

Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması-Genetik Algoritma ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritma Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması

Aykut Fatih GÜVEN^{1*}, Nuran YÖRÜKEREN²

Öz

Bu makale, bir üniversite kampüsünün enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış bir Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin (HRES) detaylı bir fizibilite araştırmasını sunmaktadır. HRES, Rüzgar Türbini (WT), Fotovoltaik (PV), Dizel Jeneratör, Batarya ve invertör bileşenlerini içerir. Güç dengesi kısıtlamasına bağlı olarak, Sistemin Yıllık Maliyetini azaltmak ve optimum WT gücünü, PV panel gücünü ve pil sayısını belirlemek için farklı optimizasyon teknikleri uygulanır. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti ve Toplam Net Bugünkü Maliyeti en aza indirecek şekilde bir enerji yönetimi stratejisi sunulmakta ve Güç Kaynağı Kaybı Olasılığının operasyonun güvenilirliğini doğruladığı düşünülmektedir. Bileşenlerin optimum boyutlandırılmasını bulmak için HOMER ve MATLAB yazılımı kullanılarak sonuçlar elde edilir. Genetik Algoritma (GA), simülasyon sürecinde daha iyi performans göstererek hızlı ve güvenilir sonuçlar sunar. GA'yı en iyi sistem konfigürasyonunda kullanmak, sırasıyla 3.407975×10^3 kW PV, 50 kW WT ve 951.5493 kW Batarya, 3.9808×10^5 yıllık sistem maliyeti (ACS), 6.4580×10^6 net mevcut maliyet (NPC) ve 0.1998\$/kWh. Güneş panelleri tüm sistemi kaplar ve Yenilenebilir Enerji Fraksiyonu (REF) %100'dür. Sonuçlar, bu çalışmada önerilen şemanın, aynı optimal konfigürasyonu kullanarak düzgün bir güç akışı sağlayabileceğini açıkça göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji yönetimi, Algoritmalar, Optimal planlama, Güneş enerjisi, Hızlı boyutlandırma.

Energy Management and Optimization of a Hybrid Energy System by Particle Swarm Optimizing Algorithm-Genetic Algorithm and Gray Wolf Optimizing Algorithm Technique: A case study for Yalova University

Abstract

This article presents a detailed feasibility investigation of a Hybrid Renewable Energy System (HRES) designed to meet the energy needs of a university campus. The HRES includes Wind Turbine (WT), Photovoltaic (PV), Diesel Generator, Battery, and inverter components. Based on the constraint of power balance, different optimization techniques are applied to reduce the Annual Cost of the System and determine the optimum WT power, PV panel power, and number of batteries. An energy management strategy is presented in a way to minimize the Levelized Cost of Energy and Total Net Present Cost, and it is thought that the Loss of Power Supply Probability validates the reliability of the operation. To find the optimum sizing of the components, results are obtained using the HOMER and MATLAB software. The Genetic Algorithm (GA) outperforms during the simulation process, delivering quick and dependable results. Using GA in the best system configuration, 3.407975×10^3 kW PV, 50 kW WT and 951.5493 kW Battery, 3.9808×10^5 annual system cost (ACS), 6.4580×10^6 net present cost (NPC), and 0.1998 \$/kWh, respectively. Solar panels cover the entire system, and the Renewable Energy Fraction (REF) is 100%. The results clearly show that the scheme that is proposed in this study can achieve a smooth flow of power using the identical optimal configuration.

Keywords: Energy management, Algorithms, Optimal planning, Solar energy, Fast sizing.

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, afatih.guven@yalova.edu.tr

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, nurcan@kocaeli.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-1071-9700>

²<https://orcid.org/0000-0002-5092-4952>

1. Giriş

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfus yoğunluğu ve teknolojik gelişme, son yıllarda küresel enerji talebini artırmıştır. Günümüzde elektrik üretimi öncelikle sonlu fosil yakıtlara dayanır ve bu yakıtlar çevreye zararlı olan sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmaktadır (Voloshin ve ark., 2016). Sonuç olarak, fotovoltaik (PV) güneş enerjisi ve rüzgar türbinleri (WT) en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve kendi kendine yeten mikro şebekelerin temelidir (Saheb-Koussa ve Koussa, 2016).

Güneş ve rüzgar hem yenilenebilir hem de temiz yeşil enerji kaynaklarıdır. Bu yenilenebilir enerji türleri, doğaya zarar veren karbon emisyonlarının en aza indirilmesi, yerli kaynaklar oldukları için ithalat gerektirmemesi ve bu sayede enerji açısından dışa bağımlılığın azaltılması gibi konularda oldukça önemlidir (He ve ark., 2018).

Güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklarının güneş ışması ve rüzgar hızı, saatten saate veya günden güne önemli ölçüde değişebilir. Bu, hibrit bir enerji sisteminde büyük bir belirsizlik yaratır. Depolama ve yedekleme kaynaklarının kullanılması sorunu çözerken, üretim maliyetlerini de yükseltir. Sonuç olarak, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarından elde edilen sayısal verilerin ölçülmesinin yanı sıra, elektrik enerjisi üretim sisteminin verimli bir şekilde planlanması, yönetimi ve işletilmesi, belirsizliklerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu belirsizliklerin en temel ve vazgeçilmez çözümü, çoklu RES (HRES) içeren hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılmasıdır. Hibrit bir enerji sisteminde istenilen saat ve mevsimlerde birden fazla enerji kaynağının kullanılması, tek bir kaynaktan gelen enerjiden daha düşük maliyetle enerji üretimi sağlanabilir. Ayrıca, yük talebini karşılamak için HRES'in boyutunu optimize etmek, optimizasyon algoritmalarının zor işlem adımları, enerji kaynaklarının değişkenliği ve maliyet hesaplamasının zorluğu nedeniyle karmaşıktır.

HRES'lerle ilgili literatür taraması, bu tür sistemlerin farklı niteliklerine odaklanan birkaç farklı çalışmayı ortaya koymuştur. Bu tür çalışmalar arasında HRES'ler için güç yönetimi ve optimal boyutlandırma metodolojileri ön plana çıkmıştır. Yenilenebilir enerji üretiminin şebeke içi ve şebeke dışı sistemlerinde, hibrit bir sistem oluşturmak için konfigürasyonlarda çeşitli bileşenler kullanılır. Güvenilir ve uygun maliyetli bir hibrit enerji sistemi tasarlamak için, bu sistemin güç yönetimi süreci ve her bileşenin boyutlandırılması optimum şekilde belirlenmelidir. Rüzgar, güneş ışığı, dizel jeneratörler ve piller gibi yenilenebilir enerji bileşenleri çeşitli şekillerde birleştirilebilir.

HRES'lerin optimal boyutlandırma problemlerine cevap vermek için optimizasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır. Boyutlandırma teknikleri genellikle karmaşıklık seviyelerine göre olasılıksal, analitik, yinelemeli ve hibrit yöntemler olarak dört başlık altında kategorize edilirken, bir diğer sınıflandırma ise HOMER gibi yazılım araçlarıyla kullanılan optimizasyon teknikleri üzerinde yapılır. Optimizasyon algoritmaları, doğadan ilham alan yaklaşımları kullanarak en aza indirme veya maksimize etme problemlerini çözmeyi amaçlayan yapay zeka tekniklerinin bir parçasıdır. Bu

algoritmalar ayrıca deterministik ve stokastik algoritmalar olarak iki gruba ayrılabilir. Stokastik optimizasyon, sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımları içerir. Sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlarla, optimizasyon problemleri en aza indirme veya maksimize etme problemleri olarak kurulabilir ve çözülebilir. Fotovoltaik, rüzgar türbinleri, dizel jeneratörler (DG) ve piller (Batt) bileşenlerini içeren şebekeden bağımsız bir sistem tasarımı için optimum çalışma koşullarını elde etmek için kullanılan bazı algoritmalar, Genetik Algoritma(GA), evrimsel algoritmalar, Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) algoritması, çekirge optimizasyon algoritması, kedi sürü optimizasyon algoritması, simüle tavlama algoritması, emperyalist rekabetçi algoritmalar, yapay arı kolonisi algoritması olarak sıralanabilir. Ateş böceği algoritması, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmaları, karga arama algoritması, öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) algoritması ve gri kurt optimize edici (GWO) algoritması. Bu algoritmalar PSO algoritması, GWO ve TLBO algoritmaları yüksek verimlilik ve hızlı yakınsama sağlar (Talla Konchou ve ark., 2021). Bukar ve ark., COE ve LPSP eksikliğine dayalı enerji taleplerini güvenilir bir şekilde karşılayacak bir HRES'nin bileşenleri arasında güç akışına izin veren sağlam bir kural tabanlı enerji yönetim programı önerdi. Ayrıca, optimizasyon probleminin çözümünde otonom mikro şebekenin optimal boyutlandırma problemi için önerilen çekirge optimizasyon algoritmasının etkinliği ve performansı, PSO ve Guguk Kuşu Arama(GOA) optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmış ve GOA'nın optimum boyutlandırma çözümünü sağladığı MATLAB'daki simülasyon yoluyla doğrulanmıştır (Bukar ve ark., 2019). Benzer şekilde, araştırmacılar PSO algoritmasını, GA ve Harmony Arama Algoritmasını benzer sistemler için Çok Yönlü Yarasa Arama Algoritması (MD-BAT) ile karşılaştırdılar. Sonuç olarak, MD-BAT ile daha yüksek doğrulukta ve daha hızlı optimum bir sonuç elde edilmiştir (Shivaie ve ark., 2019). Suudi Arabistan'daki Yanbu şehri için bir HRES'nin optimal boyutlandırılması, Çok amaçlı kendinden uyarlanabilir diferansiyel evrim algoritması kullanılarak elde edildi (Ramli ve ark., 2018). İklim kaynaklarını ve değerli arazi kaynaklarını dikkate alarak, Zhu ve ark. gelgit akımı ve rüzgar türbinleri ve batarya depolama sistemlerinden oluşan bir ada HRES kurarak, güç kaynağı olasılık kaybı, enerji deşarj olasılığı ve enerji maliyetini en aza indirmek için, Halton dizisine ve sosyal motivasyon stratejisine dayanarak, çok amaçlı GWO'nun gözden geçirilmiş bir versiyonu önermiştir (Zhu ve ark., 2021). Kamerun'daki Makénéne'de bulunan bir topluluk multimedya kompleksi için Hermann ve ark., PSO algoritmasını, hibrit parçacık sürü optimizasyonu - gri kurt optimizasyonu algoritmasını, hibrit gri kurt optimizasyonu - guguklu arama algoritmasını ve sinüs kosinüs algoritmasını kullanarak bir HRES'nin optimal tasarımını gerçekleştirmiştir (Hermann ve ark., 2022). Geleneksel bir çözücünün performansları ve şebekeden bağımsız bir HRES'nin seviyelendirilmiş enerji maliyetini hesaplamak için dinamik PSO algoritması karşılaştırılmıştır. Araştırmacıların amacı, fotovoltaik güç kaynaklarının, rüzgar türbinlerinin, dizel jeneratörlerin ve akü bankalarının seviyelendirilmiş maliyetlerini göz önünde bulundurarak HRES'nin optimum boyutlandırılmasını belirlemektir.

Sonbahar, İlkbahar, Yaz ve Kış için yük verilerini kullanarak yükün mevsimsel etkisini dikkate alarak, geleneksel çözücünün yerel bir minimum çözüm ürettiğini, dinamik PSO algoritmasının ise mutlak optimum çözümü sağlandığı araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir (Singh ve ark., 2020). Başka bir çalışmada, bir HRES'in optimal boyutlandırılması Fathy ve ark. tarafından Sosyal Örümcek Optimizasyonu (SSO) algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, SSO algoritmasının sonuçlarını Harris Hawks İyileştirici, GWO, Karınca aslanı algoritmaları ve Balina Optimizasyon Algoritması (WOA) ile karşılaştırdılar (Fathy ve ark., 2020). Alturki ve ark., bir HES boyutlandırma probleminin çözümünde uzun vadeli maliyet analizine dayanan Arz-Talep Optimizasyonu (SDO) algoritması olarak bilinen yeni bir hesaplamalı zeka algoritması kullanmışlardır. SDO algoritmasının performansı GA, PSO, GWO, GOA, çiçek tozlaşma algoritması ve büyük patlama büyük çırtı yöntemleri ile karşılaştırılmıştır (Alturki ve ark., 2021). Geleta ve ark., PV / WT hibrit sistemlerinin toplam yıllık maliyetini optimize etmek için Yerçekimsel Arama Algoritmasını (GSA) kullanmıştır. GSA ve PSO ile elde edilen sonuçları karşılaştırıp ve GSA ile daha iyi ekonomik sonuçlar elde edildiğini vurguladılar. (Geleta ve Manshahia, 2020). Başka bir çalışmada, yazarlar bir HRES'deki optimum PV / WT / Batt değerlerini belirlemek için GWO'yu kullandılar. Elde ettikleri sonucun uygulanabilir olup olmadığını kontrol etmek için, GWO sonuçlarını PSO'nun sonuçları, yinleme tekniği ve diğer araştırmacıların çalışmaları ile karşılaştırdılar. Buna göre, GWO algoritmasının daha iyi özelliklerini gösterdiler (Geleta ve ark., 2020). Namib Çölü'ndeki kırsal bir ortam için, Chen ve ark. enerji yükü talebini karşılamak açısından optimal bir hibrit sistem incelemiştir. CO₂ emisyon değerini, yıllık maliyeti ve sistemin güç kaybı olasılığını minimumda tutmak için, geliştirilmiş bir karga arama algoritmasının yanı sıra ε kısıtlama tekniği kullanılmış ve algoritma daha sonra doğrulanmıştır. Optimize edilmiş sistemde, kullanılan yöntemin verimliliğini göstermek için HOMER ve PSO tabanlı yöntemlerle karşılaştırılmıştır (Chen ve ark., 2021).

Literatürde farklı bakış açıları olmasına rağmen, bu çalışmanın temel amacı, enerji yükü talebinin güvenilir bir şekilde karşılandığı, maliyetin nispeten düşük olduğu ve çevresel etkinin minimum olduğu belirli bir alan için bağımsız bir HRES tasarlamak ve optimize etmektir. Rüzgar türbini ve PV panel gücü meteorolojik sayısal veriler kullanılarak hesaplanır. Yıllık Sistem Maliyeti (ACS) en aza indirilir, kullanılan bileşen parçalarının optimum boyutu ortaya çıkarılır ve HRES'e PSO, GA ve GWO algoritma teknikleri uygulanarak her algoritmanın sayısal sonuçları karşılaştırılır. Bu makalenin en önemli katkısı, yeterli doğal kaynaklara sahip bir bölgenin elektrik yükü talebinin tam olarak karşılanması ve TGE (Toplam Gaz Emisyonu) değerinin sıfır olmasıdır.

Bu makale beş bölüme ayrılmıştır. Hibrit enerji sisteminin ve RE bileşenlerinin modellenmesi Bölüm 2'de açıklanmıştır. Bölüm 3, metodolojiye (sistem modelleme), enerji yönetimi stratejisine, yük talebine, optimizasyon algoritmalarına ve sürece üst düzey bir genel bakış sunmaktadır. HRES

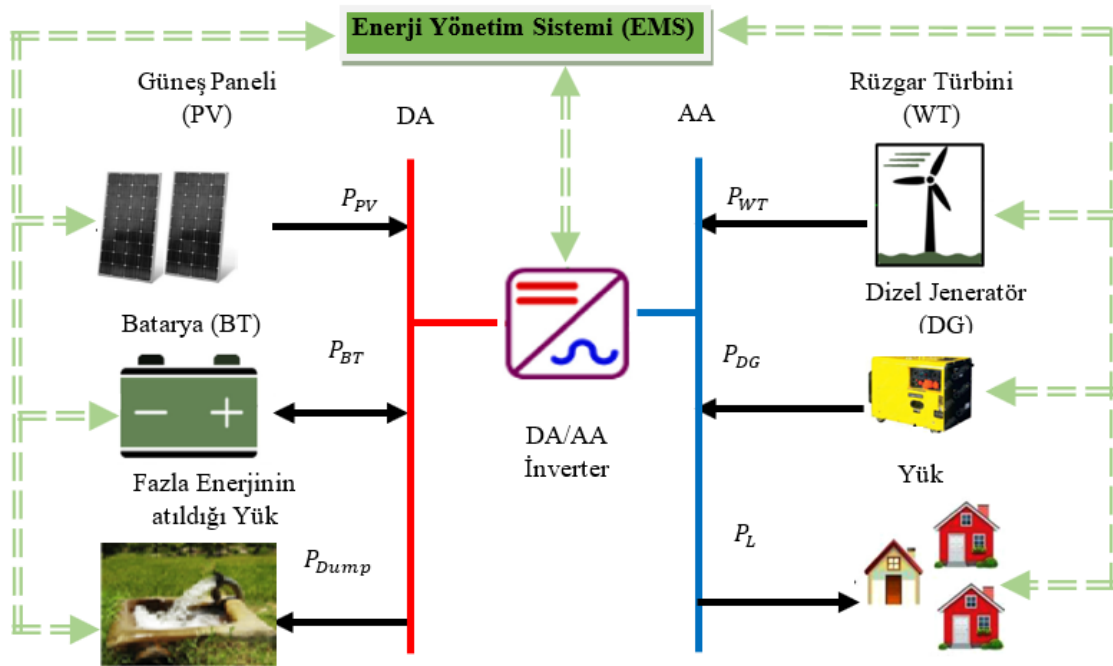
için simülasyon sonuçları ve tartışma Bölüm 4'te sunulmakta ve sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar için neler yapılabileceği Bölüm 5'te tartışılmaktadır.

2. Materyal ve Metod

Bu bölümde, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi, yük talebi, ekonomik hesaplamalar, maliyet optimizasyonu, tekno-ekonomik kısıtlamalar, optimizasyon teknikleri ve HRES tasarlamak için yürütme adımlarının yanı sıra sistem boyutlandırma, bileşen ayrıntıları ve modelleme açıklanmaktadır. Elektrik talebini mümkün olan en düşük maliyetle karşılamak için şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sistemi verimli bir şekilde tasarlanmalıdır. Bu araştırmada, mikro enerji sistemi Hibrit Optimizasyon Çoklu Enerji Kaynakları (HOMER) yazılımı ve metasezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir.

2.1. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Modellenmesi

Bu makaledeki bağımsız mikro şebeke, güneş panelleri, rüzgar türbinleri, dizel jeneratörler ve pil bileşenlerinden oluşmaktadır. Önerilen bağımsız hibrit PV / rüzgar / pil / dizel enerji sistemi Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. En iyi mikro şebeke boyutunu belirlemeden önce, mikro şebekenin bileşenleri modellenmelidir. Hibrit sistem bileşenlerinin matematiksel modellenmesi, aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır:



Şekil 1. Şebekeden bağımsız PV/WT/DG/Batt bileşenlerinin şematik çizimi.

2.2. Fotovoltaik Enerji Sisteminin Modellenmesi

Bir PV sistemindeki her bir güneş paneli tarafından üretilen toplam güç, sistem tarafından üretilen toplam güce eşittir. Basitleştirilmiş PV modeli olarak da bilinen Denklem (1), her panelin saatte ürettiği gücü hesaplamak için ortam sıcaklığını ve güneş radyasyonunu kullanır (Ghenai ve ark., 2020).

$$P_{pvout}(t) = P_{(PVrated)} * \frac{v_i(t)}{1000} * [1 + \alpha_c((T_{amb} + (0.0256 * v_t)) - T_{CSTC})] \quad (1)$$

$P_{pvout}(t)$ PV modülünün çıkış gücünü (W), $v_i(t)$ güneş radyasyonunun değerini (W/m^2), $P_{(PVrated)}$ standart koşullar altında nominal PV gücünü, α_c sıcaklık katsayısını (-3.7×10^{-3} ($1/^\circ C$)), T_{CSTC} hücre sıcaklığı ($^\circ C$), ve T_{amb} ortam sıcaklığını ($^\circ C$) ifade eder.

2.3. Rüzgar Enerjisi Sisteminin Modellenmesi

Bir rüzgar türbininin çıkış gücünü hesaplamak için en iyi model kullanılmalıdır. Rüzgar hızı, bir rüzgar türbininin belirli bir konumdaki çıkış gücünün birincil belirleyicisidir. WT güç çıkışı Denklem (2) kullanılarak hesaplanabilir (Chen ve ark., 2021).

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v(t) \leq v_{cut-in} \\ P_r \frac{v(t) - v_{cut-in}}{v_r - v_{cut-in}} & v_{cut-in} < v(t) < v_r \\ P_r & v_r < v(t) < v_{cut-out} \end{cases} \quad (2)$$

P_r WT nominal gücü(kW), $v(t)$ rüzgar hızı (m/s), $v_{cut-out}$ WT'nin düşük kesme hızı (m/s), v_r WT nominal hızı (m/s) ve v_{cut-in} WT'nin yüksek kesme hızı değerleridir (m/s).

$$V_t = V_m * \left(\frac{H_t}{H_m} \right)^{a_h} \quad (3)$$

Denklem (3)'de, H_m WT referans yüksekliği (m), H_t WT hub yüksekliği (m), V_m WT hub yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s), V_t referans yüksekliğindeki hız (m/s) ve a_h üstel güç yasası değerlerini ifade eder.

2.4. Batarya Depolama Modellemesi

Yenilenebilir enerjinin aralıklarını ve yük talebini düzenlemek için bir depolama sistemi gereklidir. Piller, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerji toplam yük talebini

aştığında şarj edilir. Bununla birlikte, yük talebi üretilen gücü aştığında, enerji açığını kapatmak için piller boşaltılır. Pilin şarj ve deşarj işlemlerini değerlendirmek için sırasıyla (4) ve (5) denklemleri kullanılır (Ahmadi ve Abdi, 2016).

$$E_{Batt,ch}(t) = E_{Batt}(t - 1) * (1 - \sigma) + \left[E_{WT}(t) + E_{PV}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} \right] * \eta_{BC} \quad (4)$$

$$E_{Batt,disch}(t) = E_{Batt}(t - 1) * (1 - \sigma) + \left[\frac{E_L(t)}{\eta_{Inv}} - (E_{WT}(t) + E_{PV}(t)) \right] * \eta_{BD} \quad (5)$$

$E_{Batt}(t)$ Batt'ın t saatindeki kullanılabilir kapasitesini (kWh), $E_{Batt}(t - 1)$ Batt'ın (t-1) saatteki kullanılabilir kapasitesini (kWh), E_L t saatindeki yük talebini (kWh), E_{WT} WT'nin t saatindeki enerji üretimini(kWh), σ Batt'ın kendi kendine boşalma oranını, E_{PV} PV-modülünün t saatinde enerji üretimini (kWh), η_{BC} Batt şarjının verimliliğini, η_{BD} Batt deşarjının verimliliğini ve η_{Inv} invertörün verimliliğini temsil eder. Batt şarj verimliliği, yukarıdaki iki denklemde de η_{BC} ve η_{BD} ile gösterilmiştir. Bu, her aşamada şarj akımına bağlı olarak değişecektir. Bu araştırmanın amaçları doğrultusunda, şarj verimliliğinin sabit% 90 olduğu düşünülmüştür.

Yenilenebilir enerji kaynakları fazla güç ürettiğinde, Batt bankalarına depolanır. Ancak, pil kapasitesi sınırlı olmalıdır. Batt bankası büyük miktarda enerji depolayamaz. Bataryalar tamamen şarj edilmişse fazla güç boşaltılmalıdır. İzin verilen maksimum deşarj derinliği (DOD) yüzde olarak görüntülenir. Bu çalışmada %80 kabul edilmiştir. Minimum Batt kapasitesi Denklem (6) ile hesaplanmıştır (Roslan ve ark., 2021).

$$E_{Batt_min} = (1 - DOD) * E_{Batt_max} \quad (6)$$

Ek olarak, herhangi bir saatte Batt kapasite kısıtlaması Denklem (7) ile ifade edilmiştir.

$$E_{Batt_min} \leq E_{Batt}(t) \leq E_{Batt_max} \quad (7)$$

Burada, DOD izin verilen maksimum Batt deşarjı derinliği (%), E_{Batt_max} ve E_{Batt_min} sırasıyla bataryanın maksimum ve minimum kapasitesidir.

2.5. Dizel Jeneratör Modellemesi

Hibrit bir enerji sisteminde, rüzgardan, güneş panelinden ve pil bankasından yeterli güç çıkışı eksikliğini dengelemek için bir DG kullanılır. Dizel jeneratörlerin verimliliği ve yakıt tüketimi bir

HRES tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır ve Denklem (8) 'de sunulmuştur (Kaabeche ve ark., 2011).

$$q(t) = a_{dg} * P_{DG}(t) + b_{dg} * P_r \quad (8)$$

Denklemden, $P_{DG}(t)$ DG'nin t saatindeki güç çıkışını (kW), $q(t)$ yakıt tüketimini (L/h), P_r ortalama DG gücünü, a_{dg} ve b_{dg} (L/kW) sırasıyla 0,246 ve 0,08415 olan standart yakıt tüketimi parametrelerini temsil eden sabitlerdir.

2.6. İnverter

İnvertör, RES'ler tarafından üretilen doğru akım (DA) gücünü alternatif akıma (AA) dönüştüren bir elektronik ekipman parçasıdır. Denklem (9), invertörün giriş gücünü hesaplamak için kullanılabilir (P_{inv}).

$$P_{inv}(t) = P_L(t) / \eta_{inv} \quad (9)$$

Burada, $P_L(t)$ ve η_{inv} sırasıyla yük gücü ve invertör verimliliğidir.

2.7. Enerji Sisteminin Ekonomik Parametrelerine İlişkin Veriler

Finansal analiz için hibrit enerji sisteminin fizibilitesini etkileyen hassas değişkenlerin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada, ekonomik parametreler %19 reel faiz oranı, %16,59 enflasyon oranı ve %8 iskonto oranı olarak belirlenmiştir. Hibrit enerji sisteminin 20 yıl ömürlüdür. Üreticiler tarafından, simülasyonlarda kullanılan HRES bileşenlerinin gerçek maliyet fiyatlandırması sağlanmıştır. Mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin teknik ve ekonomik parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bileşenlerin teknik ve ekonomik özellikleri.

	Bileşenler	Parametreler	Değer	Birimler
A.	Güneş Paneli	Nominal kapasite	0.345	kW
		Sıcaklık katsayısı	-0.390	
		Çalışma sıcaklığı	44	°C
		Verimlilik	17.8	%
		Panel ömrü	20	Yıl
		Sermaye maliyeti	650	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	650	\$/kW
		Bakım ve İşletme maliyeti	50	\$/Yıl
B.	Rüzgar Türbini	Türbin anma gücü	1	kW

		Göbek yüksekliği	17	m
		Kurulum maliyeti	2000	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	2000	\$/kW
		İşletme ve Bakım maliyeti	200	\$/Yıl
		Yaşam süresi	20	Yıl
C.	Batarya	Anma gerilimi	600	V
		Nominal kapasite	100	kWh
		Kapasite (maksimum)	167	Ah
		Gidiş-dönüş verimliliği	90	%
		Battery şarj akımı (maksimum)	167	A
		Battery şarj durumu (minumum)	20	%
		Deşarj akımı (maksimum)	500	A
		Kullanım ömrü	10	Yıl
		Sermaye maliyeti	550.00	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	550.00	\$/kW
D.	Dizel Jeneratör	Kapasite	1000	kW
		Değiştirme maliyeti	175	\$/kW
		İşletme ve Bakım maliyeti	30	\$/kWh
		Sermaye maliyeti	175	\$/kW
		Yakıt fiyatı	1	\$/L
		Kullanım ömrü	10	Yıl
E.	İnverter	Kapasite	1	kW
		İşletme ve Bakım maliyeti	50	\$/Yıl
		Sermaye maliyeti	300	\$/kW
		Değiştirme maliyeti	300	\$/kW
		Verimlilik	95	%
		Kullanım ömrü	15	Yıl
F.	Ekonomik Parametreler	Faiz oranı	19	%
		Enflasyon oranı	16.59	%
		İndirim oranı	8	%
		Sistem ömrü	20	Yıl

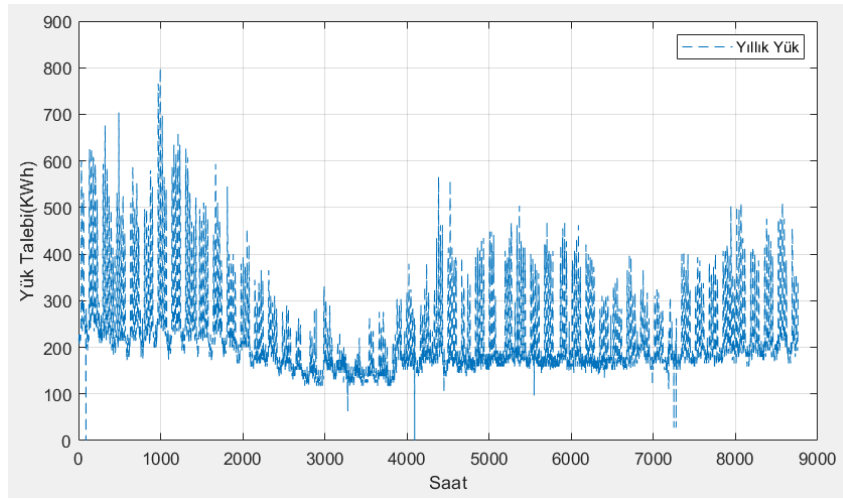
2.8. Çalışma Alanının Yük Değerlendirmesi

Çalışmada araştırma alanı olarak üniversite kampüsü seçilmiştir. Şekil 2, çalışma yeri olarak seçilen Türkiye'deki enlem: 40°39.2' K, boylam: 29°13.2' Doğu'da bulunan bir üniversitenin merkez kampüsünü göstermektedir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020 yılı için çalışma alanı için meteorolojik veriler sağlandı ve tüm yıl boyunca rüzgar hızı (saatlik), güneş radyasyonu, çevrenin sıcaklığı ve yük eğrileri çizildi. Üniversitede saat başına maksimum yük yaklaşık 800,4 kW, minimum talep ise 227,41 kW/yıl olarak gerçekleşmiştir. Ortalama günlük elektrik tüketimi 5457,84 kW/gün 'dür. Şekil, seçilen vaka çalışmasında (8760 saat) bir yıllık bir döngü için yük profilini göstermektedir. Söz konusu alan için gerçek yük verilerine dayanmaktadır.

Bahçelievler, Unnamed Road, 77200 Samanlı/Yalova Merkez/Yalova, Turkey (40°39.2'N , 29°13.2'E)



Şekil 2. Bu çalışma için belirlenen yerler.



Şekil 3. Kampüs için yıllık yük profili.

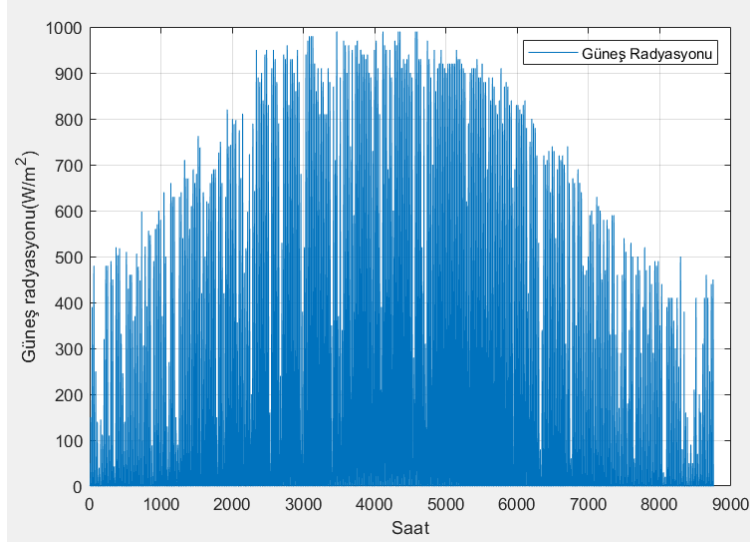
3. Metodoloji

Bu bölümde, çalışmanın ortaya koyduğu araştırma sorularını cevaplamak için kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. Alt bölümlerde, metodolojide kullanılan HRES boyutlandırma, enerji yönetimi stratejisi, objektif fonksiyon ve optimizasyon algoritmaları açıklanmaktadır.

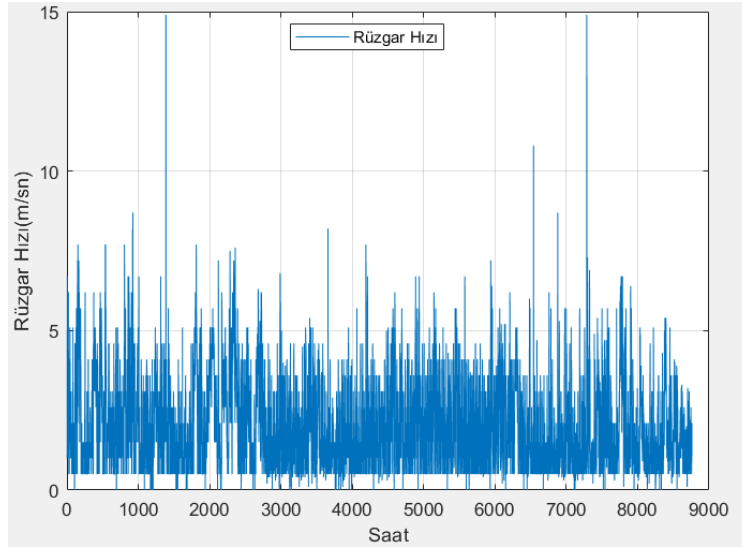
3.1. Hibrit Enerji Sisteminin Optimizasyonu ve Boyutlandırması

HRES'in optimum boyutlandırılması için rüzgar hızı, ortamın sıcaklığı, güneş radyasyonu ve yük-talep verileri elde edilmiştir. Ayrıca, HRES bileşenlerinin tekno-ekonomik parametrelerinin gerçek zamanlı değerleri, MATLAB yazılımı kullanılarak veritabanında kümelendirilmiştir. Şekil (4), (5) ve (6) yıllık rüzgar hızını, güneş ışınlanmasını ve ortam sıcaklığı verilerini göstermektedir. Çalışmanın değerlendirme kriterleri ve hedefleri yıllık toplam Maliyet (ACS)'dir. Simülasyon, projenin 8760

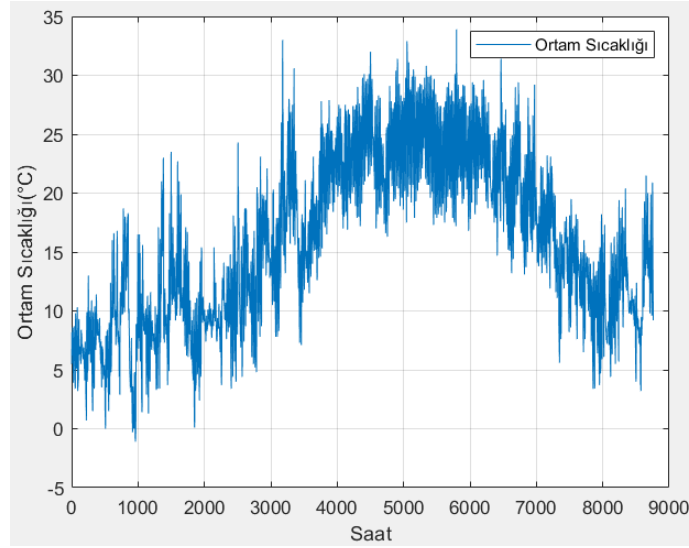
saatlik yaşam döngüsü boyunca her saatlik zaman adımında çalıştırılır. Belirlenen değerlendirme kriterleri ve sınırlamaları esas alınarak MATLAB yazılımı kullanılarak en uygun çözümler belirlenir. Sonuç olarak, en düşük Yıllık sistem değeri maliyetine sahip hibrit yenilenebilir enerji sistemi konfigürasyonu, çalışma için en iyi çözüm olarak seçilmiştir.



Şekil 4. İncelenen yerin yıllık güneş radyasyonu değerleri (W/m^2).



Şekil 5. Çalışılan yerin yıllık rüzgar hızı değerleri (m/s).



Şekil 6. Çalışma yerinin yıllık ortam sıcaklığı değerleri (C°).

3.2. Hibrit Enerji Sisteminin Enerji Yönetimi

Enerji yönetiminin amacı, matematiksel olarak girdileri, çıktıları, hedefleri ve kısıtlamaları kontrol etmenin genel yöntemi olarak tanımlanır. Ayrıca, Enerji Yönetim Sistemi (EMS), hibrit enerji sisteminin bileşenleri arasındaki güç akışını yönetir (Mokhtara ve ark., 2021). Bu çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını en üst düzeye çıkarmaktır. Bu, yakıt tüketimini azaltır ve verimliliği artırırken aynı zamanda bataryanın bozulmasını önler. Döngü şarj stratejisine bağlı olarak, EMS denetleyicisi aşağıdaki senaryolarda çalışır:

Durum 1: Rüzgar ve güneş enerjisi kaynakları, yük talebini karşılamak için yeterli enerjiyi sağlar. Bu kaynaklardan gelen fazla enerji batarya bankalarını şarj edecektir. ($E_{Batt}(t) < E_{Battmax}(t)$).

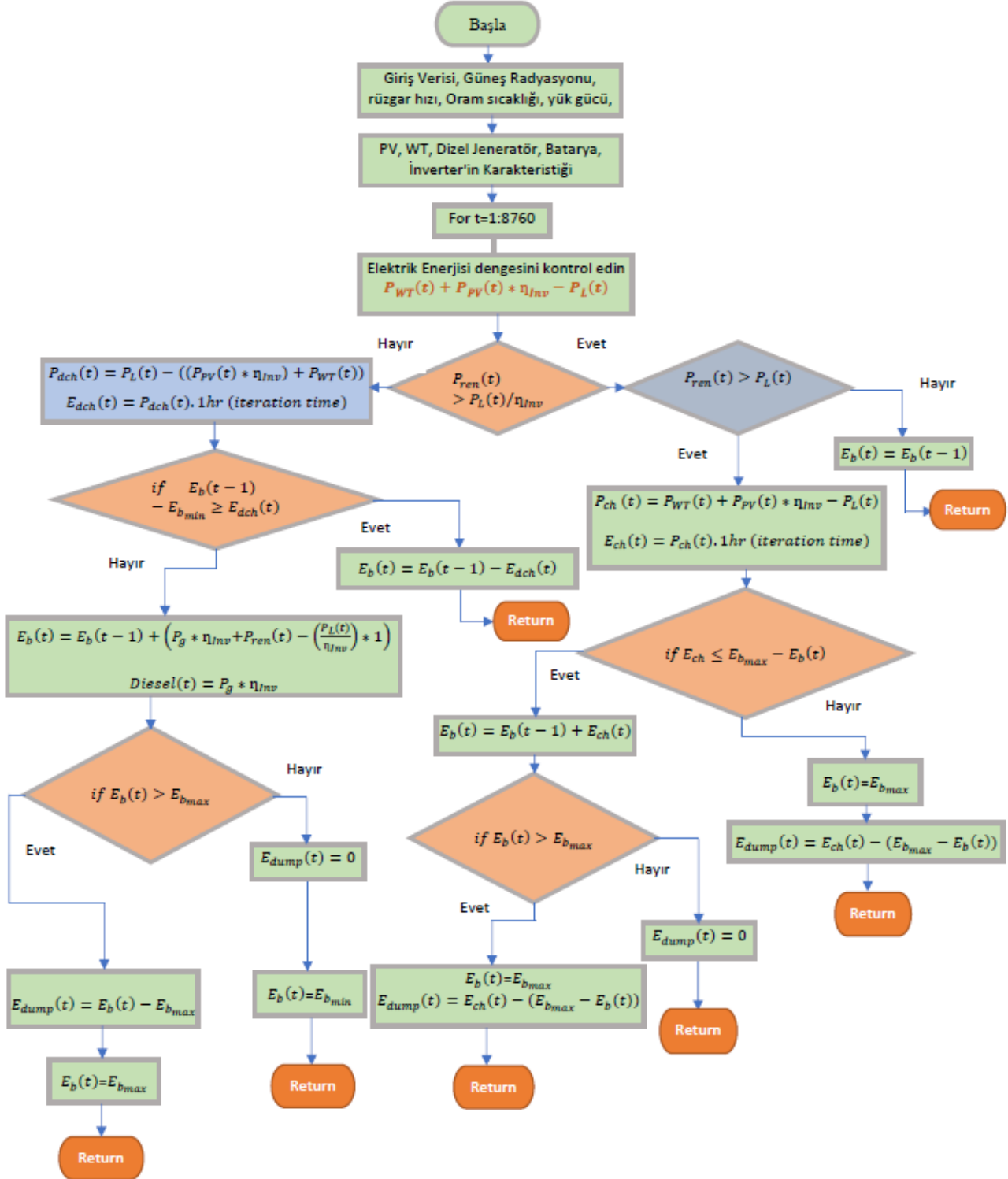
Durum 2: Üretilen Rüzgar ve güneş enerjisi yük talebini aşmaktadır. Bu fazla enerjiyi boşa harcamak için deşarj edilecektir. ($E_{Batt}(t) = E_{Battmax}(t)$).

Durum 3: Rüzgar ve güneş enerjisi ile üretilen enerji yetersizse, bataryalarda depolanan mevcut enerji yük talebinin karşılanmasına katkıda bulunacaktır. ($E_{Batt}(t) > E_{Battmin}(t)$).

Durum 4: Güneş ve rüzgar enerjisi kaynakları tarafından üretilen enerji yük talebini karşılamak için yetersizse ve akü bankalarında enerji yoksa, dizel jeneratör yük talebini karşılamak için devreye girerken, aynı zamanda Batarya bankalarını da şarj edecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları tekrar güç üretmeye başlar başlamaz, dizel jeneratörün çalışması sona erecektir. ($E_{Batt}(t) < E_{Battmin}(t)$).

Şekil (7), üniversite kampüsünde uygulanacak bir enerji yönetim şemasının güç akışı algoritması stratejisini göstermektedir. Bu optimizasyon algoritmasının operasyonel stratejisinde,

dizel jeneratör ve akü bankaları yedek enerji kaynakları olarak hizmet vermektedir. Bu yönetim stratejisinde, girdiler (yük talebi, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi) ilk önce okunur. Yönetim süreci, rüzgar ve güneş enerjisi kaynakları tarafından üretilen toplam enerji miktarının yük talebi ile karşılaştırılmasıyla başlar.



Şekil 7. PV/WT/Dizel/Akü hibrit enerji sisteminin güç yönetimi.

3.3. Hibrit Enerji Sisteminin Önerilen Objektif İşlevi

Ortalama sistem maliyeti, hibrit enerji sistemini (ACS) analiz etmek için birincil hedef işlevdir. Buradaki amaç, sistemi mümkün olan en düşük maliyetle güvenilir güç sağlayacak şekilde optimize etmektir. Optimum yapılandırma için üç ana karar faktörü, pil sayısı, WT gücü ve PV gücüdür. Diğer tüm parametrelere ve kısıtlamalara göre, Tekno-Ekonomik analiz için en düşük ACS değerine sahip sonuç optimaldir. Toplam sermaye ve değiştirme maliyetlerinin yanı sıra işletme maliyeti ve bakım maliyeti, burada kullanılan objektif işlevi oluşturur. Kurulum ve inşaat maliyetleri, bileşen sermaye maliyetlerine dahil edilir. ACS, LCOE, TNPC, PV, WT, DG, Batt kapasitesi ve invertör kapasitesi karar değişkenleridir. Denklem (10) ACS'yi tanımlar.

$$OF = Min(ACS) \quad (10)$$

LCOE, TNPC'ye bağımlıdır ve İşletme ve Bakım ve değiştirme maliyetlerini içerir (Mahesh ve Kanwarjit, 2019). Burada PV, WT, Batt ve DG bileşen maliyetleri dikkate alınır. Aşağıdaki denklemler, en aza indirilecek LCOE'nin hesaplanmasına yardımcı olur.

Toplam net cari maliyet değeri Denklemdeki gibi hesaplanabilir (11):

$$TNPC = C_t^{PV} + C_t^{WT} + C_t^{Batt} + C_t^{diesel} + C_C^{Inv} \quad (11)$$

C_t^{PV} , C_t^{WT} , C_t^{Batt} , C_t^{diesel} ve C_C^{Inv} PV, WT, Batt, DG ve invertörün toplam maliyetleridir.

LCOE, mikro şebeke sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliğini belirlemek için iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Parrado ve ark., 2016). Denklem (12) ile ifade edilir.

$$LCOE (\$/kWh) = \frac{TNPC}{\sum_{t=1}^{8760} P_{load}} \times CRF \quad (12)$$

P_{load} saatte tüketilen güçtür. Denklem (12), sermayenin yıllık maliyetini başlangıç maliyetinden hesaplamak için kullanılır. CRF, sermaye geri kazanım faktörü anlamına gelir.

3.5. Yenilenebilir Enerji Fraksiyonu (REF) Hesaplaması

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit sisteme katkısını değerlendirmek için çeşitli endeksler kullanılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımını azaltmak için REF seçilir. HRES

içerisinde dizel bir jeneratör olduğunda, REF değeri Denklem (13) kullanılarak hesaplanabilir (Eriksson ve Gray, 2019).

$$REF(\%) = (1 - P_{DG}/(P_{PV} + P_{WT})) \times 100 \quad (13)$$

3.6. Tasarım Değişkenleri

Denklem (14), güneş paneli gücü, rüzgar türbini gücü ve pil sayısı olarak belirlenen karar değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını göstermektedir.

$$\text{Tasarım Değişkenleri} = \begin{cases} 50kW \leq R_{WT} \leq 10000kW \\ 1 kW \leq R_{PV} \leq 10000kW \\ 1 \leq R_{Batt} \leq 1000 \end{cases} \quad (14)$$

Burada, R_{WT} rüzgar türbini gücü, R_{Batt} pil sayısı ve R_{PV} güneş paneli gücüdür. Toplam değişken sayısı ve arama alanının karmaşıklığı nedeniyle, optimizasyon karar değişkenlerinin sınır değerlerinin belirlenmesi büyük ölçüde soruna bağlıdır. Bu değerler genellikle deneme yanılma ile belirlenmiş olmasına rağmen, bu çalışmanın simülasyonunda HOMER yazılımı kullanılarak sınır değerler ortaya konmuştur. Sonuç olarak, Denklem (14)'deki değerler, MATLAB algoritmalarının mümkün olan en kısa sürede en iyi çözüme yaklaşmasını sağlamak için kullanılmıştır.

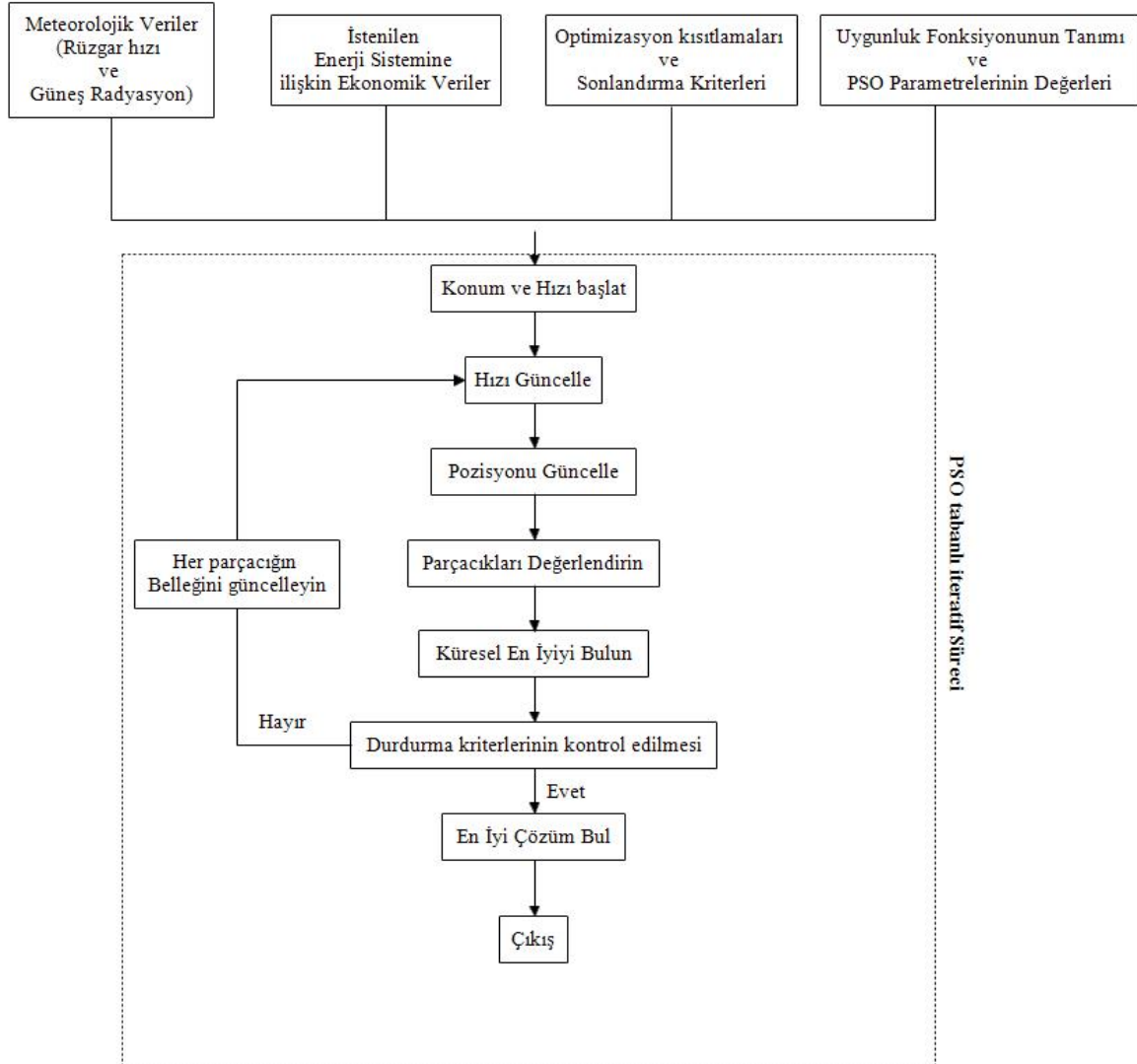
3.7. Simülasyon ve Optimizasyon Teknikleri

Bu bölümde, PV/WT/DG/Batt hibrit enerji sistemini boyutlandırmak için kullanılan simülasyon ve optimizasyon yaklaşımı tartışılmaktadır. İlk alt bölüm HOMER yazılım simülasyonunu, ardından PSO, GA ve GWO algoritmalarını açıklar.

3.7.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

1995 yılında Eberhardt ve Kennedy, küresel optimizasyon tekniğine bağlı olarak, doğadan ilham alan ve kuş sürülerinin davranışlarının yönlerine göre geliştirilen stokastik, popülasyon tabanlı PSO algoritmasını önermiştir (Mohammed e t al., 2019). Karmaşık problemlerle etkili bir şekilde başa çıkabilen basit bir model elde etmek için PSO, bireylerin deneyimlerinin ve grup olarak çalışırken öğrenilen deneyimlerin birleştirilmesine izin verdi. PSO yönteminin orijinal formu, konumların yerel ve küresel en iyi pozisyonları içeren bir hız vektörü aracılığıyla güncellendiği rastgele başlatılan bir popülasyonla başlar. Yerel en iyi çözüm, parçacığın yaşadığı en iyi uyum

değerine sahip çözümü ifade eder. Küresel olarak en iyi çözüm, parçacıkların sürüde toplanmasıyla bulunan en uygun değeri gösteren çözümü ifade eder. PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 8'de sunulmuştur.

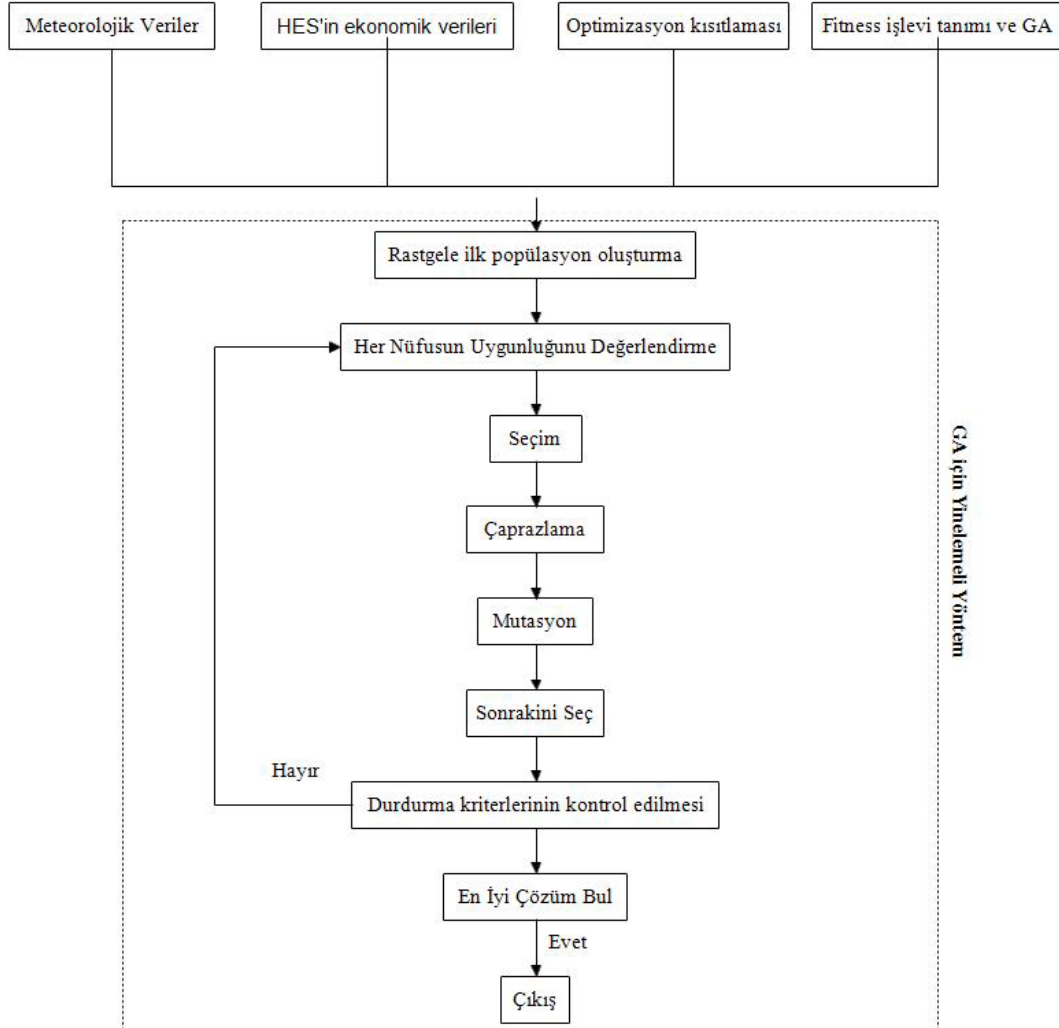


Şekil 8. PSO algoritması akış diyagramı.

3.7.2. Genetik Algoritma (GA)

GA, doğal seçilimi taklit eden problemleri çözmek için evrimsel bir tekniktir ve 1970 yılında Hollanda'da John Holland tarafından yaratılmıştır. Genetik, mutasyon, crossover ve seleksiyon gibi biyolojik evrimden ilham alan yöntemleri kullanarak problem optimizasyonu için çözümler üretir. Genetik algoritmaların metodolojisinde, GA, "uygunluk fonksiyonu" adı verilen objektif bir fonksiyonu en aza indirmeyi veya en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Fitness fonksiyonunu optimize etmek için, kromozom verileri farklı şekillerde üretilir. Bu süreçte seleksiyon, crossover, mutasyon ve farklı fonksiyonlar kullanılabilir. Bundan sonra, olasılıksal yöntemler kullanılarak en

iyi fitness fonksiyonu sonucu seçilir. Bu olasılıksal metodolojide, uygunluk fonksiyonunun hesaplama süresi geleneksel arama algoritmalarından daha kısadır. GA, problemleri birden fazla çözümlerle çözebildiği, kolayca anlaşılabilir olduğu ve mevcut simülasyon ve modellere geçişin kolay olduğu için birçok fayda sağlamaktadır (Bala ve Siddique, 2009). GA'nın akış diyagramı Şekil 9'da gösterilmiştir.

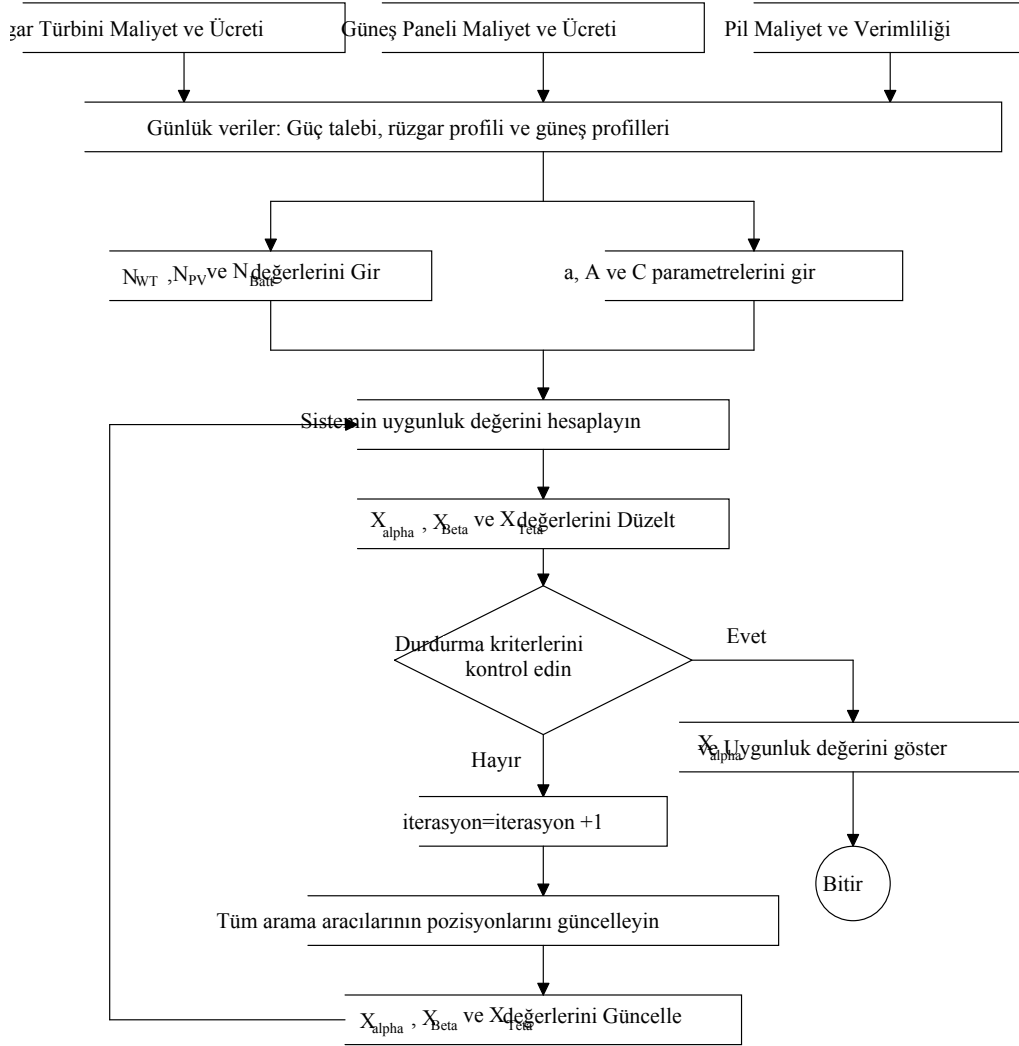


Şekil 9. GA algoritması akış diyagramı.

3.7.3 Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) Algoritması

GWO, gri kurtların avlanma ve sosyal davranışlarını taklit ederek önerildi. Sosyal hiyerarşileri göz önüne alındığında, büyümüş kurt bireyleri alfa, beta, delta ve omega olarak adlandırılır. Alfa grubu, kurt sürüsü kurallarına uyduğu için baskın bir gruptur. Beta grubu, alfa grubuna yardım eden ikincil kurtları ifade eder. Omega, en düşük derecedeki gri kurtları ifade eder. Bir kurt yukarıda belirtilen herhangi bir gruba ait değilse, delta olarak adlandırılır. Grup avı süreci sadece kurtlar arasındaki sosyal bir etkileşim değil, aynı zamanda gri kurtların çarpıcı bir sosyal aktivitesidir.

GWO'nun birincil kısımları av aramak, avı kuşatmak ve avına saldırmaktır (Mirjalili ve ark., 2014). GWO'nun akış diyagramı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. GWO algoritması akış diyagramı.

3.7.4. HOMER Simülasyonu

Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu anlamına gelen HOMER yazılımı, boyutlandırma ve optimizasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılım, farklı boyutlardaki çeşitli RE konfigürasyonları için bir ön fizibilite testinin yürütülmesini ve istenen enerji sistemleri için çeşitli konfigürasyon ve hassasiyet analizlerinin yapılmasını kolaylaştırır. HOMER ile elde edilen simülasyon sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Burada elde edilen optimizasyon bulgularına göre, yük talebi, üç uygun senaryodan biri olan Senaryo 1 PV/Akü hibrit enerji sistemi ile tüm yıl boyunca karşılanabilmektedir. 5.526 kW'lık bir güneş paneli, 50 kW'lık rüzgar türbini, 619 pil ve 739 kW'lık bir dönüştürücü kullanarak, LCOE 0.295 \$, NPC 9.56 milyon \$ ve REF% 100 olarak hesaplanır.

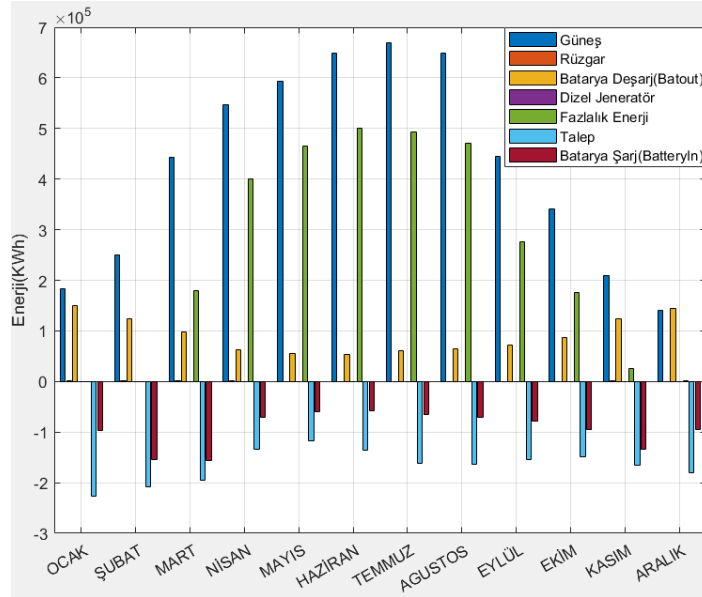
Tablo 3. Önerilen HRES'in optimizasyon sonuçları.

	PV (kW)	WT (kW)	Yapı		Dönüştürücü (kW)	NPC (\$)	Maliyet		Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Fraksiyon (%)
			DG (kW)	Batt (Miktar)			LCOE (\$)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)		
Senaryo1	5,526	50	-	619	739	9.56x10 ⁶	0.295	337,173	4.08M	100
Senaryo2	8,728	-	890	203	973	37.0 x10 ⁶	1.14	1.89M	6.23M	98.0
Senaryo3	8,438	174	890	206	882	37.3 x10 ⁶	1.15	1.91M	6.37M	98

4. Bulgular ve Tartışma

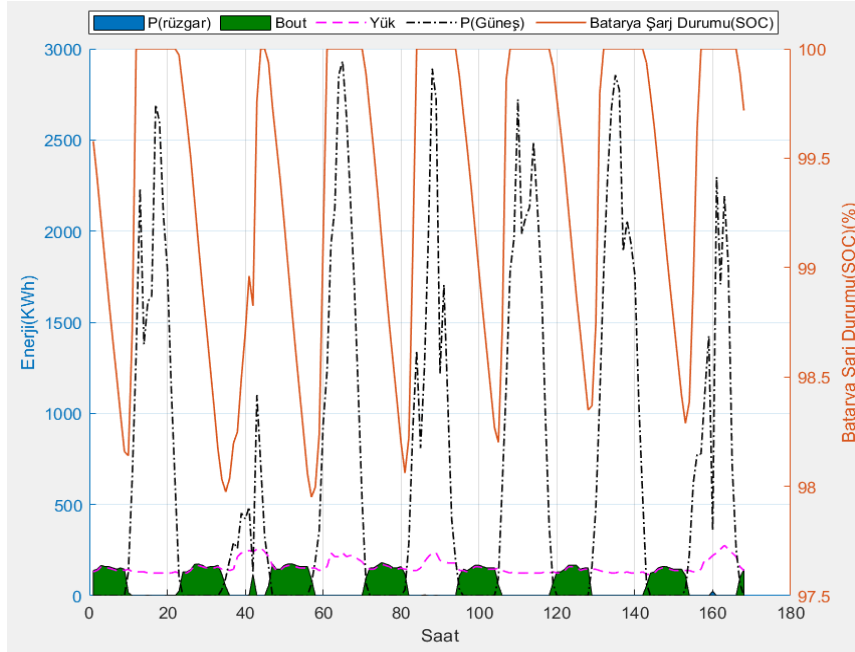
Bu çalışmada literatürde bilinen GA, GWO ve PSO algoritmaları kullanılarak enerji sisteminin yıllık maliyetinin en düşük değere indirilmesine yardımcı olunmaktadır. Çalışmada hibrit enerji sistemini oluşturan bileşenler göz önüne alındığında, çeşitli kısıtlamalar altında kampüs elektrik ihtiyacını güvenilir bir şekilde karşılamaktadır. Öncelikle MATLAB ortamı kullanılarak optimizasyon sürecine başlanır ve performans açısından bu 3 algoritma birbirleri ile karşılaştırılır. Sistemi oluşturan tüm bileşenlerin teknik ve ekonomik değerleri de optimizasyon sürecine dahil edilir.

Şekil 11 , hibrit enerji sisteminin 8760 saat üzerindeki ortalama aylık enerji dengesini göstermektedir. Bakıldığında sistemin güneş ve rüzgar enerjisinden aldığı gücün mevcut güneş ve rüzgar kaynaklarına karşılık geldiği ortaya çıkmaktadır. Ocak ve Aralık aylarında güneş panellerinden daha az güç üretildiği için gerekli yük talebi batarya bankaları tarafından karşılanmaktadır. Kalan aylarda, çok daha iyi doğal kaynaklar nedeniyle daha fazla güneş enerjisi üretildi. Bununla birlikte, yaz aylarında, pil bankasının kullanımı azaltıldı ve bu da pillerden daha az güç çekilmesine neden olur. Fazla üretilen enerjiyi grafikte görmek mümkündür. Üretilen bu 2.9861 x10⁶ kWh fazla enerji kampüs içindeki sulama sistemlerinde kullanılabilen veya istenildiğinde şebekeye satılabilmektedir.

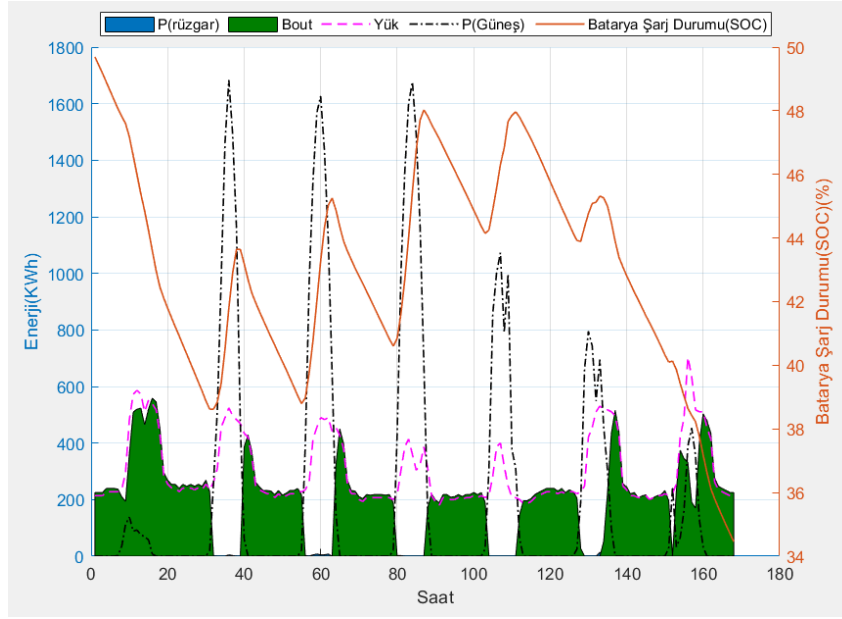


Şekil 11. Farklı HES bileşenlerinden elde edilen enerjinin payı.

Önerilen hibrit enerji sisteminin 8760 saat boyunca en iyi şekilde çalıştığını doğrulamak için toplam 2 hafta seçilir. Sırasıyla Şekil 12 (a) ve Şekil 12 (b), yük talebinin en düşük olduğu Mayıs ayının 3. haftası ve yük talebinin en yüksek olduğu Ocak ayının 2. haftası için optimizasyon sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar, Ocak ayında güneş kaynaklarından elde edilen enerjinin diğer aylara göre daha düşük olması nedeniyle bataryanın SOCmin değerine yaklaştığını ve yüksek güneş enerjisi üretimi ile Mayıs ayında SOCmax değerine yaklaştığını göstermektedir.



(a)



(b)

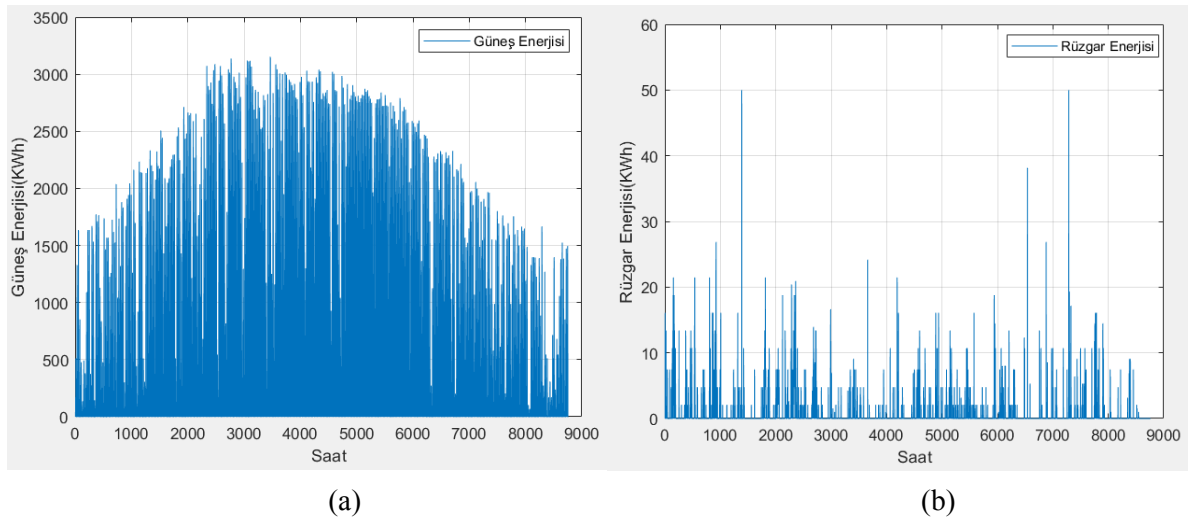
Şekil 12. HRES Enerji dengesi analizi (a) Mayıs ayının 3. haftası, (b) Ocak ayının 2. haftası.

Tablo 4. PSO, GA, GWO algoritmaları kullanılarak elde edilen optimum HRES boyutlandırması ve maliyeti.

	PSO	GA	GWO
Yürütme süresi (sn)	11.9640	21.5158	175.6752
Rüzgar Türbinleri (kW)	50	50	50
Güneş Enerjisi (kW)	3.713656×10^3	3.407975×10^3	3.666700×10^3
Akü Üniteleri	779.5431	951.5493	800
Toplam Rüzgar Enerjisi (kWh)	6.2787×10^3	6.2787×10^3	6.2787×10^3
Toplam Güneş Enerjisi (kWh)	5.5779×10^6	5.1188×10^6	5.5074×10^6
Toplam Diesel Jeneratör Enerji Üretimi (kWh)	0	0	0
Aşırı Enerji (kWh)	3.4341×10^6	2.9861×10^6	3.3653×10^6
Toplam Yük Talebi (kWh)	1.9921×10^6	1.9921×10^6	1.9921×10^6
Toplam Gaz Emisyonu (TGE)	0	0	0
Batarya Şarj Enerjisi (kWh)	1.1405×10^6	1.1384×10^6	1.1401×10^6
Batarya Deşarj Enerjisi (kWh)	1.0868×10^6	1.0958×10^6	1.0881×10^6
Seviyelendirilmiş Birim Enerji Maliyeti(LCOE) (\$/kWh)	0.2075	0.1998	0.2061
Toplam Net Bugünkü Maliyet(TNPC) (\$)	6.7053×10^6	6.4580×10^6	6.6604×10^6
Yenilenebilir Enerji Fraksiyonu(REF) (%)	100	100	100
Yıllık Maliyet (\$)	4.1331×10^5	3.9808×10^5	4.1055×10^5
Rüzgar Maliyeti (\$)	3.2880×10^5	3.2880×10^5	3.2880×10^5
Güneş Enerjisi Maliyeti (\$)	5.4296×10^6	4.9827×10^6	5.3610×10^6
Diesel Jeneratör Maliyeti (\$)	0	0	0
Akü Bankası Maliyeti (\$)	9.0468×10^5	1.1043×10^6	9.2842×10^5
Dönüştürücü Maliyeti (\$)	4.2148×10^4	4.2148×10^4	4.2148×10^4

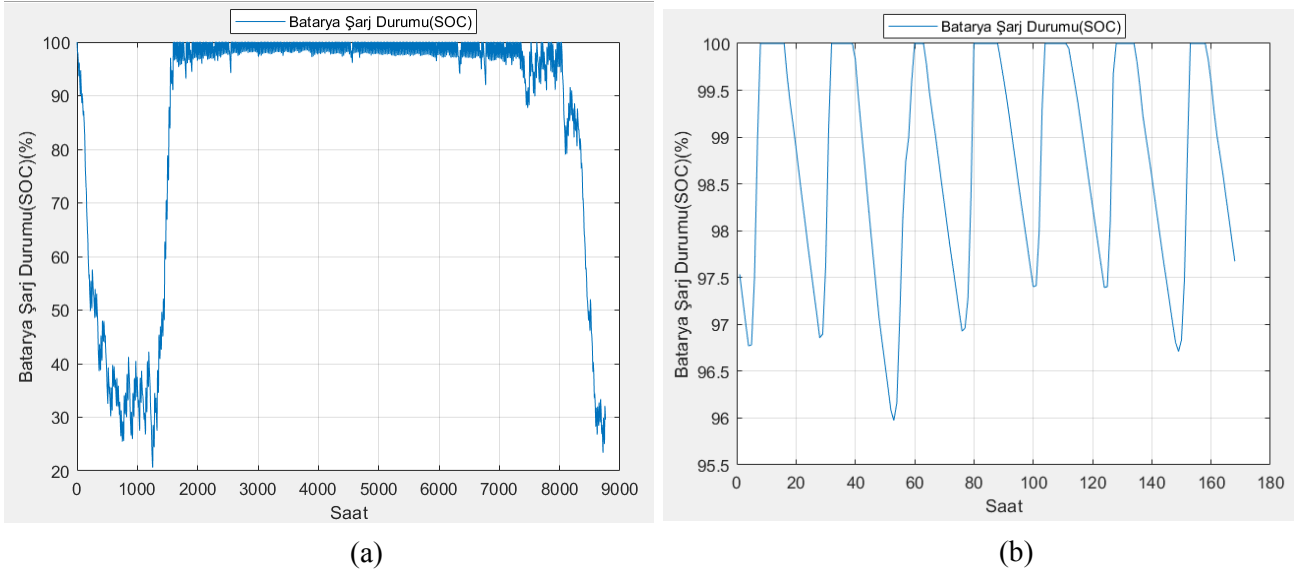
Sistemin optimizasyonu sonucunda elde edilen algoritmaların sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Algoritmaların performanslarını karşılaştırmak için birçok teknik ve ekonomik hesaplama yapılmıştır. Değerlendirme bu sonuçlara göre yapılır.

GA, PSO ve GWO algoritmaları, şebekeden bağımsız olarak seçilen güç sisteminin optimum boyutunu doğrulamak için programlanır ve optimize edilir. Sonuçlar, önerilen GA ile elde edilenlerle karşılaştırılır ve algoritmaların yakınsama özellikleri incelenir. Şekil 18'de sistemin belirlenen objektif fonksiyonu olan ACS değerinin yineleme işlemi sırasında azaldığı görülmektedir. Yakınsama süreçlerinin ayrıntılı analizi, GA'nın optimizasyon süreci boyunca çok hızlı davrandığını ve böylece hesaplama sürelerini ve kaynak kullanımını azalttığını göstermektedir. Benzer şekilde, karşılaştırıldığında, GWO, PSO algoritmasından daha iyi performans gösterir. Tablo 4'teki sonuçtan da görülebileceği üzere GA, tüm algoritmalar arasında en düşük maliyetle hedef çözüme ulaşmakta ve PSO'dan daha iyi sonuçlar vermektedir. LCOE, GA ile 0.1998\$, GWO ile 0.2061\$ ve PSO ile 0.2075\$ olarak, ACS değeri, GA ile 3.9808×10^4 \$, PSO ile 4.1331×10^5 \$ ve GWO ile 4.1055×10^5 \$ hesaplanmıştır. Optimizasyon sonucunda GA algoritması ile, 3.407975×10^3 kW güneş paneli, 50 kW rüzgar türbini ve 951.5493 kW'lık Batarya elde edilmiştir. Bu nedenle, burada geliştirilen GA-tabanlı optimizasyon süreci, daha karmaşık mikro şebeke tasarım problemlerinde başarıyla kullanılabilir. Güneş ve rüzgar kaynaklarından çıkış güçleri Şekil 13 (a) ve (b)'de verilmiştir.



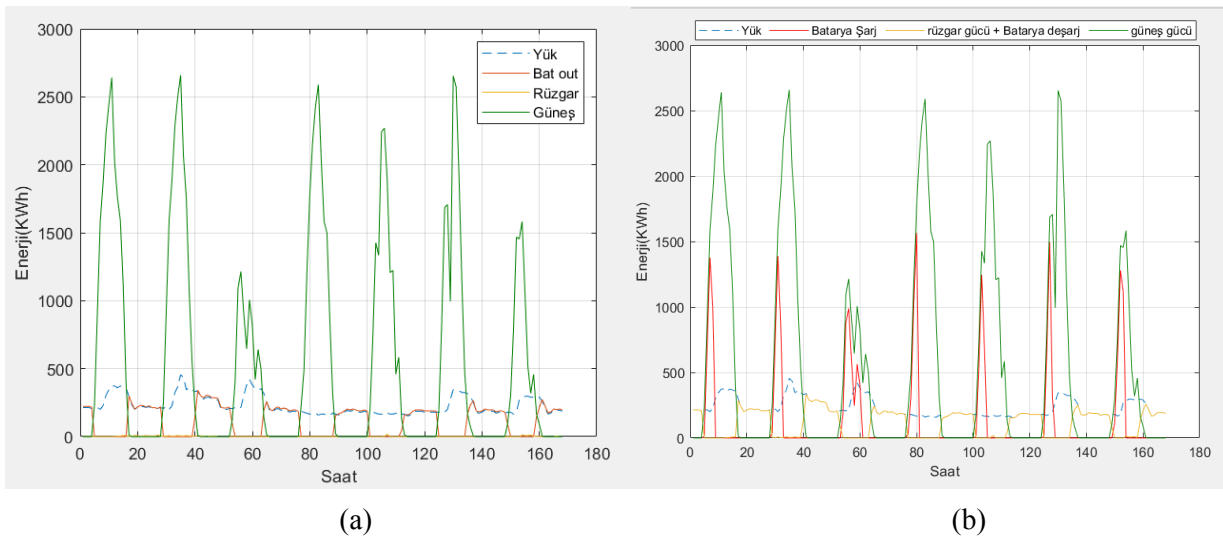
Şekil 13. (a) PV dizisi tarafından üretilen güç. (b) WT tarafından üretilen güç.

Şekil 14 (a) ve (b), pil bankalarının yıllık ve haftalık şarj durumunu göstermektedir. Burada, pillerin minimum ve maksimum şarj değerlerine ulaştığı zaman aralıkları hakkında bilgi elde edilir. Başlangıç SOC seviyesi ve izin verilen minimum SOC, sırasıyla % 100 ve % 20 olarak kabul edildi. Şekil 14 (a), pil SOC'sinin her zaman önceden tanımlanmış sınırdan kaldığını göstermektedir. Akünün şarj ve deşarj değerleri de sürekli izlenmesi gereken diğer konulardır.

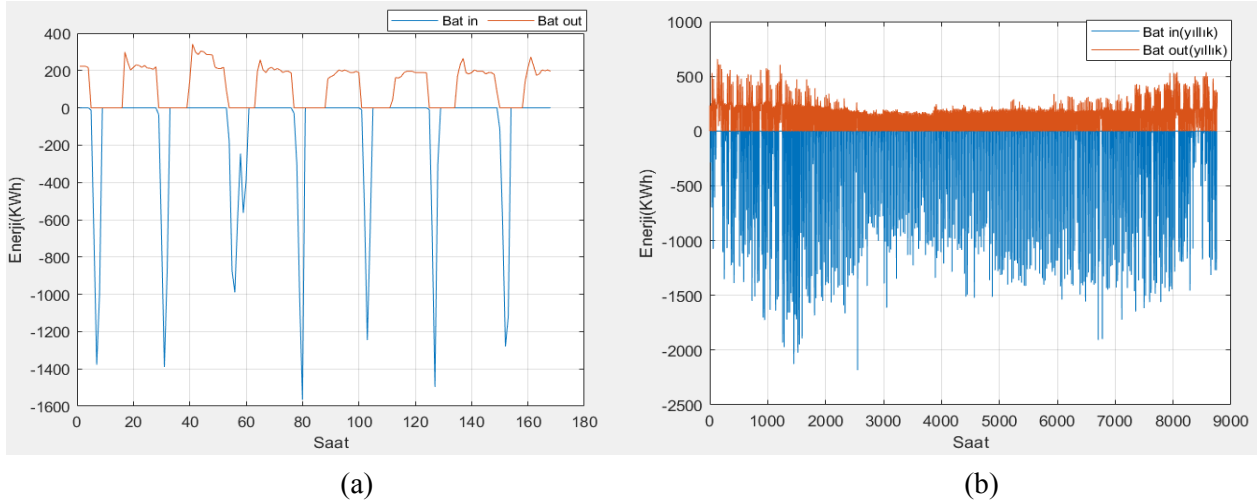


Şekil 14. Batarya şarj profilinin durumu (a) yıl boyunca (b) hafta boyunca.

Şekil 15 (a) ve (b) hangi kaynakların yük talebini ve kapsama oranlarını karşıladığını göstermektedir. Buna göre, bu enerji yönetimi stratejisinde, yük talebi öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları talep edilen yükü karşılayamıyorsa ve akü bankası gerekli ek yükü karşılayacak kapasiteye sahipse, akü bankası boşalır. Son senaryoda yenilenebilir enerji kaynakları ve batarya bankası talep edilen yükü karşılayamadığında dizel jeneratör devreye girer ve enerji açığı kapatılır. Şekil 15(b)'de yeterli güneş enerjisi olduğunda, üretilen ekstra enerji ile şarj edildiği görülmektedir. Sırasıyla Şekil 16 (a) ve (b) haftalık ve yıllık pil bankası şarj-deşarj bilgilerini göstermektedir. Grafikte, "Batt_out", akü bankasının enerji deşarjı veya akü depolama sistemi tarafından yüke beslenen enerjidir, oysa "Batt_in", yük talebi karşılandıktan sonra akü depolama sistemine beslenen akü şarjı veya ekstra yenilenebilir enerjidir.

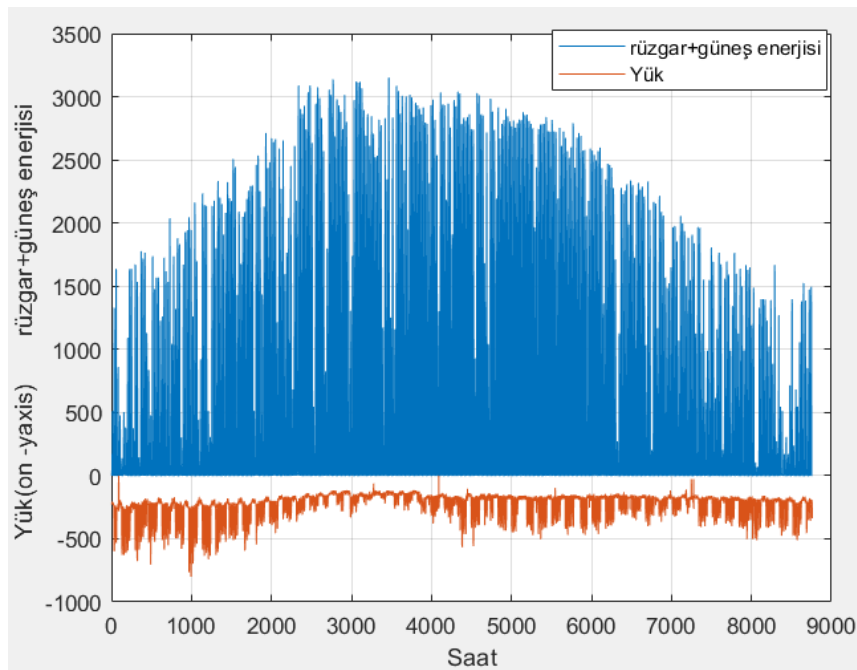


Şekil 15. Hibrit enerji sisteminin toplam yük talebi ve enerji kaynaklarının karşılaştırma profili.



Şekil 16. Pil giriş ve çıkış enerji değeri (a) haftalık (b) yıllık.

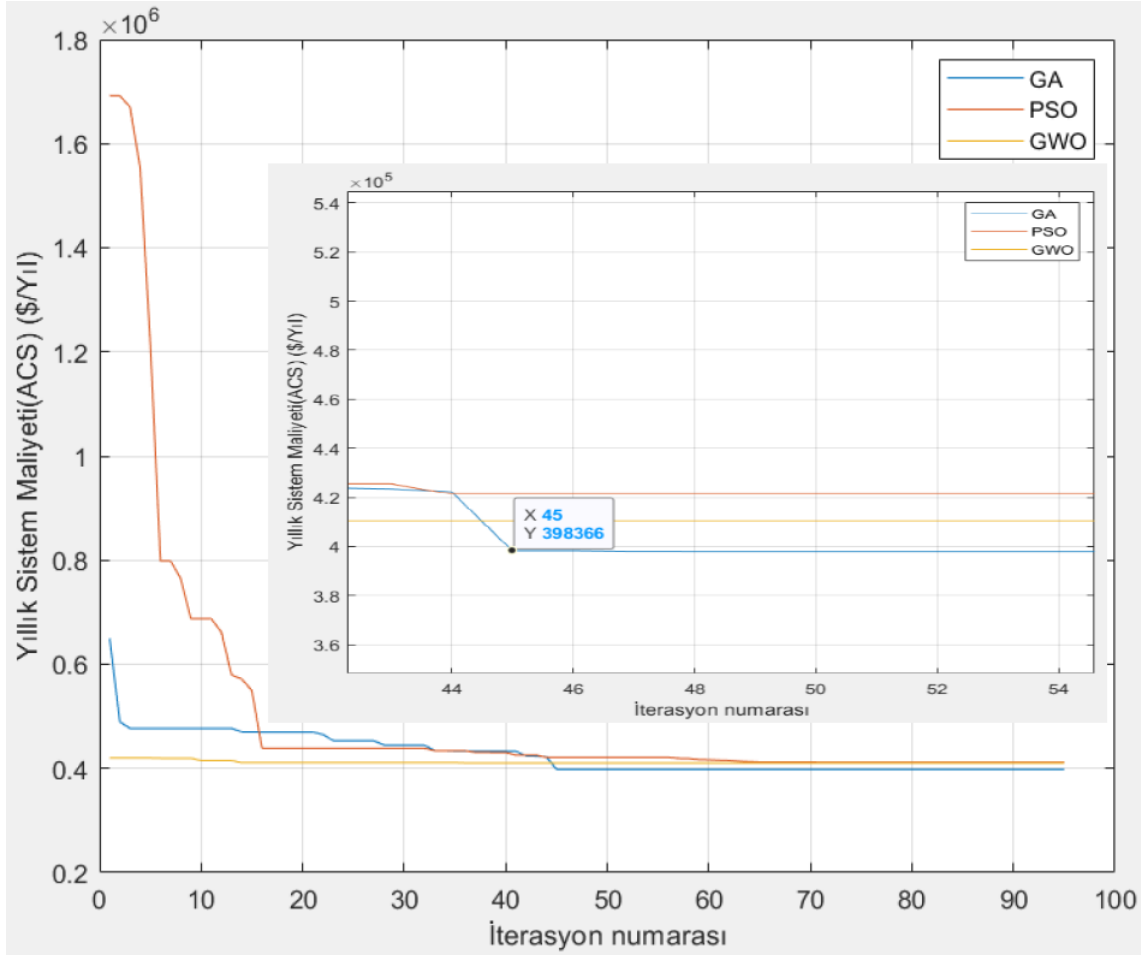
Şekil 17 (a)'dan hibrit enerji sisteminin yük talebinin yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanıp karşılanmadığı görülebilir. Bu grafikte yüke gelen enerjinin büyük bir kısmının yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılandığı açıkça görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ve batarya bankası talep edilen yükü karşılamak için yeterli olmadığında, DG yüke farklı miktarlarda güç sağlayacaktır. Bu enerji sisteminde, yük talebi yıl boyunca yenilenebilir enerji ve batarya depolama sistemleri tarafından karşılandığı için DG asla devreye girmez.



Şekil 17. Üretilen yenilenebilir enerjinin yük talebi ile karşılaştırılması.

Algoritmaların simülasyon sürecinde en optimal çözüme nasıl yaklaştığına dair bilgiler Şekil 18'de verilmiştir. Bu grafiğin yapısı ve eğimi, algoritmaların yinelemelere karşı en uygun çözüme yaklaşımını temsil eder. Tüm algoritmaların hesaplamaları çok kısa sürede yaptığı ve en ideal çözümü

bulduğu görülmektedir. Birbiriyle karşılaştırıldığında GA algoritmasının 45. Yinelemeden sonra en ekonomik çözümü elde ettiği söylenebilir.



Şekil 18. GWO, GA ve PSO algoritmaları için yakınsama oranlarının karşılaştırılması.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sisteminin boyutlandırma optimizasyonu için kullanıldığında PSO, GA ve GWO algoritmalarının performanslarını karşılaştırmaktadır. Optimizasyon probleminin temel amacı, şebekeden bağımsız bir üniversite merkez kampüsünün yük talebini karşılamak, sistemin toplam yıllık maliyetini en aza indirmek ve optimum güneş paneli gücünü, rüzgar türbini gücünü ve batarya sayısını belirlemektir. Simülasyon, 2020 yılının saatlik yük talep değerleri ve 8760 saatte elde edilen rüzgar hızı, ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu verileri kullanılarak gerçekleştirilir. Sonuçlar, GWO algoritmasının küresel optimum değere hızla yaklaşma eğiliminde olduğunu gösterir. GA algoritması uygulandığında, ACS 3.9808×10^5 \$, LCOE 0.1998\$, TNPC 6.4580×10^6 \$ ve REF 100% olarak hesaplanır. GWO ile, ACS 4.1050×10^5 \$, LCOE 0.2061\$, TNPC 6.6604×10^6 \$ ve PSO ile ACS 4.1331×10^5 \$, 0.2075\$ ve 6.7053×10^6 \$ olarak elde edilir. Burada görülebilen şey, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sisteminin maliyetini azaltma sürecinde,

GA'nın GWO ve PSO'dan çok daha hızlı hesaplama yaptığıdır. Sunulan bu çalışma, şebeke dışı hibrit yenilenebilir enerji projelerinin desteklenmesinde ve optimizasyon problemlerinin çözümünde önemli bir destek aracı olarak kullanılabilir.

Yazarların Katkısı

Aykut Fatih GÜVEN: Veri iyileştirme, metodoloji, yazılım, doğrulama, düzenleme, yazma ve gözden geçirme.

Nuran YÖRÜKEREN: Kavramsallaştırma, denetleme, doğrulama, inceleme ve düzenleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Referanslar

- Ahmadi, S., Abdi, S., (2016). Application of the Hybrid Big Bang-Big Crunch Algorithm for Optimal Sizing of a Stand-Alone Hybrid PV/Wind/Battery System. *Solar Energy*, 134: 366–374.
- Alturki, F.A., Al-Shamma'a, A.A., Farh, H.M.H., AlSharabi, K., (2021). Optimal Sizing of Autonomous Hybrid Energy System Using Supply-Demand-Based Optimization Algorithm. *International Journal of Energy Research*, 45(1): 605–625.
- Bala, B.K., Siddique., S.A., (2009). Optimal Design of a PV-Diesel Hybrid System for Electrification of an Isolated Island-Sandwip in Bangladesh Using Genetic Algorithm. *Energy for Sustainable Development*, 13(3):137–142.
- Bukar, A.L., Tan, C.W., Lau, K.Y., (2019). Optimal Sizing of an Autonomous Photovoltaic/Wind/Battery /Diesel Generator Microgrid Using Grasshopper Optimization Algorithm. *Solar Energy*, 188: 685–696.
- Chen, L., Wang, S., Yousefi, N., (2021). An optimal arrangement for photovoltaic/diesel/battery management system applying Crow Search Algorithm: a case of Namib Desert. *Int. J. Ambient Energy*.
- Chen, Y., Wang, R., Ming, M., Cheng, S., Bao, Y., Zhang, W., Zhang, D., (2021). Constraint Multi-Objective Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System Considering Load Characteristics. *Complex & Intelligent Systems*, 8: 803-817.
- Eriksson, E.L.V., Gray, E.M., (2019). Optimization of Renewable Hybrid Energy Systems—A Multi-Objective Approach. *Renewable Energy*, 133:971–999.
- Fathy, A., Kaaniche, K., Alanazi, T.M., (2020). Recent Approach Based Social Spider Optimizer for Optimal Sizing of Hybrid PV/Wind/Battery/Diesel Integrated Microgrid in Aljouf Region. *IEEE Access*, 8: 57630–57645.
- Geleta, D.K., Manshahia, M.S., (2020). Gravitational Search Algorithm-Based Optimization of Hybrid Wind and Solar Renewable Energy System. *Computational Intelligence*, 38: 1106–1132.
- Geleta, D.K., Manshahia, M.S., Vasant, P., Banik, A., (2020). Grey Wolf Optimizer for Optimal Sizing of Hybrid Wind and Solar Renewable Energy System. *Computational Intelligence*, 38: 1133-1162.

- Ghenai, C., Salameh, T., Merabet, A., (2020). Technico-Economic Analysis of off Grid Solar PV/Fuel Cell Energy System for Residential Community in Desert Region. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(20): 11460–11470.
- He, L., Zhang, S., Chen, Y., Ren, L., Li, J., (2018). Techno-Economic Potential of a Renewable Energy-Based Microgrid System for a Sustainable Large-Scale Residential Community in Beijing, China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93: 631–641.
- Hermann, D.T., Talla Konchou, F.A., René, T., Donatien, N., (2022). Consideration of some optimization techniques to design a hybrid energy system for a building in Cameroon. *Energy and Built Environment*, 3(2): 233-249.
- Kaabeche, A., Belhamel, M., Ibtouen, R., (2011). Techno-Economic Valuation and Optimization of Integrated Photovoltaic/Wind Energy Conversion System. *Solar Energy*, 85(10): 2407–2420.
- Mahesh, A., and Kanwarjit, S.S., (2019). Optimal Sizing of a Grid-Connected PV/Wind/Battery System Using Particle Swarm Optimization. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering*, 43(1): 107–121.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., Lewis, A., (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69:46–61.
- Mohammed, O.H., Amirat, Y., Benbouzid, M., (2019). Particle Swarm Optimization Of a Hybrid Wind/Tidal/PV/Battery Energy System. Application To a Remote Area In Bretagne, France. *Energy Procedia*, 162:87–96.
- Mokhtara, C., Negrou, B., Settou, N., Settou, B., Samy, M.M., (2021). Design Optimization of Off-Grid Hybrid Renewable Energy Systems Considering the Effects of Building Energy Performance and Climate Change: Case Study of Algeria. *Energy*, 219: 1-18.
- Parrado, C., Girard, A., Simon, F., Fuentealba, E., (2016). 2050 LCOE (Levelized Cost of Energy) Projection for a Hybrid PV (Photovoltaic)-CSP (Concentrated Solar Power) Plant in the Atacama Desert, Chile. *Energy*, 94: 422–430.
- Ramli, M.A.M., Boucekara, H.R.E.H., Alghamdi, A.S., (2018). Optimal Sizing of PV/Wind/Diesel Hybrid Microgrid System Using Multi-Objective Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm. *Renewable Energy*, 121: 400–411.
- Roslan, M.F., Hannan, M.A., Ker, P.J., Begum, R.A., Indra Mahlia, T.M., Dong, Z.Y., (2021). Scheduling Controller for Microgrids Energy Management System Using Optimization Algorithm in Achieving Cost Saving and Emission Reduction. *Applied Energy*, 292: 1-16.
- Saheb-Koussa, D., Koussa, M., (2016). GHGs (Greenhouse Gases) Emission and Economic Analysis of a GCRES (Grid-Connected Renewable Energy System) in the Arid Region, Algeria. *Energy*, 102: 216–230.
- Shivaie, M., Mokhayeri, M., Kiani-Moghaddam, M., Ashouri-Zadeh, A., (2019). A Reliability-Constrained Cost-Effective Model for Optimal Sizing of an Autonomous Hybrid Solar/Wind/Diesel/Battery Energy System by a Modified Discrete Bat Search Algorithm. *Solar Energy*, 189: 344–356.
- Singh, P., Pandit M., Srivastava L., (2020). Comparison of Traditional and Swarm Intelligence Based Techniques for Optimization of Hybrid Renewable Energy System. *Renewable Energy Focus*, 35: 1–9.
- Talla Konchou, F.A., Temene, H.D., Tchinda R., Njomo D., (2021). Techno-Economic and Environmental Design of an Optimal Hybrid Energy System for a Community Multimedia Centre in Cameroon. *SN Applied Sciences*, 3(1): 1-12.
- Voloshin, R.A., Rodionova, M.V., Zharmukhamedov, S.K., Veziroglu, T.N., Allakhverdiev, S.I., (2016). Review: Biofuel Production from Plant and Algal Biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(39): 17257–17273.
- Zhu, W., Guo, J., Zhao, G., (2021). Multi-objective sizing optimization of hybrid renewable energy microgrid in a stand-alone marine context. *Electronics*, 10:1–24.