

# Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Çağrı ÇAKMAK<sup>1</sup>, Mehmet KURBAN<sup>2</sup>, Emrah DOKUR<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

cgrckmk@gmail.com<sup>1</sup>, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr<sup>2</sup>, emrah.dokur@bilecik.edu.tr<sup>3</sup>,

## Özet

Dünya nüfusu ve endüstriyel gelişmelere paralel olarak enerji gereksinimi giderek artmakta ve buna karşın fosil enerji kaynaklarının rezervleri hızla tükenmektedir. Günümüzde enerji üretiminde kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmasına karşın, bu kaynakların hızla tükenmesi bizlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini artırmıştır. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan projeler artan enerji talebini karşılamak üzere son yıllarda büyük gelişimler göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli avantajı da diğer enerji kaynaklarıyla birlikte hibrit sistem oluşturabilmesidir. Bu çalışmada da Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacının hibrit sistemle karşılanma amacı doğrultusunda ekonomik analiz temelli optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bilgisayar ortamında oluşturulan sistemin mümkün olduğu kadar gerçekçi olmasını sağlamak ve elektrik yükü, rüzgâr hızı ve güneş ışınımı gibi zamanla değişen büyüklüklerin etkisini sisteme katmak için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımı kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar doğrultusunda gerekli amortisman süreleri de dikkate alınarak optimum kurulum planlaması maliyet analizleri üzerinden karşılaştırmalı olarak tüm farklı yapılar için verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit Sistem, Rüzgâr, Güneş, Optimizasyon

## 1. Giriş

Son yıllarda, araştırmacıların ve politikaların merkezinde enerji gelmektedir. Genel enerji dengesi içinde dünyada ve ülkemizde kullanılan birincil enerji kaynaklarında kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar ağırlıklarını korumaktadırlar. Bu enerji kaynaklarının giderek azalıyor olması sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelimi ve bu kaynaklar üzerinde yapılan çalışmaların artmasını da beraberinde getirmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli avantajı da diğer enerji kaynaklarıyla birlikte hibrit sistem oluşturabilmesidir. Hibrit enerji sistemleri, genel olarak iki ya da daha fazla farklı enerji üretim sisteminin bir arada çalışarak, elektrik ya da termal yükü beslediği

sistemlerdir [1]. Şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak çalışabilen hibrit yenilenebilir enerji sistemleri mevcuttur. Şebekeden bağımsız olarak çalışan sistemler enerji iletim hatlarına uzak ve kırsal bölgelerde enerji elde edilebilmesi için dizel jeneratörlerle birlikte kullanılmaktadır. Dizel jeneratörler hibrit sistemlerin ilk yatırım maliyet avantajı sebebiyle en yoğun tercih edilen parçasını oluşturmaktadır. Özellikle uzak ve ulaşım güçlüğü yaşanan bölgelerde ulaşım maliyeti ve yakıt fiyatı artışı sebebiyle fiyat avantajını yitirmektedir [2,3]. Artan çevre bilinci, küresel ısınma ve fosil yakıtlarının hızlı bir şekilde tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttıracaktır. Bu doğrultuda ilk yatırım maliyeti açısından pahalı olan bu sistemlerin kullanımı daha da yaygınlaşması beklenmektedir. Pahalı olmaları sebebiyle bu sistemlerin daha etkin ve verimli kullanılabilmesi için yatırım esnasında seçilecek sistemlerin tüm elemanlarını doğru bir biçimde boyutlandırılması oldukça önemlidir.

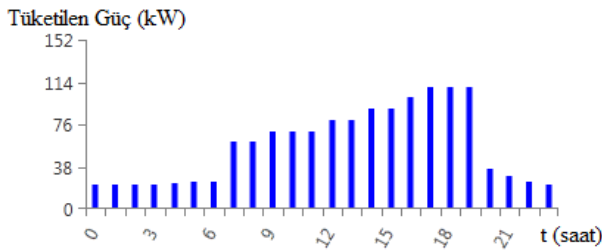
Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisini birlikte kullanarak çalışan hibrit sistemler oldukça yaygın olarak araştırılmaktadır. Bu kapsamda Yılmaz ve arkadaşları Gökçeada için karma veya karma olmayan yenilenebilir enerji sisteminin en uygun düzenlemesini elde etmek için, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve akülerden oluşan sistemler çeşitli senaryolarla modellemiştir [4]. Yine Emre ve arkadaşı İTÜ Elektrik Elektronik Mühendislik Fakültesini pilot bölge olarak seçip HOMER yazılımıyla bölgenin yenilenebilir enerji potansiyeli incelenmiş ve mevcut potansiyelin bölgedeki elektrik talebini, şebeke ile birlikte karşılamada kullanılmasının maliyet olarak analizini yapmıştır [5]. Engin çalışmasında Bornova ilçesi için güneş-rüzgâr hibrit enerji üretim sistemi tasarımını HOMER yazılımı ile gerçeklemiştir [6].

Bu çalışmada da Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacının hibrit sistemle karşılanma amacı doğrultusunda ekonomik analiz temelli optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bilgisayar ortamında oluşturulan sistemin mümkün olduğu kadar gerçekçi olmasını sağlamak ve elektrik yükü, rüzgâr hızı ve güneş ışınımı gibi zamanla

değişen büyüklüklerin etkisini sisteme katmak için *HOMER* (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımı kullanılmıştır [7]. İlk bölümde bölgenin solar enerji ve rüzgar enerji profilleri verilecek olup, ikinci ve üçüncü bölümlerde hibrit model yapılarının farklı tipleri sayısal sonuçlarla analiz edilmiştir.

## 2. Bölge Profili

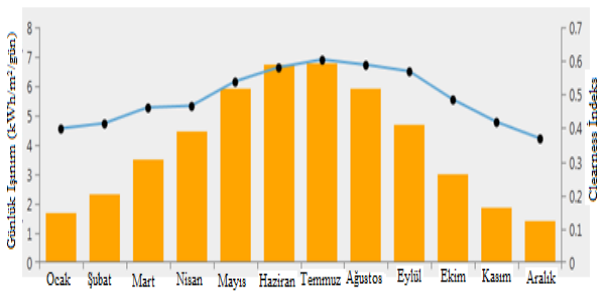
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yaklaşık olarak 25 000 m<sup>2</sup>'lik alana sahip olup bünyesinde yaklaşık 3000 öğrenci bulundurmaktadır. Fakültede kullanılan günlük elektrik enerjisi tüketim miktarı yaklaşık olarak 1366,9 kW/gün ve peak değeri ise 110 kW'dır (Şekil 1).



Şekil 1: Ortalama Günlük Elektrik Enerji Tüketim Profili

Şekil 1'de görüleceği üzere fakültede ortalama olarak mesai saatlerinde elektrik enerjisi talebi artmaktadır. Ayrıca hava karardığında aydınlatma ihtiyacına paralel olarak enerji talebi arttığı görülmektedir.

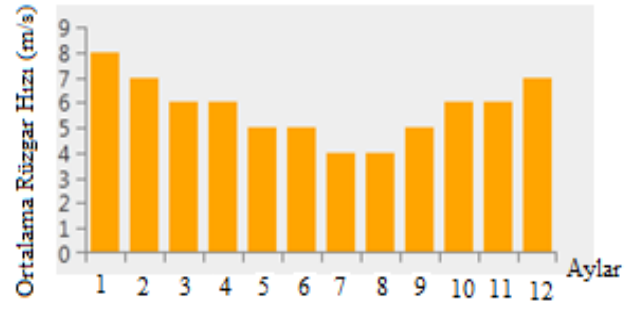
HOMER yazılımının NASA veri tabanından aldığı bölgenin solar enerji profiline bakıldığında, yaz aylarında güneş ışınım şiddetinin Şekil 2'de ki gibi artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 2: Solar Enerji Profili

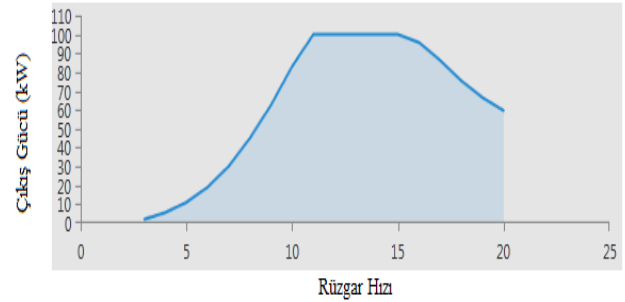
Tüm yılın günlük ortalama ışınım şiddeti 4,02 kW/m<sup>2</sup>/gün olarak görülmektedir. Kış aylarında ki ışınım şiddeti düşümü bize güneş enerjisi yanında rüzgar enerjisi kullanımını da ilk aşamada maliyet analizi yapmadan hibrit bir kullanımı öngörmemizi sağlayabilir.

Şekil3'de bölgenin rüzgar hızı potansiyeli gösterilmiştir.



Şekil 3: Rüzgar Hızı Profili

Çalışmamızda *HOMER* yazılımına Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verileri entegre edip 100 kW'lık XANT M-21 marka rüzgar türbin modeli seçilerek rüzgar güç eğrisi elde edilmiş ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: XANT M-21 100kW Rüzgar Türbini Güç Eğrisi

Kış aylarında artan rüzgar hızı profiline uygun olarak, güneş ışınım şiddetinin azalması sebebiyle modellemenin ilk aşamasında rüzgar güneş hibrit model yapısının maliyet analizi üzerinden optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilecektir.

## 3. Hibrit Sistem

Fotovoltaik güneş panellerinin ve küçük rüzgar türbinlerinin iklim koşullarına göre elektrik enerjisi üretimi değişir. Bu yüzden tek başlarına çok zengin bir enerji üretim kaynağı değildirler. Birçok uygulamada ve çalışmada rüzgar-güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin planlanması ve boyutlandırılması üzerine çalışılmıştır.

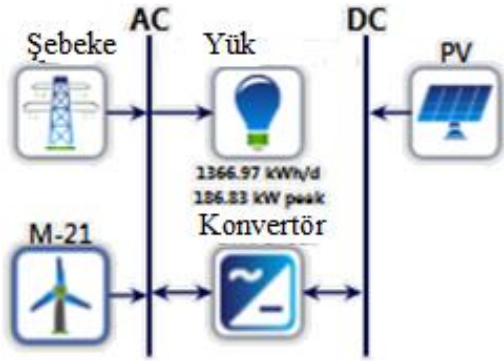
Küçük bir hibrit elektrik sistemi rüzgar veya fotovoltaik güneş teknolojilerini birleştirir ya da tek sistem üzerinden kullanarak pek çok avantaj sunabilir. Güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında rüzgar hızı düşüktür. Daha az güneş enerjisinin bulunduğu kış aylarında ise rüzgar hızı yüksektir.

Rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinde verimli enerji üretimi, günün ve yılın değişik zamanlarında farklılık gösterir.

Diğer bir deyişle rüzgar hızının yetersiz veya verimsiz olduğu günlerde alternatif olarak güneş enerjisinden istifade edilebilir. Böylece sistemde enerji üretiminin devamlılığı sağlanmış olur.

Hibrit rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerin olumsuz tarafı; güneş panelleri veya rüzgar türbinlerinin tekil kullanıldığı sistemlerin maliyetinden daha fazla olmasıdır. Bu kapsamda amortisman süreleri ve verimleri göz önüne alınarak en uygun boyutlandırılma ve planlama yapılmalıdır.

Planlamalarda hibrit yapılar şebekeye paralel (on-grid) veya şebekeden bağımsız (off-grid) olarak tesis edilebilmektedir. Çalışmamızda şebekeye paralel bir model yapısı seçilmiş olup yazılımda ki akış planı Şekil 5 'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Hibrit Sistem Modeli

Çalışmamızda kullanılan PV modeli düz yüzeyli monokristal yapıli 200W'lık kolektör yapısına sahip güneş paneli seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yine rüzgar türbini 100kW'lık XAR M-21 modelinde seçilmiştir. 1400\$'lık 100kW'lık bir konvertörde sistemi tesis etmek için yeterli olacaktır. Şebekeye bağlı bir sistem seçilerek fakültenin talebi karşılanamadığı durumlarda şebeke tarafından gerekli güç çekilerek tesis entegre edilmesi planlanmıştır.

### 3. Model Sonuçları

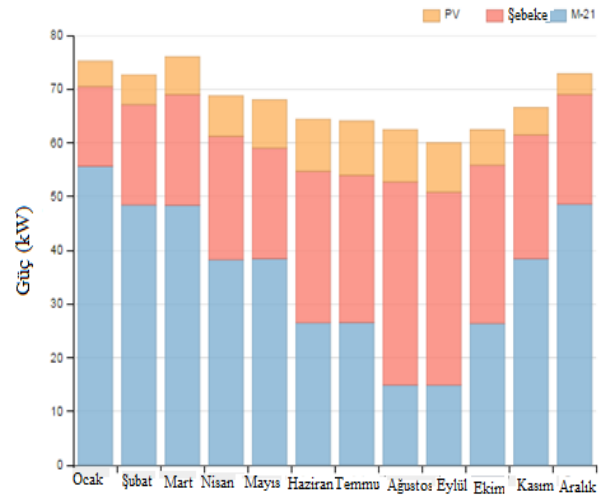
Homer yazılımı ile yapılan analizlerde hibrit model için Tablo 1' de de görüleceği üzere toplam yükün

%52,21'ini rüzgar, %10,88 'ini güneş ve %36,92'sini şebekeden karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 1: Hibrit Modelin Enerji Talebindeki Karşılama Payı

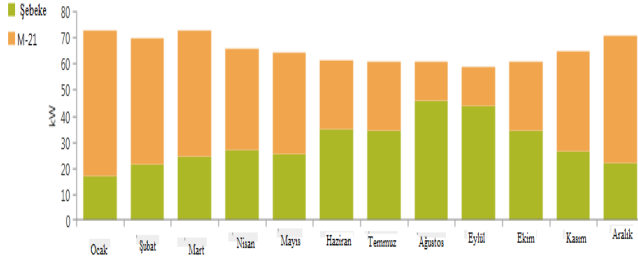
Üretim Tesisi	Üretilen Güç (kW/yıl)	Karşılanan Talep (%)
Monokristal PV	64593	10,88
XANT M-12	310010	52,21
Şebeke	219216	36,92
Toplam	593819	100

Fakültenin yıllık enerji ihtiyacı 593819 kW'dır. Bu talep hibrit bir sistemin kullanılması durumunda 374 603 kW'ı maliyet olarak yaklaşık 41206 \$'lık kısmı yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılanacağı görülmür. Talep edilen enerjinin arz modellerine uygun aylara göre dağılımı ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5: Aylara göre Hibrit Sistemde ki Ortalama Enerji Üretim Dağılımı





Verilere göre enerji talebinin büyük çoğunluğunun rüzgar enerjisinden karşılanmasından ötürü birim maliyet analizlerine sadece rüzgar enerjisi ve şebekenin dahil edildiği modellerde eklenerek karşılaştırma yapılmıştır. Bu kapsamda amortisman süreleri hesaplandığında sadece rüzgar enerjisinin kullanıldığı sistem 6 yılda kendini amorti ederken, hibrit sistem 7 yılda amorti etmektedir. Bu sebepten sadece rüzgar ve şebekeden beslenen bir sistemde güç dağılımı Şekil 6'da ki gibi olacaktır.



Şekil 6: Aylara göre Sadece Rüzgar Enerjisi ve Şebekeden Çekilen Ortalama Enerji Dağılımı

Tüm bu veriler ışığında sadece rüzgar, rüzgar-güneş ve sadece şebekenin kullanılması durumunda ki maliyet analizi sonuçları Tablo 2’de ki gibidir.

Tablo 1: Karşılaştırmalı Ekonomik Analiz Analizi

Üretim Tesisi	COE (\$/kW h)	NPC (\$)	OC(\$)	IC (\$)	RF (%)
	0,075	553384	28813	180000	54,4
	0,074	559722	23572	255000	62,7
	0,119	767105	53537	75000	11,6
	0,120	774013	59873	0	0

COE: Birim Maliyet, NPC:Toplam Tüketilen Değer, OC:İşletme Maliyeti, IC: Kurulum Maliyeti, RF: Yenilenebilir Enerji Faktörü

## 4.Sonuçlar

Bu çalışmada Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için HOMER yazılım programı kullanılarak şebekeye paralel yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit kullanımına ilişkin ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Hibrit bir tesisin kurulması durumunda enerji talebinin yaklaşık %67,2’lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmış olacaktır. Hibrit bir sistem ile yıllık 41206\$’lık ekonomik avantaj sağlanmış olacağı sonucuna varılmıştır.

Bölgenin mevcut enerji potansiyelleri incelendiğinde hibrit tesisdeki enerji üretiminin büyük çoğunluğu rüzgar enerjisinden karşılanacağı görülmüştür. Bu sebeple amortisman süreleri ve kurulum maliyetleri de dikkate alınarak, hibrit bir yapının 7 yıl da geri dönüşümü olurken, sadece rüzgar enerjisinden yararlanıldığında 6 yıllık bir amortisman süresi, mevcut kurulum maliyetleri doğrultusunda rüzgar enerjisinden yararlanılan bir tesisin ilk aşamada kurulması öngörülmektedir.

## 5.Kaynaklar

- [1] Gupta, A., Saini, R.P., and Sharma, M.P., “Design of an optimal hybrid energy system model for remote rural area power generation”, *ICEE.07 International Conference*, Hong Kong, (2007), 1-6.
- [2] Nayar, C.V., Lawrance, W.B., and Phillips, S.J. “Solar/Wind/Diesel hybrid energy systems for remote areas”, *Proceedings of IEEE*, (1989), 2029-2034.
- [3] Bakirtzis, A.G., and Gavanidou, E.S., “Optimum operation of a small autonomous system with unconventional energy sources”, *Electric Power Systems Research*, 23, (1992), 93.
- [4] Yılmaz Uğur, Ayşe Demirören, and H. Lale Zeynelgil. "Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması." *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi* 13.3 (2010).
- [5] Türkay, Belgin Emre, and Ali Yasin Telli. "Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems." *Renewable energy* 36.7 (2011): 1931-1943.
- [6] Engin, Mustafa, and Metin Çolak. "Analysing solar-wind hybrid power generating system." Pamukkale University Faculty of Engineering, Journal of Engineering Sciences 11.2 (2005): 225-230.
- [7] HOMER Publications, NREL (National Renewable Energy Laboratory) available at: <https://analysis.nrel.gov/homer/includes/downloads/HOMERPublications.pdf>.