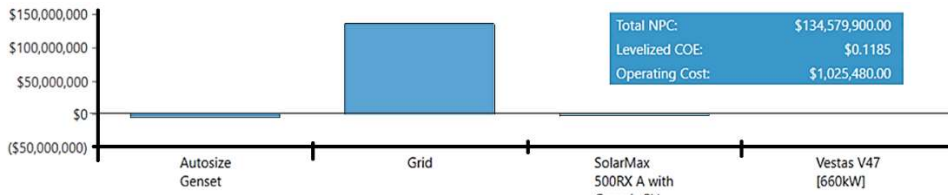
Şekil 13. Bölgenin şebekeli olarak hibrit sisteminin modellenmesi

Şekil 13’de hibrit sisteminin şebekeli olarak tasarlanması görülmektedir. Bu sistemde; 50 m yüksekliğinde 660 kW’lık rüzgâr türbini, 500 kW’lık flat tipi PV paneli, 700 kW’lık konvertör, 2400 kW’lık dizel jeneratör, 100 kWh’lık Lityum-İon batarya ve şebeke hattı tercih edilmiştir. Tercih edilirken yükün değerinin %5-20 aralığına ve peak değerine dikkat edilmiştir. Batarya büyük güçte seçilebileceği gibi küçük güçte de seçilebilir; ancak güç yükseldiği anda maliyetler ciddi oranda artacaktır.

Tablo 5. Şebekeli hibrit sistemin optimizasyon sonuçları

					Faydalı Birim Maliyet (COE) (\$)	Şimdiki Net Maliyet (NPC) (\$)	Bakım-Onarım Maliyet (\$/yıl)	Sermaye Maliyeti (\$)	Yenilebilir Enerji Kullanımı
500 kW	660 kW	-	-	2,400 kW	0.118 \$	135M \$	1.03M \$	1.99M \$	%19.4
500 kW	660 kW	2x100 kWh	16,5 kW	2,400 kW	0.119 \$	135M \$	1.03M \$	2.13M \$	%19.4
500 kW	660 kW	-	-	-	0.123 \$	139M \$	1.07M \$	1.51M \$	%19.4
500 kW	660 kW	2x100 kWh	16,5 kW	-	0.123 \$	140M \$	1.07M \$	1.65M \$	%19.4
-	660 kW	-	-	2,400 kW	0.129 \$	147M \$	1.13M \$	490,000 \$	%10.9
-	660 kW	2x100 kWh	16,5 kW	2,400 kW	0.130 \$	147M \$	1.13M \$	634,936 \$	%10.9
-	660 kW	-	-	-	0.134 \$	152M \$	1.17M \$	10,000 \$	%10.9
-	660 kW	2x100 kWh	16,5 kW	-	0.134 \$	152M \$	1.17M \$	154,936 \$	%10.9
500 kW	-	-	-	2,400 kW	0.135 \$	153M \$	1.17M \$	1.98M \$	%8.49
500 kW	-	2x100 kWh	16,5 kW	2,400 kW	0.135 \$	153M \$	1.17M \$	2.12M \$	%8.49
500 kW	-	-	-	-	0.139 \$	158M \$	1.21M \$	1.50M \$	%8.49
500 kW	-	2x100 kWh	16,5 kW	-	0.140 \$	158M \$	1.21M \$	1.64M \$	%8.49
-	-	-	-	2,400 kW	0.146 \$	165M \$	1.27M \$	480,000 \$	%0
-	-	2x100 kWh	16,5 kW	2,400 kW	0.146 \$	166M \$	1.28M \$	624,936 \$	%0
-	-	-	-	-	0.150 \$	170M \$	1.32M \$	0.00 \$	%0
-	-	2x100 kWh	16,5 kW	-	0.150 \$	170M \$	1.32M \$	144,936 \$	%0

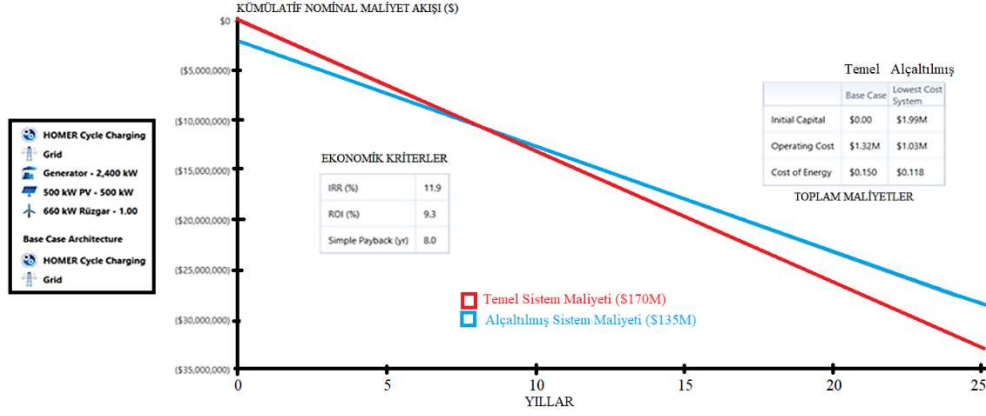
Tablo 5’de şebekeli sistemin optimizasyon sonucu, Şekil 14’de bu sistemin toplam maliyet analizi ve Şekil 15’de şebekeli sistemin 25 yıl sonunda maliyet akış grafiği verilmiştir. Bu analiz işlemi COE (Faydalı Birim Enerji Maliyeti) durumuna göre sistemler tasarlanmış ve listelenmiştir. Buna göre tüm kaynakların kullanılması durumu 2. sırada verilmiştir; ancak karşılaştırma yapılacağından bataryalı sistemin durumu dikkate alınmıştır. Bu sistemde; 1 adet 500 kW PV paneli, 1 adet 660 kW’lık rüzgâr türbini, 2400 kW’lık dizel generatör, 2 adet 100 kWh’lık Lityum-İyon batarya ve 16,5 kW’lık konvertör belirlenmiştir. Buna göre COE değeri \$0.119, işletme maliyeti (Operating Cost) \$1.03M (yıllık), ilk sermaye maliyeti \$2.13M, 25 yıllık proje olarak düşünüldüğünde bu süre sonundaki maliyeti (NPC) \$135M şeklinde olup yenilebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı %19,4 şeklindedir.



Bileşenler	Sermaye (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	Bakım & Onarım Maliyeti (\$)	Yakıt (\$)	Kazanç (\$)	TOPLAM (\$)
Autosize Genset	\$480,000.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	(\$5,215,225.65)	(\$4,735,225.65)
Grid	\$0.00	\$0.00	\$137,116,433.61	\$0.00	\$0.00	\$137,116,433.61
SolarMax 500RX A with Generic PV	\$1,499,850.00	\$0.00	\$646,413.14	\$0.00	\$0.00	\$2,146,263.14
Vestas V47 [660kW]	\$10,000.00	\$82,252.63	\$64,647.78	\$0.00	(\$104,471.67)	\$52,428.74
System	\$1,989,850.00	\$82,252.63	\$137,827,494.52	\$0.00	(\$5,319,697.32)	\$134,579,899.84

Şekil 14. Şebekeli tasarlanan hibrit sisteminin toplam maliyet analizleri

Şekil 15’deki grafikte şebeke ile besleme (base case) ile optimizasyon sonucunda elde edilen (lowest cost system) sistemin karşılaştırılması görülmektedir. 25 yıl sonunda şebekenin getirdiği net maliyet 170M \$ iken tasarlanan uygun sistemin getirdiği net maliyet 135M \$ şeklindedir. Böylece şebekenin yanında kurulan yenilebilir hibrit sistemi ile 35M \$ toplamda kâr elde edilmiştir.



Şekil 15. Şebekeli sistemin ömür süresindeki maliyet akış grafiği

3 BULGULAR

Tablo 6. Şebekesiz ve şebekeli hibrit sistemlerin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

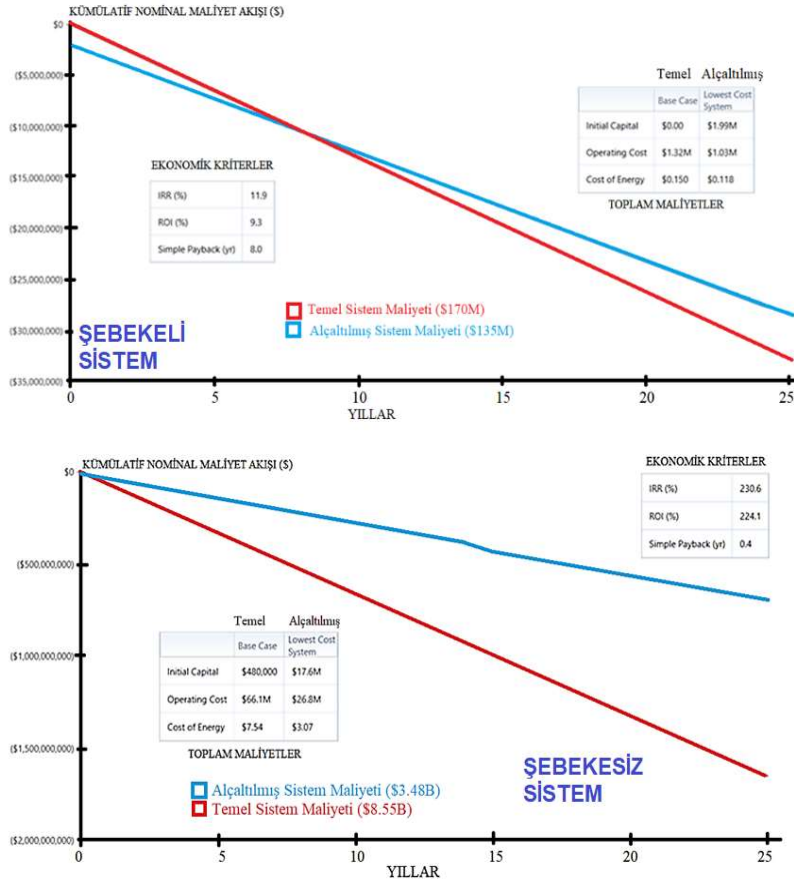
						Faydalı Birim Maliyet (COE) (\$)	Şimdiki Net Maliyet (NPC) (\$)	Bakım-Onarım Maliyet (\$/yıl)	Sermaye Maliyeti (\$)	Yenilebilir Enerji Kullanım
500 kW	660 kW	212 kWh	2,519 kW	2,400 kW	YOK	3.07 \$	3.48B \$	26.8M \$	17.6M \$	%8,93
500 kW	660 kW	2x100 kWh	16,5 kW	2,400 kW	VAR	0.119 \$	135M \$	1.03M \$	2.13M \$	%19.4

Tablo 6’da bu sistemin optimizasyon sonucunun karşılaştırılması verilmiştir. COE değeri; şebekesiz \$3.07 iken şebekeli \$0.119 şeklindedir. Buna göre 25,9 kat oranında bir fark vardır ve şebekeli sistem ön plana çıkmaktadır. 25 yıl sonundaki net şimdiki maliyet (NPC) değeri; şebekesiz \$3.48B iken şebekeli \$135M idir.

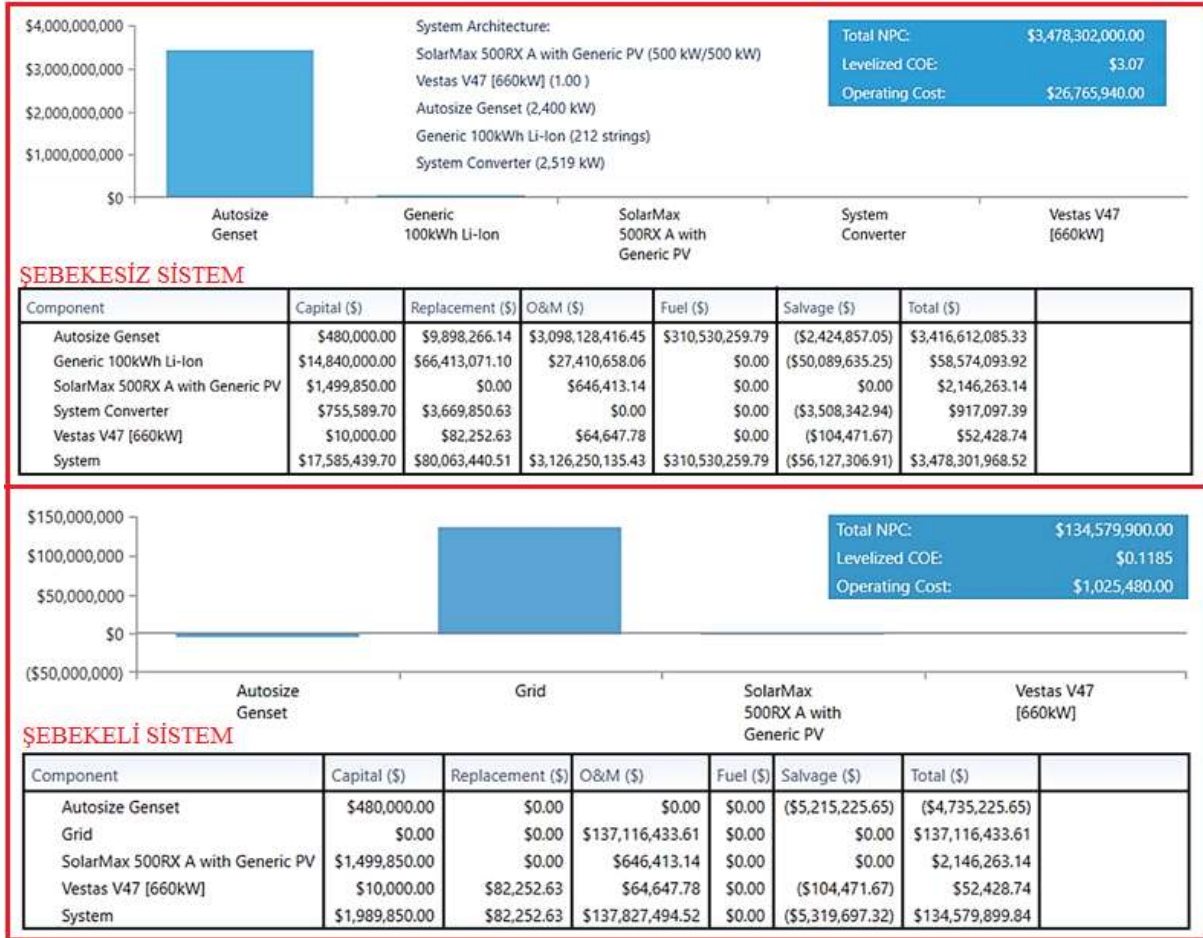
Tablo 7. Şebekesiz ve şebekeli hibrit sistemlerin genel olarak karşılaştırılması

Özellikler	Şebekesiz Sistem	Şebekeli Sistem	Kâr Oranı
Net Şimdiki Maliyet (\$)	3,478,302,000.00 \$	134,579,900.00 \$	25,84 kat
Faydalı Birim Maliyeti (\$)	3.07 \$	0.1185 \$	25,90 kat
Bakım Maliyeti (\$)	26,765,940.00 \$	1,025,480.00 \$	26,1 kat
Dizel Yakıt Kullanımı (Lt/yıl)	2,001,424 litre/yıl	0 litre/yıl	-

Şebekeli sistem, şebekesiz sisteme oranla 25,84 kat daha ekonomik bir gelir sağlayacaktır (Tablo 7). Yenilebilir enerji kullanım oranı şebekesiz sistemde %8,93 iken şebekeli sistemde %19,4 şeklindedir. Şebekeli sistem daha yenilebilir enerji kaynaklarını sisteme dahil etmektedir. Şebekeli sistemde dizel yakıt maliyetinin olmaması da burada önemli etkidir. Her iki sistemde maliyet + değer çıktığından sistem elektrik satmaya uygun değildir. Ayrıca şebekesiz sistem aşırı oranda dizel yakıt tüketmekte ve dizel jeneratörü kullanmaktadır. Bu durum çevreyi olumsuz etki etmektedir. Şebekeli sistemde konvertör daha küçük güçlü kullanılacağından maliyete olumlu olarak yansacaktır.



Şekil 16. Şebekesiz – şebekeli sistemlerin ömür süresindeki maliyet akış grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 17. Şebekesiz – şebekeli sistemlerin toplam maliyet analizlerinin karşılaştırılması

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Bursa ili Gemlik ilçesinde yer alan sanayi bölgesinin elektrik yük ihtiyacına uygun olarak hibrit yenilebilir enerji sistemi tasarımı yapılmış ve bu tasarım işleminde HOMER yazılımı kullanılmıştır. Bu tasarımda şebekesiz ve şebekeli olup olmaması senaryolarına göre analizler gerçekleştirilmiş ve bu iki senaryolar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Tasarlama sürecinde bölgenin güneş, rüzgâr etkileri ve dinamik parametreleri hesaba katılmıştır. Gerekli maliyetler tespit yapılmış ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda şebekeli sistemin şebekesiz sisteme göre ekonomik maliyet noktasında olumlu manada etki etmiştir. Ayrıca dizel yakıt kullanılmayarak çevreye olumlu katkı sunmuştur.

İki sistem kıyaslandığında şebekeli sistemin önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür. Günümüz şartlarında şebeke hatlarının evlere dağıldığı düşünülürse tercih edilme nedeni olmuştur. Şebekelerde elektrik kesilmesi neticesinde tüketiciler mevcut şartları (yani şebekesiz sistemi) kullanacaktır. Dolayısıyla elektriğin gelmediği süre içerisinde mevcut kullanım oranından yaklaşık 25 kat daha fazla elektrik kullanımı oluşacaktır. Bu oran ciddi olduğundan şebekeli sisteminin önemi ortaya çıkmıştır. Ancak şebekesiz sistemin modellenmesi de bölgede elektrik kesilmelerinde olabilecek etkileri öngörmede kullanılabilir. Ayrıca şebekeli sistemde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının yüksek olması ve dizel generatörde yakıt kullanımına yeterince gereksinim duyulmaması (şebekeden elektrik temin edilmesi ve elektrik kesildiğinde elektrik üretilmesi) gibi nedenler de şebekenin ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Bu çalışmadan yola çıktığımızda, şebekenin ulaşım ağının yaygın olmasını ele alırsak bölgeye şebekeli sistemli hibrit sistem yerleştirilmesi ile sanayi fabrikası kullandığı enerji maliyetini yenilebilir enerji kaynaklarından azaltabilecek ve çevreye vereceği zararı minimize edecektir. Ayrıca bir elektrik kesilmesi durumunda şebekesiz sistem modellemesinin kullanıcıya yaratacağı etkiler de düşünülebilir. Böylece kullanıcı her iki durumda neler kazanıp neler kaybedebileceğini bu iki durumla görebilecektir. Bunun sonucunda hibrit sistemlerinde şebekenin gerekliliği bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Not

Bu makale 01-03 Kasım 2019 tarihleri arasında Kocaeli’de gerçekleştirilen Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresinde (IMASCON 2019) sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yapılandırılmıştır.

Kaynakça

- [1] H. Özcan, “Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi,” İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [2] A. Felix, F. Farret, *Integration Of Alternative Sources Of Energy*. Wiley-Interscience, 2006.
- [3] K. Halil, Z. Özer, H. D. Özsoy, D. E. Avcı, “Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması”, *III. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 2005.
- [4] A. Bayram, “Nükleer Enerji ve Türkiye”, *2000 GAP Çevre Kongresi Bildiriler Kitabı*, 2000, Şanlıurfa, sy. 617-624.
- [5] A. Froggatt, “The liberalisation of Europe’s electricity markets – Is the Environment Paying the Price for Cheap Power?”, *Greenpeace*, 2000, pp. 13.
- [6] U. Yılmaz; A. Demirören, H. L. Zeynelgil, “Gökçeada’da Yenilebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 2010, Cilt: 13, No: 3, sy. 215-223.
- [7] M. A. Habib, S. Said, A. M. El-Hadidy, Al-Zaharna, “*Optimization Procedure Of A Hybrid Photovoltaic Wind Energy System*”, 1999, Vol. 24, pp. 919-929.
- [8] Türkiye Enerji Üretimi, 2019. [Online]. Available: <http://www.enerji.gov.tr/enerjiuretimi.html>. [Accessed: Nov-2019].
- [9] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019. [Online]. Available: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. [Accessed: 1-Dec-2019].
- [10] İpekyolu Kalkınma Ajansı, 2019. [Online]. Available: <https://www.ika.org.tr/upload/yayinlar/GUNES-ENERJISI-SEKTOR-RAPORU-759746.pdf>. [Accessed: 1-Dec-2019].
- [11] M. Yıldız, F. Bingöl, “Küçük ve Mikro Ölçekli Enerji Yatırımı İçin Hibrit Enerji Modeli”, *IV. İzmir Rüzgâr Sempozyumu*, 2017, İzmir.
- [12] A. Matthew, F. B. Ernest, “Feasibility Of Solar Technology Adoption: A Case Study On Tennessee’s Poultry Industry”, *Renewable Energy*, 2009, Vol. 34, pp. 748-754.
- [13] D. M. Gioutsos. “Determination of Cost-Optimal Electricity System Configurations for the Transition to Sustainable Energy Systems on Islands”, Master Of Science Thesis, For the degree of Master of Science in Sustainable Energy Technology (SET) at Delft University of Technology, 2016.
- [14] HOMER Energy, 2019. [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/>. [Accessed: Dec-2019].
- [15] S. Ghose, A. El-Shatat, “Modelling and Simulation of Grid Connected Lithium-ion Battery Using HOMER”, *WSEAS TRANSACTIONS on CIRCUITS and SYSTEMS*, Vol: 16, 2017.
- [16] H. Özcan, “Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [17] Gemlik Belediyesi, 2019. [Online]. Available: <http://gemlik.bel.tr/tr>. [Accessed: 1-Dec-2019].
- [18] Türkiye Rüzgâr Enerjisi, 2019. [Online]. Available: <https://www.enerjiatlasi.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye>. [Accessed: 29-Nev-2019].
- [19] Bursa Rüzgâr Enerjisi, 2019. [Online]. Available: <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/BURSA-REPA.pdf>. [Accessed: 29-Nev-2019].
- [20] Türkiye Güneş Enerjisi, 2019. [Online]. Available: <https://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>. [Accessed: 29-Nev-2019].
- [21] Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2019. [Online]. Available: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx>. [Accessed: 29-Nev-2019].