

Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği^a*Hybrid renewable energy system design: The case of Balıkesir*Ipek Atik^{1*}, Aysenur SEKİN²^{1*}Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ipek.atik@gibtu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9761-1347>²Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, aysenursekin23@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2932-6384>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 25 Temmuz 2022
Revizyon 22 Ağustos 2022
Kabul 31 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir Enerji,
Hibrit Enerji Sistemleri,
Rüzgâr Enerjisi,
Güneş Enerjisi
Pvsol,
Balıkesir.

ÖZ

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, sanayileşme ve küreselleşme gibi nedenlerden dolayı artış göstermektedir. Fosil kaynakların yetersiz oluşu ve tükenebilir olması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve önemini artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanmak için hibrit sistemler geliştirilmiştir. Hibrit sistemler birden fazla kaynağın verimli şekilde kullanıldığı sistemlerdir. Türkiye’de rüzgâr ve güneş enerjisi bakımından yeterli potansiyele sahip birçok alan mevcuttur. Bu çalışmada PVSol programı kullanılarak Balıkesir İli için hibrit sistem tasarımı yapılmıştır. Hibrit sistemlerin kurulu güç kapasitesi 7-50 KW arasında değişen 10 farklı senaryo için tasarım yapılmıştır. Çalışmalarda kurulu güç kapasitesi 7-15 KW arası 5 senaryo şebekeden bağımsız, 20-50 KW arası 5 senaryo şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır. Şebekeden bağımsız sistemlerde kurulu güce ve üretilen enerjiye bağlı olarak akümülatör ile üretilen enerjiyi depolamak için şarj regülatörü seçimleri yapılmıştır. Çalışma temiz ve güvenilir enerji üretim sistemleri güneş ve rüzgâr enerjisini hibrit olarak kullanması yönüyle diğer yenilenebilir enerji sistemlerinden üstünlük göstermektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 July 2022
Received in revised form 22 August 2022
Accepted 31 August 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Renewable energy,
Hybrid Energy Systems,
Wind Energy,
Solar Energy,
PvSol,
Balıkesir

Doi: 10.24012/dumf.1148223

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Today, the need for energy is increasing due to reasons such as technological developments, population growth, industrialization, and globalization. The inadequacy and exhaustion of fossil resources increases the use and importance of renewable energy resources. Hybrid systems have been developed to benefit more from renewable energy sources. Hybrid systems are systems where more than one source is used efficiently. There are many areas with sufficient potential in terms of wind and solar energy in Turkey. In this study, a hybrid system was designed for Balıkesir Province by using the PVSol program. Efficiency analysis has been made for 10 different scenarios with the installed power capacity of hybrid systems varying between 7-50 Kw. In the studies, 5 scenarios between 7-15 KW were designed independent from the grid, and 5 scenarios between 20-50 KW were designed as connected to the grid. Depending on the installed power and the energy produced in off-grid systems, charge controller selections have been made to store the energy produced by the accumulator. The study shows superiority over other renewable energy systems in that clean and reliable energy production systems use solar and wind energy as hybrids.

^aBu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

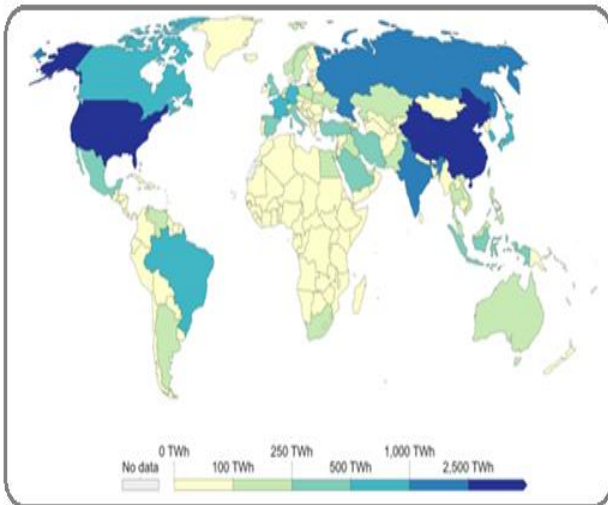
Giriş

Enerjinin doğada bulunan dönüşüm geçirmemiş hali birincil enerji, birincil enerjilerin dönüşüm geçirmesi sonucu elde edilen kaynaklar ikincil enerji olarak sınıflandırılır. Bir farklı sınıflandırma da enerji türleri kullanım sonunda aynı kalıyorsa yenilenebilir enerji kaynağı, kullanım sonunda kendini yenilemeyen kaynaklar ise yenilenemez enerji kaynakları olarak ifade edilir. Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biyokütle gibi kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarına, kömür, petrol, doğalgaz gibi kaynaklar yenilenemez enerji kaynaklarına örnek gösterilebilir [1], [2].

Geçmişten günümüze dünyadaki en önemli sorunlardan biri enerjidir. Dünya nüfusunun 2040 yılında yaklaşık 9 milyar olması beklenmektedir. Artan nüfus ve teknolojik gelişmeler daha fazla enerji ihtiyacını gerektirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın raporuna göre dünya birincil enerji talebi şuanda 14 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) iken, gelecek 20 yıl içinde %45 oranında bir artış ile 20.3 Milyar TEP seviyelerine ulaşacağı belirtilmektedir [3], [4].

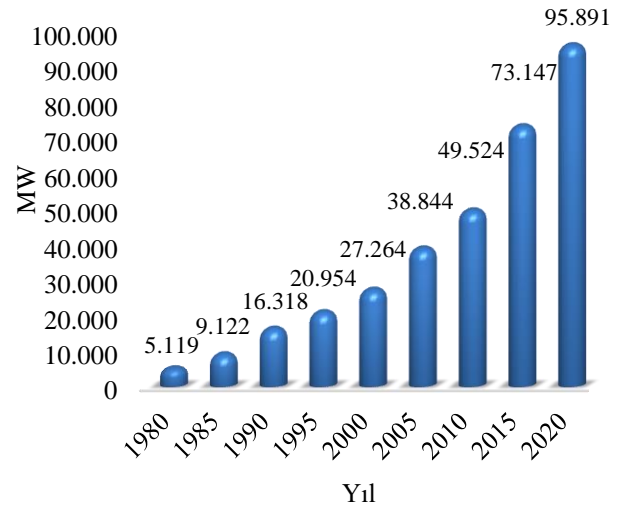
Dünyada fosil kaynaklı enerji kaynaklarının tükenebilir olması, doğaya zarar vermesi, küresel ısınma gibi sebeplerden dolayı yeni kaynak arayışları başlamıştır. Özellikle gelişmekte olan ülkeler dışa olan bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklarla karşılaştırıldığında çevre dostu olması, tükenmemesi gibi sebepler ile cazip hale gelmiştir [5]. İstatistiksel veriler incelendiğinde son elli yılda yenilenebilir enerji talebindeki yıllık ortalama artış diğer kaynaklardaki artışa kıyasla yaklaşık beş kat fazladır [4].

Yapılan çalışmalara göre dünya genelinde gelecek 20-25 yıllık süreçte 68,2 trilyon \$'lık enerji yatırımı planlanmaktadır. Ülkelerin enerji ihtiyaç talepleri farklı oranlarda olsa da her geçen yıl enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Şekil 1'de 2021 yılı için Dünya genelinde ülkeler ve elektrik enerji talebi (TWh) görülmektedir [6].



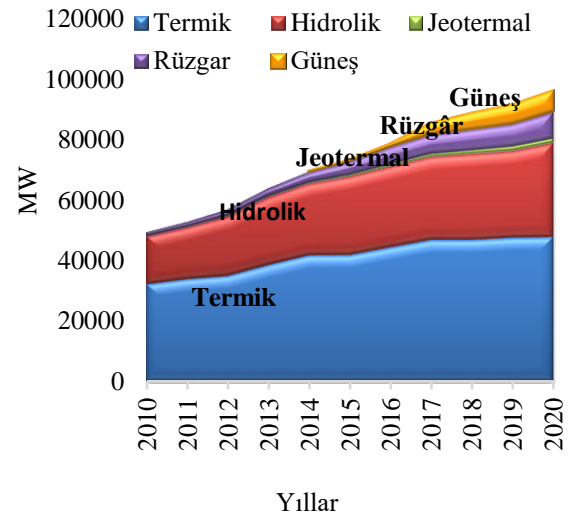
Şekil.1. Dünya'da elektrik enerji talebi 2021 (TWh) [6].

Şekil 1'den görüldüğü üzere Dünya genelinde en fazla enerji talebi olan ülkeler teknolojik anlamda da ileride olan Çin, Amerika gibi ülkeler olurken, enerji talebi en az olan ülkeler gelişmişlik seviyesi düşük olan Afrika gibi ülkelerdir [6]. Türkiye için kurulu güç değişimi de tüm dünyada olduğu gibi yıllara göre artış göstermiştir. Şekil 2'de Türkiye için kurulu güç değişimi 1980-2020 yılları arası değişimi verilmiştir.



Şekil 2. Türkiye için yılları arası kurulu güç değişimi (1980-2020) [7].

Şekil 2'den de görüldüğü gibi Türkiye kurulu gücü 1980, 2000 ve 2020 yıllarında sırasıyla yaklaşık 5119 MW, 27264 MW ve 95891 MW değerine ulaşmıştır. Buna göre elektrik kurulu gücü 1980 ile 2020 yılları arasındaki yaklaşık 19 kat artış göstermiştir. Türkiye 2010-2020 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç değişimi Şekil 3 ve Tablo 1'de verildiği gibidir [7].



Şekil 3. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2010-2020) [7].

Tablo 1. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre veriler [7].

	T	H.	J.	R.	G.	T.E.
2010 (MW)	32278	15831	94	1320	0.0	49524
%	65.18	31.97	0.19	2.67	-	100.0
2020 (MW)	47794	30984	1613	8832	6667	95891
%	49.84	32.31	1.68	9.21	6.95	100.0

T: Termik, H: Hidrolik, J: Jeotermal, R: Rüzgâr, G.: Güneş, T. E: Toplam Enerji

Tablodaki verilerden de görüldüğü üzere örneğin 2010 yılında termik enerjinin kurulu güçteki oranı %65,18 iken 2020 yılında bu oran %49,84'e düşmüştür. Hidrolik enerjinin kurulu güçteki payı %31,97'den %32,31'e yükselmiştir. Aynı şekilde rüzgârın kurulu güçteki payı 2010 yılında %2,67 iken 2020 yılında bu oran %9,21'e yükselmiştir. Aynı şekilde güneş enerjisinin kurulu güçteki oranı 2020 yılında %6,95'e yükselmiştir [7].

İstatistiksel verilerden de görüldüğü üzere enerjiye olan talep ve ilgi yıllar geçtikçe artmakta ve enerjiyi verimli kullanma yönünde çalışmalar önem kazanmaktadır [8]. Son dönemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının faydalanılarak yapılan hibrit sistemler geliştirilmiştir [9]. Hibrit sistemler ile ilgili yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda açıklanmıştır.

Elhadidy ve Shaahid, Arabistan Dahran'da yılda 41500 KWh elektrik üretecek rüzgâr-güneş-dizel hibrit sistem tasarlamıştır. Hibrit sistem tasarımında gereken tüm ekipmanların sayısını ve hesaplamalarını yapmıştır [10]. Engin çalışmasında İzmir Güneş Enerjisi Enstitüsü binasının gece aydınlatması için gereken enerji ihtiyacını karşılayacak güneş ve rüzgâr hibrit sistem tasarımı yapmıştır [2]. Nelson ve Pasifik Kuzeybatı bölgesindeki ark., en düşük maliyetle tasarruf sağlayacak şekilde şebekeden bağımsız güç gereksinimleri için hücre-güneş/yakıt pili veya rüzgâr-güneş/pil dizisi sistemlerini incelemiştir. Çalışmalarında rüzgâr güneş pili sistemlerinin rüzgâr güneş yakıt hücresi ve elektroliz sistemlerine göre daha ekonomik olduğunu bulmuştur [11]. Marano ve arkadaşlarının çalışmasında, bir fotovoltaik enerji santrali ve bir rüzgâr santrali içeren enerji sisteminin maliyet analizi ve optimizasyonu, sıkıştırılmış havanın bir alan deposu enerjisi ile birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sürecinde İtalya'daki Salerno Üniversitesi kampüsündeki elektrik yükü ve çevredeki yenilenebilir enerji dikkate alınmıştır [12]. İsmail ve ark. çalışmasında genetik algoritma yardımıyla hibrit sistemlerin analizi için Matlab tabanlı yazılım geliştirmiştir. Fotovoltaik panel, mikro türbin ve pil çeşitlerini ve panellerin eğim açısını dikkate alarak maliyet analizini minimize etmeyi amaçlamıştır. Bu çalışma için ek güç kaynağı olarak dizel jeneratör yerine mikro türbin kullanılmasının daha iyi olacağı tespit edilmiştir [13]. Sasidhar ve Jagadish Kumar,

sezgisel optimizasyon tekniğini kullanmış hibrit güç sistemi boyut optimizasyonu kullanılarak sistem maliyeti minimize edilmiştir. Toplam sistem maliyeti hesaplanırken işletme, bakım ve ilk yatırım maliyetleri dikkate alınmıştır. Tasarladıkları hibrit sistem, rüzgâr türbinleri, güneş panelleri ve pilleri içermektedir. Matlab yazılımı kullanılarak geliştirilen algoritmanın verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu teknik ile maliyetler düşürülmüştür [14]. Sangeetha ve Suja yaptıkları çalışmada, rüzgâr türbini, güneş panelleri ve bataryalardan oluşan karma enerji sistemi Simulink programı ve programda yapılan optimizasyon tahminleri Matlab programı kullanılarak modellenmiştir. Hibrit güç sisteminin boyutsal analizi sırasında, üretim maliyetinin ve güç kaynağının güvenilirliğinin yüksek olmasını sağlamak amaçlanmıştır. Bu çalışma için boyutsal analiz genetik algoritması ve çiçek tozlaşma algoritması kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Genetik algoritma ile iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır ancak çiçek tozlaşma algoritmasının kurulu gücüne karşılık gelen enerji maliyeti ve verimi dikkate alındığında algoritmadan çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür[15]. Demirtaş çalışmasında hibrit sistem tasarımı yapmıştır. Sistemde üretilen enerji akü gruplarında depolanabilmektedir. Ayrıca sistem şebeke bağlantılı olarak gerçekleştirilmiştir. Sistem verimlilik değerleri incelenmiştir [1]. Diaf ve arkadaşları, şebekeden bağımsız hibrit sistem tasarımı ve optimizasyon çalışması yapmıştır. Çalışma Fransa Korsika adaları bölgesinde gerçekleştirilmiştir [16]. Dong Chen ve arkadaşları çalışmasında rüzgâr-güneş hibrit sistemlerin oluşturulmasında proje aşamasını, faydalarını, maliyetini ve risklerini içeren bir çalışma yapmıştır [17].

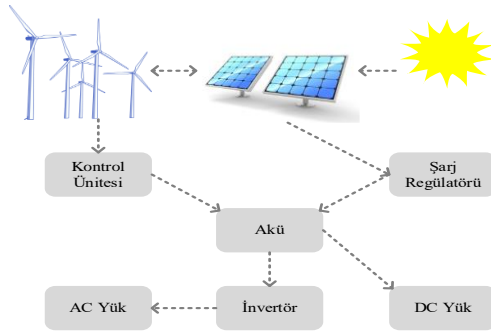
Bu Çalışmanın amacı ve katkıları;

- Bu çalışmada, Balıkesir İl'indeki rüzgâr ve güneş potansiyelinin yüksek olması nedeniyle rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin birlikte kullanıldığı bir hibrit sistem tasarımı yapılmıştır.
- Enerji üretiminin tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından ve kesintisiz olması en önemli avantajlarındandır.
- Hibrit sistem tasarımında 10 farklı senaryo denenmiş ve en verimli olan sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistem tasarımları ayrı ayrı incelenmiştir.
- Çalışmanın gerçek değerlere yakın değerleri elde eden PvSOL programı ile analiz edilmiştir. Bu sayede hibrit sistem yatırımlarında yol gösterici olması amaçlanmıştır [5].

Çalışmada ikinci bölümde materyal ve metot kısmında hibrit sistemin çalışma yapısı, sistem bileşenleri ve ekipmanlar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde tasarımı yapılan hibrit sistemlere ait senaryolar ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölüm olan değerlendirme kısmında PvSol programından elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde çalışmanın sonuçları özetlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Materyal ve Metot

Birden fazla enerji kaynağından üretilen kaynaklar, hibrit enerji sistemleri olarak adlandırılır. Güneş – rüzgâr, güneş – rüzgâr – hidrojen, güneş-rüzgâr-hidroelektrik, güneş-hidrojen gibi farklı hibrit sistem tasarımları yapılabilir [16]. Güneş-rüzgâr hibrit sistemi ile elektrik ihtiyacı yılın on iki ayı yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanabilmektedir. Güneş ışınlarının çok parlak ve kuvvetli olduğu yaz aylarında rüzgâr hızları düşük iken, güneş enerjisinin az olduğu yaz aylarında rüzgâr hızları yüksektir. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde verimli enerji elde etmek yıldan yıla ve gündün güne değişmektedir [18]. Başka bir ifadeyle rüzgâr hızının yetersiz olduğu günlerde güneş enerjisinden faydalanılabilir. Böylece bu sistemlerde enerji üretim devamlılığı sağlanır[11], [19]. Hibrit enerji sistemi rüzgâr ya da güneş enerjisinin çalışma sistemi ile aynı çalışmaktadır. Yalnızca sisteme ek yapılmalıdır [20]. Proje gereksinimlerine göre şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve şebeke destekli olarak tasarlanabilir. Çalışmada güneş-rüzgâr hibrit enerji tasarımı yapılmıştır. Güneş-rüzgâr hibrit güç sistemi diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Güneş-rüzgâr hibrit güç sistemi diyagramı.

Bu sistem güneş enerjisi veya rüzgâr türbinleri üretir. Rüzgâr türbini tarafından üretilen güç düzenleme sistemi sayesinde 24 veya 48 Volt DC 'ye çevrilebilir. DC gücü daha sonra şarj kontrol cihazından beslenir ve DC kesici pilin şarj olmasına izin verir, bu nedenle elektrik sisteminin DC kısmını ayırmak için bir yöntem gereklidir [21]. DC kısmı kesildiğinde pil, güç dönüştürücüyü etkinleştirir. Güç dönüştürücü, aküden DC sinyalini alır ve 110V AC güç üretir [22]. Fotovoltaik hücreler, düşük işletme maliyetleri ve yüksek güvenilirliğe sahiptirler. Güneş paneli, çeşitli boyutlarda üretilmekte ve satılmaktadır. Güneş panellerinde ilk yatırım maliyeti yüksektir [10]. Güneş pilleri, küçük ve orta ölçekli yükleri şebekeden uzakta çalıştırmak için ekonomik bir alternatif sağlar. Bir güneş pilinin ömrü kullanım ve yapım malzemesine bağlı olarak 10 ila 20 yıl arasında değişmektedir [23][24]. Güneş panelleri, seri bağlanmış birçok fotovoltaik hücreden oluşur. Plakaların kapasitesi test ortamında elde edilen güç değerlerine göre belirlenir. Güneş panelleri için genel olarak maksimum güç (Wp) değerinin 25 santigrat derece sıcaklık, 1 m/s rüzgâr hızı ve 1000 W/m² güneş ışınımı koşullarında elde edildiği kabul edilmiştir. Kontrol panelinden maksimum güç elde etmek için çalışma noktası doğru seçilmelidir [1]. Çünkü gün içindeki radyasyondaki değişiklikler veya yükteki olası değişiklikler nedeniyle

çalışma noktası farklıdır. PV paneller aküye doğrudan bağlı değildir, çünkü akünün uzun ömürlü olması için şarj kontrolörü kullanılması gerekir. Bu, özellikle aşırı yüklenmelerden ve deşarjlardan korumak için bir regülatör ile yapılmaktadır [25].

Proje Alanı

Bu çalışmada Balıkesir İl'inde güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrit enerji sistemi tasarımı yapılacaktır. Balıkesir, batıdan Ege Denizi'ne ve kuzeyden Marmara Denizi'ne uzanan kıyıları bakımından Marmara bölgesinde önemli bir yere sahiptir. Ayvalık'ta 5 km, Burhaniye'de 12 km, Edremit'te 32 km ve Gömeç'te 17,5 km olmak üzere Ege Denizi'ne kıyı şeridi uzunluğu 115,5 km'dir. Marmara Denizi'nde kıyı şeridi Bandırma'da 60 km, Erdek'te 3,5 km, Gönen'de 8 km ve Marmara ilçesinde 72,5 km olmak üzere toplam 175 km'dir. Balıkesir, 1299 km² yüzölçümüne sahip olup, kuzeydoğuda Bursa, güneydoğuda Kütahya ve Manisa, güneybatıda İzmir, batıda Ege Denizi ve Çanakkale ile çevrilidir. 39° 0' kuzey enlemi ile 26°28' doğu boylamları arasında yer alır. İllerin sınırları hem Marmara hem de Ege bölgelerini kapsamaktadır [26].

Rüzgâr Santrali

Rüzgâr hızı verisi alındığında, iyi sonuçlar elde etmek ve daha verimli enerji üretmek için rüzgâr türbinleri ve ölçüm istasyonlarının düzenlenmesi gereklidir. Bir rüzgâr santralinin tasarımı ve maliyeti hesaplanırken öncelikle seçilen santral konumundan üretilen enerji miktarına göre üretilmesi gerekir [10]. Bu nedenle arazinin seçildiği alanın yapısının uygun olup olmadığı kontrol edilerek ölçümler yapılmalı ve ardından Rüzgâr İzleme İstasyonu (RGI) kurulmalıdır. RGI kurulum alanı rüzgâr yönünde olmalı ve rüzgârı etkileyecek hiçbir engelin olmadığı alanlarda seçilmelidir. Çünkü rüzgâr hızı, bozulma alanına bağlı olarak düşüş gösterebilir. Çalışmada Balıkesir'in Ayvalık ilçesinde kurulacak rüzgâr santrali 5 adet farklı özelliklere sahip rüzgâr türbini tercih edilmiştir. Tercih edilen rüzgâr türbinlerine ait nominal güç (w), kanat sayısı, rotor çapı, süpürülen alan (m²), ilk hareket hızı(m/sn), nominal hız ve dayanabileceği maksimum hız parametreleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Rüzgâr türbinleri ve özellikleri [27]-[31].

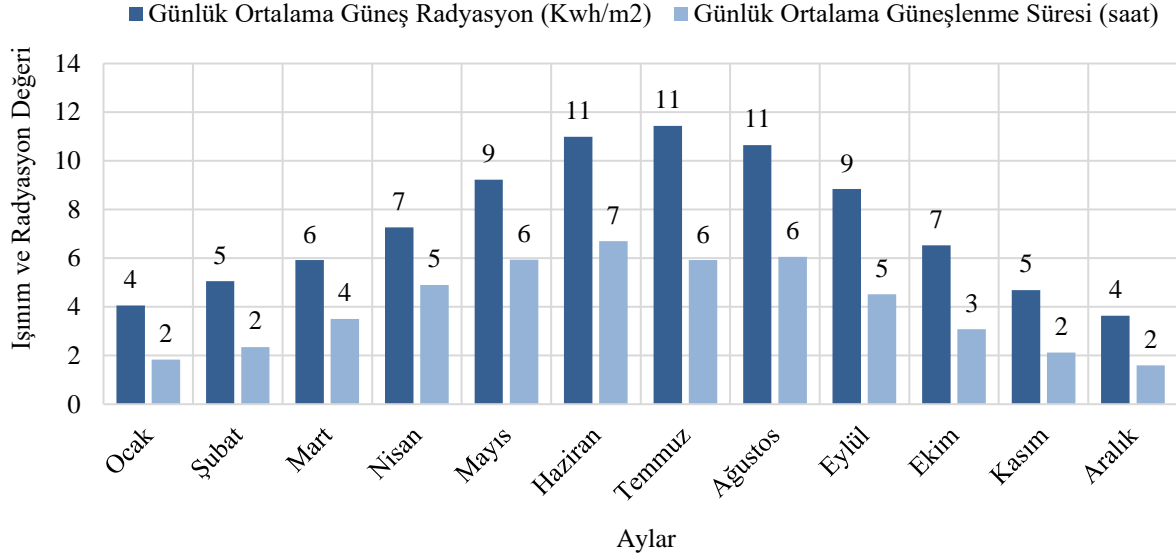
	Rüzgâr Türbini				
	P1	P2	P3	P4	P5
Nominal Güç (W)	5000	35000	1000	3000	1400
Kanat Sayısı	3	3	3	2	3
Rotor Çapı	5.4	19.2	2	4.5	3.12
Süpürülen alan(m²)	22.89	289.5	4.9	15.9	7.65
İlk hareket hızı(m/sn)	3	3.5	2.5	3.5	3
Nominal hız	12	11	11	10.5	16
Dayanabileceği mak. hız	60	52	54	55	40

P1: Iskra AT5-1, P2: Endurance G3120, P3: Bergey XL-1, P4: Whisper 500, P5: Proven WT

Güneş Santrali

Çalışmada kurulması planlanan güneş enerji santrali için en önemli parametre bölgenin aylara göre güneş radyasyon değeridir. Bölgeye ait aylık bazda günlük güneş radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri Şekil 5'te görülmektedir [7]. Şekilden görüldüğü üzere aylık ortalama en yüksek radyasyon değeri 11,4 (saat) ile temmuz ayı iken en fazla güneşlenme süresi 6,7 saat olan haziran ayındadır. En düşük radyasyon ışınım değeri 1.6 (kW/m²) ile aralık ayında olurken en kısa güneşlenme süresi de 3.6 (kW/m²) ile yine

aralık ayındadır [7].Çalışmada kullanılacak güneş paneli monokristal güneş panelidir. Bu panelin üretiminde kristal silikon malzeme kullanılmıştır. Standart bir yapıya sahiptir ve belirgin pürüzsüz bir dokuya sahiptir. Piyasadaki en verimli güneş panellerinden biridir. Diğer eşit ölçüdeki polikristal hücrelere göre daha az yer kaplamaktadır. Maliyetleri yüksek olmakla beraber, panel seçiminde üretici kalitesi ve hücre menşei, panel tipi özellikleri verimi etkileyen önemli faktörlerdir. Bu çalışmada kullanılan güneş paneli modeli TT 40072 PM olup panel parametreleri Tablo 3'te verilmiştir [32].



Şekil 5. Balıkesir İli aylara göre günlük ortalama radyasyon ve güneşlenme süreleri [7].

Tablo 3. TT 40072 PM Güneş Paneli parametreleri [32].

Parametre	Birim	Değer
Maksimum Güç	W	400
Modül Verimliliği	WP	20,6
Maksimum Güç Gerilimi	Vmp	41,10
Maksimum Güç Akımı	Imp	9,75
Açık Devre Gerilimi	Voc	49,83
Kısa Devre Akımı	Isc	10,38

Hibrit sistemlerde güneş panellerini taşıması için panel sehpa kullanılır. Enerji sektöründeki birçok firma panel sehpa seçiminde çevresel koşullara karşı dayanıklılıkları, tasarrufları ve bakım gerektirmediğinden galvanizli çelik yapı raflarını tercih etmektedir. [33]. Çalışmada evirici olarak Revoe Plus 35 (3-5.5 kW geniş PV giriş aralığı 120-450 V DC), tercihe göre batarya ile bağlantılı solar inverter kullanılmıştır [34]. Hibrit çalışmalar için uygun olan invertöre ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir. Ayrıca çalışmada akü olarak Mutlu marka efb tam enerji akü kullanılmıştır. Akü özellikleri Tablo 4'de verilmiştir[35].

Tablo 4. Akü Teknik Özellikleri [35].

Kodu	Kapasite	CCA	K	U	G	Y
FL1.48.030.A	K20/K5 48/40	300	1	B3	207	175
FL2.60.036.A	K20/K5 60/50	360	1	B4	242	175
FL3.75.048.A	K20/K5 95/80	480	1	B5	278	175
FL5.95.064.A	K20/K5 48/43	640	1	B13	353	175
FHM.100.064.A	K20/K5 48/44	100	1	B3	323	176

CCA:Soğuk motor çalıştırma amperi, K:Kutuplar, U:Uzunluk (mm), G: Genişlik (mm), Y: Yükseklik (mm)

Şebeke Bağlantılı ve Şebekeden Bağımsız Sistemler

Şebekeye bağlı sistemde, üretilen elektrik aküde depolanmaz, şebekeye aktarılır. Üretilen bu enerji, merkezi şebekeye yüksek kapasitede bağlanabilen inverterler ile şehrin merkezi şebekesine de bağlanabilir [25]. Bu sistemin seçilmesindeki en önemli neden, kurulumunun kolay

olması ve gerekli depolama maliyetinin olmamasıdır. Dayanıklı, pratik ve taşınabilir özelliklere sahiptir. Üretilen enerji doğrudan şebekeye bağlı olduğundan, üretilen enerji yeterli olmadığında şebeke doğrudan devreye girer ve yüke enerji miktarı sağlanır. Sistem tasarımına tüm yükü dahil etme zorunluluğu olmadığı için istenilen miktar veya alana göre tasarım yapılabilir [22].

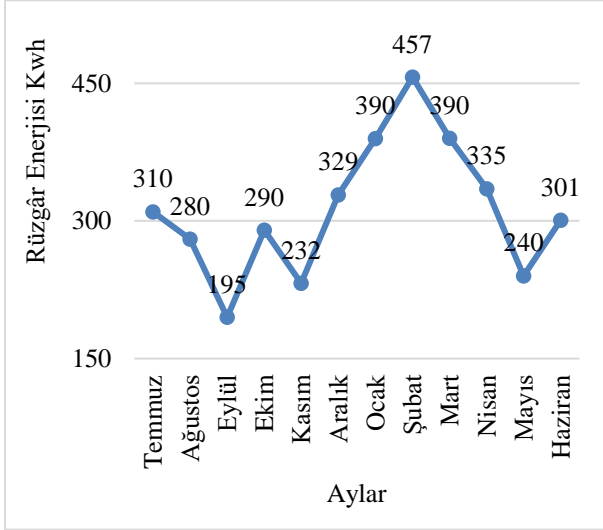
Şebekeden Bağımsız sistemler elektriğin olmadığı veya ulaşımın zor olduğu durumlarda, ana hattın sık sık kesilmesi durumunda sistemden gerekli enerjiyi sağlayan sistemdir. Şebekeden bağımsız çalıştığından, yıl boyunca yeterli enerji üretilmediği zamanlarda bile kurulumun ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli pil kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır [36]. Sadece bir ilk yatırım maliyeti vardır. Çok verimlidir ve çok düşük güç kaybına sahiptir. Kolay montaj mevcuttur [37].

Bulgular

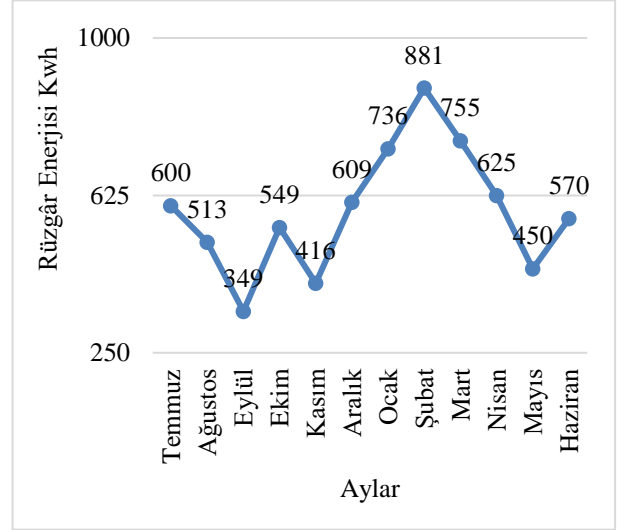
Bu çalışmada, Balıkesir Ayvalık'ta kurulan hibrit güç sistemi için kurulu gücü 5-50 kW arasında değişen 10 adet senaryo tasarımı yapılmıştır. Senaryolar oluşturulurken en önemli kriterlerden biri kurulu güneş ve rüzgâr enerjisi oranlarının birbirine yakın olmasıdır. Hibrit sistemlere ait rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücü, kullanılacak türbinler, güneş paneli tipi ve kullanılacak güneş paneli sayısı Tablo 5'te verilmiştir. Tasarımı yapılan sistemlerde ilk beş sistem şebekeden bağımsız, diğer beş sistem şebeke bağlantılı olarak tasarlanmıştır. Tasarımda kullanılan rüzgâr türbinlerinin Balıkesir İl'ine ait aylık rüzgâr enerjisi verileri Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Ayrıca bölgeye ait güneş ışınım değerleri Şekil 11'de gösterildiği gibidir.

Tablo 5. Tasarımı yapılan sistemlere ait kurulu güç(w), rüzgâr türbini çeşidi, rüzgâr türbini gücü(w), rüzgâr türbini adedi, güneş paneli modeli, güneş paneli adedi, güneş paneli gücü(w) ve bağlantı tipi verileri.

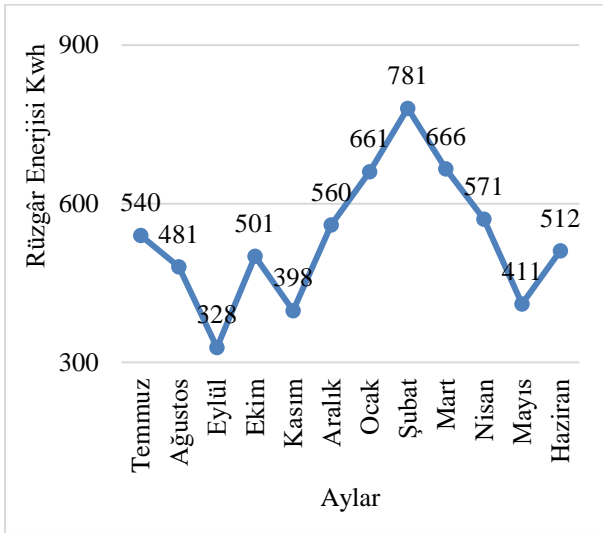
Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Rüzgâr Türbini Çeşidi	Rüzgâr Türbini Gücü(W)	Rüzgâr Türbini Adedi	Güneş Paneli Modeli	Güneş Paneli Adedi	Güneş Paneli Gücü(W)	Bağlantı tipi
1	7000	Whisper-500	3000	1	TT40072 PM	20	200	Şebekeden bağımsız
2	8000	Whisper-500	2000	2	TT40072 PM	16	250	Şebekeden bağımsız
3	9000	Iskra AT5-1	3000	1	TT40072 PM	30	200	Şebekeden bağımsız
4	10.000	Iskra AT5-1	5000	1	TT40072 PM	50	100	Şebekeden bağımsız
5	15.000	Bergey XL.1	2500	2	TT40072 PM	40	250	Şebekeden bağımsız
6	20.000	Bergey XL.1	10.000	1	TT40072 PM	50	200	Şebeke bağlantılı
7	30.000	Proven WT	10.000	2	TT40072 PM	20	500	Şebeke bağlantılı
8	35.000	Proven WT	15.000	1	TT40072 PM	100	200	Şebeke bağlantılı
9	40.000	Endurance G-3120	10.000	3	TT40072 PM	25	400	Şebeke bağlantılı
10	50.000	Endurance G-3120	30.000	1	TT40072 PM	50	400	Şebeke bağlantılı



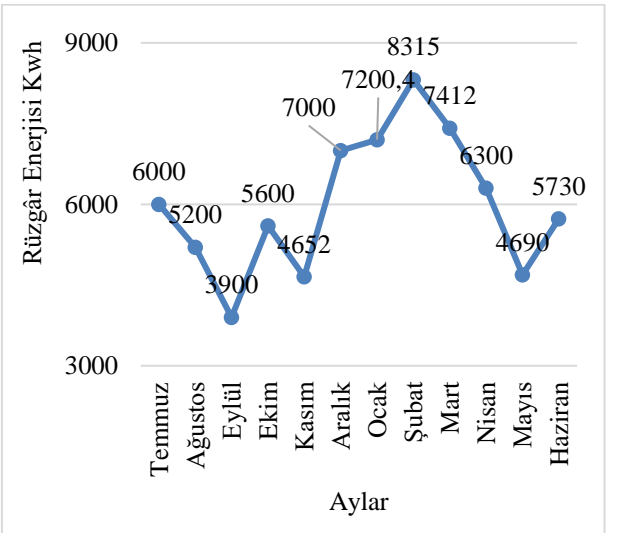
Şekil 6. Whisper 500 rüzgâr türbin eğrisi.



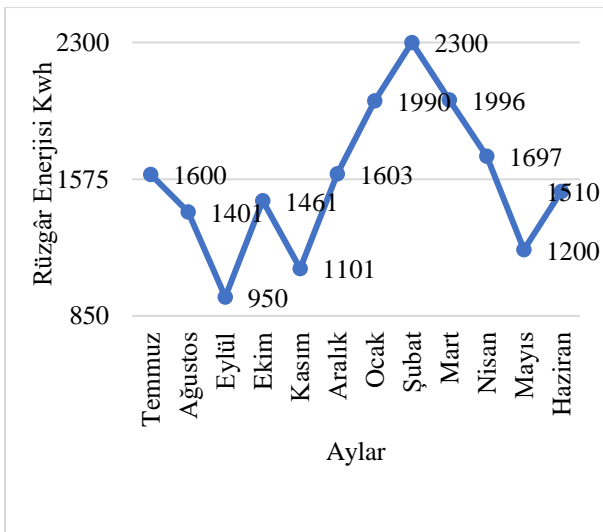
Şekil 7. BERGEY XL -1 rüzgâr türbin eğrisi.



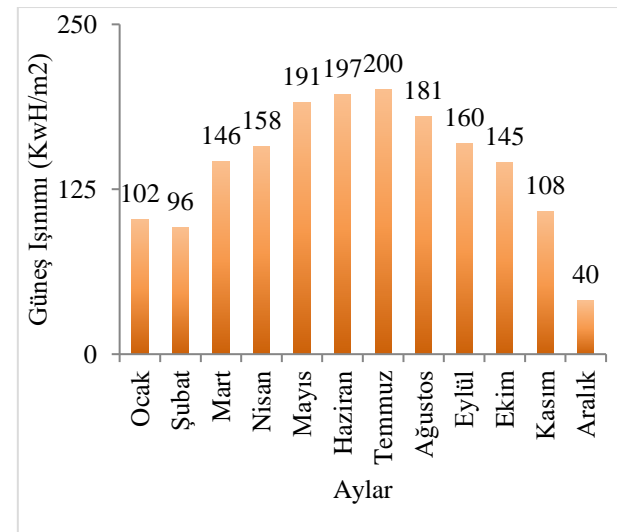
Şekil 8. Iskra At5-1 rüzgâr türbin eğrisi.



Şekil 9. Endurance G 3120 rüzgâr türbin eğrisi.



Şekil 10. Proven WT rüzgâr türbin eğrisi.



Şekil 11. Aylık en yüksek ışınım değerleri.

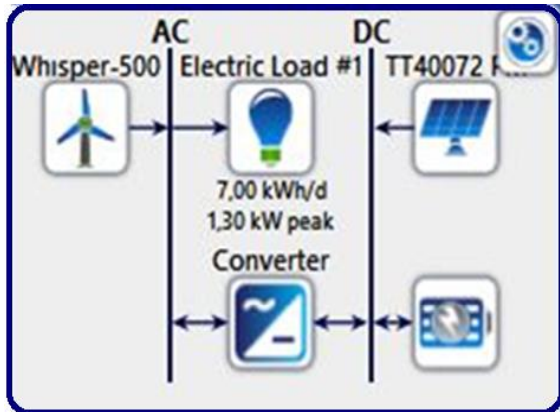
Şekilden görüldüğü gibi sıcaklıkların en yüksek olduğu temmuz ve ağustos aylarında güneş ışınımı 197 kWh/m² ve 198 kWh/m² iken, sıcaklıkların en düşük olduğu şubat ayında 95 kWh/m²'tir.

Değerlendirme

Hibrit enerji sisteminin kurulumunda 10 farklı senaryoya göre rüzgâr türbinlerinden ve güneş panellerinden elektrik enerjisi elde edilmektedir. Şebekeden bağımsız olarak oluşturulan 5 senaryo için inverterler, şarj kontrolörleri ve akümülatörler gibi sistem bileşenleri de analiz edilmiştir. Tasarımı yapılan her bir hibrit sistem için rüzgâr, güneş ve hibrit enerji üretim değerleri her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar gerçeğe yakın değerler elde eden PvSol programı ile yapılmıştır. Şebekeden bağımsız bir hibrit güç sisteminde akü seçerken, aküde rüzgâr ve güneş enerjisi birikeceğinden, birleşik kapasitenin en yüksek olduğu ay çok önemlidir. Şebekeye bağlı bir hibrit enerji sistemleri doğrudan şebekeye bağlı olduğu için enerji depolaması dikkate alınmaz, dolayısıyla akümülatör ve şarj regülatörü kullanılmaz.

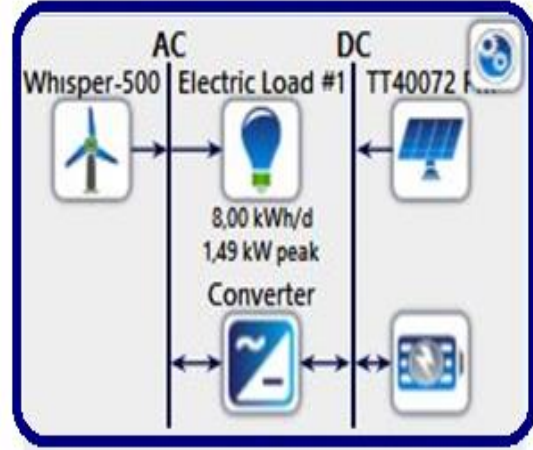
Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistem Senaryolarına İlişkin Değerlendirmeler

Tasarımı yapılan hibrit sistem senaryolarında ilk beş senaryo şebekeden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Şebekeden bağımsız sistemlerin kurulu güçleri sırasıyla 7000, 8000, 9000, 10000 ve 15000 KW olarak belirlenmiştir. Hibrit enerji sisteminin 7000 W kurulu güce sahip 1. senaryosuna göre; senaryonun 3000 W'lık kısmını rüzgâr türbini, 4000 W'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 7000 W kurulu güce sahip bir hibrit enerji sisteminin ilk senaryosunda 3000 W güce sahip Whisper 500 rüzgâr türbininden 1 adet, 200 W güce sahip, her biri 1,5 m² alana sahip TT40072 güneş panelinden 20 adet kullanılmıştır. Sistemde 2 adet Lexron KS5000 inverter ve 7 adet tam 12V Mutlu EFB akü kullanılmıştır. Rüzgâr potansiyeli sonuçları incelendiğinde, çalışmada kullanılan Whisper-500 tipi 1 adet rüzgâr türbininden elde edilen aylık enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda rüzgâr açısı, rüzgâr yönü, rüzgâr şiddeti parametreleri dikkate alınmıştır. Rüzgâr gücünün en yüksek şubat ve mart aylarında, en düşük ise eylül ayında olduğunu gözlemlenmiştir. Senaryo 1 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 12'de verilmiştir.



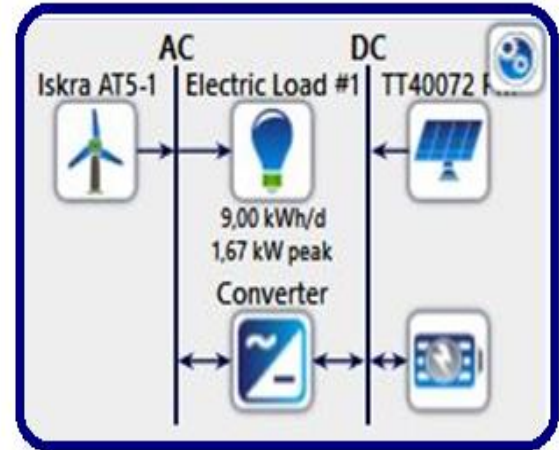
Şekil 12. Senaryo_1 sistem şeması.

2. senaryoya göre tasarlanan 8000 W kurulu güce sahip hibrit enerji 4000 W'lık kısmını rüzgâr türbini, 4000 W'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. Senaryoda Whisper-500 rüzgâr türbininden (2000 W kapasiteli) 2 adet rüzgâr türbini ve 250 W TT0072 PM tipi güneş panelinden 16 adet kullanılmıştır. Senaryo 2 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 13'te verilmiştir.



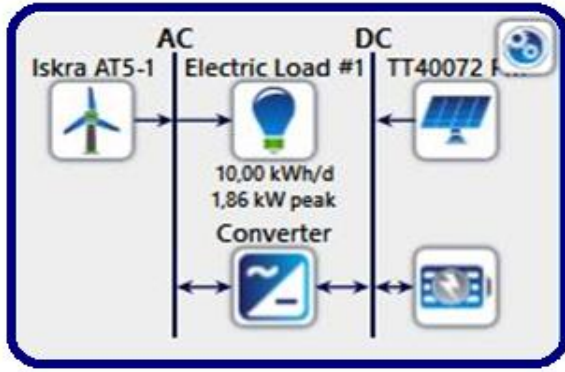
Şekil 13. Senaryo_2 sistem şeması.

9000 W kurulu güce sahip hibrit enerji sisteminin 3. Senaryoda 3000 W'lık kısmını rüzgâr türbini, 6000 W'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 1 adet Iskra AT51 3000W rüzgâr türbini ve 200 W'lık TT0072 PM güneş panelinden 30 adet kullanılmıştır. Senaryo 3 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Senaryo_3 sistem şeması.

10000 W kurulu güce sahip 4. senaryo göre hibrit güç sisteminde kurulu gücün 5000W kısmını rüzgâr türbini, 5000W kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 5000W kapasiteli Iskra AT5-1 rüzgâr türbinlerinden 1 adet, 100 W TT0072 PM'li güneş panelinden 50 adet kullanılmış olup, her biri 1,5 m² alana sahiptir. Senaryo 4 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Senaryo_4 sistem şeması.

15000 W kurulu güce sahip karma güç sisteminin 5. senaryosuna göre kurulu gücün 5000 W kısmını rüzgâr türbini, 10.000W kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. Tasarımda 2500 W'lık Bergedy XL.1 rüzgâr türbinlerinden 2 tane ve 250 W'lık TT0072 PM güneş panellerinden 40

adet kullanılmıştır. Senaryo 5 için tasarımı yapılan hibrit sisteme ait şematik görünüm Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Senaryo_5 sistem şeması.

Şebekeden bağımsız olarak tasarımı yapılan senaryoların aylık bazda Güneş Enerjisinden üretilen enerji (GES), Rüzgar Enerjisinden üretilen enerji (RES) ve toplam hibrit üretim enerji üretim değeri (Hibrit) Tablo 6'da verilmiştir.

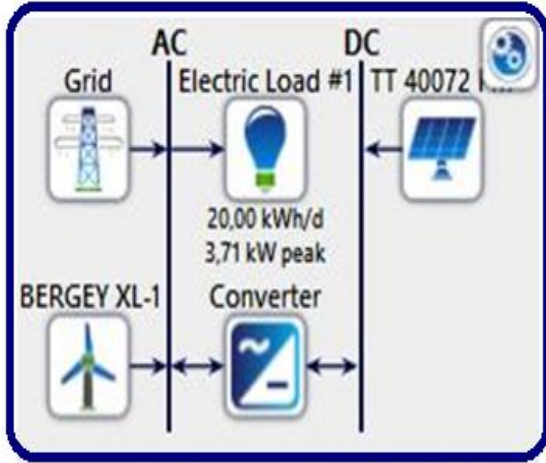
Tablo 6. Şebekeden bağımsız senaryoların aylık analiz verileri.

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Üretim	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Senaryo 1	7000	GES	400	399	560	631	761	781	795	731	650	572	425	361	7065
		RES	390	461	390	341	235	296	311	271	190	293	236	341	3754
		Hibrit	791	859	951	972	996	1077	1106	1001	840	865	661	701	10820
Senaryo 2	8000	GES	496	450	690	780	950	970	996	901	782	700	500	430	8646
		RES	390	458	390	340	236	295	315	270	190	295	246	326	3752
		Hibrit	886	908	1081	1121	1186	1266	1311	1171	972	996	746	756	12399
Senaryo 3	9000	GES	396	380	560	618	761	775	790	755	621	551	411	341	6960
		RES	650	771	670	571	410	511	541	470	328	510	399	560	6391
		Hibrit	1046	1151	1231	1189	1171	1286	1331	1226	950	1061	809	901	13351
Senaryo 4	10000	GES	495	472	691	770	947	971	990	911	796	711	531	451	8735
		RES	660	781	671	568	410	510	546	471	331	499	395	563	6406
		Hibrit	1156	1253	1361	1339	1357	1481	1536	1381	1127	1209	926	1014	15141
Senaryo 5	15000	GES	495	470	690	771	946	970	980	911	791	690	525	450	8689
		RES	736	871	759	628	446	570	600	512	349	546	415	611	7042
		Hibrit	1231	1341	1449	1399	1391	1540	1581	1423	1139	1236	940	1061	15731

Senaryoların tamamının aylık üretim verilerine bakıldığında güneş panelinden üretilen enerji en fazla temmuz ayında olurken rüzgâr panelinden üretilen enerji ise en fazla şubat ayında gerçekleşmiştir. Temmuz ayında güneş panellerinin ışınım değerlerini yüksek olması şubat ayında ise rüzgâr değerinin yüksek olması üretim verilerine yansımıştır

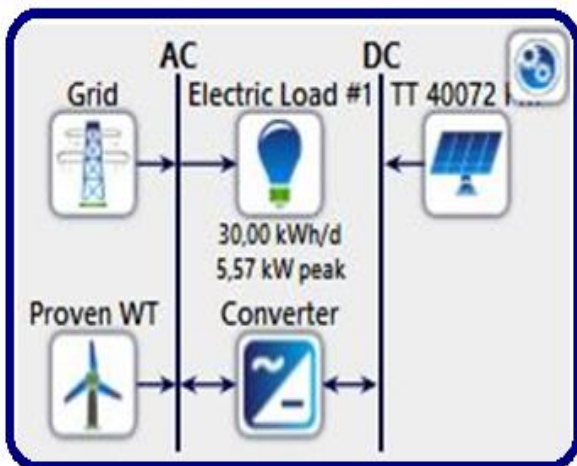
Şebekeye Bağlı Hibrit Sistem Senaryolarına İlişkin Değerlendirmeler

Şebeke bağlantılı hibrit enerji sisteminin 6. senaryosuna göre 20 kW kurulu gücün 10 KW'ını rüzgâr türbinleri ve 10 KW kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 10 kW'lık Bergey XL.1 rüzgâr türbinlerinden 1 adet ve 200W kapasiteli 50 adet TT0072 PM güneş paneli kullanılmıştır. 50 adet TT0072 PM güneş paneli birbirleriyle seri bağlanan 10'arlı panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 6 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 17'de verilmiştir.



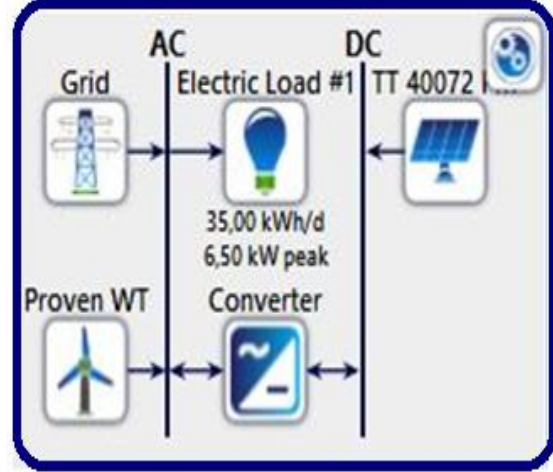
Şekil 17. Senaryo_6 sistem şeması.

Şebeke bağlantılı hibrit sistem tasarımlarında 7. Senaryo göre 30 kW kurulu güce sahiptir. Bu sistemin 10 KW'lık kısmı için Bergey XL.1 rüzgâr türbinlerinden 2 adet kullanılmış ve 500 W TT0072 PM güneş panelinden 20 adet kullanılmıştır. Senaryo 7 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 18'de görüldüğü gibidir.



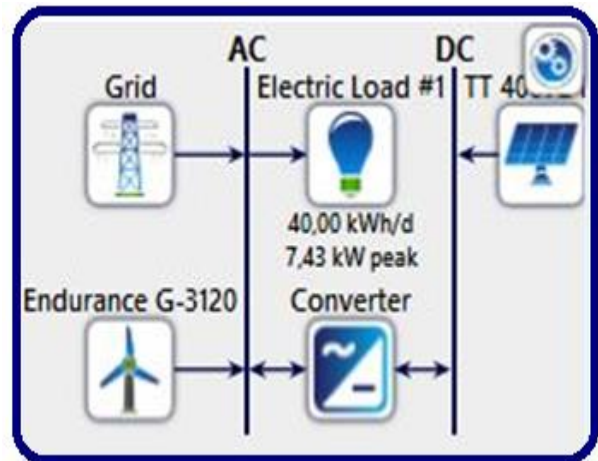
Şekil 18. Senaryo_7 sistem şeması.

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 35 kW kurulu gücündeki 8. senaryoya göre kurulu gücün 15kW'lık kısmını Proven WT rüzgâr türbininden 1 adet, 200 W'lık TT40072 PM güneş panelinden 100 adet kullanılmıştır. 100 adet TT40072 PM güneş panelleri birbirleriyle seri bağlanan 10'arlı panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 8 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 19'da görüldüğü gibidir.



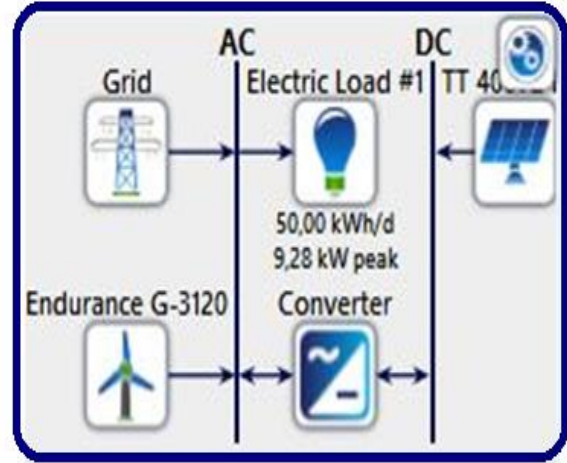
Şekil 19. Senaryo_8 sistem şeması.

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 40 kW kurulu gücündeki 9. senaryoya göre; Senaryonun 30 kW'lık kısmını Endurance G-3120 model rüzgâr türbinini 10 kW'lık kısmını TT40072 PM model güneş paneli oluşturmaktadır. 10 kW güce sahip Endurance G3120 rüzgâr türbininden 3 adet. 400W kurulu güce sahip her biri 1.5 m² alana sahip TT40072 PM güneş panelinden 25 adet kullanılmıştır. 25 adet TT40072 PM güneş panelleri birbirleriyle seri bağlanan 5'erli panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 9 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 20'de verilmiştir. Tasarlanan hibrit sistemde 2 adet REVO-E PLUS invertör kullanılmıştır



Şekil 20. Senaryo_9 sistem şeması.

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 50 kW kurulu gücündeki 10. senaryoya göre; Senaryonun 30 kW'lık kısmını rüzgâr türbini, 20 kW'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır. 30 kW'lık Endurance G-3120 rüzgâr türbini modelinden 1 adet, TT40072 PM 400 W'lık PM güneş panelinden 50 adet ve REVO-E PLUS invertörden 2 adet kullanılmıştır. 50 adet TT40072 PM güneş paneli. Birbirleriyle seri bağlanan 5'erli panel gruplarının tekrar birbiriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Senaryo 10 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 21'de görüldüğü gibidir. Çalışmada analizi yapılan senaryoların hibrit enerji üretim verileri Tablo 7'de verilmiştir. Şebeke bağlantılı sistemlerde de aylık enerji üretim verileri incelendiğinde güneş panelinden üretilen enerji en fazla Temmuz, rüzgâr panelinden üretilen enerji ise en fazla Şubat ayındadır.



Şekil 21. Senaryo_10 sistem şeması

Tablo 7. Şebekeye bağlı senaryoların aylık analiz verileri.

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Üretim	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Senaryo 6	20000	GES	986	938	1450	1541	1896	1940	1975	1820	1601	1391	1050,6	896	17484
		RES	736	891	755	629	446	571	590	510	360	546	416	606	7055
		Hibrit	1721	1829	2206	2170	2341	2511	2566	2331	1961	1936	1466	1502	24539
Senaryo 7	30000	GES	985	938	1380	1541	1890	1941	1971	1810	1591	1402	1046	895	17391
		RES	1903	2281	1986	1650	1175	1510	1581	1346	911	1420	1089	1598	18449
		Hibrit	2888	3219	3366	3191	3065	3451	3551	3156	2501	2822	2135	2494	35839
Senaryo 8	35000	GES	990	941	1400	1550	1901	1941	1991	1801	1590	1391	1040	890	17425
		RES	1900	2300	1981	1600	1180	1520	1583	1350	920	1450	1092	1590	18467
		Hibrit	2891	3241	3381	3150	3081	3461	3554	3150	2510	2841	2132	2480	35892
Senaryo 9	40000	GES	495	469	692	770	946	968	986	906	796	701	525	449	8702
		RES	7191	8220	7400	6235	4656	5721	5999	5200	3869	5570	457	6295	66813
		Hibrit	7686	8689	8092	7006	5602	6689	6984	6106	4665	6271	983	6744	75516
Senaryo 10	45000	GES	991	946	1400	1540	1891	1956	1976	1820	1590	1401	1057	950	17517
		RES	7301	8351	7401	6301	4785	5875	6000	5201	3854	5582	4570	6299	71519
		Hibrit	8291	9296	8801	7841	6676	7832	7976	7021	5444	6983	5627	7249	89036

GES: Güneş enerjisinden üretilen enerji (KWh), RES: Rüzgâr enerjisinden üretilen enerji (kWh), Hibrit: Toplam enerjiyi (kWh) ifade etmektedir.

Tartışma

Çalışmada tasarımı yapılan senaryoların analizleri PvSol programı ile yapılmıştır. PvSol programı 3 boyutlu modelleme yaparken googlemaps tabanından ölçekli ve azimutlu veri çeker. Özellikle 3 boyutlu tasarımlarda gerçek gölge analizi ve optimum yerleşim sağlama yönü ile analiz sonuçları gerçek değerlere oldukça yakındır. PvSol programının uygulama ile karşılaştırma yapıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalardan birkaçı aşağıda özetlenmiştir.

Bayrakçı ve arkadaşları çalışmasında Aydın İli'nde 1MW'lık GES santralının gerçek elektrik üretim verileri ile simülasyon analiz değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada gerçeğe yakın değerler elde etmiştir [38].

Ceylan ve ark. 1MW kurulu güç kapasitesine sahip, Isparta İli'ndeki GES santralının gerçek üretim değerleri ile simülasyon analizi üretim değerlerini karşılaştırmıştır. Simülasyonlarda Helioscope, PVGIS, Polysun ve PVSOL programları kullanılmıştır. Buna göre belirtilen programlar için sırasıyla +%1,2, +%1,3, -%3,6 ve -%7,5 sapma payı olduğu belirtilmiştir [39].

Kınalı çalışmasında 1000KW, 500 KW ve 250 KW kurulu güç kapasitesine sahip GES santrallerinin gerçek üretim verileri ve simülasyon analiz değerlerini karşılaştırmıştır. Simülasyonlarda PVGIS, PVSOL, PVSyst programları kullanılmıştır. Buna göre gerçek üretim ile analiz sonucunda elde edilen üretim verileri arasında PVGIS, PVSOL, PVSyst programlarında sırasıyla +%0,1, +%0,3 ve +%0,2 sapma payı hesaplanmıştır [40].

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kurulu güç kapasiteleri 5-50 kW arasında değişen 10 adet hibrit enerji sistemi senaryo için tasarım yapılmıştır. Senaryolar oluşturulurken güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin kurulu gücü dikkate alınmış her senaryo için uygun seviyede güneş ve rüzgâr enerjisi seçilmiştir. Çalışmalarda şebekeden bağımsız 5-15 KW arası 5 senaryo için kurulu güce ve üretilen enerjiye bağlı olarak akümülatör ve üretilen enerjiyi depolamak için gereken şarj regülatörü hesaplamaları yapılmıştır. 20 KW'dan 50 KW'a kadar 5 adet hibrit sistem tasarımında enerji sistemi şebekeye bağlı olduğundan akümülatör kullanılmadığından bu nedenle şarj regülatörüne ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak bu sistemlerde güneş paneli tarafından üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için sistem voltajı ve akımına uygun inverterler kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı durumlarda kullanılan rüzgâr türbinleri ise yapılarında invertör bulunduğundan başka bileşenler kullanılmadan doğrudan şebekeye bağlanabilir. Rüzgâr türbininden üretilen enerji hesaplanırken; Balıkesir'in İli rüzgâr hızı ölçümleri kullanılmıştır. Senaryo tasarımlarında üretilen hibrit enerji değerlerini hesaplarken özellikle sistem bileşenlerinin verimi dikkate alınmıştır. Hibrit enerji sisteminin kurulu gücü arttıkça üretilen enerjinin de arttığı gözlemlenmiştir. Senaryolar incelendiğinde yapılan değerlendirmeler sonucunda en yüksek güneş kapasitesinin temmuz ayında, en düşük rüzgâr kapasitesinin ise şubat ayında gerçekleştiği

tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeni ise yazın güneşin daha parlak ve çok olması, kışın ise rüzgârın daha çok olmasıdır. Yenilenebilir kaynakların kullanımının artmasıyla birlikte, ulusal ve küresel ölçekte sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Çevre ile uyumlu, kaynakların yüksek verimlilikle değerlendirilmesi gerekir. Başta rüzgâr ve güneş enerjisi olmak üzere yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının Avrupa Birliği ülkelerinde hızla yaygınlaşması ve uygulama alanlarının artması nedeniyle Türkiye'de bu konuda gerekli düzenlemelerin güçlendirilmesi ve bir an önce hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla. Türkiye'de rüzgâr ve güneş enerjisinin gelişimi için ulusal enerji programlarının hazırlanması ve bu programların kamu kurumları, özel sektör ve akademi iş birliği ile geliştirilmesi gerekmektedir. Yatırım potansiyeli yüksek yerlerden, diğer bölgelerde ise yatırımın teknolojik yeteneklerine göre ve günlük maliyetleri düşürmeye paralel olarak uygulanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] M. Demirtaş, "Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santral tasarımı ve uygulaması," Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [2] M. Engin, "Fotovoltaik rüzgâr hibrit enerji sisteminin izmir koşullarında tasarımı ve denemesi," Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.
- [3] Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu, Erişim: <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/2021-Kuresel-Enerji-Raporu-Ozeti.pdf>. 13.12.2021
- [4] Enerji Sektör Görünümü (TSKB). Erişim: <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>. 10.09.2021
- [5] S. Ashok, "Optimised model for community-based hybrid energy system," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 7, pp. 1155–1164, 2007.
- [6] Worlddata, Energy consumption. Erişim: https://ourworldindata.org/explorers/energy?facet=no ne&country=USA~GBR~CHN~OWID_WRL~IND~BRA~ZAF&Total+or+Breakdown=Total&Energy+or+Electricity=Primary+energy&Metric=Annual+consumption. 05.11.2021.
- [7] TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi), Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, 2008, Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi. Erişim: <http://www.teias.gov.tr/istatistik2008/1.xls>. 15.12.2021.
- [8] J. Li, W. Wei, and J. Xiang, "A simple sizing algorithm for stand-alone PV/wind/battery hybrid microgrids," *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 5307–5323, 2012.
- [9] T. Senjyu, D. Hayashi, A. Yona, N. Urasaki, and T. Funabashi, "Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 11, pp. 1917–1933, 2007.
- [10] M. A. Elhadidy, "Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems," *Renew. Energy*, vol. 26, no. 3, pp. 401–413, 2002.

- [11] D. Nelson, M. Nehrir, and C. Wang, "Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems," *Renew. Energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1641–1656, 2006.
- [12] V. Marano, G. Rizzo, and F. A. Tiano, "Application of dynamic programming to the optimal management of a hybrid power plant with wind turbines, photovoltaic panels and compressed air energy storage," *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 849–859, 2012.
- [13] M. S. Ismail, M. Moghavvemi, and T. Mahlia, "Genetic algorithm-based optimization on modeling and design of hybrid renewable energy systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 85, pp. 120–130, 2014.
- [14] K. Sasidhar and B. J. Kumar, "Optimal sizing of PV-Wind Hybrid energy system using Genetic Algorithm (GA) and Particle swarm optimization (PSO)," *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res. IJSETR*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [15] P. Sangeetha and S. Suja, "Modeling and heuristic based optimal sizing of PV wind system," presented at the 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT), 2017, pp. 359–363.
- [16] S. Diaf, G. Notton, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, "Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions," *Appl. Energy*, vol. 85, no. 10, pp. 968–987, 2008.
- [17] L. Dong and C. Chen, "Size optimisation of hybrid wind-PV power generation systems for remote rural areas," *Int. J. Glob. Energy Issues*, vol. 24, no. 3–4, pp. 259–266, 2005.
- [18] A. Ozdamar, N. Ozbalta, A. Akin, and E. D. Yildirim, "An application of a combined wind and solar energy system in Izmir," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 9, no. 6, pp. 624–637, 2005.
- [19] R. W. Wies, R. A. Johnson, A. N. Agrawal, and T. J. Chubb, "Simulink model for economic analysis and environmental impacts of a PV with diesel-battery system for remote villages," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 692–700, 2005.
- [20] A. Fetanat and E. Khorasaninejad, "Size optimization for hybrid photovoltaic-wind energy system using ant colony optimization for continuous domains-based integer programming," *Appl. Soft Comput.*, vol. 31, pp. 196–209, 2015.
- [21] A. N. Celik, "Techno-economic analysis of autonomous PV-wind hybrid energy systems using different sizing methods," *Energy Convers. Manag.*, vol. 44, no. 12, pp. 1951–1968, 2003.
- [22] M. Elhadidy and S. Shaahid, "Feasibility of hybrid (wind+ solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia," *Renew. Energy*, vol. 16, no. 1–4, pp. 970–976, 1999.
- [23] M. Hadidian-Moghaddam, S. Arabi-Nowdeh, and M. Bigdeli, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid photovoltaic/wind system using new grey wolf optimizer considering reliability," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 8, no. 3, p. 035903, 2016.
- [24] B. S. Borowy and Z. M. Salameh, "Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 11, no. 2, pp. 367–375, 1996.
- [25] H. Wang, E. Abdollahi, R. Lahdelma, W. Jiao, and Z. Zhou, "Modelling and optimization of the smart hybrid renewable energy for communities (SHREC)," *Renew. Energy*, vol. 84, pp. 114–123, 2015.
- [26] Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Erişim: <https://balikesir.ktb.gov.tr/TR-65836/fiziki-ozellikler.html>. 15.01.2022.
- [27] Iskra AT5-1 Measured Power Curve –Summary. Erişim:<http://www.energygridsolutions.com/pdf/iskra%20power%20curve.pdf>. 13.12.2021.
- [28] Endurance G-3120 Wind Turbine Specificaiton. Erişim:<http://www.endurancewindpower.com/g3120.html>. 08.12.2021.
- [29] Bergey BWC Excel 10 kW Wind Turbine, Erişim: <http://www.bergey.com/Products/Excel.Spec.Frt.pdf>. 15.12.2021.
- [30] Whisper 500, Tecnicai Spesification. Erişim: http://www.realgoods.com/text/pdf/whisper_spec.pdf. 08.10.2021.
- [31] Proven WT 15000 15 kW Wind Turbine. Erişim: <http://www.naturalgen.co.uk/pdfs/Tech%20specs%2015kW.pdf>. 14.12.2021
- [32] Tommatech 400 Watt 72 Percmono Güneş Paneli. Erişim:<https://gunestenenerji.com/product/tt400wp-72-hucrel-i-percmono-gunes-paneli-26.html>. 25.12.2021.
- [33] Solar Led, Poli Kristal Paneller, Erişim: http://www.solarledtech.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=107&lang=tr. 06.11.2021.
- [34] Tristar Şarj Regülatörünün Teknik Özellikleri. Erişim: <http://www.btekenery.com / documents / Tristar.pdf>. 06.10.2021.
- [35] Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri. Erişim: http://www.mutlu.com.tr/common/file/mutlu_minitrak.pdf. 16.12.2021.
- [36] G. Köse, "Hibrit (Güneş +Ruzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kutahya Orneği," Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2010.
- [37] W. Dong, Y. Li, and J. Xiang, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system based on battery/hydrogen with an improved ant colony optimization," *Energies*, vol. 9, no. 10, p. 785, 2016.
- [38] H. C. Bayrakçı and T. Gezer, "Bir Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği," *Tek. Bilim. Derg.*, vol. 9, no. 2, pp. 46–54, 2019.
- [39] O. Ceylan and K. Taşdelen, "Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendis. Bilim. Derg.*, vol. 18, no. 3, pp. 895–903, 2018.
- [40] M. Y. Kınalı, "Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi," Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 2019.