

## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği

İbrahim KIRBAŞ<sup>1\*</sup>, Tolga KOCAKULAK<sup>1</sup><sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 01.03.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 18.04.2021

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author\*): [ikirbas@mehmetakif.edu.tr](mailto:ikirbas@mehmetakif.edu.tr)

☎ +90 248 2134585 📠 +90 248 2134598

### ÖZ

Günümüzde enerji üretimi, sürdürülebilirlik, ekonomi ve çevre konuları ile birlikte düşünüldüğünde bütün odaklar yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde toplanmaktadır. Gelişen teknolojilere bağlı olarak maliyetlerin düşmesi ve verimliliklerin artması, başta güneş ve rüzgâr olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi hızla arttırmaktadır. Bu sistemlerin avantajlarından maksimum oranda faydalanmak ve dezavantajlarını minimuma indirmek amacı ile hibrit sistemler gündeme gelmektedir. Bu çalışmada, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri ile oluşturulan hibrit sistemlerin, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu yerleşkesine kurulumu değerlendirilmiştir. Sistem tasarımları Homer Pro simülasyon programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yerleşkeye ait aylık enerji tüketim değerlerinin girdisi sağlanmıştır. 60 kW, 80 kW ve 100 kW güç kapasitelerinde sadece güneş, sadece rüzgâr ve farklı kombinasyonlarda hibrit santrallerin kurulması sonucunda şebekeden alınan ve satılan enerji miktarı hesaplanmıştır. Güneş, rüzgâr ve hibrit santrallerin ilk kurulum ve bakım maliyetleri de dikkate alınarak sistemlere ait amortisman süresi, 10 yıl sonunda ve 25 yıl sonunda elde edilen kar miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenerek değerlendirilmiştir. 100 kW güce sahip hibrit sistemin 50 kW güneş paneli ve 50 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde edilmiştir. Sistemin güneş paneli ile kurulması durumunda üretilen enerji miktarında sürekli artış izlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, güneş paneli, hibrit sistem, rüzgâr türbini, yenilenebilir enerji

## Energy Production with Hybrid Systems: Case Study of MAKU-TBMYO, Turkey

### ABSTRACT

These days, when considered together with the energy production, sustainability, economy and environmental issues, all authorities are gathered around the renewable energy sources. Decreasing of the costs and increasing of the efficiencies, thanks to the developing technologies, has rapidly increased the tendency towards renewable energy sources, especially solar and wind. Hybrid systems are gaining currency in order to make maximum use of the advantages of these systems and to minimize their disadvantages. In this study, the installation of hybrid systems formed with solar panels and wind turbines is evaluated on the campus of Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Vocational School of Technical Sciences. System designs are carried out on the Homer Pro simulation program. The input of monthly energy consumption values of the campus has been supplied. As a result of the installation of pure solar, pure wind and with different combinations of hybrid power plant designs with 60 kW, 80 kW and 100 kW power capacities, the amount of purchased and sold energy values from the grid are calculated. Considering the initial installation costs and maintenance costs of the solar, wind and hybrid power plants, the amortization periods of the systems and the profit amounts at the end of 10 and 25 years have been calculated. The obtained results were evaluated by examination in detail. It is obtained that the energy received from the grid is the least in the case of a

100 kW hybrid system is installed with a 50 kW solar panel and a 50 kW wind turbine. In case of the system is installed with a solar panel, continuous increase in the amount of generated energy is observed.

**Keywords:** Energy, solar panel, hybrid system, wind turbine, renewable energy

## GİRİŞ

Ülkeler toplam enerji üretimleri içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması konusuna önem vermektedirler. Bunun sonucu olarak ar-ge faaliyetleri, proje çalışmalarına olan destekler ve yatırım destekleri her geçen gün artmaktadır (Sinsel ve ark., 2020; Østergaard ve ark., 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları temiz olduğu kadar ülkelerin dışa bağımlılığını azaltması, mevcut kaynakların tükenmesi gibi sorunları ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca sistem kuruluş maliyetlerini çıkardıktan sonra ucuz ve hatta oldukça düşük maliyette enerji üretmeleri, sürdürülebilir olmaları kullanılmalarını kaçınılmaz kılmaktadır (Kuik ve ark., 2019; Xu ve Buyya, 2020).

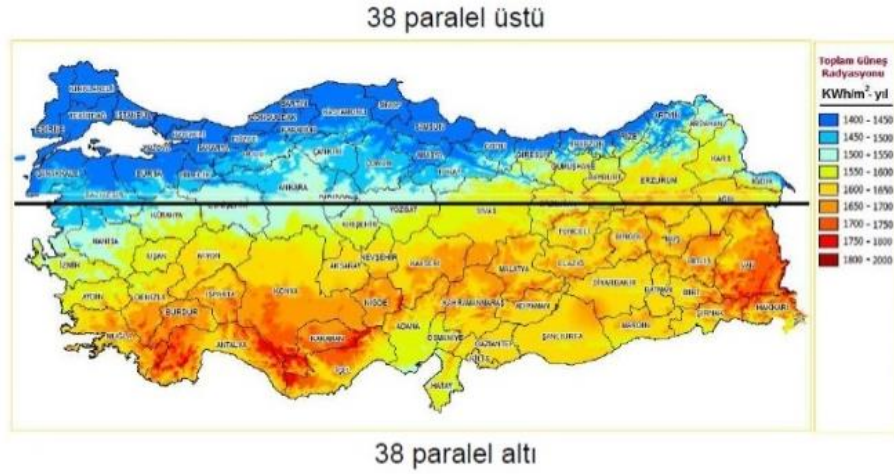
Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretmekte, her kaynak için farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinden faydalanırken rüzgâr türbinleri kullanılırken, güneş enerjisinden pasif olarak ışık (aydınlanma), aktif olarak kollektörler ile ısı, fotovoltaik paneller ile elektrik üretilmektedir. Jeotermal enerji için ısı değiştiriciler, hidrolik enerji ise türbinler aracılığı ile enerji üretilmektedir. Kaynaklara göre enerji üretim teknolojileri farklı olduğu kadar kaynakların kullanım süreleri ve gün içinde faydalanılma zamanları da farklılık göstermektedir. Güneşin olmadığı gece boyunca ya da kış aylarında rüzgâr enerjisi bulunabilir ya da tam tersi bir durumda rüzgârın olmadığı sıcak günlerde güneş enerjisi bulunabilir. Jeotermal ve hidrolik enerji gibi tüm gün boyu kullanılabilme özelliği olan kaynakların kullanımını ise bulunduğu bölge ile sınırlıdır. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretme işi iklim değişkenleri ile sınırlıdır. Tüm bu sınırlılıklar neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının bir tanesi düşünülerek enerji üretmek yerine birbirini tamamlama özelliği olan enerji kaynaklarının birlikte kullanımı (hibrit) ile enerji üretmek daha akıllıca olacaktır. Bir sistemin eksikliğini diğer sistemin üstünlüğü tamamlayacak ve birbirini tamamlayan bu sistem sayesinde kesintisiz enerji kullanımını mümkün olacaktır (Herzog ve ark., 2001; Panwar ve ark., 2011; Topal ve Topal, 2012; Hossain ve Mahmud 2014; Benney, 2019).

Güneş ve rüzgâr enerji sistemleri şebekeye bağlı (on-grid) veya bağlantısız (off-grid) olarak elektrik enerjisi üretimi yapabilirler (Mamur ve ark., 2019). Güneş enerjisi sistemlerinin çıkış gerilimi doğru akım (DA) olur. Kullanım amacına göre Eviriciler (inverter) ile alternatif akıma (AA) dönüştürülür (Çifci ve ark., 2014). Verimleri uygulamada %30'ların altında olup (Kabul ve Yaşar, 2017) laboratuvar şartlarında %45 oranındadır (URL-1, 2020). Rüzgâr enerjisi sistemlerinde ise genellikle AA çıkış gerilimine sahiptirler. İstedığımız gerilim türünde enerji kullanımını yine dönüştürücüler mümkün kılmaktadır (Yavuz ve Özbay, 2020). Rüzgâr enerjisi üretiminde kullanılan rüzgâr türbini verimleri ise yatay eksenli türbinlerde %45 civarındadır (Elibüyük ve Üçgül, 2014).

Türkiye'nin güneşlenme süresi ortalama olarak günlük 7,2 saat ve yıllık toplam 2.640 saat olup oldukça yüksek bir değerdedir (Kırbaş ve ark., 2013). Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası göz önüne alındığında Burdur ili 38 Paralel altı diye tabir edilen bölgede yer almaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi bu bölge 1550-2000 kWh/m<sup>2</sup>-yıl toplam güneş radyasyonu almaktadır. 2004-2018 yılları arası Burdur ili yıllık ortalama radyasyon değerleri en düşük 2009 yılı (4.184 kWh/m<sup>2</sup>), en yüksek 2008 yılı (5.035 kWh/m<sup>2</sup>) tespit edilmiştir. Aylık olarak radyasyon oranını inceleyecek olursak en yüksek Haziran ayı (7.435 kWh/m<sup>2</sup>), en düşük Aralık ayı (2.294 kWh/m<sup>2</sup>) değerleri ile ortalama 5,21-5,30 kWh/m<sup>2</sup> güneş radyasyonu alan bir bölgedir (Karakaya ve ark., 2019). Güneş enerjisi Santrali (GES) yapımından önce yapılan fizibilite çalışmalarında ilk olarak bölgenin güneşlenme oranına bakılır (Kırbaş ve Çifci, 2019). Yukardaki vermiş olduğumuz güneşlenme oranları ile Burdur ili GES yapımında yeterli güneşlenme oranlarına sahip bir ilimizdir.

Burdur ilinde aktif 17 adet GES (40,40 MW) ve iki adet yapım aşamasında (2,72 MW) olmak üzere toplamda 19 adet GES (43,12 MW) kurulu güç bulunmaktadır (URL-2, 2021). Bu veriler de bize Burdur ilinin güneş enerjisi santrali için potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

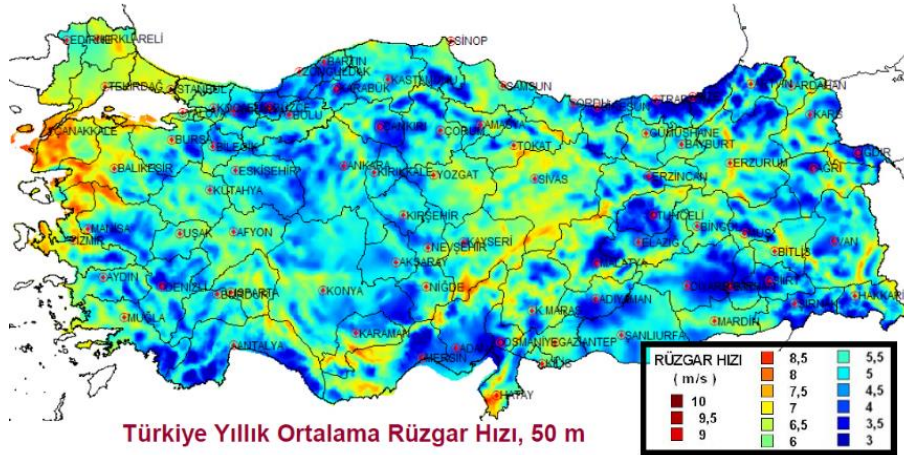
## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği



Şekil 1. Burdur ili güneş radyasyonu dağılımı (Karakaya ve ark., 2019)

Rüzgâr enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi ve atlasların oluşturulmasında en çok kullanılan yöntem olan Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) ile Avrupa rüzgâr atlası oluşturulmuştur. Türkiye rüzgâr atlası da bu program ile hazırlanmış ve Şekil 2'de verilmiştir. Türkiye için rüzgâr atlası hazırlanmasında WASP programı için gerekli olan bölge pürüzlülük verileri, yakın çevre engel bilgileri ve bölge topografyası gibi bilgilere ek olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) bünyesindeki 45 meteoroloji istasyonundan alınan saatlik rüzgâr verileri kullanılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere

çalışma bölgesi olan Burdur ili MAKU-TBMYO yerleşkesi konumu için  $5-5,5 \text{ ms}^{-1}$  ve  $200-300 \text{ Wm}^{-2}$  rüzgâr potansiyeli belirlenmiştir. Taylan (2019) fotovoltaik ve rüzgâr enerjisi sistem kapasitelerinin tekno-ekonomik analizle belirlenmesi isimli çalışmasında, rüzgâr türbini olarak seçimini yaptığı 300 kW'lık modelin başlangıç rüzgâr hızı  $2,9 \text{ m/s}$  olarak bildirmiştir. HALBES 100 kW yatay eksenli 35 m kule yüksekliğine sahip bir başka model de ise başlangıç rüzgâr hızı  $2,0 \text{ m/s}$  olarak bildirilmiştir (URL-3, 2021). Çalışma bölgesi olarak seçilen konumda bu rüzgâr hızını karşılamaktadır.



Şekil 2. Türkiye rüzgâr atlası (Aydın, 2013)

Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin teknolojik olarak araştırılması için çeşitli yazılım programlarından faydalanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) sistemlerin tasarımında kullanılan ya da Rüzgâr santralleri tasarımında kullanılan yazılımlar mevcut olmakla birlikte hem PV hem de rüzgâr santrali tasarımını birlikte yapan yazılımlar da mevcuttur. Bu yazılımlardan bazıları

PVSOL, PVsyst, PVGIS, Polysun, WindSim, WASP, WindPro, WindSim, WindFarmer, Windographer, Homer, Helioscope ve RetScreen'dir. Hem PV hem de Rüzgâr santrali tasarımının birlikte yapıldığı hibrit sistem tasarımında HOMER yazılımının sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Şebekeden bağımsız hibrit elektrik sisteminin bir çiftlik evinde kullanılabilirliğini araştıran

## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği

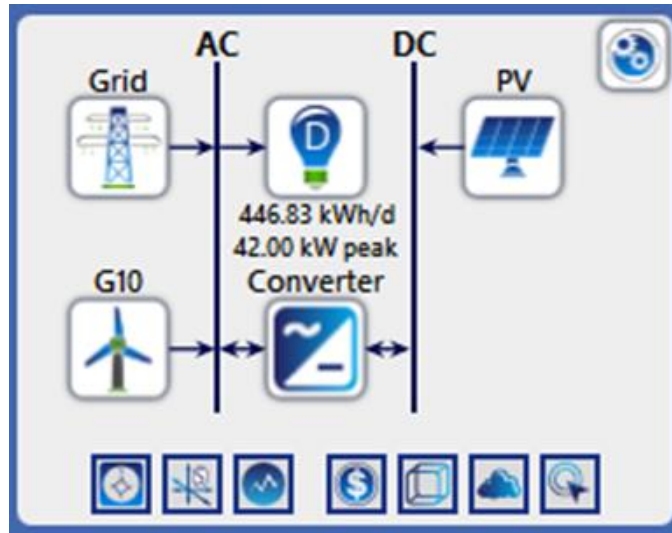
(Türkdoğan ve ark., 2018), Gökçe adanın elektrik enerjisi üretim potansiyelinin belirlenmesinde (Yılmaz ve ark., 2010), şebekeden bağımsız hibrit sistem ile 40 hanelik bir topluluğun elektrik ihtiyacının karşılanabilmesinin analizinde (Türkdoğan ve ark., 2020) HOMER yazılımını kullanmışlardır. Literatürde HOMER yazılımının kullanıldığı buna benzer önemli sayıda çalışmalar vardır.

Uluslararası platformlarda kabul görmüş küresel sınıma, sera etkisi, iklim değişikliği gibi konuların çözümlenmesinde ortaya çıkan ortak karar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımınıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem verimini artırmak ve bununla beraber arz olan enerji dengesini sağlamak bir yada birkaç kaynağın entegre bir şekilde çalışması ile mümkün olacaktır. Bu çalışmada güneş-rüzgâr hibrit sistemi ile şebekeye bağlı olarak MAKU-TBMYO binasının bir yıllık elektrik enerjisinin karşılanması planlanmaktadır. Yük olarak belirle-

diğimiz yüksek okul binasının elektrik ihtiyacının karşılanması ve amortisman sürecinin belirlenmesinde HOMER Pro yazılımı kullanılmıştır. Yapılan analizler tablo ve grafikler şeklinde bulgular kısmında verilmiştir.

## MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada güneş paneli, rüzgâr türbini ve her iki enerji kaynağının da kullanıldığı hibrit sistem tasarımları gerçekleştirilmiştir. Çalışma, hibrit sistem tasarımına olanak sağlayan Homer Pro simülasyon programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımı için güneş paneli, rüzgâr türbini ve şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Sistemde güneş panelleri için harici konverter kullanılmaktadır. Farklı kapasitelerde güneş paneli, rüzgâr türbini ve hibrit sistemine ait farklı güç değerlerinin girdisi gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr türbini sisteminin ise kendi bünyesinde konverter yer almaktadır. Hibrit sisteme ait Homer Pro şematik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.



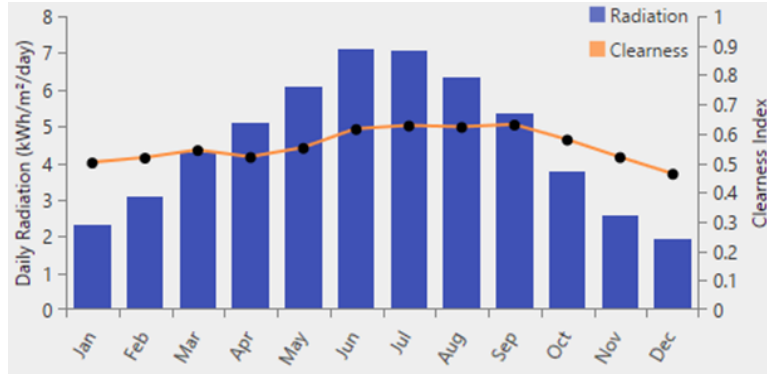
Şekil 3. Hibrit sisteme ait Homer Pro şematik gösterimi

Homer Pro simülasyon programına sistemin kurulacağı konumun girdisi yapılmıştır. Simülasyon programı, konuma ait günlük metrekare başına düşen radyasyon ve netlik indeks değerlerinin aylara göre dağılımını, "NASA prediction of worldwide energy resources" veri tabanı üzerinden faydalanmıştır. Konuma ait günlük metrekare başına düşen radyasyon ve netlik indeks değerlerinin aylara göre dağılımı, grafik halinde Şekil 4'te görülmektedir. Konuma ait günlük metrekare başına düşen en az

radyasyon değeri 1,94 kWh/m<sup>2</sup>/gün ile Aralık ayı, en yüksek radyasyon değeri 7,1 kWh/m<sup>2</sup>/gün ile Haziran ayı olarak verilmiştir. Ortalama radyasyon değeri ise 4,58 kWh/m<sup>2</sup>/gün olarak simülasyon programına girdisi sağlanmıştır. En düşük netlik değeri 0,461 ile Aralık ayında ve en yüksek netlik değeri ise 0,629 ile Temmuz ayında olduğu görülmektedir.



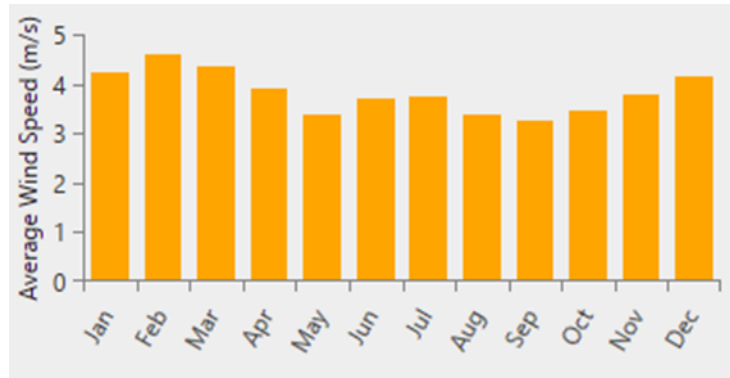
## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği



Şekil 4. İlgili konuma ait günlük radyasyon ve netlik indeks değerlerinin aylara göre dağılımı

Simülasyon programı, konuma ait ortalama rüzgâr hızının aylara göre dağılımını, "NASA prediction of worldwide energy resources" veri tabanı üzerinden faydalanmıştır. Konuma ait ortalama rüzgâr hızının aylara göre dağılımı, grafik halinde Şekil 5'te görülmektedir. Konuma ait ortalama rüzgâr hızı 3,25 m/s ile Temmuz

ayı, en yüksek radyasyon değeri ise 4,6 m/s ile Şubat ayı olarak verilmiştir. Ortalama rüzgâr hızı dağılımının yıllık bazda ortalaması ise 3,83 m/s olarak simülasyon programına girdisi sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5. İlgili konuma ait ortalama rüzgâr hızının aylara göre dağılımı

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu (MAKU-TBMYO) Burdur Merkezde (Enlem: 37° 71' 477" K, Boylam: 30° 27' 403" D) koordinatlarında yer almaktadır. Yerleşkeye ait ortalama elektrik enerji tüketimlerinin aylık bazda girdisi programa sağlanmıştır. Yerleşkeye ait yıllık (01.01.2019-31.12.2019) elektrik tüketimi aylık bazda Tablo 1'de verilmiştir. Bina'nın aylık ortalama elektrik tüketimi 13.404,81 kWh'dir.

Güneş ve rüzgâr santrali kurulumu, yıllık bakım maliyetleri, sistem ömürleri, şebeke tarifeleri ve yıllık enflasyon Tablo 2'de görülmektedir (Taylan, 2019).

Tablo 1. MAKU-TBMYO binasının yıllık elektrik tüketimi

Aylar	Elektrik tüketimi (kWh)	Fatura tutarı (TL)
Ocak	19.178,76	14.134,93
Şubat	14.897,84	10.984,40
Mart	16.692,24	11.848,89
Nisan	13.846,40	10.025,77
Mayıs	16.157,78	12.667,35
Haziran	4.567,12	6.948,42
Temmuz	8.315,52	6.835,52
Ağustos	9.887,73	10.088,48
Eylül	8.626,00	7.179,90
Ekim	12.073,76	11.095,73
Kasım	16.534,37	15.324,28
Aralık	20.080,24	18.462,02
<b>Toplam</b>	<b>160.857,76</b>	<b>135.595,69</b>

## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği

Tablo 2. Sistem özellikleri ve parametre değerleri (Taylan, 2019)

Parametre	Değeri	Birimi
PV santralinin kurulum birim fiyatı	1.338	USD/kW
Rüzgâr türbini kurulum birim fiyatı	1.477	USD/kW
PV santrali sabit bakım ücreti	16	USD/kW/Yıl
Rüzgâr türbini sabit bakım ücreti	40	USD/kW/Yıl
Sistem ömrü	25	Yıl
Şebeke elektrik alış tarifesi	0,84	TL/kWh
Şebeke elektrik satış tarifesi	0,54	TL/kWh
Dolar kuru	6,9	TL/USD
Yıllık enflasyon	%12	-

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, bir üniversite yerleşkesine, aynı güç kapasitesine sahip güneş paneli, rüzgâr türbini ve hibrit sistemlerin kurulması durumları incelenmiştir. Üniversite yerleşkesine kurulacak olan sistemin 60 kW, 80 kW ve 100 kW güç değerlerine sahip olması durumu değerlendirilmiştir. Hibrit sistemler için güneş paneli ve rüzgâr türbini dağılımları farklı formlarda gerçekleştirilmiştir.

Üniversite yerleşkesine sadece güneş paneli ve sadece rüzgâr türbini ile 60 kW, 80 kW ve 100 kW sistemin kurulması ile elde edilen sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir. Yerleşkenin yıllık toplam elektrik enerjisi kullanımı 160.857 kWh/yıl ve 135.595 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. 60 kW kapasiteli santralin sadece güneş paneli ile kurulması durumunda, simülasyon sonuçlarına göre yıllık 111.045 kWh enerji şebekeden alınmakta ve 93.277

kWh enerjinin ise şebekeye satılması gerektiği görülmektedir. Sistemin ilk yatırım maliyeti 574.632 TL olup, amortisman süresi 7,1 yıl olarak hesaplanmıştır. Yatırımın 10 yıl sonunda 400.724,2 TL ve 25 yıl sonunda ise 6.836.045,8 TL kar geri dönüşü sağladığı görülmektedir. 60 kW kapasiteli santralin sadece rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, simülasyon sonuçlarına göre yıllık 130.802 kWh enerji şebekeden alınmakta ve 8.127 kWh enerjinin ise şebekeye satılması gerektiği görülmektedir. Sistemin ilk yatırım maliyeti 611.478 TL olup, amortisman süresi 15,6 yıl olarak hesaplanmıştır. Yatırım, 25 yıl sonunda 1.930.345,9 TL kar geri dönüşü sağlamıştır. Üniversite yerleşkesinin konumunda ortalama rüzgâr hızının düşük olması, rüzgâr santrali ilk kurulum ve yıllık bakım maliyetinin yüksek olması nedeni ile rüzgâr santrali kurulumu, güneş santrali kurulumuna göre dezavantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Farklı güç değerleri için güneş paneli ve rüzgâr türbini kullanım sonuçları

	Kapasite (kW)	Alınan (kWh/Yıl)	Satılan (kWh/Yıl)	Sistem Maliyeti (TL)	Amortisman Süresi (Yıl)	10 Yıl Sonunda Kar (TL)	25 Yıl Sonunda Kar (TL)
Sadece Şebeke	0	160.857	0	-	-	-2.406.870,8	-18.287.209,6
Güneş Paneli	60	111.045	33.941	574.632,0	7,1	400.724,2	6.836.045,8
	80	106.436	58.056	766.176,0	7,4	466.895,0	8.602.597,7
	100	103.213	83.558	957.720,0	7,6	525.778,5	10.313.781,4
Rüzgâr Türbini	60	130.802	8.127	611.478,0	15,6	-346.344,3	1.402.986,1
	80	124.488	15.347	815.304,0	16,1	-485.546,1	1.690.170,1
	100	119.351	23.745	1.019.130,0	16,6	-630.934,8	1.930.345,9

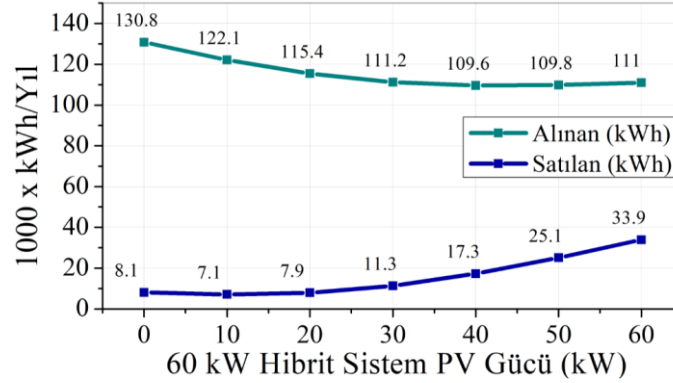
Farklı güç değerlerine sahip hibrit enerji santrallerinin simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Hibrit santrallerde güneş panellerinin ve rüzgâr türbinlerinin güç dağılımı farklı şekillerde dağıtılmıştır. Şekil 6'da 60 kW güce sahip hibrit santralin, farklı güçlerde güneş paneli ve rüzgâr türbini ile kurulumu sonucu şebekeden alınan ve satılan

yıllık enerji miktarı görülmektedir. 60 kW güce sahip hibrit sistemin 40 kW güneş paneli ve 20 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu hibrit sistemde amortisman süresi 8,39 yıl, 10 yıl sonunda elde edilen kar 193.747,1 TL ve 25 yıl sonunda elde edilen kar ise

## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği

5.344.485,8 TL olduğu saptanmıştır. Bu sistemi, sadece güneş panelleri ile kurulan sistem ile karşılaştırırsak amortisman süresinde %17,67, 10 yıl sonunda elde edilen karda %51,65 ve 25 yıl sonunda elde edilen karda ise %21,81 oranlarında kötüleşme görülmüştür. Bu şartlarda şebekeden alınan enerji miktarında ise %1,26 oranında azalma sağlanmıştır. Bu sistemi, sadece rüzgâr

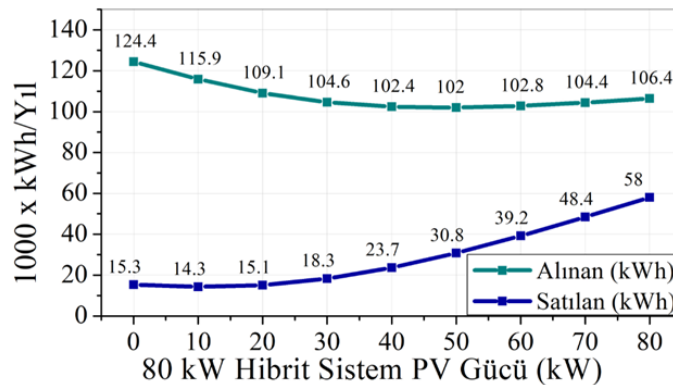
türbinleri ile kurulan sistem ile karşılaştırırsak amortisman süresinde %46,25, 10 yıl sonunda elde edilen karda %155,94 ve 25 yıl sonunda elde edilen karda ise %280,93 oranlarında iyileşme görülmüştür. Bu şartlarda şebekeden alınan enerji miktarında ise %16,17 oranında azalma sağlanmıştır.



Şekil 6. 60 kW Hibrit Sistem kullanılması ile şebekeden alınan ve satılan yıllık enerji miktarı

Şekil 7'de 80 kW güce sahip hibrit santralin, farklı güçlerde güneş paneli ve rüzgâr türbini ile kurulumu sonucu şebekeden alınan ve satılan yıllık enerji miktarı görülmektedir. 80 kW güce sahip hibrit sistemin 50 kW güneş paneli ve 30 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu hibrit sistemde amortisman süresi 8,8 yıl, 10 yıl sonunda elde edilen kar 168.552,1 TL ve 25 yıl sonunda elde edilen kar ise 6.457.366,15 TL olduğu saptanmıştır. Bu sistemi, sadece güneş panelleri ile kurulan sistem ile karşılaştırırsak amortisman süresinde

%20, 10 yıl sonunda elde edilen karda %63,89 ve 25 yıl sonunda elde edilen karda ise %24,93 oranlarında kötüleşme görülmüştür. Bu şartlarda şebekeden alınan enerji miktarında ise %4,13 oranında azalma sağlanmıştır. Bu sistemi, sadece rüzgâr türbinleri ile kurulan sistem ile karşılaştırırsak amortisman süresinde %44,91, 10 yıl sonunda elde edilen karda %134,71 ve 25 yıl sonunda elde edilen karda ise %282,05 oranlarında iyileşme görülmüştür. Bu şartlarda şebekeden alınan enerji miktarında ise %18,13 oranında azalma sağlanmıştır.



Şekil 7. 80 kW Hibrit sistem kullanılması ile şebekeden alınan ve satılan yıllık enerji miktarı

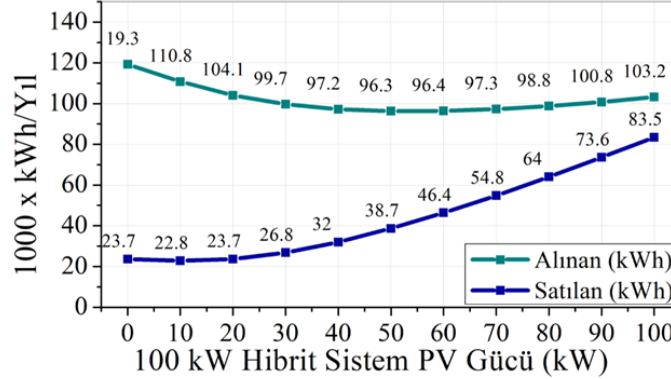
Şekil 8'de 100 kW güce sahip hibrit santralin, farklı güçlerde güneş paneli ve rüzgâr türbini ile kurulumu sonucu şebekeden alınan ve satılan yıllık enerji miktarı görülmektedir. 100 kW güce sahip hibrit sistemin 50 kW gü-

neş paneli ve 50 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu hibrit sistemde amortisman süresi 9,86 yıl, 10 yıl sonunda elde edilen kar 25.944,18 TL ve 25 yıl sonunda elde edilen kar ise 6.718.670 TL olduğu

## Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği

saptanmıştır. Bu sistemi, sadece güneş panelleri ile kurulan sistem ile karşılaştırsak amortisman süresinde %29,9, 10 yıl sonunda elde edilen karda %95,06 ve 25 yıl sonunda elde edilen karda ise %34,85 oranlarında kötüleşme görülmüştür. Bu şartlarda şebekeden alınan enerji miktarında ise %6,63 oranında azalma sağlanmıştır. Bu sistemi, sadece rüzgâr türbinleri ile kurulan sistem

ile karşılaştırsak amortisman süresinde %40,49, 10 yıl sonunda elde edilen karda %104,11 ve 25 yıl sonunda elde edilen karda ise %248,05 oranlarında iyileşme görülmüştür. Bu şartlarda şebekeden alınan enerji miktarında ise %19,25 oranında azalma sağlanmıştır.



Şekil 8. 100 kW Hibrit Sistem kullanılması ile şebekeden alınan ve satılan yıllık enerji miktarı

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, üniversite yerleşkesinde güneş paneli, rüzgâr türbini ve hibrit sistemlerinin kullanılması durumları Homer Pro simülasyon programı üzerinde incelenmiştir. Güç santrallerinin 60 kW, 80 kW ve 100 kW olması durumlarının üzerinde durulmuştur. Bu güç santrallerinin simülasyonunda üniversite yerleşkesine ait gerçek enerji tüketimi değerleri kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda şebekeye satılan ve şebekeden alınan enerji miktarları yıllık bazda hesaplanmıştır. Alış ve satış tarifeleri, sistemlere ait ilk kurulum ve bakım maliyetleri dahil edilerek amortisman süresi, 10 yıl ve 25 yıl sonunda elde edilen kazançlar hesaplanarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları aşağıda sıralanmıştır;

- Sadece rüzgâr veya sadece güneş enerjisi kullanımı yerine hibrit sistem kullanımında, yerleşke için alımı gerçekleştirilen enerji miktarında azalma sağlanabildiği görülmüştür. Güneş panelleri ile oluşturulan santral yerine hibrit santral kullanılması durumunda alım miktarındaki azalma; 60 kW için %1,26, 80 kW için %4,13 ve 100 kW sistem için %6,63 oranında olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr türbinleri ile oluşturulan santral yerine hibrit santral kullanılması durumunda alım miktarındaki azalma; 60 kW için %16,17, 80 kW için %18,03 ve 100 kW sistem için %19,25 oranında olduğu tespit edilmiştir.
- 60 kW güce sahip hibrit sistemin 40 kW güneş paneli ve 20 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde

edilmiştir. Sistemin amortisman süresi 8,39 yıl olarak belirlenmiştir.

- 80 kW güce sahip hibrit sistemin 50 kW güneş paneli ve 30 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde edilmiştir. Sistemin amortisman süresi 8,88 yıl olarak belirlenmiştir.
- 100 kW güce sahip hibrit sistemin 50 kW güneş paneli ve 50 kW rüzgâr türbini ile kurulması durumunda, şebekeden alınan enerjinin en az olduğu sonucu elde edilmiştir. Sistemin amortisman süresi 9,86 yıl olarak belirlenmiştir.
- 60, 80 ve 100 kW gücündeki hibrit sistemler içinde bir kıyaslama yapacak olursak; alınan enerji miktarındaki azalma bakımından en avantajlı olanı 100 kW'lık sistem olurken, amortisman süreci bakımından en avantajlı sistem 60 kW'lık sistem olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Sistemin sadece güneş paneli ile kurulması durumunda üretilen enerji miktarında sürekli artış izlenmiştir. Hibrit santral üzerinde kullanılan güneş panellerinin kullanımı arttıkça amortisman süreleri, 10 yıl sonunda ve 25 yıl sonunda elde edilen kar değerlerinde de iyileşme sağlanmıştır.



## KAYNAKLAR

- Aydın, İ. (2013). Balıkesir'de Rüzgâr Enerjisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(29): 29-50.
- Benney, T.M. (2019). Varieties of capitalism and renewable energy in emerging and developing economies. *Journal of Economic Policy Reform*, 1-26.
- Çifci A., Kırbaş İ., İşyarlar B. (2014). Güneş Pili Kullanılarak Burdur'da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşıllanması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1):14-17.
- Elibüyük, U., Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Yekarum e-Dergi*, 2(3):1-14.
- Herzog, A.V., Lipman, T.E., Kammen, D.M. (2001). Renewable energy sources. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS). Forerunner Volume-Perspectives and overview of life support systems and sustainable development, Part 4C*: 76.
- Hossain, J., Mahmud, A. (Eds.). (2014). *Renewable Energy Integration: Challenges and Solutions*. Springer Science & Business Media.
- Kabul, A., Yaşar, E. (2017). Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemlerin Soğutma Tekniklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *SDU International Journal of Technological Science*, 9(1): 17-32.
- Karakaya, H., Avcı, A.S., Ercan, U., Kallioğlu, M.A. (2019). Şanlıurfa ilinde yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımının modellenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 147-155.
- Kırbaş İ., Çifci A. (2019). Feasibility Study of a Solar Power Plant Installation: A Case Study of Lake Burdur, Turkey. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (3):830-835.
- Kırbaş İ., Çifci A., İşyarlar B. (2013). Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerjisi Potansiyeli. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2): 20-23.
- Kuik, O., Branger, F., Quirion, P. (2019). Competitive advantage in the renewable energy industry: Evidence from a gravity model. *Renewable energy*, 131: 472-481.
- Mamur, H., Yakar, M.C., Zerafet, A. (2019). Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi. *International Journal of Technological Sciences*, 11(1): 51-58.
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3): 1513-1524.
- Østergaard, P.A., Duic, N., Noorollahi, Y., Mikulcic, H., Kalogirou, S. (2020). Sustainable development using renewable energy technology. *Renewable Energy*, 146: 2430-2437.
- Sinsel, S.R., Riemke, R.L., Hoffmann, V.H. (2020). Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources-a review. *Renewable Energy*, 145: 2271-2285.
- Taylan, O. (2019). Fotovoltaik ve Rüzgâr Enerjisi Sistem Kapasitelerinin Tekno-Ekonomik Analizle Belirlenmesi: İndirim Oranı ve Satış Tarifesinin Etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(63): 879-895.
- Topal, M., Topal, E.I.A. (2012). Elazığ İli biyokütle enerji potansiyeli üzerine: 2000-2010. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2): 21-30.
- Türkdoğan, S., Dilber, S., Çam, B. (2018). Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açısından İncelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2): 52-65.
- Türkdoğan, S., Mercan, M., Çatal, T. (2020). Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topuluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşıllanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18): 476-485.
- URL-1 (2021). Best Research-Cell Efficiency Chart. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Erişim Tarihi: 31.01.2021)
- URL-2 (2021). Burdur ili GES potansiyeli. <https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/burdur> (Erişim Tarihi: 30.01.2021)
- URL-3 (2021). HALBES 100 kW rüzgâr türbini. <https://halb.es.com.tr/100kw-r%C3%BCzgar-T%C3%BCrbini> (Erişim Tarihi: 01.03.2021)
- Xu, M., Buyya, R. (2020). Managing renewable energy and carbon footprint in multi-cloud computing environments. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 135: 191-202.
- Yavuz, İ. Özbay, H. (2020). Rüzgâr Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2): 58-68.
- Yılmaz, U., Demirören, A., Zeynelgil, H. (2010). Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 13(3): 215-223.