GRİ KURT OPTİMİZASYONU ALGORİTMASINA DAYALI BİR RÜZGAR / FOTOVOLTAİK / YAKIT HÜCRELİ HİBRİT SİSTEMİNİN OPTİMAL BÜYÜKLÜKTEKİ TASARIMI

OPTIMALLY-SIZED DESIGN OF A WIND/PHOTOVOLTAIC/FUEL CELL HYBRID SYSTEM BASED ON GREY WOLF OPTIMIZATION ALGORITHM (GWO)

IRAJ ASGHARI

Dr. Reza VATANKHAH

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim dalı için Öngörüldüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

IRAJ ASGHARI' inin hazırladığı" **GRİ KURT OPTİMİZASYONU ALGORİTMASINA DAYALI BİR RÜZGAR / FOTOVOLTAİK / YAKIT HÜCRELİ HİBRİT SİSTEMİNİN OPTİMAL BÜYÜKLÜKTEKİ TASARIMI** " adlı bu çalışma aşağıdaki jüri taraflından **Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim dalı'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Murat Caner TESTİK
Başkan .....

Dr. Reza VATANKHAH
Danışman .....

Doç. Dr. Akın BACIOĞLU
Üye .....

Yrd. Doç. Dr. Serhat GÜL
Üye .....

Yrd. Doç. Dr. Umout CHOUSEINOGLOU
Üye .....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

☑ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım taktirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

5 / 2 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Iraj Asgkari

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

05/01/2018

Iraj Asghari

IRAJ ASGHARI

ÖZET

GRİ KURT OPTİMİZASYONU ALGORİTMASINA DAYALI BİR RÜZGAR / FOTOVOLTAİK / YAKIT HÜCRELİ HİBRİD SİSTEMİNİN OPTİMAL BÜYÜKLÜKTEKİ TASARIMI

Iraj ASGHARI

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Reza VATANKHAH

Ocak 2018, 86 pages

Bu çalışmada, rüzgar türbini, PV panelleri ve yakıt hücreleri kullanılarak belirli (kararlı) bir yük modeline güç tedarik etmek üzere hibrit bir sistem geliştirilmiştir. Bu tasarımn amacı 20 yıllık bir süreçteki enerji üretim maliyetlerini en düşük seviyeye indirirken sistem güvenilirlik kısıtlarını sağlayabilmektir. Bu çalışmada, yük talebi, ışınım ve rüzgar hızına karşılık gelen veriler bilinmektedir ve kararlıdır. Tasarım, rüzgar türbini, PV panelleri ve AC/DC dönüştürücünün arıza vermesini göz önünde bulundurmaktadır ve ilk yatırım tutarı, işletme ve bakım giderleri ve yük kesinti maliyetleri (VoLL) gibi birkaç mali değişkeni de içermektedir. Bu çalışmada kullanılan rüzgar ve güneş enerjisi ile bağlantılı veriler İran'ın kuzeybatı bölgesi baz alınarak kullanılmıştır. Bu çalışmada sistemi optimize etmek için Gri Kurt Optimizasyon algoritması (Grey Wolf Optimization-GWO) kullanılmıştır ve sonuçlar Parçacık Suro Optimizasyonu (PSO) 'nunki ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın ana hedefi, rüzgar türbin sayısı, PV panellerinin sayısı ve açısı, elektroliz cihazının, hidrojen tankının, yakıt hücresinin ve DC/AC dönüştürücünün boyutu gibi sistem parçalarının en iyi değerlerinin belirlenmesidir. Bu tasarımda dikkate alınan maliyetler; yatırımın net şimdiki değeri (NPV), donanım maliyetleri, bakım onarım ve yük kesinti maliyetleridir ve 20 yıllık yaşam döngüsü içerisinde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gri Kurt Optimizasyon Algoritması, Hibrit Sistemler, Yenilenebilir Enerjiler

ABSTRACT

OPTIMALLY-SIZED DESIGN OF A WIND/PHOTOVOLTAIC/FUEL CELL HYBRID SYSTEM BASED ON GREY WOLF OPTIMIZATION ALGORITHM (GWO)

Iraj Asghari

Master of Sciences, Department of Clean and Renewable Energies Engineering

Supervisor: Dr. Reza VATANKHAH

Ocak 2018, 87 pages

This study developed a hybrid system composed of wind turbines, PV cells, and fuel cells to supply a specific (deterministic) load model. The purpose of this design was to minimize the cost of energy generation over a period of 20-year while satisfying a set of system reliability constraints. In this paper, the data pertaining to load demand, sunlight and wind speed were considered to be known and deterministic. This design considered the failure of three main system components, namely, wind turbines, PV cells and AC/DC converter, and incorporated a number of cost factors such as initial investment, operating and maintenance expenses, and value of lost load (VoLL). The wind and solar data used in this study pertained to northwestern regions of Iran. This paper used gray wolf optimization algorithm (GWO) to optimize the system and compared the results with the results of particle swarm PSO.

The stated objective of this paper was to determine the optimal value of system components, i.e. the number of wind turbines, the number and angle of PV arrays, and the size of electrolyzer, hydrogen tanks, fuel cells, and DC/AC converters. The costs incorporated into this design included net present value (NPV) of investment, costs of equipment, replacement and maintenance, and the costs arising from power supply interruption (VoLL), all for a period of 20 years considered as the system lifetime.

Keywords: Grey-wolf Optimization algorithm, Hybrid Systems, Renewable energies

TEŞEKKÜR

Sabrı, motivasyonu, heyecanı ve engin bilgisiyle yüksek lisans çalışmamı ve araştırmamı sürekli desteklediği için tez danışmanım Dr. Reza Vatankhah'a samimi şükranlarımı sunarım.

Eğitimim süresince ve hayatım boyunca sürekli destek ve teşviklerinden dolayı ve en iyi kurumlardan birinden eğitim alma imkânını bana sağladıkları için aileme, Sayın Esmaeil Asghari ve Sayın Fatemeh Tahmazi'ye de teşekkür ediyorum. Bu çalışmayı, benim için yaptıkları her şey adına onlara adamak istiyorum.

Ankara'daki ikametimi keyifli ve unutulmaz yapan hocalarım ve arkadaşlarımdan da bahsetmek ve onlara teşekkür etmek istiyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
İÇİNDEKİLER v
ÇIZELGELER vii
ŞEKİLLER viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR 1
1. GİRİŞ 2
1.1. Dağıtık Üretim Kaynakları 2
1.2. Yenilenebilir Enerjiler 4
1.3. Hibrit Enerji Üretim Sistemleri 5
1.4. Hibrit enerji üretim sistemlerinin güvenilirliğini değerlendirmek 6
1.5. Hibrit enerji üretim sistemlerini optimize etmek 6
1.6. Tezin Kapsamı 7
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ 8
2.1. Önsöz 8
2.2. İncelenen Çalışmalar 8
3. YÖNTEM 43
3.1. Gri Kurt Optimizasyonu Algoritması 43
3.1.1. Esinlenme 43
3.1.2. Matematiksel model ve algoritma 45
3.1.3. Sosyal hiyerarşi 45
3.1.4. Avın Kuşatılması 46
3.1.5. Avlanma 47
3.1.6. Ava Saldırma 48
3.1.7. Av İçin Arayış 49
3.2. İncelenenSistem 51
3.2.1. Güneş-Rüzgâr-Yakıt Hücresi Hibrit Sistemi Çalışma Stratejisi 52
3.2.2. Sistem Modellemesi 52
3.2.3. Fotovoltaik Dizi 53
3.2.4. Rüzgar Türbini 54
3.2.5. Yenilenebilir Kaynaklardan Üretilen Enerji 56

3.2.6. Hidrojen Depolama Tankı 58
3.2.7. Yakıt Hücresi 59
3.2.8. İnvertör 60
3.3. Güvenilirlik Endeksleri 61
3.3.1. Sistem Güvenirlik Modeli 63
3.3.2. Yük Kaybı Maliyeti 64
3.3.3. Optimizasyon Problemi 64
3.3.4. Amaç Fonksiyonu 64
3.3.5. Kısıtlar 66
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 67
4.1. Sistem Verileri 67
4.2. Simülasyon sonuçları 70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 80
5.1. Sonuç 80
5.2. Öneri 83
KAYNAKÇA 84
EKLER 87

ÇIZELGELER

Çizelge2-1.Sistem bileşeninin optimal bileşimi [13].....10
Çizelge2-2.Sistem bileşeninin optimal büyüklüğü [16] 11
Çizelge2-3.Sadece PV veya Rüzgar türbini kullanıldığında arzu edilen LPSP için sistem bileşenlerinin boyutu [15] 14
Çizelge2-4. Arzu edilen bir LPSP için PV-Rüzgar sisteminin optimal boyutu [15] 15
Çizelge2-5.Hibrit sistemin pil ile birlikte optimal yapısı ve maliyeti [19].....26
Çizelge2-6.Hibrit sistemin pil olmaksızın optimal yapısı ve maliyeti [19] 26
Çizelge2-7. Optimal sistem kurulumu [23] 40
Çizelge2-8.Güvenilirlik ve maliyet faktörlerinin değerleri [23] 40
Çizelge2-9. Donanımın optimal boyutu [19].....41
Çizelge2-10. Ortaya çıkan sistem maliyetleri [19] 41
Çizelge2-11Ortaya çıkan güvenilirlik endeksleri [19].....41
Çizelge3.1. Fotovoltaik dizi parametrelerinin değerleri [23] 54
Çizelge3-2. Rüzgar türbini parametrelerinin değerleri [23] 56
Çizelge3-3. Elektrolizör parametrelerinin değerleri [23] 58
Çizelge3-4. Hidrojen depolama tankı parametrelerinin değerleri[23] 59
Çizelge3.5. Yakıt hücresi parametrelerinin değerleri[23] 60
Çizelge3-6. İnvertör parametrelerinin değerleri [23].....61
Çizelge4.1. İncelenen hibrit sistemde kullanılmasına karar verilen bileşenlerin parametreleri [23].....69
Çizelge4.2. İncelenen sistemin esas varsayımları [23].....70
Çizelge4.3. Gri kurt optimizeri için kullanılan parametreler.....71
Çizelge4.4.İncelenen hibrit sistemde kullanılan bileşenlerin optimal bileşimi veya kapasitesi 72
Çizelge4.5. Hibrit sistemin maliyet ve güvenilirlik endekslerinin değerleri.....77
Çizelge 5.2. Hibrit Sistemin Maliyet ve Güvenilirlik Endekslerinin Değerleri 83

ŞEKİLLER

Şekil 2.1.incelenen sistem bileşenleri blokdiyagramı.....8
Şekil 2.2. Önerilen optimizasyon algoritması [13].....10
Şekil 2.3. [14]'te incelenen güneş-rüzgar hibrit sistemleri.....11
Şekil 2.4. PV ve Rüzgar türbinleri sayısı açısından sistemin maliyeti[14].....13
Şekil 2.5. Pil şarj değişimleri [14].....13
Şekil 2.6.Rüzgar-yakıt hücresi-süper kapasitör hibrit sistemi [16].....16
Şekil 2.7.Şebekeden bağımsız bir güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sisteminde farklı enerji yönetim stratejilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi [17].....16
Şekil 2.8. [17] 'de incelenen güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sistemi.....17
Şekil 2.9. İlk enerji yönetimi stratejisi [17].....18
Şekil 2.10. İkinci enerji yönetimi stratejisi [17].....18
Şekil 2.11. Üçüncü enerji yönetimi stratejisi [17].....19
Şekil 2.12. İncelenen üç stratejideki pilin yıllık verimliliğinin karşılaştırması [17].....19
Şekil 2.13. Yakıt hücresi enerji çıkışı ve her stratejide devreye alma sayısı [17].....20
Şekil 2.14. HSWSO Akış Şeması [18].....22
Şekil 2.15. 1 Günlük Depolama Pili için bileşenlerin boyutuna karşı sistem güvenilirliği [18]. 23
Şekil 2.16. %1 LPSP için bileşenlerin boyutuna karşı LCE sistemi [18].....23
Şekil 2.17. [19]'daincelenen sistem.....24
Şekil 2.18. Hibrit sistemin pil ile birlikte doğrudan optimizasyonu sonrasında toplam maliyet [19].....27
Şekil 2.19. Hibrit sistemin pil olmadan doğrudan optimizasyonu sonrasında toplam maliyet[19].....27
Şekil 2.20. [20]'de kullanılan şebekeye bağlı yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin yapısı 28
Şekil 2.21. [20]'de incelenen sistem için günlük yük eğrisi.....30
Şekil 2.22. Farklı pil boyutları için AEA endeksinin değeri [20].....30
Şekil 2.23. Farklı boyut faktörleri için AEI endeksinin değeri [20].....30
Şekil 2.24. Farklı boyut faktörleri için RCL endeksinin değeri [20].....31
Şekil 2.25. PV dizilerinin enerji üretimine farklı katkısı için GLF endeksinin değeri [20]....31

Şekil 2.26. PV dizilerinin enerji üretimine farklı katkısı için NLDC endeksinin değeri [20] 31
Şekil 2.27. [21]'de incelenen rüzgar-PV hibrit sisteminin grafiği 32
Şekil 2.28. Rüzgar-PV hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması için önerilen yöntemin akış şeması [21] 33
Şekil 2.29. Pillerin sayısına göre maliyet değişiklikleri [21].....35
Şekil 2.30. Pillerin sayısına göre maliyet değişiklikleri[21].....35
Şekil 2.31. [4]'te kullanılan hibrit sistem.....36
Şekil 2.32. [10]'da incelenen hibrit sistem 37
Şekil 2.33. [23]'te incelenen hibrit sistem 39
Şekil 3.1.Gri kurt hiyerarşisi (hiyerarşi üstten alta doğru azalır)[25].....43
Şekil 3.2. Gri kurt avlanma davranışı: A) Avın kovalanması, yakınlığı ve izleri; B-D) İzleme, taciz ve kuşatma; E) durma pozisyonu ve saldırı[26].....45
Şekil 3.3. İki ve üç boyutlu konum vektörleri ve diğer muhtemel konumlar [25].....46
Şekil 3.4. GWO konumu güncellemesi [25].....48
Şekil 3.5. Ava saldırma ve av için arayış [25]. 49
Şekil 3.6. Güneş-rüzgar-yakıt hücresi hibrit sistemi.....51
Şekil 3.7. Rüzgar hızı cinsinden BWC Excel-R/48 rüzgar türbininin çıkış gücü eğrisi [27] .54
Şekil 4.1. Bir yıl boyunca 15 metre yükseklikte rüzgar hızı[23].....67
Şekil 4.2. Bir yıl boyunca dizi yüzeyinde yatay radyasyon yoğunluğu[23] 68
Şekil 4.3. Bir yıl boyunca dizi yüzeyinde dikey radyasyon yoğunluğu[23] 68
Şekil 4.4. 50 KW zirveye sahip yıllık IEEE yükü grafiği[23].....69
Şekil 4.5.Yineleme sayısı açısındanGri Kurt Optimizasyonu algoritmasının yakınsama eğrisi 71
Şekil 4.6 Bir yıl boyunca rüzgar türbinlerinin üretim gücü.....72
Şekil 4.7. Bir yıl boyunca fotovoltaik dizilerin üretim gücü 73
Şekil 4.8.Bir yıl boyunca yenilenebilir kaynakların üretim gücü.....73
Şekil 4.9. Bir yıl boyunca hidrojen tanklarında depolanan enerjinin matematiksel beklentisi. 74
Şekil 4.10. Bir yıl boyunca yenilenebilir kaynaklardan invertöre, elektrolizörden tanka ve yakıt hücresinden invertöre aktarılan güç (yukarıdan aşağıya) 75
Şekil 4.11. Bir yıl boyunca yenilenebilir kaynaklardan elektrolizöre, tanktan yakıt hücresine ve invertörden yüke aktarılan güç (yukarıdan aşağıya) 76
Şekil 4.12. Bir yıl boyunca EENS.....78
Şekil 4.13. Bir yıl boyunca ELF.....78
Şekil 4.14. Bir yıl boyunca LOLE.....79

Şekil 5.1. Optimizasyon Sorununu Çözmek için Yinelemeleri Açısından Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmasının Yakınsama Eğrisi 81

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

(AEA)	Yıllık Enerji Tüketimi
(DG)	Dağıtılmış Üretim
(DMFC)	Direkt Metanol Yakıt Hücresi
(EENS)	Beklenen Tedarik Edilmeyen Enerji
(ELF)	Eşdeğer Kayıp Faktörü
(GLS)	Genelleştirilmiş Yük Faktörü
(GWO)	Gri Kurt Optimizasyon Algoritması
(HRES)	Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri
(HSWSO)	Hibrit Güneş-Rüzgar Sistem Optimizasyonu
(LCE)	Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
(LOEE)	Enerji Kaybı Beklentisi
(LOLE)	Yük Kaybı Beklentisi
(LPSP)	Güç Kaynağı Kaybı Olasılıklığı
(NLDC)	Net Düzenlenmiş Yük Eğrisi
(NPV)	Net Şimdiki Değer
(PEM)	Proton Değişimli Membran
(RBD)	Blok Diyagram Güvenilirliği
(RCL)	İletken Kaybı Oranı
(SOC)	Şarj Durumu
(VOLL)	Yük Kesinti Maliyetleri

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışı ve sanayileşme sürecinden ötürü enerjiye duyulan ihtiyaç artmaktadır. Gelişmiş ülkelerin gelecekteki başarılarını enerji kaynaklarına ve piyasalarına bağlı gördükleri sonucuna kolaylıkla ulaşabiliriz. Fosil yakıtların tükenmesi riski ve çevreye ilişkin kaygılar, diğerleri arasından, dünyanın ekonomik güçleri için endişe verici iki faktördür. Böylelikle dikkatler, yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde toplanmaktadır. Gelişimi süresince yenilenebilir enerji tüketimi, geçtiğimiz on yılda ve günümüzde önemli ölçüde artmış, teorik aşamadan pratik aşamaya geçmiştir. Gelişmiş ülkelerin çoğu, elektrik enerjilerini büyük oranda bu kaynaklardan elde etmektedirler. Buna ek olarak, ABD gibi bir kısım ülkelerde bazı yenilenebilir enerji santralleri, fosil yakıt santrallerinin yanında daha ucuz, daha temiz, daha kaliteli ve daha güvenilir elektrik enerjisi sağlamak için bu ülkelerin enerji piyasalarında rekabete girmektedir. Ortaya çıkan hususlara bağlı olarak, bu kaynakları geliştirmeye yönelik tek caydırıcı faktör ekonomik gerekçelerdir. Görünen o ki, teknolojinin ve fiyat tahminlerinin gelişmesi ve gelecekte fosil yakıtların tükenmesiyle birlikte, yenilenebilir enerji tüketen enerji santrallerinin varlığını artan biçimde gözlemleyeceğiz. Günümüzde, uzak kullanıcıların güç maliyetlerini düşürmek ve yol yapımı ve iletim hatlarına bağlı olarak ortaya çıkan maliyetlerden kaçınmak için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak çok mantıklı görünüyor.

1.1. Dağıtık Üretim Kaynakları

Nüfus artışı ve hızlı sanayileşme süreci son yıllarda elektrik enerjisi tüketiminde bir artışa neden olmuştur. Sınırlı alanlara ve yüksek şarj yoğunluğuna sahip bölgelere şebekelerin yavaş gelişimi eşlik etmiş, bunun sonuçları da düşük enerji kalitesi ve voltaj istikrarsızlığı olmuştur. Ayrıca voltaj düşüşü ve dağıtım hatları boyunca yüksek kayıplar gibi sorunlar, kırsal alan elektrifikasyonunda zayıf bir ağ performansına işaret etmektedir [1].

Bu durumun aksine, elektrik enerjisi araştırma enstitüleri, şebekelerine ve mali kaynak kısıtlarına rağmen, şebekelerini geliştirmek ve güçlendirmekle uğraşmaktadır. Bu maksatla dağıtık üretim (DG), tercih edilen seçeneklerden biri olabilmektedir. Dağıtık üretim, gelişen kojenerasyon ünitelerinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma konusundaki hevesine bağlı olarak son yıllarda güçlü bir büyüme yaşamıştır [1]. Son birkaç on yılda insan toplumları enerji krizinin yanı sıra mali kriz, çevre krizi ve kirlilik gibi genel politikaları ve teknolojik ilerlemeleri etkileyen üç büyük krizle her zaman uğraşmıştır. Şu anda Avrupa

Birliği ülkelerinde örneklerini gördüğümüz mali krizler, ülkeleri ciddi sorunlarla karşı karşıya bırakabilir ve insanların memnuniyetini önemli ölçüde düşürebilir. Çevresel krizler de Dünya'yı önemli derecede etkilemiştir. Sera gazlarının kitle üretimi, ozon tabakasını tehdit etmekte ve bu durumun küresel ısınma, Kuzey Kutbundaki buzulların erimesi, dünyanın bazı bölgelerinde kuraklık olurken diğer bölgelerinde ise şiddetli yağışların olması, birçok alanda doğal ekosistemin bozulması vb. gibi korkunç sonuçları olmakta ve olacaktır. Üçüncüsü, bir şekilde diğer iki krizin yoğunlaşmasına neden olabilecek olan enerji krizidir. Dünyadaki enerji tüketiminin büyük kısmı, tükenebilir enerji kaynakları olarak bilinen fosil yakıtlara bağlıdır. Bu nedenle insanlar kendilerinin sürekli olarak kaynakların riskine maruz kaldıklarını görürler. Öte yandan, fosil yakıtlar bakımından dünyanın en zengin noktası olan Ortadoğu'daki siyasi krizler, mali krizleri derinleştiren yakıt fiyatlarını artırmıştır. Buna ek olarak bu yakıt türü, sera gazı üretiminin ana nedenidir ve dolayısıyla kirlilik krizi açısından incelenmelidir. Bu nedenle, özellikle temiz enerjileri kullananlar olmak üzere, en çok kabul gören dağıtık üretim kaynaklarının kullanımı olmuş ve dünya çapında birçok örgüt bu tür kaynaklardan elde edilen enerji düzeyini artırmak için sıkı düzenlemeleri onaylamıştır [2].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önündeki tek zorluk ekonomik mesele olarak göz önüne alındığında, bu tür kaynakların enerji üretiminde kullanılmasına yönelik iktisadi araştırmalar yürütülmelidir. Yukarıda bahsedilen konulardan yola çıkıldığında, geleneksel enerji santralleri tarafından üretilen enerjinin uzaktaki yüklere yüksek iletim maliyetlerinden kaçınmak ve enerji üretiminin maliyetlerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması şiddetle tavsiye edilmektedir.

DÜ kaynakları, dağıtım ağlarına ve son kullanıcılara yakın olan, tipik olarak 10 MW'tan az, elektrik enerjisi üretiminin küçük ölçekli kaynaklarını ifade eder [1]. Farklı türde DÜ'ler mevcuttur ve temel yakıtları arasında fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır. Rüzgar türbinleri ve güneş dizileri, elektrik enerjisi üretmek için yenilenebilir enerjileri kullanan kaynaklardan ikisidir ve yakıt hücreleri, mikro türbinler, içten yanmalı motorlar, biyokütle vb. elektrik enerjisi üretmek için diğer yakıtları kullanan kaynaklardan bazılarıdır. Rüzgar türbinleri ve güneş dizileri, bir yerin fizibilitesine bağlı olarak kullanılabilir. Yakıt hücresi elektrik piyasasına farklı türleri sunulmaktadır. Dikkat edilmesi gerekir ki DÜ, ya ulusal dağıtım şebekelerinden ayrılmış biçimde şebeke dışı kaynak olarak enerji sağlamakta ya da şebekenin entegre bir parçası olarak şebeke enerjisinin bir kısmının enerjisini sağlamaktadır.

1.2. Yenilenebilir Enerjiler

Son yıllarda yenilenebilir enerjiler, giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Farklı ülkeler, endüstriyel yeteneklerine ve coğrafi potansiyellerine göre bu kaynaklardan faydalanmaya çalışmaktadır. Petrol zengini ülkelere bağımlılıklarını azaltarak enerji güvenliğini arttırmak, sanayileşmiş ülkelerin yenilenebilir enerjilere ilgi göstermesinin ana nedendir. Fosil yakıtların fiyatının artması ve bunların çevre üzerindeki yıkıcı etkileri de yenilenebilir enerjilerin kullanımını özendiren diğer faktörlerdir.

Yenilenebilir enerji kaynakları yoluyla enerji üretimi alanında kapsamlı araştırmalar, bu yöntemle üretilen enerjinin fiyatında belirgin bir düşüşe neden olmuş ve yenilenemez kaynaklarla rekabet etme yolunu açmıştır. Dikkat edilmelidir ki, gelişmekte olan ülkelerin bütçesindeki yeni enerjilerin payı artmaktadır; örneğin, 2010 yılında Avrupa Birliği'nde ihtiyaç duyulan elektriğin 12%'den fazlası yenilenebilir enerjiler yoluyla üretilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmanın ana hedeflerinden biri de maliyetleri düşürmektir. Uzak bölgelerde dağıtık enerji üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması; şebeke hatlarının yayılımının, iletiminin ve çevre kirliliğinin azaltılması yoluyla maliyetleri düşürmenin etkili bir çözümüdür ve enerji verimliliğini artırmaktadır [2].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajlarından biri de uzun ömürlü ve doğal döngüye sahip olmalarıdır. Yenilenemeyen enerjilerin (fosil yakıtlar) tükenmesinin aksine, güneş ışınımı ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, bedava ve devamlı olmaları, ve uygun coğrafi koşulları nedeniyle elektrik üretimi hususunda yüksek bir kabiliyete sahiptir. Sonuç olarak, elektrik, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak ve coğrafi koşullara göre kolayca üretilebilmektedir [2].

Dağıtık üretim için en önemli kaynaklar güneş dizileri ve rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerjileri temel almaktadır. Güneş dizileri ve rüzgar türbinleri son yıllarda giderek daha fazla pazarlanabilir hale gelmiştir. Güneş dizileri ve rüzgar türbinleri sırasıyla güneş ışınımını ve rüzgar hızını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen enerji miktarı, güneş ışınımı miktarı ve rüzgar hızı da dahil olmak üzere önemli ölçüde hava şartlarına bağlıdır. Bu nedenle, bu enerji kaynaklarının öngörülemeyen kaynaklar olduğu söylenebilir. Güneş dizileri ve rüzgar türbinlerinin performansı üzerinde kontrolün olmaması, bu araçların enerji üretimlerininfarklı zaman dilimlerinde planlanmasını neredeyse imkansız kılmaktadır. Bu

husus aynı zamanda, bu teknolojik gelişmenin ticarileştirilmesinin önündeki engellerden biridir[2].

1.3. Hibrit Enerji Üretim Sistemleri

Hibrit sistem, farklı enerji kaynaklarıyla beslenen, kombine ve tamamlayıcı bir birim olarak çalışan farklı enerji üretim sistemleri grubunu belirtir [3], [4], [5]. Bu sistemler iki veya daha fazla farklı enerji kaynağından beslendiğinden, tek bir enerji kaynağı kullanan sistemlere kıyasla daha yüksek bir güvenilirliğe sahiptirler. Ayrıca bu sistemler, enerji arzı güvenilirliğini artırmak için yakıt hücreleri, piller ve benzeri depolama mekanizmalarını kullanmaktadır. Depolama sistemi, sistem aşırı enerji ürettiğinde bunu saklama kapasitesine sahiptir. Bu fazla enerji, yoğun olan saatlerde ulusal şebekeye iletilebilmektedir. Depolama sistemlerini kullanmanın bir diğer avantajı da tüketim yükündeki veya birimlerin enerji üretimindeki geçici dalgalanmalara yanıt vermesidir. Buna ek olarak, şebekeden bağımsız sistemlerde depolama sistemleri kullanmak, sistemin güvenilirliğini artırabilir. Güneş dizileri son yıllarda giderek daha fazla ticarileşmiştir. Bunlar güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmekte, üretilen enerji miktarı ise güneş ışığı yoğunluğu gibi hava şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, daha önce de belirtildiği üzere, bu kaynaklar tarafından üretilen enerji miktarı neredeyse öngörülemezdir. Güneş dizileri ve rüzgar türbinlerinin performansı üzerinde kontrolün olmaması, bu araçların enerji üretimlerinin farklı zaman dilimlerinde planlanmasını neredeyse imkansız kılmaktadır [6] ve bu husus aynı zamanda, bu teknolojik gelişmenin ticarileştirilmesinin önündeki engellerden biridir.

Güneş dizileri yukarıda belirtilen dezavantajları gidermek için uygun bir yardımcı kaynak ile birleştirilebilir. Diğerleri gibi yakıt hücreleri, piller, rüzgar türbinleri ve dizel jeneratörleri enerji dalgalanmalarını dengelemek için güneş panelleri ile birleştirilebilen bazı kaynaklardır. Piller, kısa vadeli bir çözümdür. Rüzgar enerjisi temiz ve yenilenebilir, ancak güvenilir değildir. Dizel jeneratörler yüksek güç yoğunluğundan yararlanır, ancak yenilenebilir enerjileri kullanmazlar ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olurlar; ayrıca kurulum masrafları da yüksektir. Yakıt hücreleri hidrojeni veya doğalgazı elektrik enerjisine dönüştürürler ve çevre kirliliğine neden olmazlar. Üretilen enerji miktarı, giriş yakıtının ayarlanmasıyla kontrol edilebilmektedir[4]. Dizel jeneratörlere kıyasla yakıt hücrelerinin performansı daha iyidir[4].Öte yandan, farklı zaman dilimlerinde kontrollü enerji miktarları üretebilmektedir. Bu sebeple, güneş pilleri yanında bir yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Böylece yakıt hücreleri, güneş dizilerinin dalgalanmalarını telafi etmek

için enerji depolama kaynağı olarak işlev görmekte ve sonuçta enerji üretiminin planlanmasını mümkün kılmaktadır. Güneş dizileri ve yakıt hücrelerini eşzamanlı kullanmanın faydalarından birisi, elektrik enerjisi satma ve tüketicilere sağlanan elektriğin güvenilirliğini artırma imkânıdır.

1.4. Hibrit enerji üretim sistemlerinin güvenilirliğini değerlendirmek

Hibrit sistemlerin kullanılmasının en önemli amacı, enerji üretim güvenilirliğini arttırmaktır [7], [8]. Güvenilirlikle kastedilen hibrit sistemin enerji taleplerini karşılaması gerektiğidir ve bu durum yeterlilik sorununu gündeme getirir. Yeterlilik, sistemin yeterli enerji sağlaması gerektiği anlamına gelir. Diğer taraftan, enerji kaybı ihtimali veya enerji arzı eksikliği en düşük seviyede olmalıdır. Ayrıca istenen güvenilirlik düzeyine sahip bir hibrit sistem, enerjiyi sürekli olarak ve kesinti veya kopukluk olmaksızın sağlamalıdır ve bu da dayanıklılık sorununu ortaya çıkarmaktadır. Ekonomik değerlendirmenin (maliyetler) yanında güvenilirlik hesaplamaları, hibrit sistemlerle enerji üretilirken göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla, hibrit sistemlerde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilen ekonomik gelirlerin değerlendirilmesi, sistemin güvenilirlik seviyesinin araştırılmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu kaynaklardaki üretim kapasitesinin belirsizliğinden ötürü hibrit sistemlerde güvenilirlik araştırılmalıdır.

1.5. Hibrit enerji üretim sistemlerini optimize etmek

Yeni enerji kaynaklarından oluşan hibrit sistemlerde güvenilirlik ve maliyet faktörleri dikkate alınmalıdır. Güvenilirlik, sistemin enerji sağlama kapasitesini yansıtır ve maliyet, sistemin güç üretim maliyetlerini belirtir [3], [5], [9]. Hibrit sistemlerin optimizasyonu için sistem donanımının kapasitesinin yanı sıra depolama sistemi de dikkate alınmalıdır; böylece sistemin üretim maliyetleri en aza indirgendiğinde dahi sistemin güvenilirliği halenistenen seviyede olmalıdır. Bir başka deyişle, güç üretmek için gereken enerjinin yeterince ve sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, yedekleme sisteminin rolünü oynayan depolama sistemi [10], [11], sistem girişlerinde değişiklikler olduğunda gerekli gücü sağlayabilmelidir. Bazı durumlarda şebekeye bağlı hibrid sistemler, ulusal şebekeye elektrik verebilmekte veya şebekeden elektrik alabilmektedir. Bu durumda jeneratörlerin, depolama sistemlerinin ve ulusal şebekeden alınan enerjinin optimum kapasitesinin hesaplanması da ayrı bir sorun olacaktır; çünkü ulusal şebekeye satılan veya oradan satın alınan elektriğin fiyatı genellikle

sınıflandırılmış tarife biçimindedir. Ardından, uygun bir optimizasyon için hesaplamalar, ulusal şebekenin varlığı durumunda dahi günün 24 saati boyunca yapılmalıdır. Bu nedenle, diğer faktörleri dikkate alarak donanımın optimum kapasitesini veya boyutunu belirlemek, hibrit sistemlerin tasarlanmasında çok önemlidir [12]; çünkü optimizasyon düzgün bir şekilde yürütülürse, güvenilirlik elde edilecek, üretim maliyetleri en aza indirilecek ve diğer enerji üretim yöntemlerine kıyasla yenilenebilir enerjilerin rekabet avantajı artacaktır.

1.6. Tezin Kapsamı

Hibrit sistemlerin optimizasyonu ile ilgili birçok çalışma, bu sistemlerin ekonomik iyileştirme ve güvenilirlik değerlendirmesi amacıyla yürütülmektedir. Mevcut tez, enerji üretim maliyetlerini en aza indirgemek ve sistemlerde optimum enerji güvenilirliği sağlamak amacıyla şebekeden bağımsız güneş, rüzgar ve yakıt hücresi sistemlerinin optimizasyonunu araştırmaktadır. Sistem maliyetleri; ilk yatırım, bakım ve işletme ve donanımın değiştirilmesi maliyetlerini kapsamaktadır. Sistem güvenilirliği, sistemin enerji talebini karşılama yeteneğini gösterir. Dikkate alınan güvenilirlik göstergeleri tedarik edilemeyen eeklenen enerji, yük kaybı olasılığı, beklenen yük kaybı ve başka türlerini içerir. Çalışma, incelenen sistemi optimize etmek için Gri Kurt Optimizasyonu algoritmasını kullanmıştır.Gwo algoritması,2014 yılında mirjalili ve diğerleri tarafından önerilen doğadaki gri kurtların liderlik hiyerarşisini ve avlanma mekanizmasını taklit eder. Liderlik hiyerarşisini simüle etmek için alfa, beta, delta ve omega gibi dört çeşit gri kurt kullanılmıştır. Buna ek olarak, avlanma üç ana adımda yapılmaktadır. Avı zleme, takip etme ve ava saldırma optimizasyon gerçekleştirmek için uygulanmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda, sistem maliyetlerini en aza indirgemenin ve güvenilirlik göstergelerinin amaç fonksiyonunu da dikkate alarak, sistem donanımının optimum kapasitesini belirlemek için ekonomik ve güvenilir bir sistem tasarlamayı amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

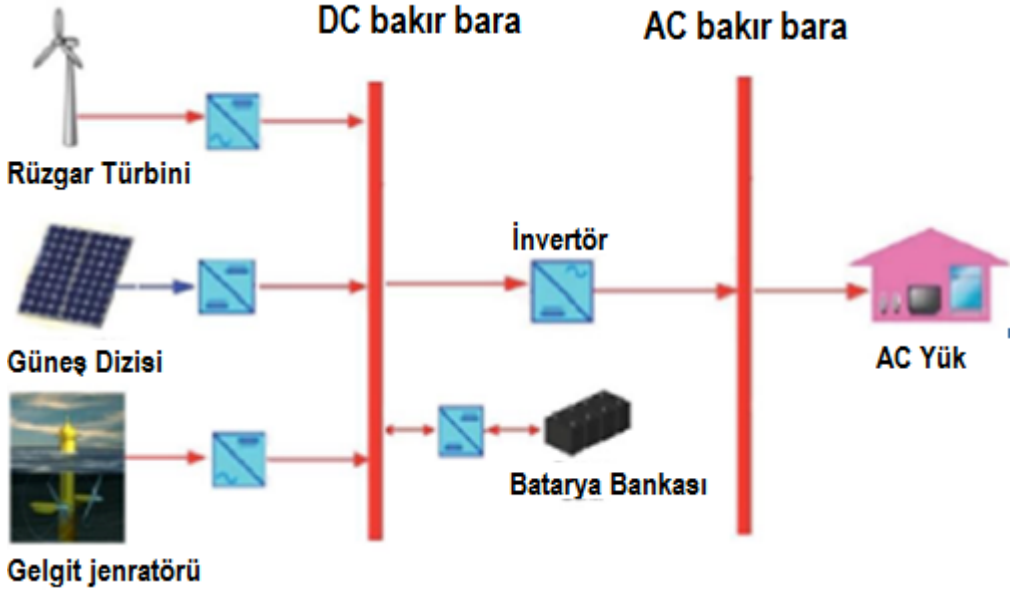
2.1. Önsöz

Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri (HYES) ile ilgili literatür oldukça geniştir. Bu nedenle bu bölümde yalnızca bu sistemlerle ilgili seçilmiş birkaç çalışma tartışılmaktadır. Literatür incelemesi, hibrit sistemlerin, özellikle de güneş-yakıt hücresi hibrit sisteminin optimizasyonu üzerine yapılan birçok çalışmanın tamamen işin ekonomik yönüne odaklandığını ve güneş-yakıt hücresi hibrit sistemlerinin, enerji üretimi güvenilirliğinin geliştirilmesindeki potansiyel rolünü çoğunlukla ihmal ettiğini ortaya koymuştur.

2.2. İncelenen Çalışmalar

Yeni bir hibrit güç üretim sisteminin optimal boyut ve bileşiminin belirlenmesi [13].

Bu makale pil ve gelgit akım jeneratörü içeren bir güneş-rüzgar hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması için bir yöntem önermiştir (Şekil 2.1). Bu çalışmanın amacı, sistem bileşenlerinin optimal boyut ve bileşimini belirlemekti.



Şekil 2.1.incelenen sistem bileşenleri blokdiyagramı.

“

Bu makalede, sistem endeksleri şu şekilde ifade edilmiştir:

Teknik endeks (sistem güvenilirliği hesaplaması) aşağıdaki formülden elde edilmiştir:

$$R_{LP} = \frac{\sum P_{LP}(t)}{\sum P_{Load}(t)} \tag{2-1}$$

Burada

R_{LP}: Enerji arzı kaybı olasılığı veya LPSP;

P_{LP}:t'inci zamanda güç kaybi

P_{Load}: t'inci zamanda güç talebi

Aşağıdaki formülde ekonomik endeks (sistem maliyeti hesaplaması)elde edilmiştir.

$$M_{tot} = \sum_{i=1}^{n} M_i E_i + M_{Bat} C \tag{2-2}$$

Burada

M_{tot} : Watt-saat başına enerji maliyeti

M_i : i'nci jeneratörün çıkış gücü (Ws'de)

n : Jeneratör sayısı

E_i :i'nci jeneratörün üretim kapasitesi (Ws'de)

M_{Bat} : Watt-saat başına pil maliyeti

C : pil kapasitesi

Sistem maliyetlerini en aza indirgeyen amaç fonksiyonu şöyle tanımlanmıştır:

$$OF: Min(M_{tot}) \tag{2-3}$$

Bu makalede önerilen Genetik optimizasyon algoritması Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

```
Input wind speed, solar radiation, current data
For j=1 to N          ▶ N is the assumed number of sets for valid combinations.
    Assume combination (E_w, E_PV, E_t)
    v_n ← 0           ▶ v_n : the total number of valid combinations.
    For i=1 to total period (total number of data set)
        P_tot ← Eq.(12)
        if  P_tot == P_load then
            P_LP ← 0
        end
        if  P_tot > P_load then
            C(t) ← Eq. (9)
            P_LP ← 0
        end
        if  P_tot < P_load then
            C(t) ← Eq. (10)
            P_LP ← Eq. (14)
        end
    end
    R_LP ← Eq. (16)
    if R_LP =< required R_LP
        store the combination
        v_n ← v_n+1
    end
end
```

Şekil 2.2. Önerilen optimizasyon algoritması [13]

Bu algoritmada, güç çıkışı yük talebine eşit olduğunda, sistem güvenilirlik endeksi RLP sıfır olacaktır. Güç çıkışı yük talebinden daha yüksek olduğunda, RLP sıfır olacaktır ve fazla enerji pilde depolanacaktır. Güç çıkışı yük talebinden düşük olduğunda, arz ile talep arasındaki fark pil tarafından karşılanmalıdır ve RLP yukarıdaki formülle hesaplanacaktır. Bu makalenin ortaya koyduğu optimizasyon sonuçları Çizelge 2.1 ve 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge2-1.Sistem bileşeninin optimal bileşimi [13]

Tür	Maliyet (Kazanç/KWs)	Açıklama
Rüzgar-PV	127.72	-
Rüzgar-Gelgit	111.77	-
PV-Gelgit	118.83	-
Rüzgar-PV-Gelgit	106.73	Optimum

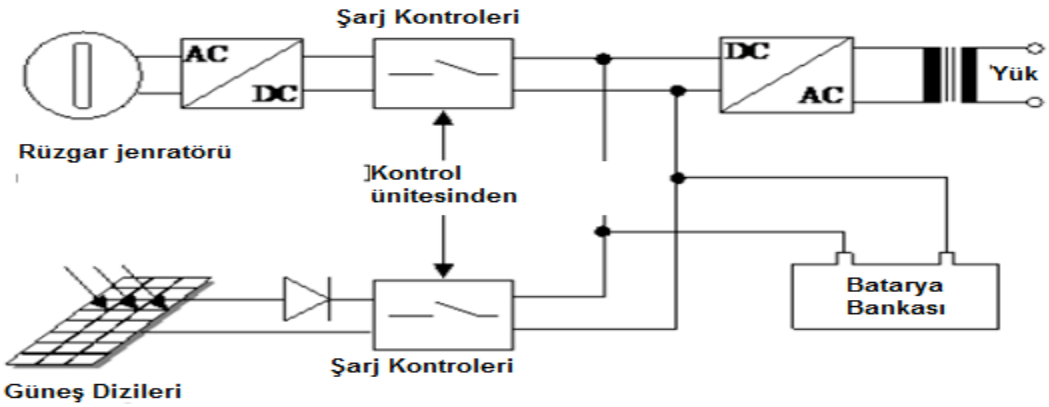
Çizelge2-2.Sistem bileşeninin optimal büyüklüğü [16]

Tür	Büyüklük	Not/Açıklama
Rüzgar Jeneratörü	3W	1 set
PV Jeneratörü	30W	1 Panel
GelgitJeneratörü	120W	Pervane yarıçapı: 0.107m
Pil	80Wh	12V-6.7Ah

Bu sonuçlar, üretilen elektrikte PV-Rüzgar-Gelgit hibrit sisteminin en düşük ve PV-Rüzgar hibrit sisteminin en yüksek watt-saat maliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Görüleceği üzere, PV kaynağının üretim kapasitesi arttığından Gelgit kaynağının üretim kapasitesi azalmaktadır.

Aydınlatma uygulamaları için güneş rüzgar hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması [14].

Bu çalışmada incelenen sistem Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Bu makalede, enerji üretimi ve yük talebi arasındaki denge derecesine dayanarak pil performansını değerlendirmek için bir güneş-rüzgar hibrit model sunulmuştur. Bu çalışmanın amacı, bir yıl boyunca genetik algoritmasın kullanarak optimal sistem performansını değerlendirmek, toplam sistem maliyetini belirlemek, sistem bileşenlerinin optimal boyutunu belirlemek ve arz tarafı ile talep tarafı arasında bir denge kurmaktı.



Şekil 2.3. [14]'te incelenen güneş-rüzgar hibrit sistemleri

Bu tasarımda kullanılan sistem endeksleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

• Teknik endeks (güvenilirliği değerlendiren)

$$LLP = \frac{Enerji\ Talebi}{Beslenen\ Enerji} \tag{2-4}$$

Burada

LLP: Yük kaybı olasılığı

- Ekonomik endeks (maliyeti ölçen):

$$LLC = \left[C_c + \sum_{i=1}^{Bileşimsayısı} \ldots C_{op,i} \right] \tag{2-5}$$

Burada

LCC : Yaşam döngüsü maliyeti

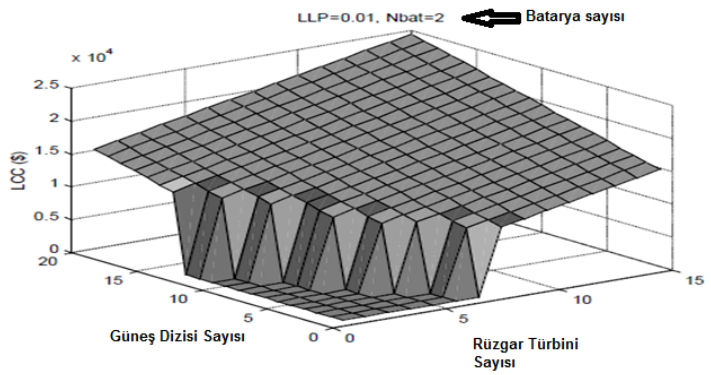
C_c : Sermaye maliyeti

$C_{op,i}$: i bileşeninin işletim maliyeti

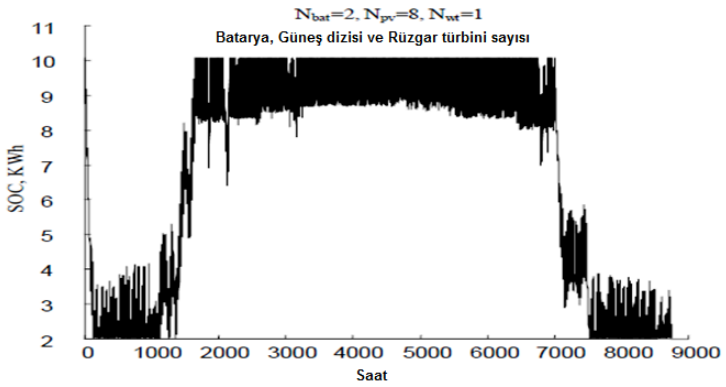
Bu makale amaç fonksiyonunu şu şekilde tanımlamıştır:

$$OF: Min\{LLC\} \tag{2-6}$$

Bu makalede elde edilen optimizasyon sonuçları Şekil 2.4 ve 2.5'te gösterilmektedir. İşlem çıktıları arasında LLP için 0.10'luk enerji üretim maliyeti ile pil şarj ve deşarj profili yer almaktadır.



Şekil 2.4. PV ve Rüzgar türbinleri sayısı açısından sistemin maliyeti[14]



Şekil 2.5. Pil şarj değişimleri [14]

Genetik algoritma vasıtasıyla LPSP teknolojisine sahip bir güneş-rüzgar hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması [15]

Bu makale pil temelli bir şemayla geliştirilmiş bir güneş-rüzgar hibrit sisteminin optimal boyutunu belirlemek üzere bir yöntem önermiştir. Bu makalenin yazarları, bir dizi güvenilirlik ve maliyet endeksine göre bileşenlerin boyutunu optimize etmek için bir genetik algoritma kullanmıştır. Bu makalenin amacı, sistem bileşenlerinin en uygun boyut ve bileşimini ve her bileşenin çıkış kapasitesindeki değişikliklerin, sistemin toplam maliyeti üzerindeki etkisini belirlemek olmuştur.

Bu modelin amaç fonksiyonu, yıllık enerji üretim maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır ve güvenilirlik ile maliyet endeksleri aşağıda sunulmaktadır:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=0}^{T} Saatler(P_{mevcut}(t) < P_{gerekli}(t))}{T} \quad (2-7)$$

$$ACS = C_{cap}(PV + Rüzgar + Bat + \cdots) + C_{rep}(Bat) + C_{main}(PV + Rüzgar + Bat + \cdots) \quad (2-8)$$

Burada

ACS : Yıllık arz maliyeti (enerji üretimi)

C_{cap} : Sermaye maliyeti

C_{rep} : Donanım değişim maliyeti

C_{main} : Bakım maliyeti

Çizelge 2.3, bir PV kaynağının veya tek başına bir rüzgar türbininin talebi karşıladığı senaryoda, ACS ve LPSP'nin bileşenlerinin optimal boyutunu ve değerlerini göstermektedir.

Çizelge2-3.Sadece PV veya Rüzgar türbini kullanıldığında arzu edilen LPSP için sistem bileşenlerinin boyutu [15]

Parça	N_{WT} Rüzgar Türbinlerinin Sayısı	N_{pv} Güneş Panellerinin Sayısı	N_{bat} Bataryaların Sayısı	β' (°) Panellerin Açısı	$H_{WT(m)}$ Rüzgar Türbinlerinin Uzunluğu	Maliyet (ABD $)	LPSP (%)
Yalnız PV	Boş	182	8	25.0	Boş	11,145	1.96
Yalnız Rüzgar Türbini	4	Boş	17	Boş	30.0	16,889	1.98

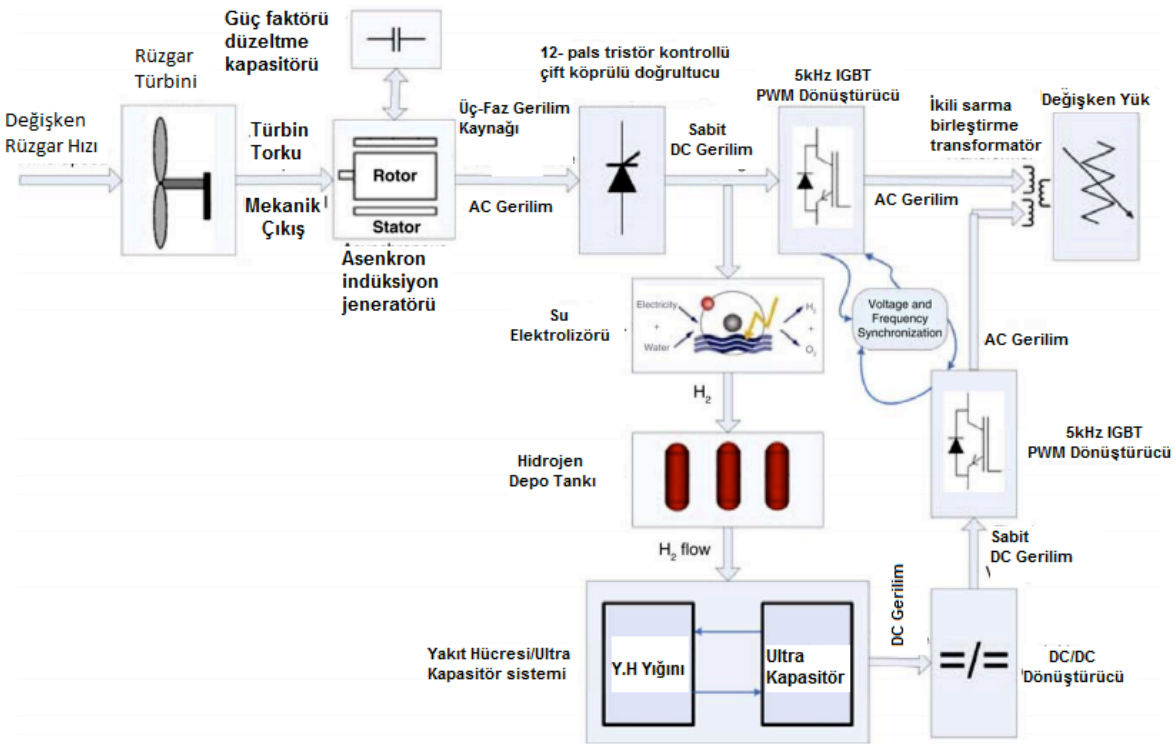
Çizelge 2.4, PV-Rüzgar hibrit sistemindeki bileşenlerin optimal boyutunu ve buna bağlı maliyet ve güvenilirlik endekslerini göstermektedir. Hem PV hem de rüzgar türbini kullanmanın sistem maliyetini düşürdüğü ve arzu edilen LPSP değerini arttırdığı görülebilmektedir.

Çizelge2-4. Arzu edilen bir LPSP için PV-Rüzgar sisteminin optimal boyutu [15]

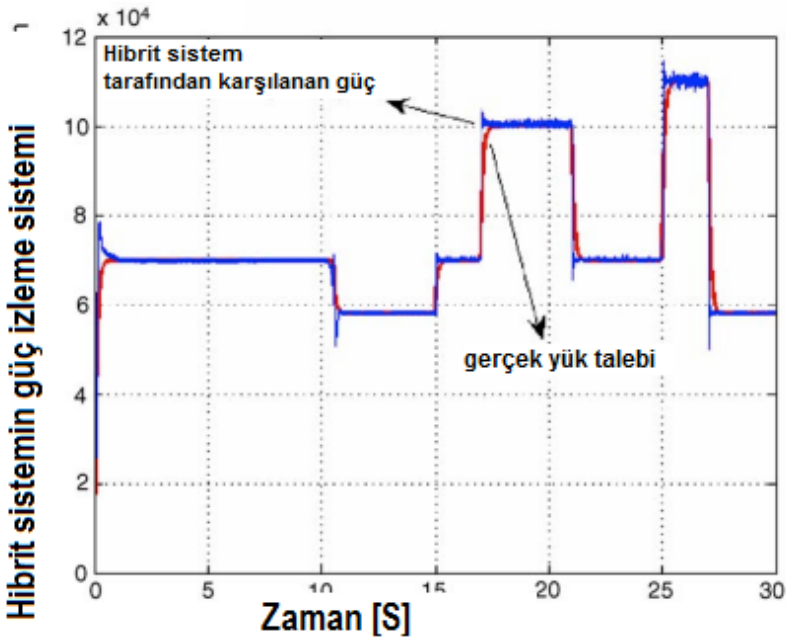
Arzu edilen LPSP	**N_{WT} Rüzgar Türbinlerinin Sayısı**	**N_{pv} Güneş Panellerinin Sayısı**	**N_{bat} Bataryaların Sayısı**	**β' (°) Panellerin Açısı**	**$H_{WT(m)}$ Rüzgar Türbinlerinin Uzunluğu**	**Maliyet (ABD $)**	**LPSP(%)**
1%	1	128	6	24.5	31.0	10.600	0.97
2%	1	115	5	24.0	32.5	9708	1.96

Rüzgar-yakıt hücresi-süper kapasitör hibrit sisteminin dinamik modellemesi, tasarımı ve simülasyonu [16]

Bu makalede, enerji üretimi için rüzgar enerjisi, yakıt hücreleri ve süper kapasitörlerin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Yakıt hücresi bileşeninin kendisi bir elektrolizör ve hidrojen depolama tankından oluşmaktadır. Bu makalede yakıt hücresi ve süper kapasitörler, rüzgar hızı değişkenliklerinin istikrarsızlaştırıcı etkisini ortadan kaldırmak ve stabil sürekli bir arz sağlamak için kullanılmaktadır. Yine bu makalede güç kontrol birimleriyle donatılmış bir dinamik model ortaya konulmuştur. Tanımlanmış güç yönetimi stratejisine dayanarak, rüzgar hızı talebi karşılamak üzere yeterli rüzgar enerjisi üretebildiğinde,sistem yalnızca bu kaynağı kullanır. Tek başına rüzgar yetersiz olduğunda, sistem talebi karşılamak için yakıt hücresi gücünü devreye alır ve bu da yeterli olmazsa süperkapasitöre depolanan gücü kullanır. Böylece bu makalede önerilen sistem (Şekil 2.6), rüzgar hızı belirsizliğinden kaçınmaya imkan tanıyabilir ve sürekli bir yük sağlayabilir. Enerji çıkışı ve yük talebine karşılık gelen eğriler Şekil 2.7'de gösterilmektedir.Sonuçlar, sistemin talebi uygun bir şekilde karşılayabileceğini göstermektedir.

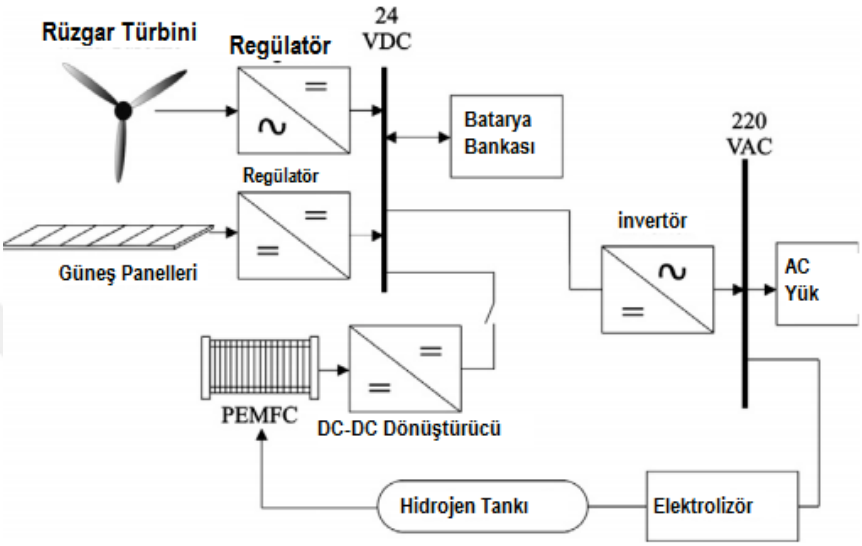


Şekil 2.6.Rüzgar-yakıt hücresi-süper kapasitör hibrit sistemi [16]



Şekil 2.7.Şebekeden bağımsız bir güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sisteminde farklı enerji yönetim stratejilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi [17]

Bu makalede, şebekeden bağımsız enerji üretim sistemlerine uygulanabilen farklı yönetim stratejileri üzerinde durulmuştur. Bu sistemde, PV dizileri ve rüzgar türbinleri birincil enerji kaynakları olarak faaliyet gösterirken, yakıt hücreleri ise yedek enerji kaynağı olarak hareket etmektedir. Yakıt hücresine ek olarak, arzı stabilize etmek için bir pil kullanılmıştır ve bu pilin farklı enerji yönetimi stratejilerindeki verimliliği ölçülmüştür. Bu sistem Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



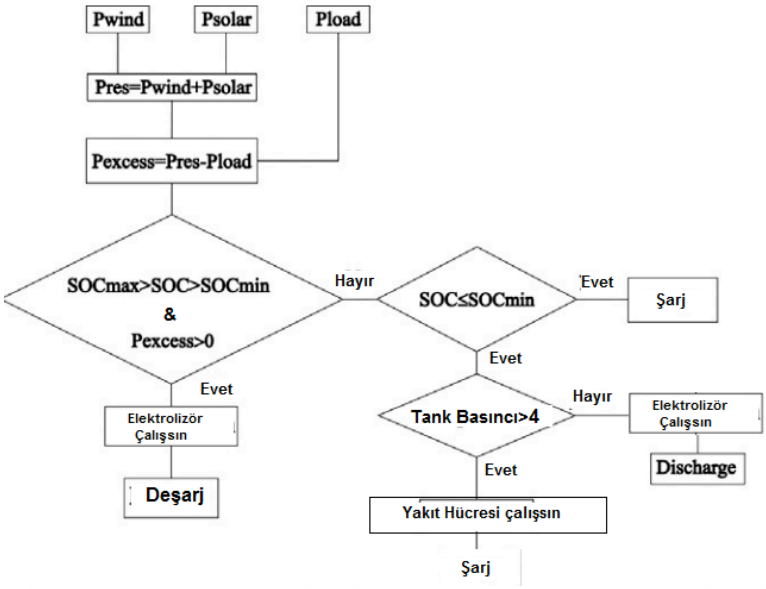
Şekil 2.8. [17] 'de incelenen güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sistemi

Pilde depolanan enerji ile pil akımı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

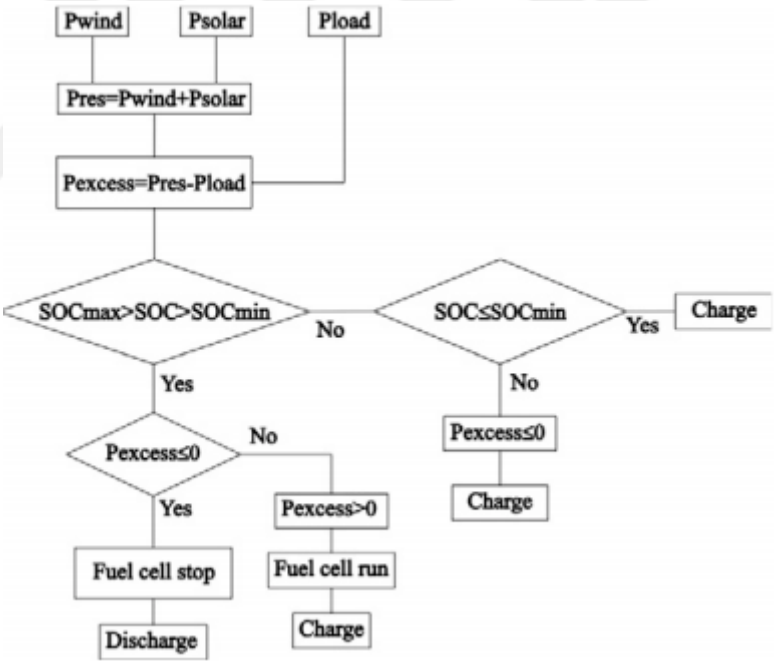
$$SOC = SOC_0 + \int_{t0}^{t} \left(\frac{I_{bat}}{Cap_{bat}}\right) dt \tag{2-9}$$

$$I_{bat} = \frac{P_{pv}\eta_{reg1} + P_{wind}\eta_{reg2} - \frac{P_{dem}}{\eta_{inverter}}}{V_{bat}} \tag{2-10}$$

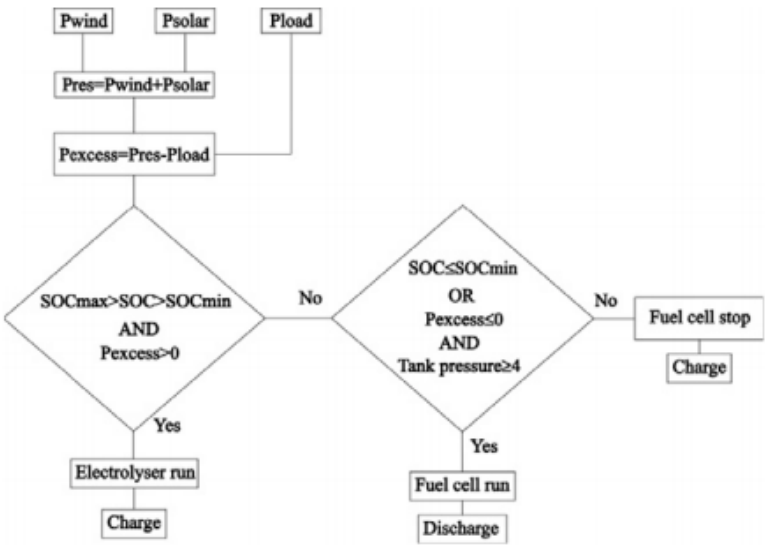
Birincil ve yedek kaynakları kullanan enerji yönetimi stratejileri Şekil 2.9 ila 2.12'de gösterilmektedir. Şekil 2.13 ve 2.14'te verilen simülasyon sonuçları, bu kaynakların ihtiyaç duyulan arzı karşılamak için birlikte nasıl kullanıldığını göstermektedir.



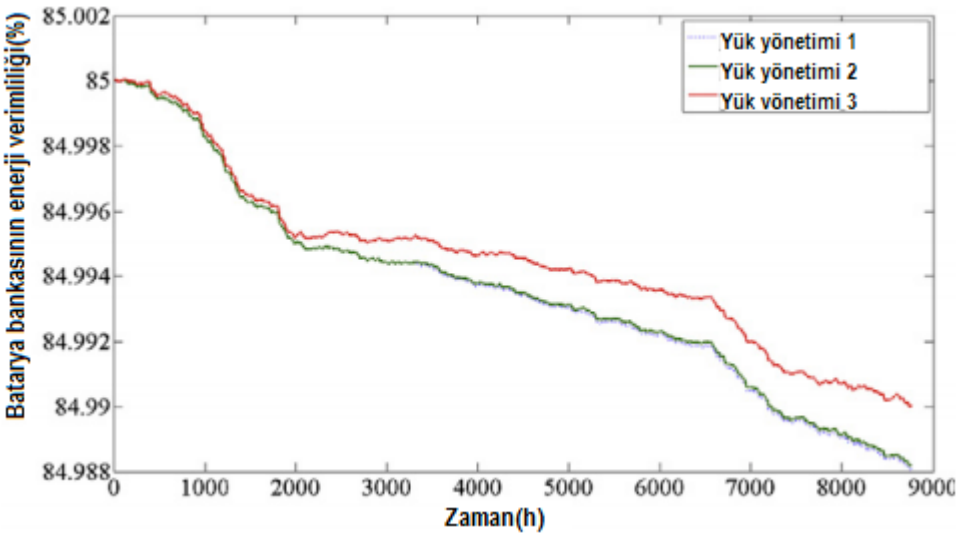
Şekil 2.9. İlk enerji yönetimi stratejisi [17]



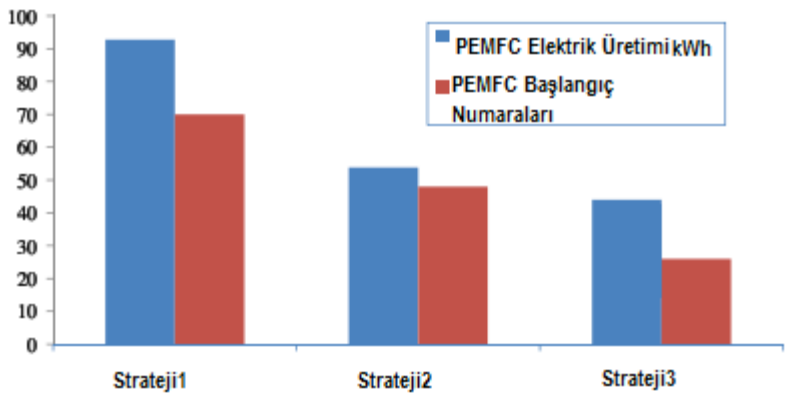
Şekil 2.10. İkinci enerji yönetimi stratejisi [17]



Şekil 2.11. Üçüncü enerji yönetimi stratejisi [17]



Şekil 2.12. İncelenen üç stratejideki pilin yıllık verimliliğinin karşılaştırması [17]



Şekil 2.13. Yakıt hücresi enerji çıkışı ve her stratejide devreye alma sayısı [17]

Sonuçlar, PV dizileri ve rüzgar türbinleri tarafından tek başına üretilen enerjinin yük talebini karşılayamadığını ve yardımcı bir kaynağa ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Burada, pil şarj ve deşarj oranı yakıt hücresi performansını belirleyebilmektedir.

Rüzgar-güneş hibrit enerji üretim sistemlerinin kapasite optimizasyonu için yeni bir yöntem [18]

Bu çalışma, güneş-rüzgar hibrit enerji üretim sistemlerinin optimal kapasitesini belirlemek ve bu sistemlerde kullanılan bileşenlerin boyutunu, pillerin boyutuna özel önem verilerek optimize etmek için bir model önermiştir. Hibrit Güneş-Rüzgar Sistemi Optimizasyonu (HSWSO) adlı önerilen model üç bölümden oluşmaktadır: i. Hibrit sistemin modeli, ii. Enerji Arzı Kaybı Olasılığına (LPSP) ilişkin model ve iii. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetine (LCE) ilişkin model.

LSPS modeli, Belirli amaç fonksiyonları vasıtasıyla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=0}^{Güç\ KaybıZamanı} P_{Karşılanan}(t) < P_{Gerekli}(t))}{N_h} \tag{2-11}$$

Burada N_h zaman aralıklarının sayısıdır. Bu esnada, gereken enerji şu şekilde tanımlanmıştır:

$$P_{Gerekli}(t) = \frac{P_{yük}(t)}{\eta_{invertör}(t)} \tag{2-12}$$

Ve enerji üretimi potansiyeli şöyledir:

$$P_{Karşılanan}(t) = P_{pv}(t,\gamma,\beta) + P_w(t,h) + c.V_{bat}(t) \tag{2-13}$$

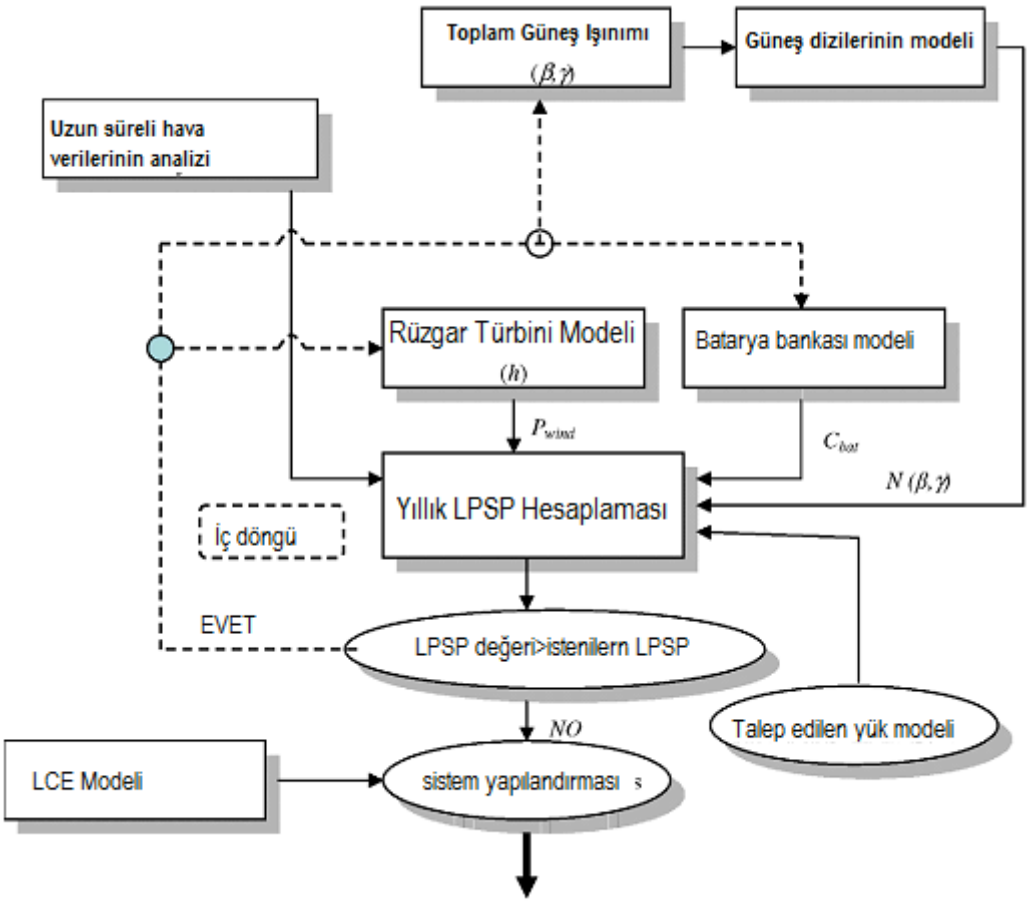
$$MIN\left[I_{bat,Max} = \frac{0.2C_{bat}}{\Delta t}, \frac{C_{bat}.(SOC(t).\sigma - SOC_{min})}{\frac{0.2C_{bat}}{\Delta t}}\right] \tag{2-14}$$

Burada c sabittir ve pil şarj modunda değeri 0 iken pil deşarj modunda değeri 1'dir. LPSP'ye dayalı amaç fonksiyonu kullanılarak, belirli bir yük için arzu edilen güvenilirliği sağlamak üzere önerilen sistem optimize edilebilir.

Bu makalede tanımlanan LCE modeli aşağıdaki gibidir:

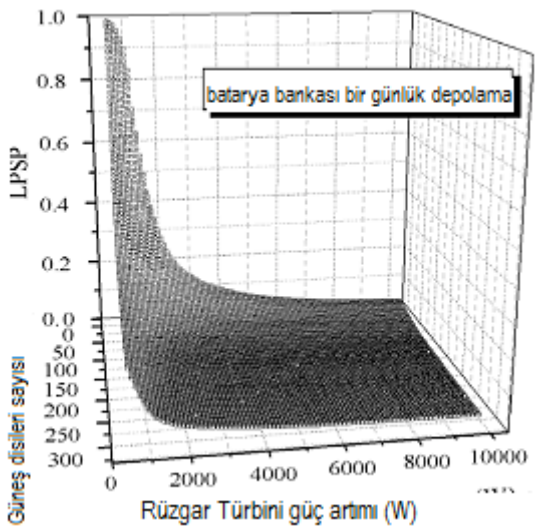
$$LCE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(\frac{CO_i}{y_i})}{E_{an}} = \frac{\frac{CO_{PV}}{y_{PV}} + \frac{CO_W}{y_W} + CO_{Bat}/y_{Bat}}{E_{an}(\gamma,\beta,h)} \tag{2-15}$$

LCE'nin $ / kWs'de olduğu durumlarda COpv, PV sisteminin ömrü boyunca sermaye maliyetleri ve bakım maliyetlerinin toplamıdır; COW, türbinlerin ömrü boyunca sermaye maliyetleri ve bakım ya da değiştirme maliyetlerinin toplamıdır; CObat, pil şarj ünitelerinin sermaye maliyetleri ve bakım maliyetlerinin toplamıdır. Şekil 2.14'teki akış şeması, HSWSO modelinin genel sürecini göstermektedir.

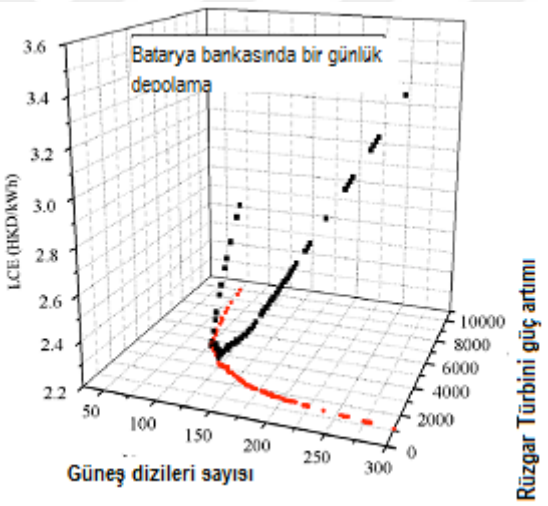


Şekil 2.14. HSWSO Akış Şeması [18]

Bu makale aynı zamanda sistem güvenilirliği ile sistem yapısı ve bileşenleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve farklı güvenilirlik düzeylerine dayalı hibrit sistemin optimal yapısını sunmuştur. Şekil 2.16, LPSP (veya sistem güvenilirliği) ile sistem yapısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekil, düşük LPSP değerlerine sahip çoğu güneş modülü ve türbin yapısının, arsa merkez bölgesi yakınında konumlandırıldığını açıkça göstermektedir.



Şekil 2.15. 1 Günlük Depolama Pili için bileşenlerin boyutuna karşı sistem güvenilirliği [18].



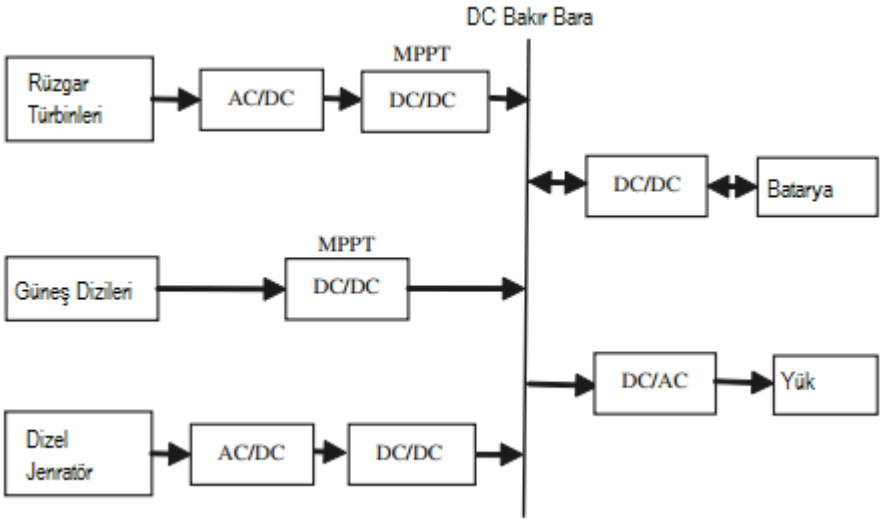
Şekil 2.16. %1 LPSP için bileşenlerin boyutuna karşı LCE sistemi [18]

Şekil 2.17'ye göre, her bir eğri, arzu edilen LPSP ve arzu edilen pil depolama özellikleri için en iyi yapı ihtimalini temsil eden bir minimum LCE noktasına sahiptir.

Rüzgar-güneş-dizel hibrit enerji üretim ünitesinin optimal boyutlandırılması [19]

Bu makale, bileşenlerin optimal sayısını ve türünü belirlemek için Belirli bir algoritma kullanan, şebekeden bağımsız bir rüzgar / güneş / dizel hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması için bir yöntem sunmuştur. Bu çalışmada kullanılan hibrit sistem Şekil

2.17'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere bu sistem PV panelleri, rüzgar türbinleri, bir dizel jeneratör ve bir dizi pil içermektedir. Bu tür sistemler, uzak bölgelerde elektrik enerjisinin verimli bir şekilde sağlanması için en etkili çözümlerden biridir.



Şekil 2.17. [19]'daincelenen sistem

Çoklu araştırmalar, doğrudan algoritmanın optimizasyon probleminin en iyi çözümünü bulmada en etkili Belirli algoritma olduğunu önermektedir. Bu algoritmanın amaç fonksiyonu genel olarak aşağıdaki formül aracılığıyla tanımlanabilir:

$$\begin{cases} \min f_i(x) & i \in [1,n] \\ h_k(x) = 0 & k \in [1,p] \\ g_j(x) >= 0 & j = [1,q] \\ x_l \le x \le x_u \end{cases} \tag{2-16}$$

Burada; f, amaç fonksiyonudur; h_k ve g_j ise sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarıdır. Bu makalede amaç fonksiyonu, STC (x) ile gösterilen hibrit sistemin tüm maliyetlerinin toplamı olarak tanımlanmıştır. Bu toplam maliyet; büyük masraflardan kaynaklanan CT(x), bakımdan kaynaklanan masraflar CM(x), bileşen montajından kaynaklanan maliyetler C1(x) ve dizel jeneratörün toplam maliyetine ilişkin fonksiyondan oluşan CT,D dört alt kategoriden oluşmaktadır. Bu nedenle, araştırmanın amaç fonksiyonu şöyledir:

$$\min STC(x) = \min\{C_A(x) + C_M(x) + C_1(x) + C_{r,D}(x)\} \tag{2-17}$$

Burada x, hibrit sistem bileşenleri kapasitesinin vektörüdür. Eşitlik ve eşitsizlik kısıtları, incelenen sisteme eklendiğinde şu sonuçlar elde edilmektedir:

$$\begin{cases} \min STC(x) = \min\left\{C_A(x) + C_M(x) + C_1(x) + C_{r,D}(x)\right\} \qquad i \in [1,n] \\ where \quad x = \left\{N^i_{PV,p}, N^j_{WT}, N^k{}_{BAT,p}\right\} \\ P_p(t) = P_L(t) \\ SOC(t) \geq SOC_{\min} \\ SOC(t) \leq SOC_{\max} \\ 0 \leq N^i_{PV,p} \leq N^i_{PV,p\max} \\ 0 \leq N^j_{WT} \leq N^j_{WT\max} \\ 0 \leq N^k{}_{BAT,p} \leq N^k{}_{BAT,p\max} \end{cases} \tag{2-18}$$

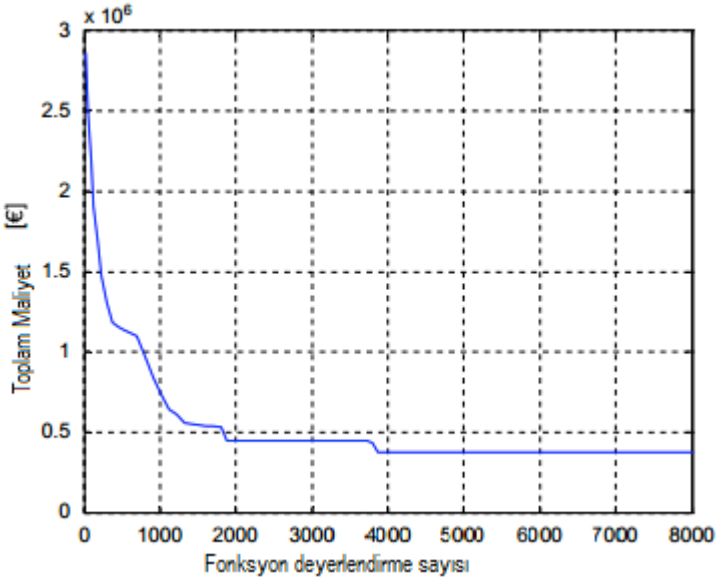
Bu araştırma, simülasyon için saatlik bazda kaydedilen yarım yıl değerinde rüzgar hızı, güneş ışını ve sıcaklık verilerini kullanmıştır. Toplam maliyet fonksiyonunun minimizasyonu, hibrit sistem için uygun bir konfigürasyon aranarak izlenmiştir. Değerlendirilen hibrit sistemlerin (pilli ve pilsiz) optimal kapasitesine ilişkin sonuçlar Çizelgeler2.5 ve 2.6'de gösterilmektedir. Bu Çizelgelerfarklı bileşenlerin listesini, sayılarını ve ilgili maliyetlerini göstermektedir. Şekil 2.18 ve 2.19, hibrit sistemi pille / pilsiz optimize etme sürecindeki maliyet varyasyonlarını göstermektedir. Simülasyon sonuçları, hibrit sistemin maliyetini göz önünde bulundurularak, uzak bölgelere hesaplı enerji sağlamada önemli bir rol oynayabileceğini açıkça göstermektedir.Bu çalışmanın yazarları, optimizasyon için uzun vadeli parametrelerin kullanılması ile elde edilen daha yüksek verimlilik üzerine vurgu yapmış ve şebekeden bağımsız pilli / pilsiz rüzgar-güneş-dizel hibrit sistemlerin, uzak bölgelerde enerji üretimindemaliyet açısından verimli bir teknik olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çizelge2-5.Hibrit sistemin pil ile birlikte optimal yapısı ve maliyeti [19]

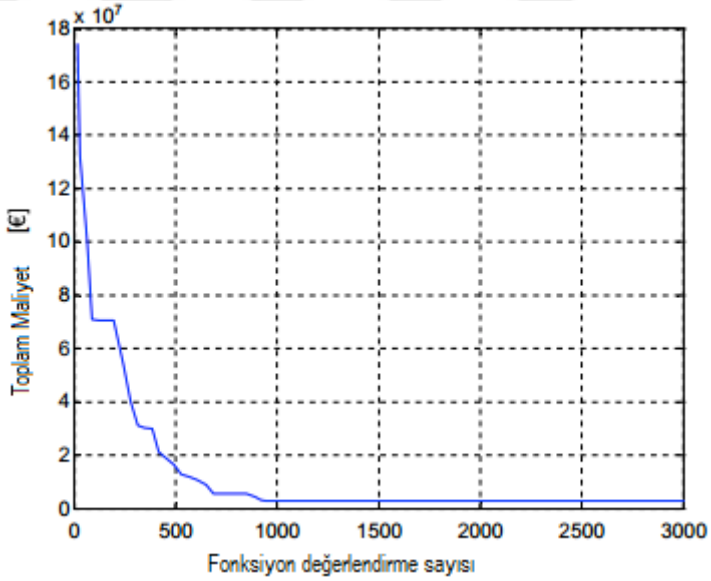
Tür	1	2	3	4
$N_{pv.p(Güneş\ paneli\ sayısı)}$	2	9	1	0
$N_{WT(Rüzgar\ Türbini\ Sayısı)}$	5	3	3	2
Maliyet (sab.€)	388.540	-	-	-

Çizelge2-6.Hibrit sistemin pil olmaksızın optimal yapısı ve maliyeti [19]

Tür	1	2	3	4
$N_{pv.p(Güneş\ paneli\ sayısı)}$	45	9	11	17
$N_{WT(Rüzgar\ Türbini\ Sayısı)}$	0	0	0	0
Maliyet (sab.€)	2.9775×10^{3}	-	-	-



Şekil 2.18. Hibrit sistemin pil ile birlikte doğrudan optimizasyonu sonrasında toplam maliyet [19]

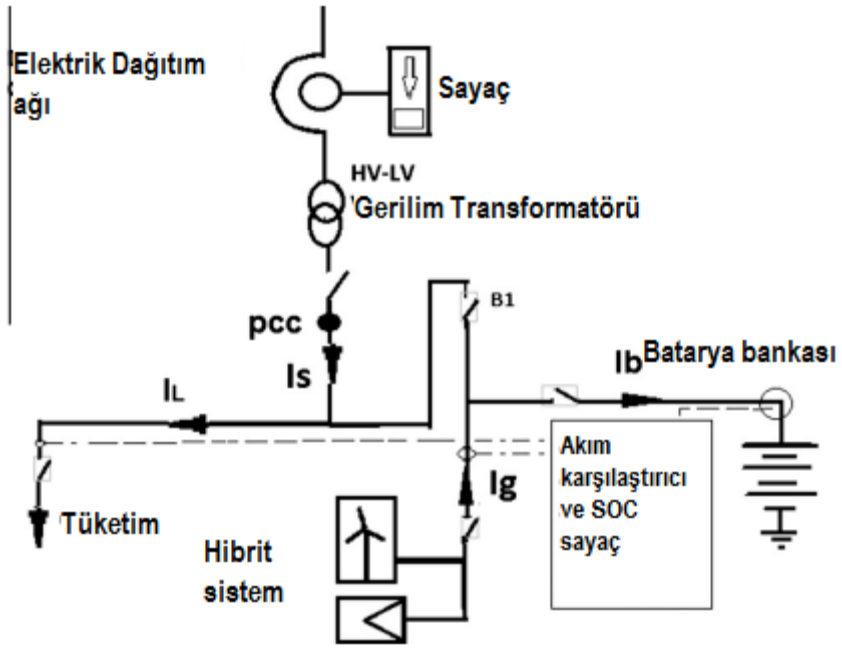


Şekil 2.19. Hibrit sistemin pil olmadan doğrudan optimizasyonu sonrasında toplam maliyet[19]

Daha iyi pil tasarrufu ve ağ etkileşimi için rüzgar-güneş hibrit sisteminin boyutlandırılması kriterleri [20]

Bu makalenin amacı, şebeke dışı bir yerel yük sağlayan pil depoları tarafından desteklenen şebekeye bağlı rüzgar-güneş hibrit sisteminde boyutlandırma parametrelerinin etkisini

araştırmaktı. İncelenensistemin yapısı Şekil 2.20'de gösterilmektedir. Bu çalışmada kapasite belirleyicisi, yıllık yenilenebilir enerji üretimi / tüketimi oranı olarak tanımlanmıştır ve rüzgar enerjisinin, güneş enerjisinin ve pillerin katkısını kapsamaktadır.



Şekil 2.20. [20]'de kullanılan şebekeye bağlı yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin yapısı

Tanımlanmış kriterlere dayanarak, bu çalışma, bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin (rüzgar ve güneş kaynaklarından oluşan) kapasite belirleyicisinin ve pil kapasitesinin, elektrik enerjisinin şebekeye enjeksiyonunu / şebekeden emilimini nasıl etkilediğini belirlemeye çalışmıştır. Bu makalenin yazarları, simülasyon için gerçek bir sistemin bir Matlab modelinden faydalanmış, rüzgar ve güneş enerjisi kaynakları tarafından üretilen yıllık enerjiyi de bu modelin girdisi olarak kullanmıştır. Daha sonra, gerekli enerji miktarını tahmin etmek için REE verisini kullanarak, aşağıdakileri içeren bir dizi endeks tanımlamışlardır:

Yıllık enerji emilimi (AEA):

$$AEA(\%) = \frac{\sum_{h=1}^{8760} \left| E_{s,h}(E_{s,h} < 0) \right|}{\sum_{h=1}^{8760} \left| E_{L,h} \right|} \times 100 \tag{2-19}$$

Burada $E_{s,h}$ şebekeden emilen enerji miktarını, s saniye, h saat cinsinden;

$$AEA(\%) = \frac{\sum_{h=1}^{8760} 3RI_{s,h}^2}{\sum_{h=1}^{8760} 3RI_{L,h}^2} = \frac{\sum_{h=1}^{8760} E_{s,h}^2}{\sum_{h=1}^{8760} E_{L,h}^2} \tag{2-20}$$

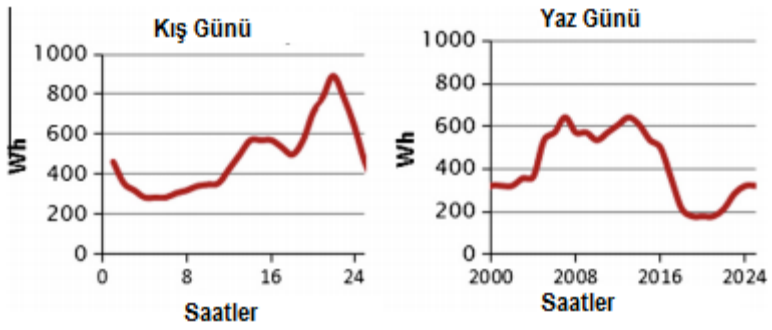
$$AEA(\%) = \frac{\sum_{h=1}^{8760} \left| E_{s,h}(E_{s,h} > 0) \right|}{\sum_{h=1}^{8760} \left| E_{L,h} \right|} \times 100 \tag{2-21}$$

Yıllık enerji enjeksiyonu (AEI):

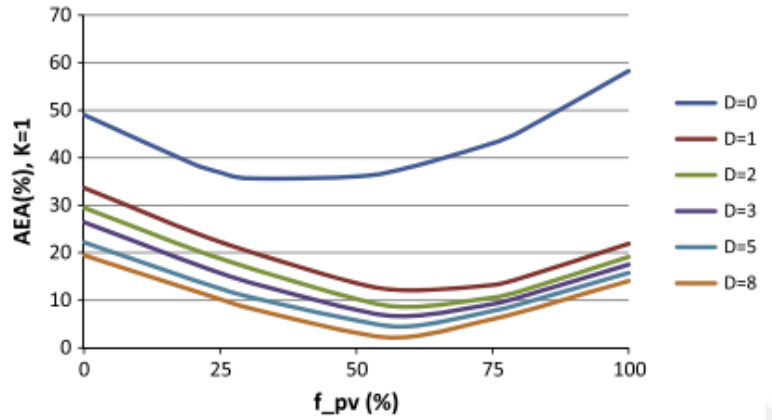
İletken kaybı oranı (RCL):

Ayrıca genelleştirilmiş yük faktörü (GLS) ve net yük akım eğrisi (NLDC) gibi diğer endeksleri de kullanmışlardır.

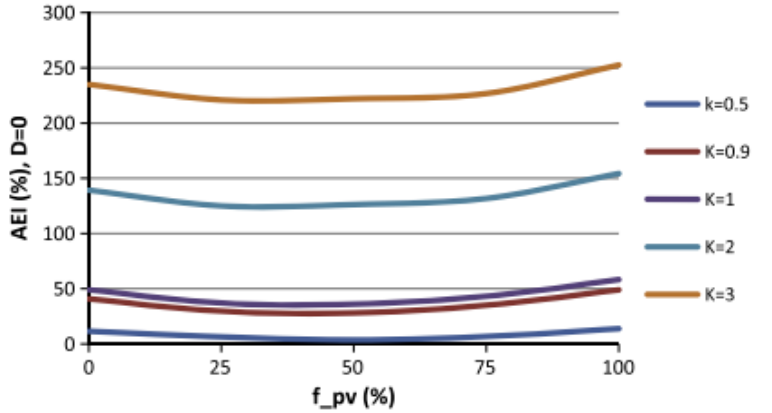
Bu araştırmada, İspanya'da bir bölgeye ilişkin konut yükü akım eğrisi üzerinde yapılan bir vaka çalışması da sunulmuştur. Bu sistemin yük eğrisi Şekil 2.21'de gösterilmektedir. Önerilen beş endeks için elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 2.22 ila 2.26 arasında gösterilmektedir.



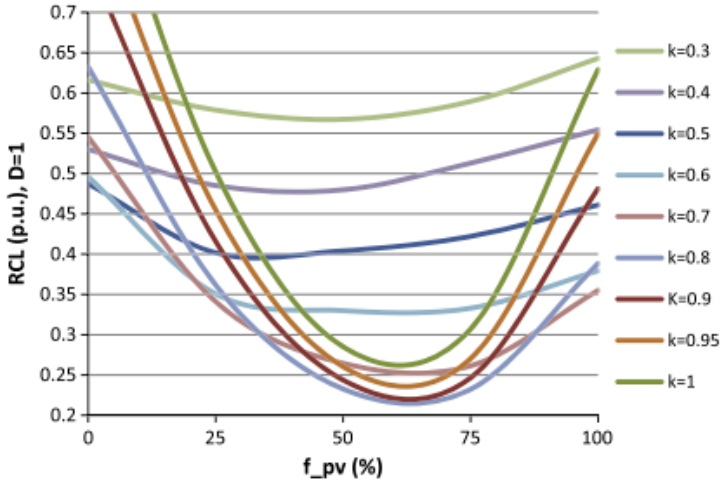
Şekil 2.21. [20]'de incelenen sistem için günlük yük eğrisi



Şekil 2.22. Farklı pil boyutları için AEA endeksinin değeri [20]

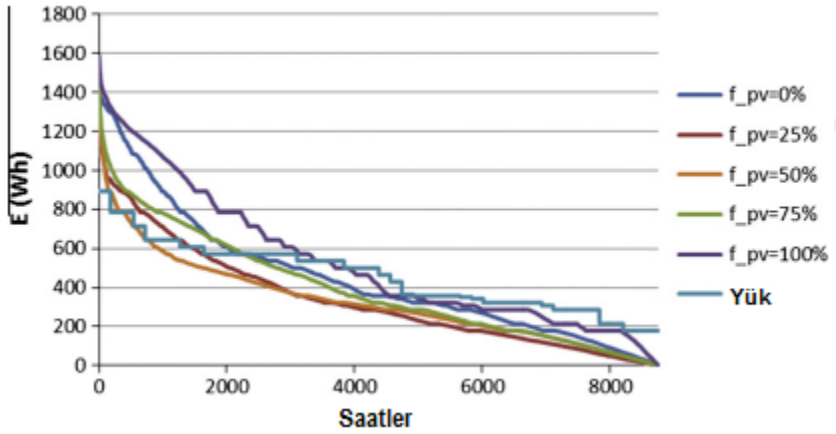


Şekil 2.23. Farklı boyut faktörleri için AEI endeksinin değeri [20]



Şekil 2.24. Farklı boyut faktörleri için RCL endeksinin değeri [20]

Şekil 2.25. PV dizilerinin enerji üretimine farklı katkısı için GLF endeksinin değeri [20]

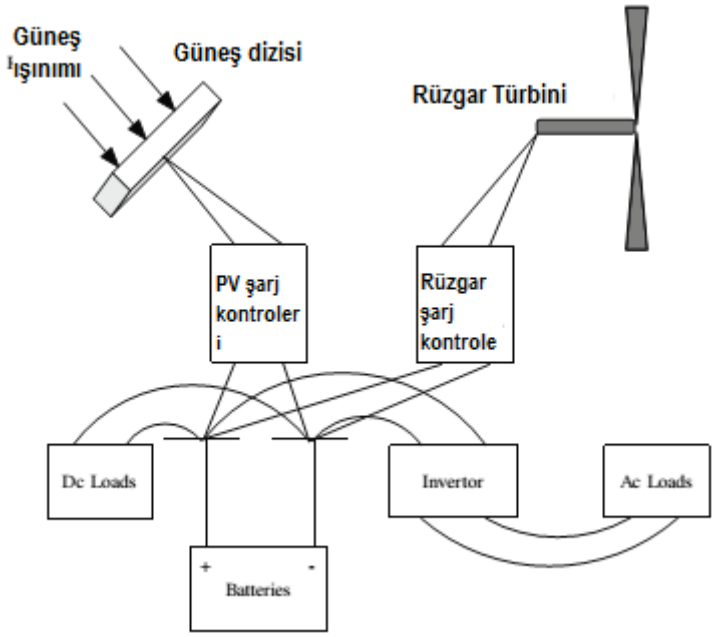


Şekil 2.26. PV dizilerinin enerji üretimine farklı katkısı için NLDC endeksinin değeri [20]

Hibrit sistemlerin boyutlandırılması için yeni bir yöntem (rüzgar-PV) [21]

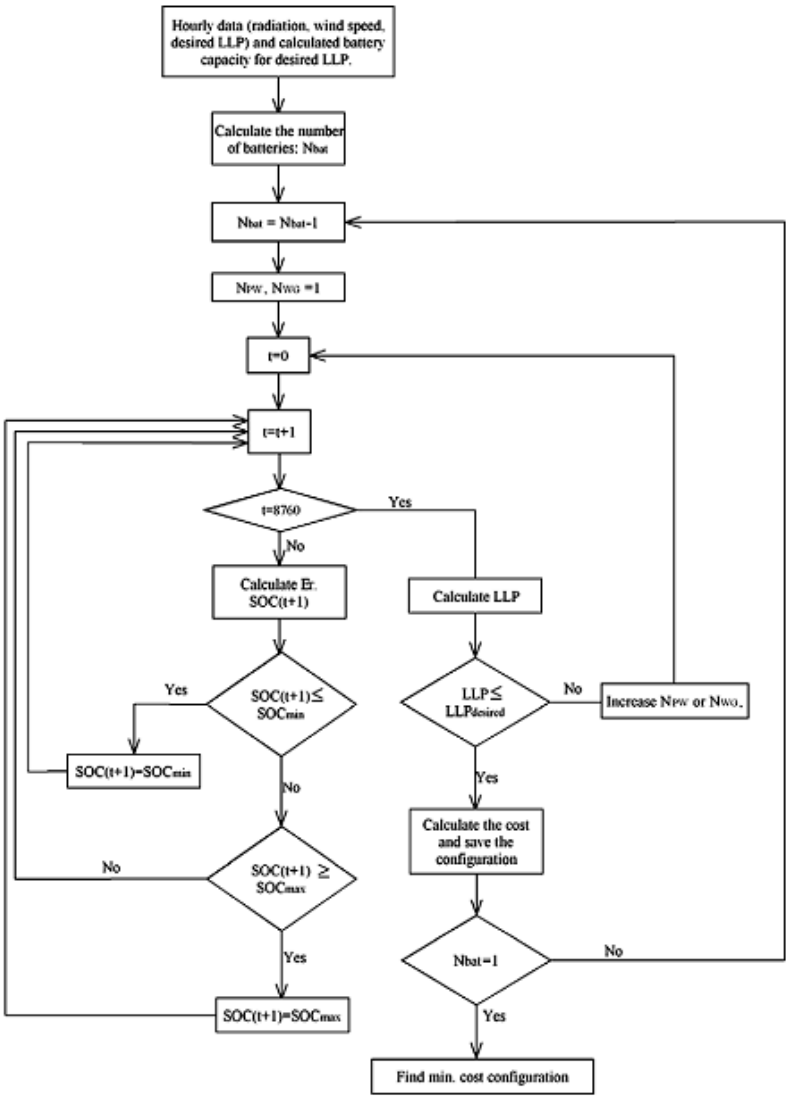
Bu makalede yazarlar önce rüzgar-PV hibrit sistemlerinin maliyetlerini en aza indirgemek için PV panellerinin ve rüzgar türbinlerinin optimal sayısını belirlemenin önemini yinelemiş, ardından enerji üretimi / tüketim süreci üzerine yeni bir açıklama getirmiş ve nihayetinde yeni bir boyutlandırma yöntemi geliştirmişlerdir. Daha sonra, sonuç olarak iyi bir

hassasiyetle proje maliyetlerini en aza indirgemek için, pillerin optimal boyutu ile PV panellerinin ve rüzgar türbinlerinin optimal sayısını elde etmek için bu yöntemi kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan hibrit sistem Şekil 2.27'de gösterilmektedir.



Şekil 2.27. [21]'de incelenen rüzgar-PV hibrit sisteminin grafiği

Şekil 2.28, rüzgar-PV hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması için bu makalede önerilen yöntemin akış şemasını göstermektedir. Bu akış şemasından görülebileceği gibi, yazarlar pil depolarının durumuna göre iki farklı model oluşturmuştur.



Şekil 2.28. Rüzgar-PV hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması için önerilen yöntemin akış şeması [21]

İlk model, şarj durumu (SOC) için geleneksel matematiksel modeldir. Bu model aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$SOC(t) = SOC(t-1)(1-\sigma) + \left(N_{Wg} E_{Gw}(t) + N_{PV} E_{GP}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} \right) \eta_{bat} \quad (2\text{-}22)$$

Burada$SOC_{(t)}$ ve $SOC_{(t-1)}$, t ve t-1 zamanlarındaki pil durumlarıdır. $N_{W}g$, N_{PV}, E_{GW} ve E_{GP} sırasıyla rüzgar türbinleri sayısını, PV panelleri sayısını, rüzgar türbinleri tarafından üretilen enerjiyi ve PV panelleri tarafından üretilen enerjiyi ifade etmektedir.İkinci model pil için önerilen matematiksel modeldir. Bu makalenin yazarları, aşağıda gösterilen modeli geliştirmek için bir Yük Kaybı Olasılığı (LLP) temelli bir yaklaşım kullanmışlardır:

$$LLP = \frac{\#\left(\sum_{t=1}^{\tau}\left(E_{Gw}(t) + E_{GP}(t) - E_{LD}(t)\right)\right) \prec 0}{T} \tag{2-23}$$

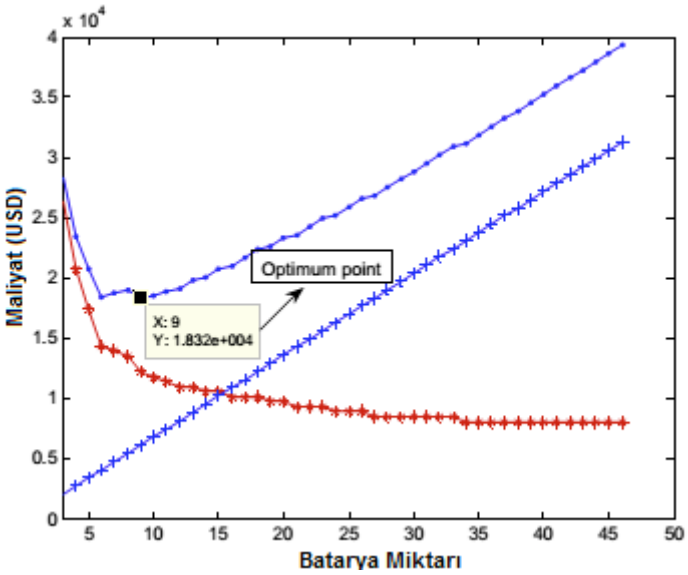
Burada E_{LD} ve T, yük talebinin enerjisidir ve hedef zaman aralığıdır. Bu çalışmada önerilen amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$C_T = N_{Pv}C_{Pv} + N_{Wg}C_{Wg} + N_{Bat}C_{Bat} + RC \tag{2-24}$$

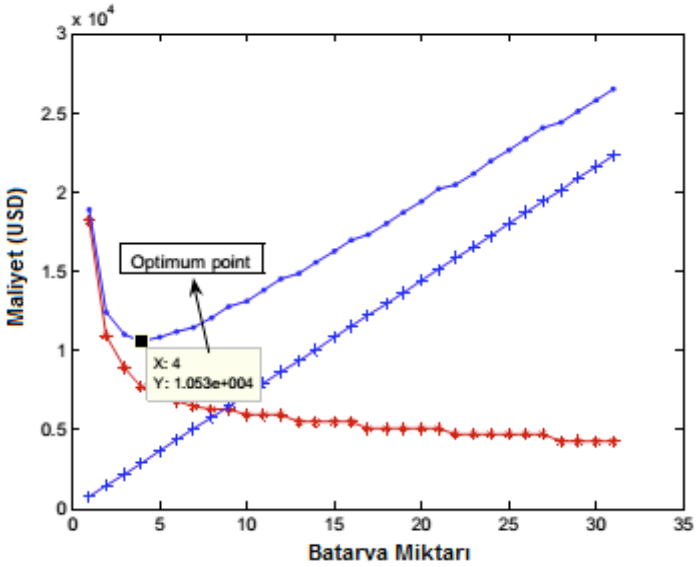
Burada N_{Bat}, C_{Pv}, C_{Wg}, C_{Bat} ve RC sırasıyla pillerin sayısını, PV panellerinin maliyetini (birim başına), rüzgar panellerinin maliyetini (birim başına), pillerin maliyetini (birim başına) ve pil değişiminin maliyetini (ihtiyaç duyulduğunda) temsil eder. Bu optimizasyon süreci iki kısımdan oluşur:

- Sistemin boyutunu hesaplama
- Bileşenlerin maliyetini hesaplama

Çalışmanın sonuçları Şekil 2.29 ve 2.30'da gösterilmiştir. Şekil 2.30'da, her 5 PV panel ve 2 rüzgar türbini için, optimal koşullarda çalışabilmesi adınasistem 9 pile ihtiyaç duyacaktır. Şekil 2.30'da, her 3 PV paneli ve 1 rüzgar türbini için optimal pil sayısı 4'tür.



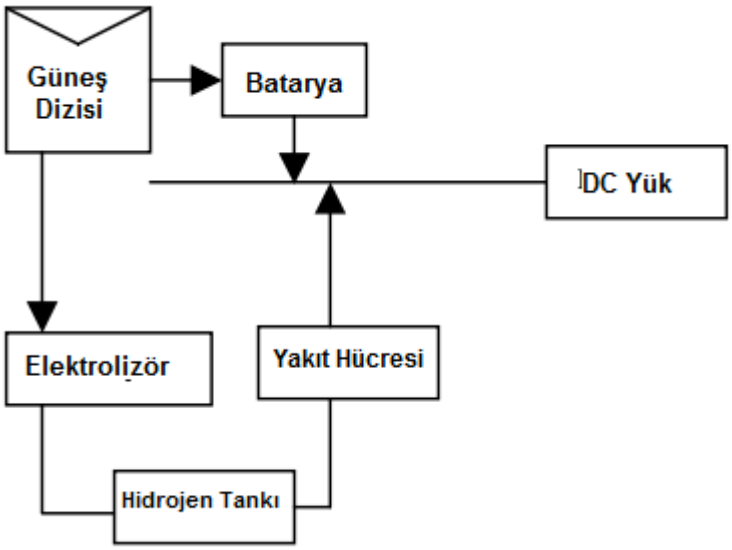
Şekil 2.29. Pillerin sayısına göre maliyet değişiklikleri [21]



Şekil 2.30. Pillerin sayısına göre maliyet değişiklikleri[21]

Güneş-yakıt hücresi hibrit sisteminin optimal dizaynı ve kontrol stratejisi [4]

Bu çalışma, sürekli arz sağlamak için Şekil 2.31'de gösterilen düzenlemede PV dizileri, yakıt hücresi, elektrolizör, hidrojen depolama tankları ve pillerden oluşan bir hibrit sistem kullandı.



Şekil 2.31. [4]'te kullanılan hibrit sistem

Güneş ışını yük talebini karşılayacak kadar iyi olduğundasistem yalnızca PV hücrelerini kullanır ve bazen tanklara depolanan hidrojeni üretmek için elektrolizöre fazla enerjinin bir kısmını enjekte eder; diğer kısmını ise pil depolarını şarj etmek için kullanır.

Güneş enerjisi tek başına talebi karşılayamadığında sistem arz açığını karşılamak için yakıt hücrelerini ve pilleri destek unsurları olarak kullanır; bu durumda yakıt hücreleri daha önceden tanklarda depolanan hidrojeni tüketmeye başlar. Bu makalede, yakıt hücresi tarafından üretilen güç pili şarj etmek için de kullanılabilir.

Bu çalışmanın sonuçları, yakıt hücresinin kış aylarında güneş ışığının azalması sonucunda oluşan arz açığını kapatmak için kullanılması ve yılın geri kalan kısmında PV hücrelerinin ve pillerin gereken enerjiyi sağlaması gerektiğini göstermektedir.

Güneş-yakıt hücresi-biyogaz-elektrolizör hibrit güç üretim sistemi [10]

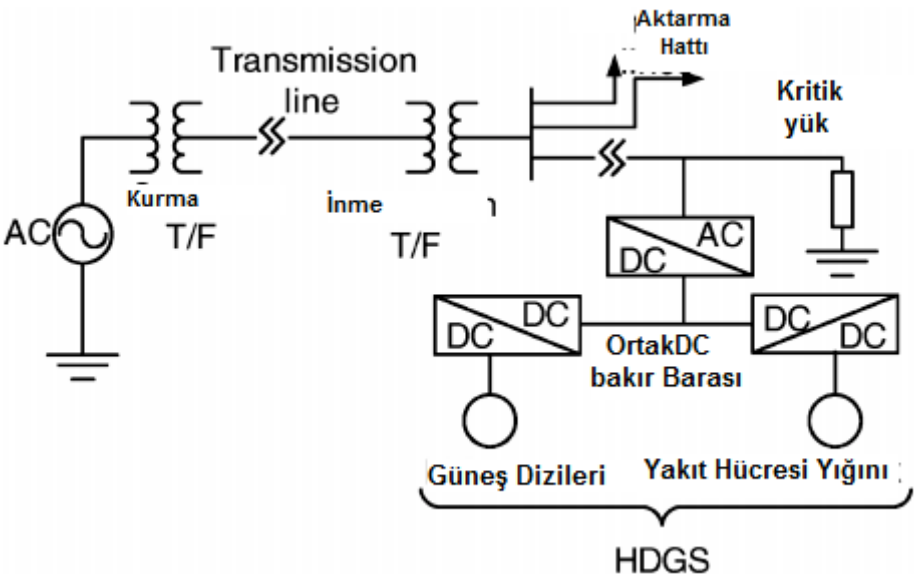
Bu makalede incelenen hibrit sistem bileşenleri arasında PV hücresi, Proton değişimli membranı (PEM) yakıt hücresi, elektrolizör, hidrojen depolama tankı, biyogaz ısıtıcı, DC/AC dönüştürücü ve ısı eşanjörü/değiştirici bulunmaktadır. Bu yakıt hücresi direkt olarak elektrolizörle üretilen hidrojenle veya bir buhar dönüştürücü ile güç üretir. Bu araştırmada,

tanımlanan hibrit sistemin, 3 katlı bir bina tarafından ihtiyaç duyulan elektrik ve ısı enerjisini sağlama performansı incelenmiştir.

Bu sistemi değerlendirmek için sistemin dinamik modeli ve tasarımı MATLAB yazılımı ile geliştirilmiştir. Bu şema birincil enerji kaynağı olarak PV diziini kullanır, aşırı enerjiyi elektrolizöre yönlendirir, üretilen hidrojeni tanklarda depolar ve ihtiyaç duyulduğunda bu hidrojeni veya buhar dönüştürücü tarafından sağlanan hidrojeni yakıt hücresine yönlendirmektedir.

Güneş-yakıt hücresi-pil hibrit sistemi [10]

Bu çalışmada, Şekil 2.32'de gösterildiği üzere PV hücresi, yakıt hücresi, pil ve elektrolizörden oluşan bir hibrit sistem incelenmiştir.



Şekil 2.32. [10]'da incelenen hibrit sistem

Burada, PV hücresi birincil enerji kaynağı olarak hareket etmektedir; böylece yalnız-PV modunda, sistem sadece PV hücreleri tarafından üretilen enerjiyle yük talebini karşılar ve fazla enerjiyi pilleri şarj etmek için kullanır veya hidrojen üretmek için elektrolizöre enjekte eder.

PV-FC modunda, PV hücresi tek başına talebi karşılayamaz ve yakıt hücresi enerji üretimine katkıda bulunmak için bir tankta depolanan hidrojeni tüketir. Yalnız-FC modunda, güneş

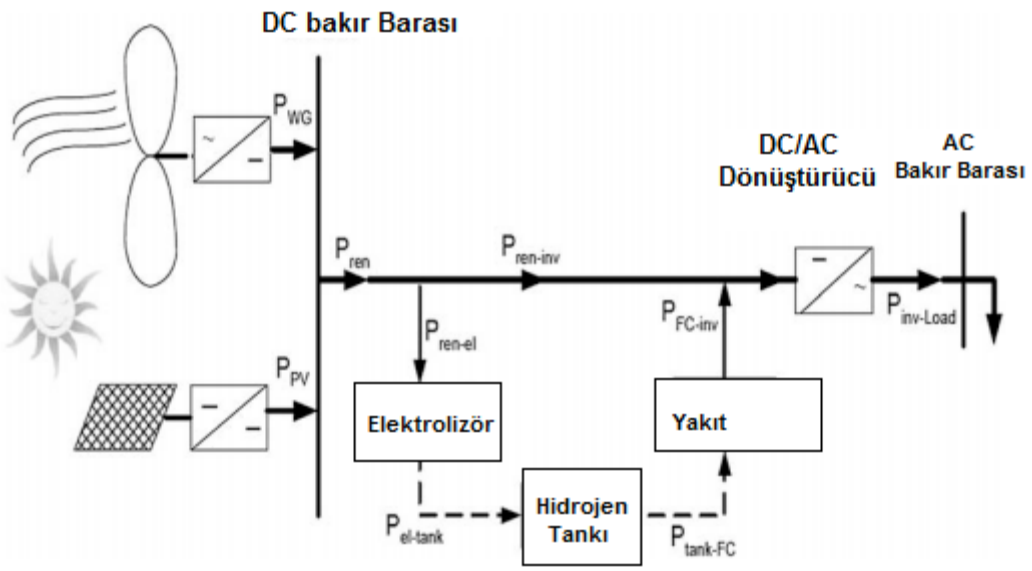
ışığının eksikliği (veya yetersizliği) güneş enerjisi üretimini engeller ve sistem enerji üretmek için tümüyle depolanmış hidrojene ve yakıt hücresine dayanmaktadır. Bu makalede aynı zamanda sürekli enerji arzını sağlamayı amaçlayan bir kontrol stratejisi sağlamıştır.

Direkt Metanol Yakıt Hücresinin (DMFC) güvenilirlik ve hassasiyet analizi [22]

Bu makalede, Direkt Metanol Yakıt Hücresinin (DMFC) güvenilirliğini, bileşenlerin tamir edilemez olduğu varsayımıyla incelemiştir. Bu sistem için bir güvenilirlik blok diyagramı (RBD) geliştirilmiştir ve güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. RBD, bileşenler ile alt bileşenler arasındaki etkileşimleri ve bunların incelenen sistemin genel güvenilirliği üzerindeki etkilerini gösteren grafiksel ve matematiksel bir model sağlamaktadır. DMFC'nin RBD'sini geliştirirken, bu makalenin yazarları her donanımın arıza durumunu bağımsız olarak ele almaktadır; bu durum, bir donanım arızasının diğer donanımların çalışmasını etkilemediği anlamına gelmektedir. Bu çalışma aynı zamanda her bir bileşenin hücrenin toplam güvenilirliği üzerindeki etkisini ölçmek için bir hassasiyet analizi gerçekleştirmiştir ve güvenilirliğin artırılmasını kolaylaştırmak için kritik donanımı tanımlamıştır. Bu çalışmanın hassasiyet analizi bölümünde, DMFC kümesinin, sistem güvenilirliği açısından en kritik bileşeni olduğunu bildirmiş ve her bir bileşen ile yakıt hücresinin tamamı için güvenilirlik varyasyonlarını sunmuştur.

Donanım arızasına karşı sağlam, şebekeden bağımsız güvenilir rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin optimal tasarımı [23]

Şekil 2.33, bu makalede önerilen sistemi göstermektedir.



Şekil 2.33. [23]'te incelenen hibrit sistem

Bu makalede kullanılan amaç fonksiyonu, 20 yıllık bir sürede yatırımın net şimdiki değerinden, bakım maliyetinden ve VoLL'den türetilen bir değeri minimuma indirmeye çalışmaktadır; bu amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir:

$$J = \min_{X} \left\{ \sum_{i} NPC_i + NPC_{loss} \right\} \tag{2-25}$$

PV dizilerinin sayısını, PV panellerinin açısını ve hidrojen tankında depolanan enerjiyi içeren bu optimizasyon probleminin kısıtları aşağıda gösterilmiştir:

$$0 \le N_i \tag{2-26}$$

$$0 \le \theta_{PV} \le \pi/2 \tag{2-27}$$

$$E_{tank}(0) \le E_{tank}(8760) \tag{2-28}$$

PV hücreleri ve rüzgar türbinleri tarafından üretilen enerji yük talebini aştığında, sistem bu fazla enerjiyi bir elektrolizöre enjekte eder ve devamında üretilen hidrojeni bir hidrojen depolama tankına enjekte eder. Bu tank basınçlı hidrojeni tutar ve gerektiğinde güç üretmek için bir yakıt hücresine enjekte eder. PV hücreleri ve rüzgar türbinleri tarafından üretilen enerji yük talebini karşılayamadığında, sistem tanktan yakıt hücresine hidrojen enjekte eder ve arz açığını kapatmak için üretilmiş olangücü kullanır.Bununla birlikte, arz ve talep arasındaki fark yakıt hücresinin nominal kapasitesinden daha büyük olduğunda veya bu farkı karşılayacak yeterli hidrojen olmadığında, yükün bir kısmı kesilir ve VoLL cezası ödenmelidir.

Bu simülasyon, bir yıl boyunca ve bir saatlik zaman adımıyla gerçekleştirilmiş ve ardından güvenilirlik-maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Rüzgâr ve güneş ışığındaki yük artışı ve belirsizlikler göz ardı edilmiş ve 20 yıllık bir süre için sonuçları genelleştirmek adına ekonomik faktörler yeniden değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.7 ve 2.8, PSO tarafından elde edilen optimizasyon sonuçlarını göstermekte ve optimum sistem kurulumunu, güvenilirlik faktörlerini ve maliyet göstergelerini sağlamaktadır.

Çizelge2-7. Optimal sistem kurulumu [23]

N_{WG}	N_{PV}	P_{Ele}	M_{Tank}	P_{FC}	P_{Inv}	θ_{PV}
8	224	119.44	144.19	43.431	46.725	34.129

Çizelge2-8.Güvenilirlik ve maliyet faktörlerinin değerleri [23]

J (1000×ABD $/yıl)	Yatırım Maliyeti (Milyon$)	AC_{loss} (1000×ABD$/yr)	ELF	LOEE (MWs/yıl)	LPSP	LOLE (s/yıl)
250.41	2.321	13.287	0.00836036	2.37266702	0.00881527	335.962849

Güvenilirlik endekslerine ağırlık verilerek bir güneş rüzgar hibrit sisteminin optimal boyutlandırılması [19]

Bu makale, optimal güvenilirliğe sahip yükü tedarik etmek ve 20 yıllık bir sürede elektrik üretim maliyetlerini en aza indirmek için rüzgar türbinleri, PV hücreleri ve yakıt hücresinden oluşan hibrit bir sistem önermişti, ancak burada sistem güvenilirliği endekslerine özel önem verilmiştir. Bu tasarımda kullanılan amaç fonksiyonu, 20 yıllık bir süre boyunca yatırımın net şimdiki değeri (NPC), bakım maliyeti ve VoLL cezası toplamı olan toplam sistem maliyetini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Optimizasyon için kullanılan güvenilirlik endeksleri beklenen yük kaybını (LOLE), beklenen enerji kaybını (LOEE) ve enerji arzı kaybı olasılığını (LPSP) içermektedir ve bu optimizasyon parçacık sürü optimizasyonu ve armoni araştırmasından oluşan bir hibrit algoritma ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.9, 2.10 ve 2.11 PV dizilerinin sayısı, rüzgar türbinlerinin sayısı, elektrolizör ve hidrojen tankı kapasitesi ve yakıt hücresinin enerji üretim kapasitesi dahil olmak üzere bileşenlerin optimize edilmiş boyutlarını göstermektedir.

Çizelge2-9. Donanımın optimal boyutu [19]

N_{WG}	N_{PV}	P_{Ele}	M_{Tank}	P_{FC}	P_{Inv}	θ_{PV}
8	223	119.44	143.24	43.42	45.72	33.12

Çizelge2-10. Ortaya çıkan sistem maliyetleri [19]

Yatırım Maliyeti	$\sum NPC_i$	NPC_{Loss}
2.634 (M$)	2.312 (M$)	0.143 (M$)

Çizelge2-11Ortaya çıkan güvenilirlik endeksleri [19]

ELF	LOLE	LPEE	LPSP
2.67	335.85	2.34	0.00921

Bir Proton Değişimli Membran (PEM) yakıt hücresinin güvenilirliğinin analiz edilmesi ve modellemesi [24]

Bu çalışmada bir konut binasına enerji sağlayan bir yakıt hücresi tesisi araştırılmıştır. Bu tesis 5-KW'lık bir PEM yakıt hücresini, bir buhar dönüştürücüyü, bir pil deposunu ve bir DC/AC dönüştürücüyü içermektedir. Bu pil deposu, arz açığını ihtiyaç duyulduğu üzere kapatmak için destek bileşeni olarak kullanılmıştır. Zaman geçtikçe ve sistem eskidikçe kompresörler, fanlar, pompalar, motorlar, sıcaklık sensörleri ve diğer elektronik kontrol cihazları gibi bileşenlerin başarısız olma olasılığı daha yüksek hale gelir. Dolayısıyla bu çalışma, tanımlanan hücrenin güvenilirliğini incelemek için matematiksel bir model sunmuştur. PEM yakıt hücresinin güvenilirlik modeli, Markov modeli temel alınarak ve sistem performansının yanı sıra bileşenlerin başarısızlığının farklı modları da dahil edilerek geliştirilmiştir. Bu güvenilirlik modelinde, bir geçiş durumları (bileşenler arasında) setinin tanımlanmasında başarısızlık oranları ve onarım oranları esas alınmıştır. Bu araştırmanın sonuçları, tesis eskidikçe güvenilirliğinin düştüğünü ancak bir pilin devreye yerleştirilmesi ve gerektiğinde değiştirilmesi ile güvenilirliğin iyileştirilebileceğini göstermiştir; bu nedenle güç bataryasının desteklenmesi, uzun vadede sistem güvenilirliğinin artmasıyla sonuçlanmaktadır.

3. YÖNTEM

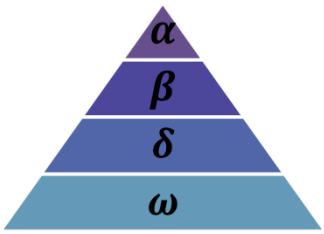
Bu çalışmada rüzgar türbinleri sayısı, güneş dizilerinin sayısı ve açısı, elektrolizör, hidrojen depolama tankı, yakıt hücresi ve invertör/evireç kapasiteleri dahil olmak üzere rüzgar-güneş-yakıt hücresi hibrit sisteminin bileşenlerinin optimal kapasitesi, gri kurt optimize edici tarafından belirlenmiştir. Bu optimizasyon, yatırımın net şimdiki maliyeti, işletme ve bakım, değiştirme ve 20 yılın üzerindeki sistem ömrü boyunca yük aksaması nedeniyle oluşan sistem maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemiştir. Yazılım Matlab ortamında geliştirilmiştir. Güvenilirlik/maliyet değerlendirmeleri yapmak için hibrit sistem bir saatlik zaman dilimleriylebir yıl süresince simüle edilmiştir.

3.1. Gri Kurt Optimizasyonu Algoritması

Gri Kurt Optimizasyonu algoritması ilk olarak Seyedali Mirjalili (2014) tarafından tanıtılmıştır [25]. Bu algoritma, gri kurtların sosyal davranışlarının matematiksel modellemesi ve avlanma mekanizması temel alınarak geliştirilmiştir; bunların uygulama aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

3.1.1. Esinlenme

Gri kurt (Canis lupus) köpekgiller (canidae) familyasına aittir. Gri kurtlar uç avcılar olarak kabul edilir, yani gıda zincirinin en üstünde yer alırlar. Gri kurtlar genellikle grup halinde yaşamayı tercih eder. Grup genelde ortalama 5 ila 12 üyeden oluşur. Bu çalışmanın özel ilgi gösterdiği husus ise katı bir sosyal hakim hiyerarşiye sahip olmalarıdır. Bu hiyerarşi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.Gri kurt hiyerarşisi (hiyerarşi üstten alta doğru azalır)[25].

Alfa olarak adlandırılan grubun liderleri bir erkek ve bir dişidir. Alfa esas olarak avlanma, uyku yeri, uyanış zamanı ve benzeri hususlarda karar verir. Alfa kararları gruba dikte

edilmiştir. Bununla birlikte, grupta Alfanın diğer kurtlara eşlik ettiği grupta bazı demokratik davranışlar gözlemlenir. Bir araya gelindiğinde, tüm grup kuyruğunu aşağıda tutarak Alfayı onaylar. Alfa kurduna baskın kurt denir, çünkü emirlerine grup üyeleri tarafından itaat edilmelidir. Yalnızca Alfa kurtları çiftleşme yetkisine sahiptir. İlginçtir ki, Alfa mutlaka en güçlü değil, en iyi yönetim kabiliyetine sahip kurt olmak durumundadır. Bu, bir grubun örgütlenmesinin, düzeninin ve disiplininin, gücünden çok daha önemli olduğunu göstermektedir.Beta, gri kurt hiyerarşisinde ikinci sıradadır. Beta kurtları, karar almada ve diğer faaliyetlerde Alfa'ya yardım edenlerdir. Beta kurt, erkek veya dişi olabilir ve Alfa kurtlarından biri yaşlandığında veya öldüğünde muhtemelen en iyi adaydır. Beta kurt Alfa'ya saygı göstermeli ve alt sıralarda yer alan kurtlara emir vermelidir. Bunlar, Alfa için danışman ve grubun organizatörü rolünü oynamaktadır. Beta, grup genelinde Alfa’nın emirlerini pekiştirmekte ve Alfa'ya geri bildirimde bulunmaktadır. Gri kurt hiyerarşisinde en alt sırada Omega yer almaktadır. Omega, grupta günah keçisi veya adanmış rolüne sahiptir. Omega kurtları, hakim kurtlara daima boyun eğmelidir. Bunlar, yemek izni verilen son kurtlardır. Omega, grupta önemli bir kurt değilmiş gibi gözükebilir ancak gözlemler, Omega’nın kaybedilmesi durumunda bazı örneklerde grubun iç çatışmalarla ve/veya başka sorunlarla karşılaştığını ortaya koymaktadır. Bunun nedeni, tüm kurtların şiddet, umutsuzluk ve hayal kırıklığının Omega tarafından deşarj edilmesidir. Bu, grup genelinde memnuniyetin ve hakimiyet yapısının korunmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca bazı durumlarda Omega, gruba dahil olan çocukların bakım sorumluluğunu üstlenmektedir. Eğer bir kurt bir Alfa, Beta veya Omega olamazsa, ona "ast" veya "itaatkâr" (Delta) denir. Delta kurtları Alfa ve Beta'ya boyun eğmeli, ancak Omega'ya egemen olmalıdır. Öncüler, muhafızlar, kıdemliler, avcılar, koruyucular ve gözetleyiciler bu kategoridedir. Öncüler, bölge sınırlarının gözetiminden ve tehditler hakkında uyarıdan sorumludurlar. Muhafızlar grubun güvenlikliğini korur ve garanti altına alır. Kıdemliler, Alfa veya Beta üyesi olacak deneyimli kurtlardır. Avcılar, avlanılırken ve gruba yiyecek temin edilirken Alfa ve Beta'ya yardım etmektedir. Son olarak bakıcılar, gruptaki zayıf, hasta ve yaralı kurtlarla ilgilenmekle görevlendirilmiştir. Kurtların toplumsal hiyerarşisine ilaveten grupça avlanma, gri kurtların bir başka ilginç sosyal davranış biçimidir.

Gri kurt avlanmasının ana safhaları şu şekildedir:

- İzleme, takip etme ve ava yaklaşma.
- İzleme, avını durdurana kadar kuşatma ve taciz.

- Avına saldırmak.

Bu aşamalar Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bozkurdun avlanma yöntemi ve sosyal hiyerarşisi, GWO algoritmasını ve optimizasyonunu tasarlamak için matematiksel olarak modellenmiştir [25].

Şekil 3.2. Gri kurt avlanma davranışı: A) Avın kovalanması, yakınlığı ve izleri; B-D) İzleme, taciz ve kuşatma; E) durma pozisyonu ve saldırı[26].

3.1.2. Matematiksel model ve algoritma

Bu bölümde, toplumsal hiyerarşinin matematiksel modeli, avı takip etme, kuşatma ve ava saldırı sunulmuştur. Daha sonra GWO algoritması ile ilgileneceğiz.

3.1.3. Sosyal hiyerarşi

GWO tasarımı üzerine sosyal hiyerarşinin matematiksel modellemesi için en iyi çözüm α olarak düşünülür. Sonuç olarak, ikinci ve üçüncü en iyi çözümler β ve δ olarak belirlenecektir. Çalışma çözümleri altında kalan diğer tüm unsurlar ω olarak kabul edilir. GWO algoritmasında avlanma (optimizasyon) α, β ve δ kullanılarak yapılır. Omega kurtları bu kurtları takip eder.

3.1.4. Avın Kuşatılması

Yukarıda bahsettiğimiz gibi, gri kurtlar avlanma esnasında avını kuşatır ve çevreler. Avın kurtlar tarafından kuşatılması davranışını modellemek için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır:

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\vec{X}_P(t) - \vec{X}(t)\right| \tag{3-1}$$

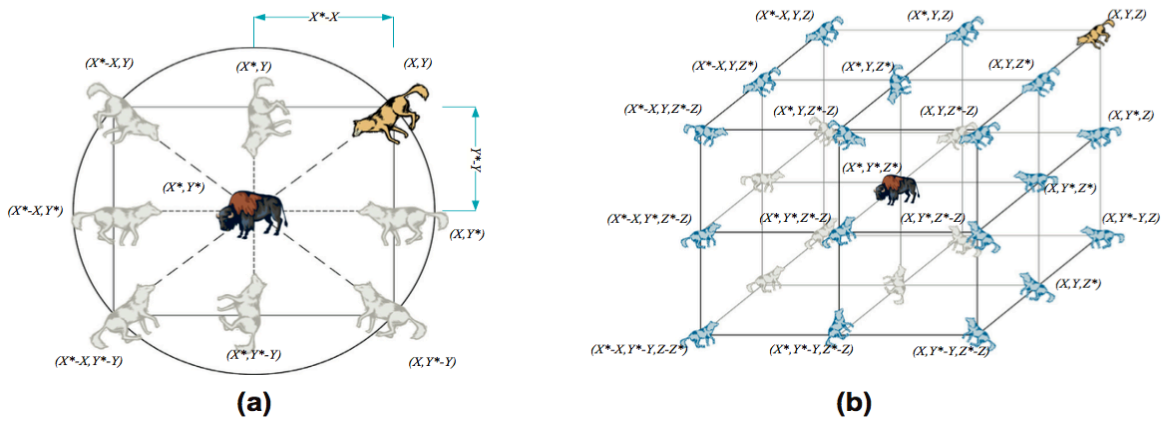
$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_P(t) - \vec{A}\vec{D} \tag{3-2}$$

Burada$\vec{D}$(avların birbirinden olan mesafesidir),$\overrightarrow{X_p}$,(avın pozisyon vektörüdür.)t,şimdiki yinelemeyi gösterir; $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ katsayılar vektörünü temsil eder ve X bozkurdun konum vektörünü gösterir. $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ vektörleri şöyle hesaplanır:

$$\vec{A} = 2\vec{a}\vec{r}_1 - \vec{a} \tag{3-1}$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \tag{3-2}$$

Burada $\vec{a}$ bileşenleri yinelemeler boyunca 0'dan 2'ye doğrusal olarak indirilir ve r_1, r_2 [0 1] aralığında rastgele vektörlerdir. Bozkurdun 3 boyutlu uzayda muhtemel güncellenmiş konumları Şekil (3.3) - (B)'de gösterilmektedir. Mesele şu ki, r_1, r_2rastgele vektörleri, gri kurtların Şekil (3.5)'te gösterilen noktalar arasında herhangi bir konuma ulaşmasına imkan tanımaktadır. Dolayısıylagri kurt, (3.3) ve (3.4) denklemlerini kullanarak, avını çevreleyenuzayda herhangi bir yerde konumunu güncelleyebilir.



Şekil 3.3. İki ve üç boyutlu konum vektörleri ve diğer muhtemel konumlar [25].

3.1.5. Avlanma

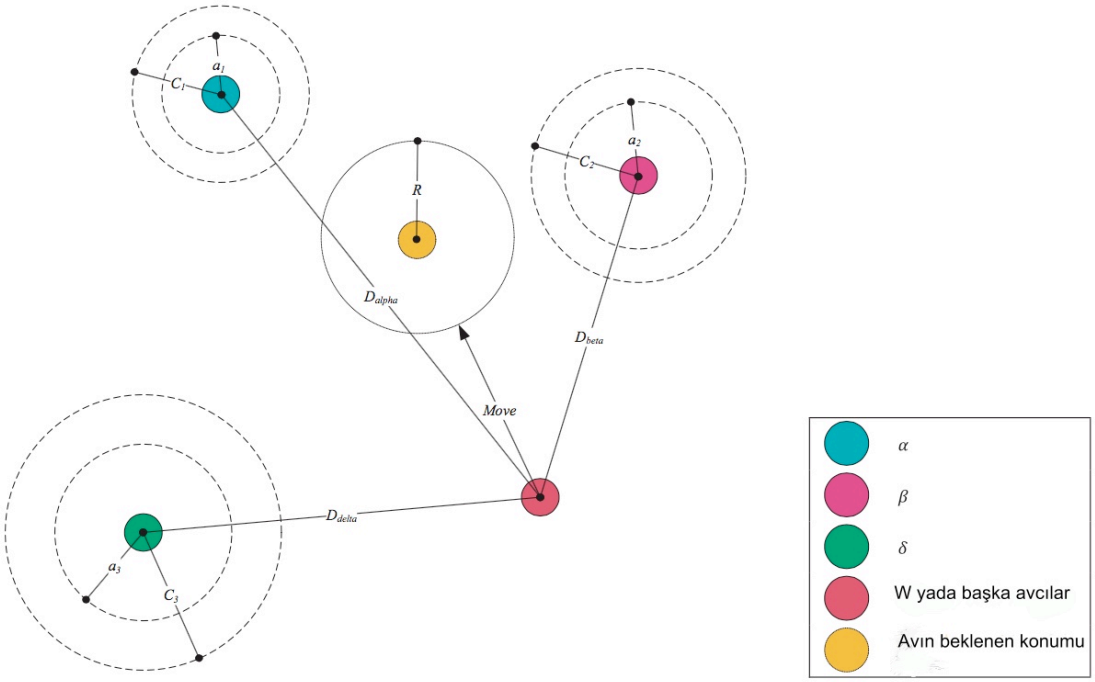
Gri kurt, av konumunu tespit edebilmekte ve onları kuşatabilmektedir. Genellikle Alfa ava liderlik etmektedir. Beta ve Delta bazen katılabilmektedir. Bununla birlikte bir soyut uzayda, uygun (av) konum hakkında hiçbir fikrimiz yoktur. Bozkurdun avlanma davranışının matematiksel simülasyonu için Alfa (en iyi aday çözümdür), Beta ve Delta'nın avın potansiyel konumu hakkında daha iyi bilgiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla şimdiye kadar elde edilen en iyi çözümlerin üçünü saklarız(GWO algoritmasında simüle süresindeki her bir tekrarlamadan sonra elde edilen sonuç α, β, γ kurtlarının konumu) ve en iyi arama faktörlerinin konumunu dikkate alarak konumlarını güncellemek için diğer arama faktörlerine (Omega üyeleri de dahil olmak üzere) sahip oluruz. Böylelikle aşağıdaki formül sunulmaktadır:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1\vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2\vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3\vec{X}_\delta - \vec{X}| \tag{3-5}$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1\vec{D}_\alpha, \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2\vec{D}_\beta, \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3\vec{D}_\delta \tag{3-6}$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \tag{3-7}$$

Şekil (3.4), bir arama faktörünün Alfa, Beta ve Delta dikkate alınarak iki boyutlu bir arama uzayındaki konumunu güncelleme prosedürünü göstermektedir. Nihai konumun, arama uzayındaki Alfa, Beta ve Delta konumlarıyla tanımlanan bir daire içinde rastgele bir pozisyonda bulunduğu görülebilir. Başka bir deyişle, bu üçü avın yerini belirlemekte ve diğer kurtlar yerlerini avın etrafında rastgele güncellemektedir.



Şekil 3.4. GWO konumu güncellemesi [25]

3.1.6. Ava Saldırma

Yukarıda belirtildiği gibi, durma pozisyonuna geçildiğinde gri kurtlar, ava saldırarak avı sonlandırmaktadır. Ava yakınlığın matematiksel modellemesi için $\vec{a}$ değeri düşürülmelidir. Ayrıca A genlik salınımı $\vec{a}$ tarafından düşürülmüştür. Başka bir deyişle, $\vec{A}$, $[-2\vec{a},2\vec{a}]$ arasında rastgele bir değerdir; burada $\vec{a}$ yinelemeler boyunca 2'den 0'a düşecektir. $\vec{A}$ rastgele değerleri [-1, 1] arasındaki mesafedeyken, bir arama faktörünün sonraki konumu, mevcut konum ile avın konumu arasındaki herhangi bir yerde olabilir.

Şekil (3.5)-(A), $|A|<1$'in kurtları avına saldırmaya teşvik ettiğini göstermektedir. Şimdiye kadar tanıtılan işleticilerle, GWO algoritması, arama faktörlerinin konumlarını Alfa, Beta ve Delta konumlarına göre güncellemelerine ve avına saldırmalarına izin verir. Ancak, bu işleticiyle GWO algoritması, konum çözümlerinde uzaklaşmaya tabi olabilir. Önerilen kuşatma mekanizması araştırmayı bir dereceye kadar gösterse de araştırmayı vurgulamak için GWO'nun daha fazla işleticiye ihtiyacı vardır.

Şekil 3.5. Ava saldırma ve av için arayış [25].

3.1.7. Av İçin Arayış

Gri kurt, esas olarak Alfa, Beta ve Delta'nın konumlarını göz önünde tutarak avı arar. Avı aramak için kollara ayrılırlar ve uzaklaşırlar, ardından saldırmak üzere birleşirler. Uzaklaşmanın matematiksel modellemesi için, $\vec{A}$'yı 1'den büyük veya -1'den küçük rastgele değerler ile kullanırız ki, avdan kollara ayrılmak için arama faktörüne yardım edebilsin. Bu, araştırmayı vurgulamakta ve GWO algoritmasının genişletilmiş alanlarda arama yapmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca Şekil (3.5)-(B), $|A|>1$'in kurtları avdan dallara ayırdığını, böylece belirli bir av bulmak için birbirinden farklı olduğunu gösterir. GWO algoritması akım şeması aşağıdaki gibidir.

GWO algoritma kodu.

1: başlangıç

2: GWO popülasyon seçimi

3: Başlatma

4: Her arama faktörü için rastgele konumlar üretme

5: Her arama faktörü için amaç fonksiyonunu hesaplama

6: seçim

7: en iyi arama faktörü

8: ikinci arama faktörü

9: Üçüncü arama faktörü

10: Güncelleme denklemi dikkate alınarak güncelleme faktörü

11: güncelleme

12: Her bir parçacık için amaç fonksiyonunun hesaplanması (arama faktörü)

13: güncelleme

14: durdurma (durma) durumu

15: Optimizasyon sorununun optimize edilmiş değerlerini bastırma

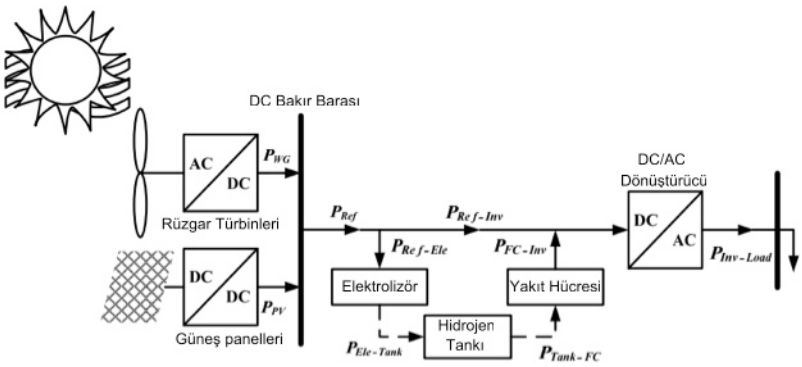
16: Son

3.2. İncelenenSistem

Bu çalışmada rüzgar türbinleri, fotovoltaik diziler ve yakıt hücresinden oluşan bir hibrit sistem, belirli bir yük modeli için talebi karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu tasarımın amacı güvenilirlik endekslerine verilen önem dikkate alınarak 20 yıllık bir süre için enerji üretim maliyetlerini en aza indirmektir. Bu tasarıma dahil edilen maliyetler; yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, değişim maliyeti ve yük kaybı maliyetini içerir. Bu çalışma, hibrit sistemi optimize etmek ve donanım için optimal kapasiteyi belirlemek için Gri Kurt Optimizasyonu algoritmasını kullanmaktadır.

Bu çalışmada fotovoltaik diziler, rüzgar türbinleri ve yakıt hücresi içeren bir hibritsistem [23], elektrik şebekesinden ayrılmış uzak bir yük sağlamak için kullanılmaktadır. Enerji şebekesinden ayrı bir güneş-rüzgar hibrit sisteminin tasarlanmasındaki en önemli husus, güneş radyasyonu ve rüzgar hızındaki azalma gibi hava şartlarının çeşitlilik göstermesidir.

Bu çalışmada sürekli bir yük talebini destek ve güvenilirliği artırmak için bir yakıt hücresi sistemi kullanılmıştır. Yakıt hücresi sistemi, son çalışmalarda incelenen bir elektrolizör ve hidrojen depolama tankı içerir. İncelenen sistem Şekil 3.6'de gösterilmektedir. Bu sistem, bir DC bakır barası ve bir AC bakır barası yanında altı ana bileşenden oluşmaktadır. Bu nedenle ana bileşenler arasında fotovoltaik diziler, rüzgar türbinleri, elektrolizör, hidrojen depolama tankı, yakıt hücresi ve invertör bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Güneş-rüzgar-yakıt hücresi hibrit sistemi

Yukarıdaki şekle göre:

P_{WG} ve P_{PV} her rüzgar türbininin ve fotovoltaik diziin çıkış gücünü kilovat cinsinden temsil eder. P_{ren}, toplam enerjiyi temsil etmektedir. $P_{ren-inv}$ ve P_{ren-el} yenilenebilir kaynaklardan (güneş ve rüzgar) üretilen toplam enerjiyi, yenilenebilir elektriği elektrolizere aktaran toplam enerjiyi ve invertöre enjekte edilen enerjiyi kilovat cinsinden temsil etmektedir. $P_{el-\tan k}$, elektrolizörden hidrojen depolama tankına aktarılan enerjiyi temsil eder; $P_{\tan k-FC}$, yakıt hücresine enjekte edilen enerjiyi temsil eder; P_{FC-inv}, yakıt hücresinden invertöre aktarılan gücü temsil eder ve $P_{inv-Load}$, invertörden yüke kilovat olarak aktarılan enerjiyi temsil eder.

3.2.1. Güneş-Rüzgâr-Yakıt Hücresi Hibrit Sistemi Çalışma Stratejisi

Çalışma stratejisi, sistemin çalışma koşullarına bağlı olarak belirlenmektedir. Her adımda, aşağıdaki senaryolardan biri meydana gelebilir:

Yenilenebilir kaynaklardan üretilen toplam enerji, yük talebine eşittir. Bu senaryoda, yenilenebilir kaynaklardan üretilen tüm enerji, dönüştürücü aracılığıyla yüke enjekte edilir.

Yenilenebilir kaynaklardan üretilen toplam enerji, yük talebinden daha büyüktür. Bu senaryoda, rüzgar ve güneş üniteleri tarafından üretilen fazlaenerji, hidrojene dönüştürülecek olan elektrolizöre yönlendirilir. Enerjinin, elektrolizörün nominal kapasitesini veya hidrojen depolama tankının kapasitesini aştığı bir durumda fazla enerji dirençte kaybolur.

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen toplam enerji, yük talebinden azdır. Bu senaryoda, yük talebinin bir kısmı yakıt hücresi tarafından sağlanacaktır. Eğer bu miktar hücrenin nominal kapasitesinden fazla ise ve / veya depodaki hidrojen miktarı yeterli değilse, yükün bir kısmı kesilmelidir ki bu da yük kaybına neden olur.

3.2.2. Sistem Modellemesi

Bu bölüm, güneş-rüzgar-yakıt hücresi hibrit sistem bileşenlerinin her birinin matematiksel modellemesini tartışmaktadır.

3.2.3. Fotovoltaik Dizi

Dizi tarafından alınan radyasyon şiddeti cinsinden fotovoltaik diziler tarafından üretilen enerji aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir [23].

$$P_{PV} = \frac{G}{1000} \times P_{PV,rated} \times \eta_{PV,conv} \tag{3-8}$$

$$G(t, \theta_{PV}) = G_V(t) \times \cos(\theta_{PV}) + G_H(t) \times \sin(\theta_{PV}) \tag{3-9}$$

Yukarıdaki denklemlerde: P_{PV} , fotovoltaik diziin çıkış gücüdür. G, t'inci zaman adımında metrekare başına watt cinsinden dizie dikey olan radyasyon gücüdür. $P_{PV,rated}$, $G = 1000\,W/m^2$ için elde edilen her diziin nominal enerjisidir. $\eta_{PV,conv}$, her dizi ve DC bakır bara arasında takılan DC / DC dönüştürücünün verimliliğidir. $G_H(t)$ ve $G_V(t)$, sırasıyla, yatay ve dikey radyasyon yoğunluğudur.

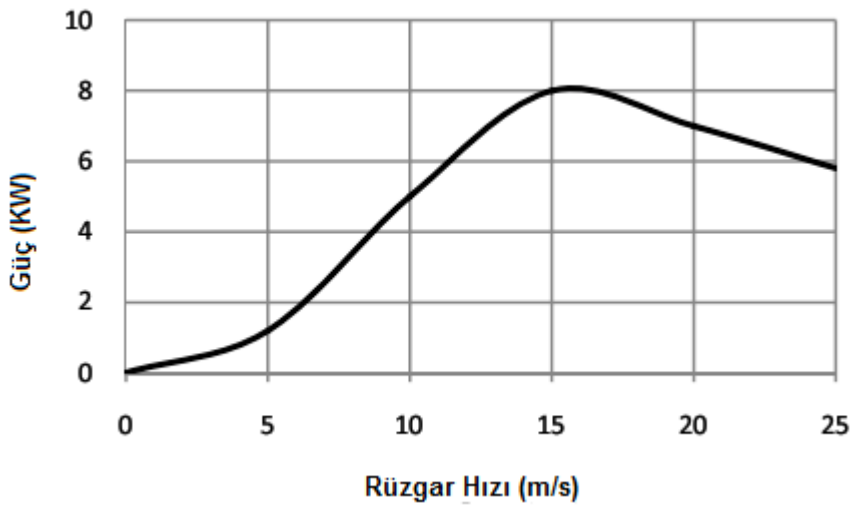
Fotovoltaik dizi parametrelerinin değerleri Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge3.1. Fotovoltaik dizi parametrelerinin değerleri [23]

Değer	Parametre
1 Kilowatt	Her bir fotovoltaik diziin nominal gücü
Ünitebaşına 7000 USD$	Başlangıç yatırımı
Ünitebaşına 6000 USD$	Değişim maliyeti
Ünite-yıl başına 20 USD$	Yıllık çalıştırma ve bakım maliyeti
4%	Zorunlu devre dışı kalma oranı
20 yıl	Kullanım ömrü

3.2.4. Rüzgar Türbini

Bu çalışmadada kullanılan türbin [23]'teki gibi BWC Excel-R/48 seçilmiştir. Rüzgar türbininin çıkış gücü eğrisi üretici tarafından sağlanır. Türbinden DC barasına aktarılan gerçek gücü temsil eden bu eğri Şekil 3.7'de gösterilmektedir.Bu türbinin çıkış voltajı 48 DC volt'a eşittir.



Şekil 3.7. Rüzgar hızı cinsinden BWC Excel-R/48 rüzgar türbininin çıkış gücü eğrisi [27]

Rüzgar hızı cinsinden rüzgar türbininin çıkış gücü aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [23].

$$P_{WG} = \begin{cases} 0 & ; v_W \le v_{cut\,in}, v_W \ge v_{cut\,out} \\ P_{WG,\max} \times \left(\dfrac{v_W - v_{cut\,in}}{v_{rated} - v_{cut\,in}} \right)^m & ; v_{cut\,in} \le v_W \le v_{rated} \\ P_{WG,\max} + \dfrac{P_{furl} - P_{WG,\max}}{v_{cut\,out} - v_{rated}} \times \left(v_W - v_{rated} \right) & ; v_{rated} \le v_W \le v_{furl} \end{cases} \tag{3-10}$$

Yukarıdaki denklemde P_{WG} rüzgar türbininin çıkış gücüdür. v_W , rüzgar hızıdır. $v_{cut\,in}$, devreye alma rüzgar hızıdır. $v_{cut\,out}$, metre/saniye cinsinden devreden çıkarma rüzgar hızıdır. $P_{WG,\max}$, kilovat cinsinden maksimum çıkış gücüdür. P_{furl} , devreden çıkarma rüzgar hızında çıkış gücüdür.

Rüzgar hızı verileri 40 metrelik bir yükseklikte örneklendiğinden ve bu çalışmada kullanılan kurulu türbinlerin yüksekliği 15 metre olduğundan, bu yükseklikte rüzgar hızı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir [23].

$$v_W^h = v_W^{ref} \times \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \tag{3-11}$$

Burada v_W^h, h yüksekliğinde rüzgar hızıdır. v_W^{ref}, metre/saniye cinsinden h_{ref} referans yüksekliğinde rüzgar hızıdır ve α 0.14 ila 0.25 arasında bir sayıdır [15].

Rüzgar türbini parametrelerinin değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge3-2. Rüzgar türbini parametrelerinin değerleri [23]

Parametre	Değer
Nominal güç	7.5 kilovat
Nominal rüzgar hızı	13 metre/saniye
Devreye alma rüzgar hızı	3 metre/saniye
Devreden çıkarma rüzgar hızı	25 metre/saniye
Maksimum çıkış gücü	8.1 kilovat
Devreden çıkarma rüzgar hızında çıkış gücü	5.8 kilovat
Başlangıç yatırımı	Ünite başına 19400 $
Değişim maliyeti	Ünite başına 15000 $
Yıllık çalıştırma ve bakım maliyeti	Ünite-yıl başına 75 $
Zorunlu devre dışı kalma oranı	4%
Kullanım ömrü	20 yıl

3.2.5. Yenilenebilir Kaynaklardan Üretilen Enerji

Fotovoltaik diziler ve rüzgar türbinleri tarafından üretilen tüm enerji, yenilenebilir üniteler tarafından üretilen enerjinin miktarını temsil eder. Güneş dizilerinin ve rüzgar türbinlerinin sayısı sırasıyla N_{PV} ve N_{WG}'dir; daha sonra, tüm yenilenebilir üniteler tarafından üretilen ve DC barasına enjekte edilen enerji aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [23].

$$P_{ren} = N_{WG}.P_{WG} + N_{PV}.P_{PV} \tag{3-12}$$

Sistemin güvenilirliğini doğru bir şekilde değerlendirmek için yenilenebilir ünitelerin devre dışı kalma oranı hesaplanmalıdır. Arızalı fotovoltaik dizilerin sayısının n_{PV}^{fail}, arızalı rüzgar türbinlerinin sayısının n_{WG}^{fail} olduğu varsayılarak, yenilenebilir üniteler tarafından üretilen tüm enerji aşağıdaki gibi olacaktır [23].

$$P_{ren}\left(n_{WG}^{fail}, n_{PV}^{fail}\right) = \left(N_{WG} - n_{WG}^{fail}\right) \times P_{WG} + \left(N_{PV} - n_{PV}^{fail}\right) \times P_{PV} \tag{3-13}$$

Yenilenebilir üniteler tarafından üretilen enerji iki yola enjekte edilebilir. İlk yol, enerjiyi invertöre enjekte eder ve daha sonra yükü besler. İkinci yol, hidrojene dönüştürmek üzere enerjiyi elektrolizöre enjekte eder ve enerji açığı durumunda hidrojen, yakıt hücresine enjekte edilir ve güç üretir, böylelikle sonrasında yük, invertör vasıtasıyla beslenir.

Elektrolizörün çıkış gücü aşağıdaki eşitlik ile elde edilir [23].

$$P_{el-tank} = P_{ren-el} \times \eta_{el} \tag{3-14}$$

Burada η_{el} elektrolizör verimliliği ve P_{ren-el} yenilenebilir kaynaklardan elektrolizöre enjekte edilen güçtür.

Elektrolizör parametrelerinin değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

Çizelge3-3. Elektrolizör parametrelerinin değerleri [23]

Parametre	Değer
Başlangıç yatırımı	Ünite başına 2000 USD$
Değişim maliyeti	Ünite başına 1500 USD$
Çalıştırma ve bakım maliyeti	Ünite-yıl başına 25 USD$
Verimlilik	75%
Kullanım ömrü	20 yıl

3.2.6. Hidrojen Depolama Tankı

Her bir t zaman adımında tankta depolanan enerji aşağıdaki gibi tanımlanır [23].

$$E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) + P_{el-tank}(t) \times \Delta t - P_{tank-FC}(t) \times \Delta t \times \eta_{storage} \tag{3-15}$$

Burada Δt her bir zaman adımının uzunluğudur (1 saate eşittir). $\eta_{storage}$, sızıntı veya pompalamaya bağlı kayıpları (% 95'e eşittir) gösteren depolama sisteminin verimliliğidir [28]. Tankta depolanan hidrojen kütlesi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$m_{storage}(t) = \frac{E_{storage}(t)}{HHV_{H_2}} \tag{3-16}$$

Burada HHV_{H_2} Hidrojenin Yüksek Isıtma Değerini temsil eder ki, bu da kilogram başına 7.39 kilovata eşittir [29]. Tankta sürdürülebilir maksimum hidrojen kütlesi, tankın nominal kapasitesine eşit kabul edilir. Ayrıca tanktaki hidrojen, maksimum ve minimum aralığa sahiptir.

$$E_{\tan k,\min} \le E_{\tan k}(t) \le E_{\tan k,\max} \tag{3-17}$$

Hidrojen depolama tankı parametrelerinin değerleri Çizelge 3.4'te gösterilmektedir.

Çizelge3-4. Hidrojen depolama tankı parametrelerinin değerleri[23]

Parametre	Değer
Başlangıç yatırımı	Ünite başına 1300 USD$
Değişim maliyeti	Ünite başına 1200 USD$
Yıllık çalıştırma ve bakım maliyeti	Ünite-yıl başına 15 USD$
Verimlilik	95%
Hidrojen maliyeti	Kilogram başına 8.1 USD$
Kullanım ömrü	20 yıl

3.2.7. Yakıt Hücresi

Yakıt hücreleri, bir tepkimenin kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen elektrokimyasal cihazlardır. Proton değişimli membranlı yakıt hücreleri, kesintili çalışma koşullarında güvenilir bir işleve ve performansa sahiptir.Bu hücrelerin bazı çeşitleri endüstriyel ölçekte üretilmektedir ve piyasadan temin edilebilmektedir. Bu tip yakıt hücresi, 1-3 saniye arasında nispeten hızlı bir dinamik tepkiye sahiptir. Bu yakıt hücresinin çıkış gücü, sabit olduğu varsayılabile girdi hidrojen gücü ve verimliliği (η_{FC}) fonksiyonu ile hesaplanabilir [23].

$$P_{FC-inv} = P_{tank-FC} \times \eta_{FC} \tag{3-18}$$

Yakıt hücresi parametrelerinin değerleri Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge3.5. Yakıt hücresi parametrelerinin değerleri[23]

Parametre	Değer
Başlangıç yatırımı	Ünite başına 3000 USD$
Değişim maliyeti	Ünite başına 2500 USD$
Yıllık çalıştırma ve bakım maliyeti	Ünite-yıl başına 175 USD$
Verimlilik	50%
Kullanım ömrü	5 yıl

3.2.8. İnvertör

İnvertör, sistem tarafından üretilen DC enerjiyi, arzu edilen AC elektrik enerjisine dönüştürür. Yüke enjekte edilen enerji miktarı invertörün verimliliğine göre aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir [23].

$$P_{inv-load} = \left(P_{FC-inv} + P_{ren-inv}\right) \times \eta_{inv} \tag{3-19}$$

İnvertör parametrelerinin değerleri Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge3-6. İnvertör parametrelerinin değerleri [23]

Parametre	Değer
Başlangıç yatırımı	Ünite başına 800 USD$
Değişim maliyeti	Ünite başına 750 USD$
Yıllık çalıştırma ve bakım maliyeti	Ünite - yıl başına 8 USD$
Verimlilik	% 90
Zorunlu devre dışı kalma oranı	% 0.11
Kullanım ömrü	15 yıl

3.3. Güvenilirlik Endeksleri

Hibrit sistemler üzerinde yürütülen çalışmalar, güvenilirliği değerlendirmek için çok sayıda endeks önermiştir [8], [30], [31], [32], [33]. Bu endekslerden bazıları: Beklenen Yük Kaybı (LOLE), Beklenen Enerji Kaybı (LOEE), Tedarik Edilmeyen Beklenen Enerji (EENS), Güç Kaynağı Kaybı Olasılığı (LPSP) ve Eşdeğer Kayıp Faktörü (ELF).

$$LOLE = \sum_{t=1}^{N} E\left[LOL\left(t\right)\right] \tag{3-20}$$

Yukarıdaki denklemde $E\left[LOL(t)\right]$, t'inci zaman adımında Yük Kaybının matematiksel beklentisidir ve aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$E\left[LOL\right] = \sum_{s \in S} T_s \times P_s \tag{3-21}$$

Burada P_s, s durumunda olma olasılığıdır. T_s, sistem o duruma geçerse, yük kısıtlamasının sürdüğü zaman miktarıdır. S, sistem için tanımlanan tüm olası durumların kümesidir.

$$LOEE = EENS = \sum_{t=1}^{N} E\left[LOE\left(t\right)\right] \tag{3-22}$$

Yukarıdaki denklemde $E\left[LOE(t)\right]$, t'inci zaman periyodunda Enerji Kaybının matematiksel beklentisidir ve aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır.

$$E\left[LOE\right] = \sum_{s \in S} Q_s \times P_s \tag{3-23}$$

Yukarıdaki denklemde Q_s, sistem S durumuna düştüğünde yük kaybı miktarıdır.

Güç Kaynağı Kaybı Olasılığı (LPSP) aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$LPSP = \frac{LOEE}{\sum_{t=1}^{N} D\left(t\right)} \tag{3-24}$$

Yukarıdaki denklemde $D(t)$'nin, t'inci zaman adımında yük talebi miktarına eşit olduğu varsayılmıştır (kilovat saatte).

Ve son olarak, Eşdeğer Kayıp Faktörü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$ELF = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} \frac{Q\left(t\right)}{D\left(t\right)} \tag{3-25}$$

Eşdeğer Kayıp Faktör endeksi, elektrik kesintilerinin sayısı ve büyüklüğü hakkında daha fazla bilgi vermektedir; bu nedenle, bu çalışma söz konusu endeksi güvenilirliğin temel ölçütü olarak kullanılmaktadır. Elbette, sağlanan yazılım yukarıda belirtilen dört endeksin eş zamanlı olarak hesaplanmasını sağlar.

[31] 'de, kabul edilebilirmaksimumEşdeğer Kayıp Faktör, gelişmiş ülkeler için 0.0001 ve bu çalışmada ele alınan gibi bağımsız ve müstakil şebekeler için 0.01 olarak belirtilmiştir.

3.3.1. Sistem Güvenirlik Modeli

Bu çalışmada, güvenilirlik değerlendirmesi, enerji üretimi ünitelerinin, yani rüzgar türbinleri ve fotovoltaik dizilerin arıza olasılığı ile invertör arızası olasılığı varsayımıyla yürütülür. [33] tarafından sağlanan bilgilere göre, rüzgar ve fotovoltaik ünitelerin Zorunlu Devre Dışı Kalma Oranı (FOR) %4 olarak kabul edilmektedir.Bu nedenle, her türbin veya fotovoltaik dizi % 96 olasılıkla kullanıma hazır olacaktır. Her durumun olasılığı Binom dağılım fonksiyonu ile hesaplanabilir [33]. Örneğin, tüm N_{WG} kurulu türbinlerden n_{WG}^{fail} rüzgar türbinlerin devre dışı kalma olasılığı ve ayrıca tüm N_{PV} n_{PV}^{fail} kurulu fotovoltaik dizilerden n_{PV}^{fail} fotovoltaik dizilerin devre dışı kalma olasılığı şuna eşit olacaktır:

$$f_{ren}\left(n_{WG}^{fail}, n_{PV}^{fail}\right) = \left[\binom{N_{WG}}{n_{WG}^{fail}} \times A_{WG}^{N_{WG}-n_{WG}^{fail}} \times \left(1-A_{WG}\right)^{n_{WG}^{fail}}\right] \times \left[\binom{N_{PV}}{n_{PV}^{fail}} \times A_{PV}^{N_{PV}-n_{PV}^{fail}} \times \left(1-A_{PV}\right)^{n_{PV}^{fail}}\right] \tag{3-26}$$

Burada A_{WG} ve A_{PV} rüzgar türbinleri ve fotovoltaik dizilerin erişilebilirliğidir. Diğer donanımların devre dışı kalma olasılığı çok düşüktür; çünkü hareketli parçaları yoktur, kapalı bir alana yerleştirilirler ve iklimsel strese maruz kalmazlar. Bu çalışmada, bu donanımın devre dışı kalma olasılığı dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, invertörün devre dışı kalma olasılığı, güvenilirliğin hesaplanmasına dahil edilir, çünkü bir invertör arızalandığında hibrit sistemdeki tüm yük elektriksiz kalır. [23]'e göre, bu çalışma invertörün verimliliğini % 99.98 olarak kabul etmektedir. Yükün paralel olarak kurulmuş N_{inv} invertörler tarafından sağlandığı varsayılırsa, n_{PV}^{fail} fotovoltaik dizilerin, n_{WG}^{fail} rüzgar türbinlerinin ve n_{inv}^{fail} invertörlerin devre dışı kalma olasılığı şu denklem vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$f_{system}\left(n_{WG}^{fail}, n_{PV}^{fail}, n_{inv}^{fail}\right) = f_{ren}\left(n_{WG}^{fail}, n_{PV}^{fail}\right) \times \binom{N_{inv}}{n_{inv}^{fail}} \times A_{inv}^{N_{inv}-n_{inv}^{fail}} \times \left(1-A_{inv}\right)^{n_{inv}^{fail}} \tag{3-27}$$

Burada A_{inv} invertörün erişilebilirliğidir ve % 99.98 olarak kabul edilir [23].

3.3.2. Yük Kaybı Maliyeti

Güç kaynağındaki bozulma maliyeti farklı yöntemlerle tahmin edilebilir. Örneğin, ağ genişlemesi için müşterilerin ödeme istekliliği veya bozulma sonucu endüstriyel birimler tarafından oluşan mali kayıplar temel alınarak hesaplanabilir. Farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar genellikle benzerdir: endüstriyel tüketiciler için yaklaşık 5 ila 40 USD$ ve konut tüketicileri için yaklaşık 2 ila 12 USD$[31]. [23]'te olduğu gibi bu çalışma, elektrik kesintisi nedeniyle tüketici memnuniyetsizliğinin maliyetinin ortalama 6.5 USD$ olduğunu kabul etmektedir.

3.3.3. Optimizasyon Problemi

Bu çalışmanın amacı, enerji üretiminin maliyetini en aza indirgerken rüzgar türbinleri, elektrolizör, hidrojen tankı, yakıt hücresi ve invertör gibi sistem bileşenlerinin optimal kapasitesini ve güneş dizilerinin sayısı ile açısını belirlemektir.

3.3.4. Amaç Fonksiyonu

Hibrit sistemlerin i bileşeninin net şimdiki maliyeti aşağıdaki gibi elde edilebilir [23]:

$$NPC_i = N_i \times (CC_i + RC_i \times K_i + O\&O\&MC_i \times PWA) \tag{3-28}$$

Burada N, birim sayısı veya kilovat ya kilogram cinsinden donanım kapasitesidir. CC, birim başına USD$ cinsinden başlangıç sermaye maliyetidir. RC, birim başına USD$ cinsinden değişim maliyetidir. O&MC, birim başına USD$ cinsinden yıllık Çalıştırma ve Bakım Maliyetidir. R, projenin süresidir (bu çalışmada 20 yıldır). ir parametresi faiz oranıdır, ki burada nominal faiz oranı (ir nominal) olarak alınabilir (bu çalışmada 6%'dır) ve f yıllık enflasyon oranını göstermektedir.

$$ir = \frac{ir_{nominal} - f}{1 + f} \tag{3-29}$$

PWA ve K, sırasıyla, yıllık ve sabit ödemelerin şimdiki değeridir ve aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$PWA(ir,R) = \frac{(1+ir)^R - 1}{ir(1+ir)^R} \tag{3-30}$$

$$K_i = \sum_{n=1}^{y_i} \frac{1}{(1+ir)^{n.L_i}} \tag{3-31}$$

Yukarıdaki denklemlerde, y ve L, sırasıyla, değişimlerin sayısı ve ilgili bileşenin kullanım ömrüdür. Yıllık LOEE, denklem (4-15) ile tanımlandığı takdirde, yük kaybının net şimdiki değeri aşağıdaki denklem aracılığıyla elde edilebilir.

$$NPC_{loss} = LOEE \times C_{loss} \times PWA \tag{3-32}$$

Yukarıdaki denklemde C_{loss}, enerji kesintisinin her bir Kw/s nedeniyle ortaya çıkan ortalama kaybı temsil etmektedir.

Sonuç olarak, Amaç fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$J = \min_X \left\{ \sum_i NPC_i + NPC_{loss} \right\} \tag{3-33}$$

Burada i, istenen bileşeni temsil etmektedir ve X, optimizasyon değişkenlerini içeren yedi parametreli bir vektördür.

3.3.5. Kısıtlar

Amaç fonksiyonu, aşağıdaki kısıtlara göre optimize edilmelidir:

$$E\left[ELF\right] \leq ELF_{\max} \tag{3-34}$$

$$0 \leq N_i \tag{3-35}$$

$$0 \leq \theta_{PV} \leq \pi/2 \tag{3-36}$$

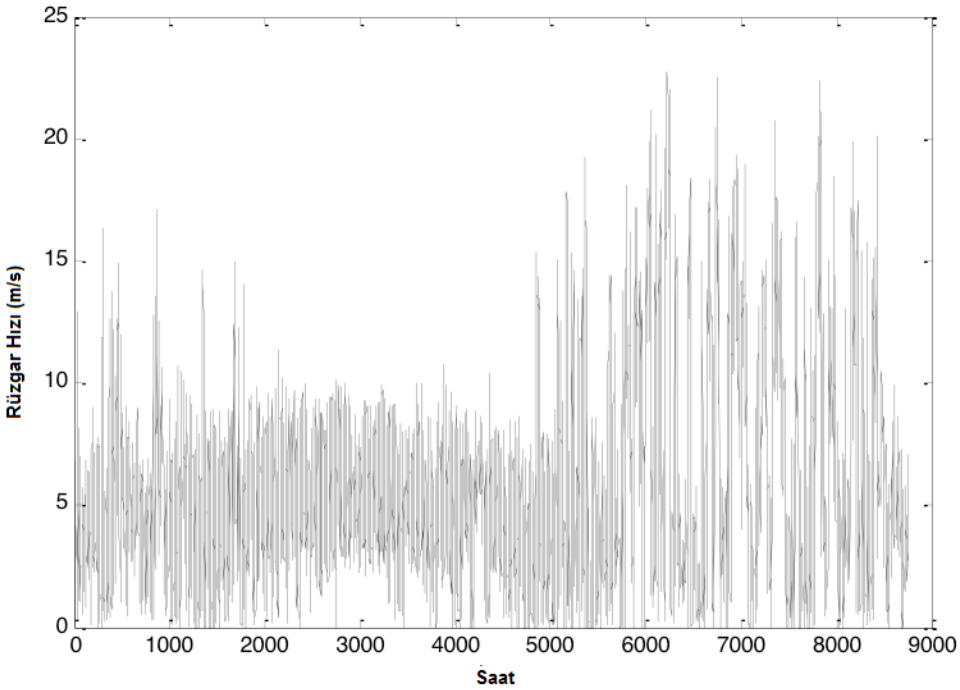
$$E_{tank}\left(0\right) \leq E_{tank}\left(8760\right) \tag{3-37}$$

Yukarıdaki kısıtlamalarda, θ_{PV}, fotovoltaik dizilerin kurulu olduğu açıyı temsil etmektedir ve son kısıt, yılın başında tankta depolanan enerjinin başlangıç değerinden düşük olmaması gerektiğini ifade etmektedir. Bu kısıt, güvenilirlik hesaplamalarının, muhtemel en kötü duruma göre yapılmasını temin etmektedir. Yukarıdaki koşulların tümünde bileşen sınırlamaları ve kısıtları göz önünde bulundurulmalı ve tüm korunum denklemleri geçerli olmalıdır.

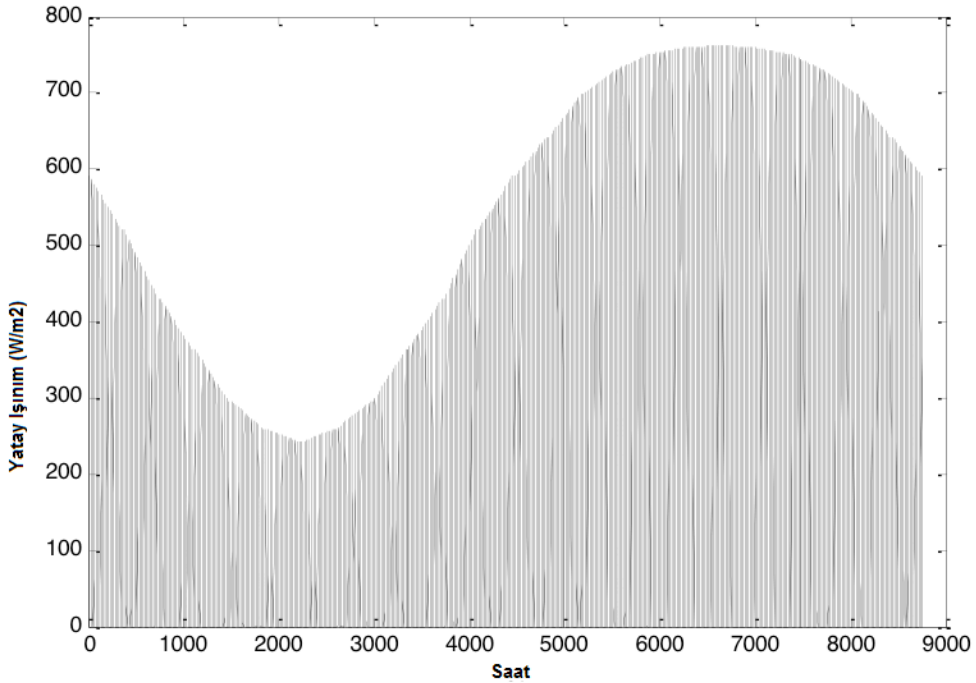
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Sistem Verileri

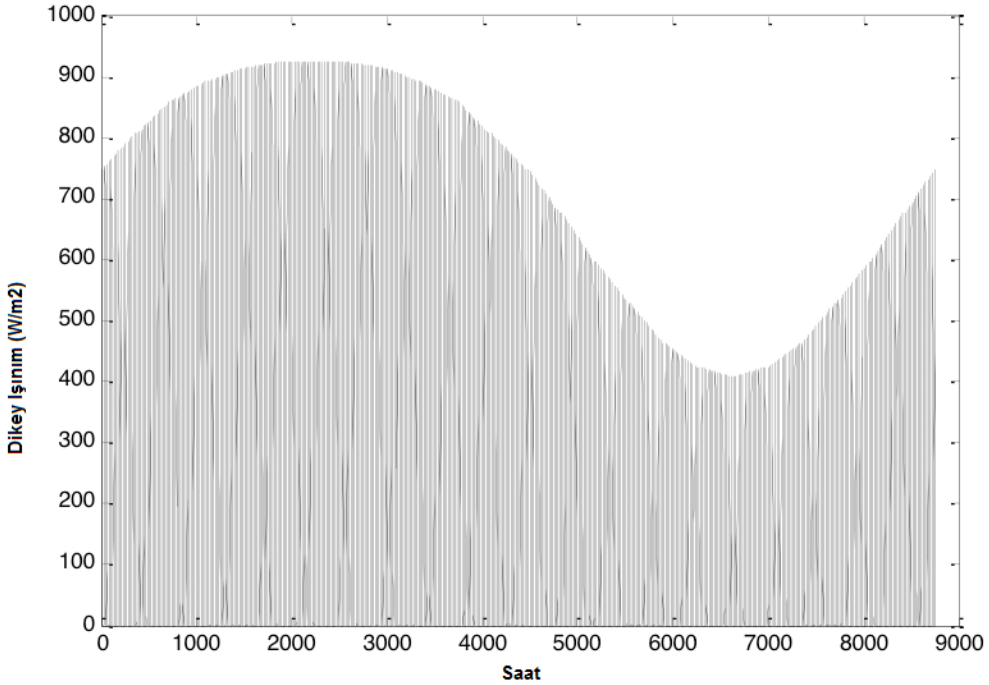
Sistem verileri, saatte 1 örnek hassasiyetle elde edilen, İran'ın kuzeybatı bölgelerinden birine ait yıllık radyasyon ve rüzgar hızından oluşmaktadır [23]. 15 metre yükseklikteki yıllık rüzgar hızının ve yıllık dikey ve yatay radyasyonun grafikleri Şekil 4.1 ila 4.3'te gösterilmektedir. Esasen 50 KW zirveye sahip standart IEEE yükü olan yıllık yük grafiği [23], Şekil 4.4'de sunulmuştur. Çizelge 4.1, daha önceki bölümde anlatılan sistem bileşen parametrelerinin değerlerini göstermektedir. Yük kesinti maliyeti 5.6 ABD$/kWh olarak kabul edilmiştir [23].Yük kaybı değeri, zirve yük, yük şablonu, eşdeğer kayıp faktörü, reel faiz oranı ve sistem ömrü dahil olmak üzere esas varsayımlar Çizelge 4.2'de listelenmiştir.



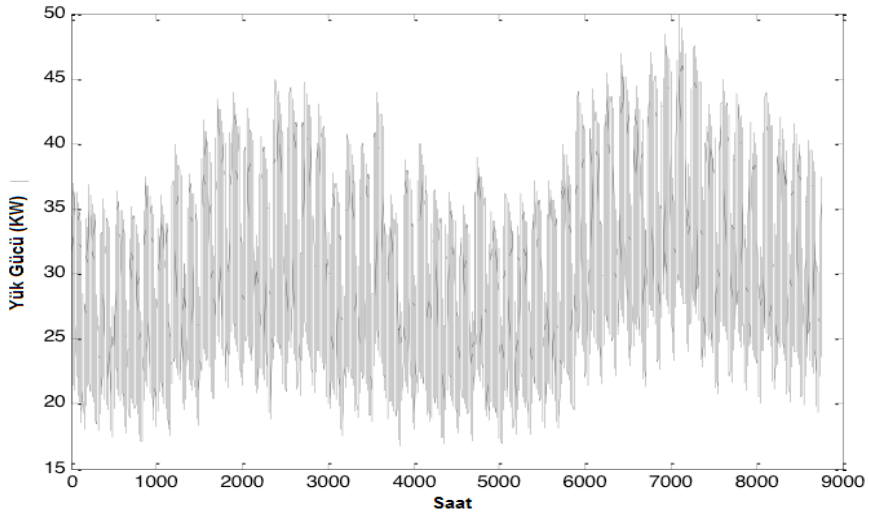
Şekil 4.1. Bir yıl boyunca 15 metre yükseklikte rüzgar hızı[23]



Şekil 4.2. Bir yıl boyunca dizi yüzeyinde yatay radyasyon yoğunluğu[23]



Şekil 4.3. Bir yıl boyunca dizi yüzeyinde dikey radyasyon yoğunluğu[23]



Şekil 4.4. 50 KW zirveye sahip yıllık IEEE yükü grafiği[23]

Çizelge4.1. İncelenen hibrit sistemde kullanılmasına karar verilen bileşenlerin parametreleri [23]

Donanım	Erişilebilirlik (%)	Verimlilik (%)	Donanımın kullanım ömrü (Yıl)	Yıllık Ç&B maliyeti ABD$/Yıl	Değişim maliyeti ABD$/birim	Başlangıç yatırım maliyeti (ABD $ / birim)
Rüzgar Türbini	96	-	20	75	15000	19400
PV Dizileri	96	-	20	20	6000	7000
Elektrolizör	100	75	20	25	1500	2000
Hidrojen Tankı	100	95	20	15	1200	1300
Yakıt Hücresi	100	50	5	175	2500	3000
İnvertör	89/99	90	15	8	750	800

Çizelge4.2. İncelenen sistemin esas varsayımları [23]

yük kaybı maliyeti	Yük Zirvesi	Yük Modeli	ELF_{max}	Real faiz oranı	Sistemin kullanım ömrü
5.6 ABD$/kWs	50 kW	IEEE RTS	0.01	%6	20 yıl

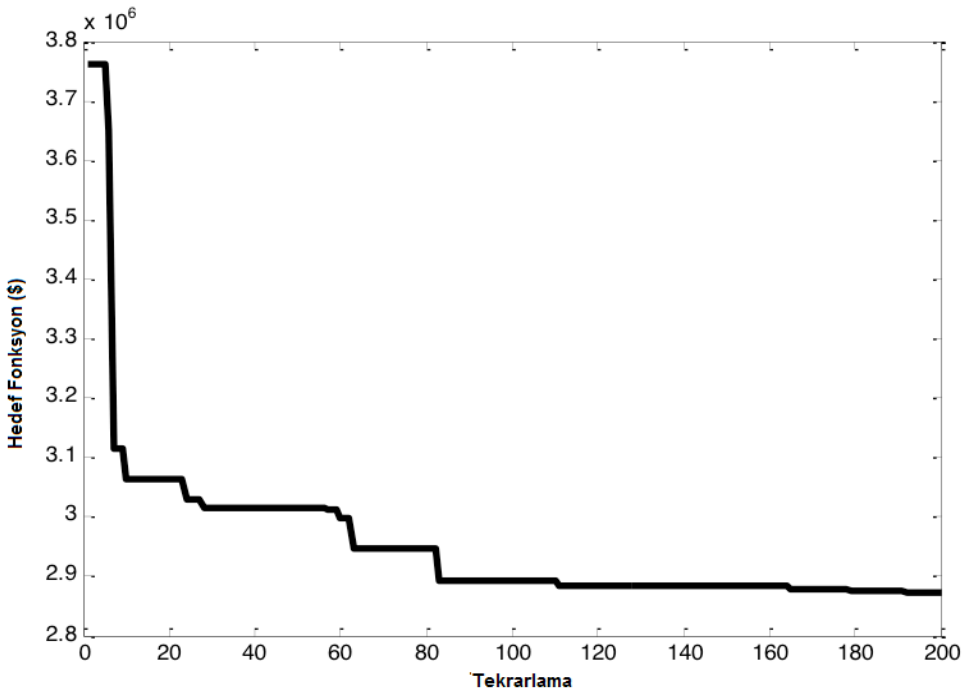
4.2. Simülasyon sonuçları

Bu bölüm, Gri Kurt Optimizasyonu algoritması kullanılarak hibrit sistem üzerinde yapılan optimizasyonun sonuçlarını sunmaktadır.

Tekrarlanmaların sayısı 700'e ayarlanmış ve optimizasyon işlemi yaklaşık 35.6 saat sürmüştür. Bu optimizasyonun karar değişkenleri fotovoltaik dizilerin sayısını, rüzgar türbinlerinin sayısını, elektrolizör gücünü, depolanan hidrojenin kütlesini, yakıt hücresinin gücünü, invertörün gücünü ve fotovoltaik diziin güneşe göre açısını kapsamaktadır.Bu optimizasyon probleminin çözümü için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, [23] tarafından sağlanan optimizasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.6, incelenen hibrit sistemdeki bileşenlerin optimal kombinasyonunu ve optimum kapasitesini göstermektedir. Karşılaştırmalı çalışma, incelenen hibrit sistemi optimize etmek için Gri Kurt Optimizasyonu sonuçlarının, PSO'yu kullanan [23]'ün sonuçları kadar arzu edilebilir olduğunu göstermektedir. 1 yıllık bir süre için hesaplanan rüzgar türbinleri ve fotovoltaik dizilerin üretim gücü Şekil 4.6 ve 4.7'de gösterilmektedir. Rüzgar türbinleri ve fotovoltaik diziler tarafından 1 yıl boyunca üretilen enerjinin toplamı olan yenilenebilir kaynakların üretim gücü Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Hidrojen tankında 1 yıl süreyle depolanan enerjinin matematiksel beklentisi Şekil 4.9'da sunulmuştur. Yenilenebilir kaynaklardan invertöre, elektrolizörden tanka ve yakıt hücresinden invertöre aktarılan gücün büyüklüğü Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrolizöre, tanktan yakıt hücresine ve invertörden yüke aktarılan gücün büyüklüğü Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge4.3. Gri kurt optimizeri için kullanılan parametreler

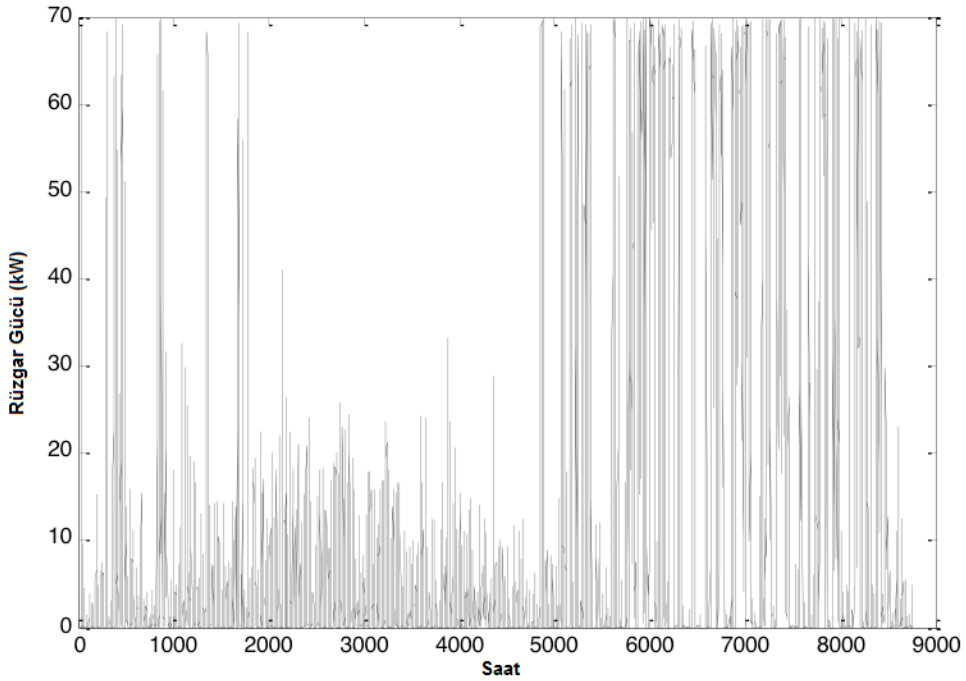
Gri Kurt Optimizasyonu Parametreleri	Değer
Maksimum yineleme sayısı	700



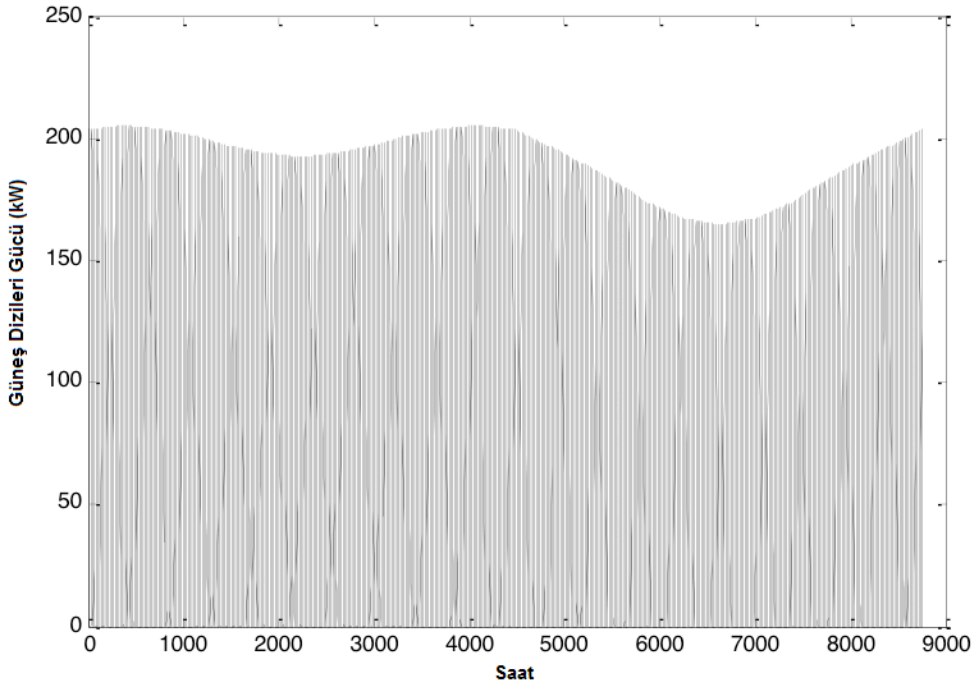
Şekil 4.5.Yineleme sayısı açısındanGri Kurt Optimizasyonu algoritmasının yakınsama eğrisi

Çizelge4.4.İncelenen hibrit sistemde kullanılan bileşenlerin optimal bileşimi veya kapasitesi

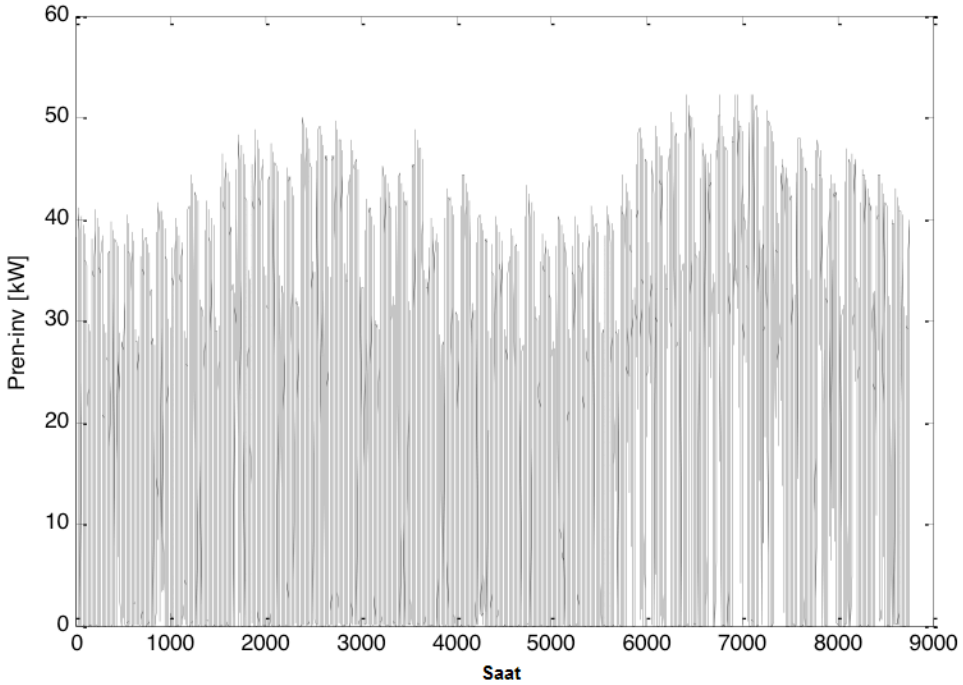
Parametreler	θ_{PV} (°)	P_{inv} (kW)	P_{FC} (kW)	N_{WG} (Adet)	N_{PV} (Adet)	P_{el} (kW)	M_{tank} (kW)
Gri Kurt Optimizasyonu	34.67	47.11	43.85	131.256	119.239	223	9
Ref [25]	34.129	46.725	43.431	144.19	119.44	224	8



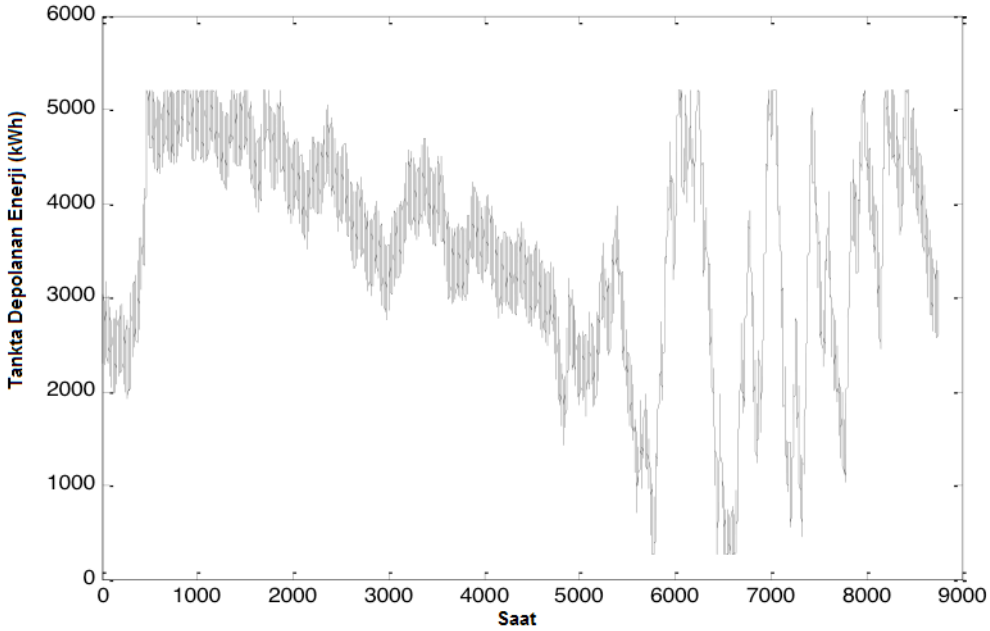
Şekil 4.6 Bir yıl boyunca rüzgar türbinlerinin üretim gücü



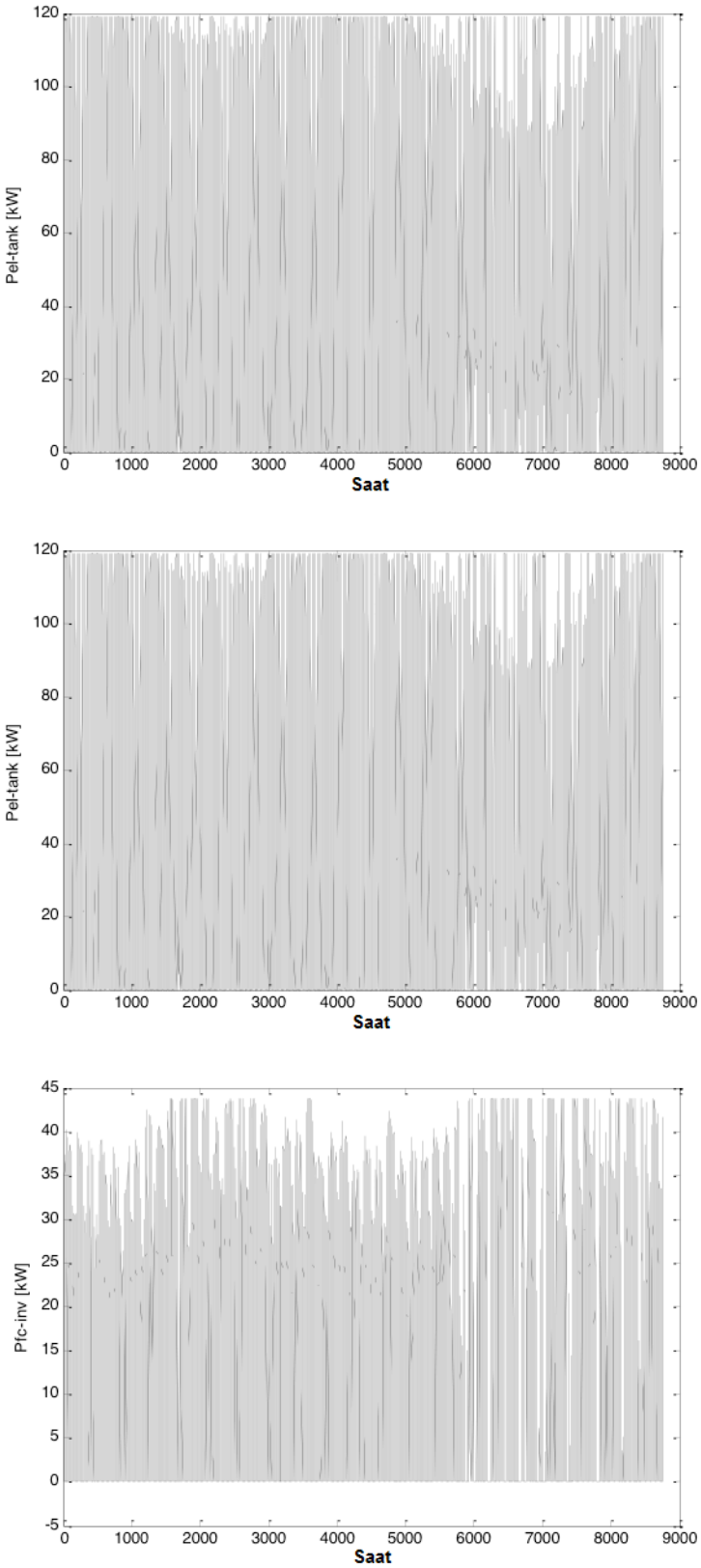
Şekil 4.7. Bir yıl boyunca fotovoltaik dizilerin üretim gücü



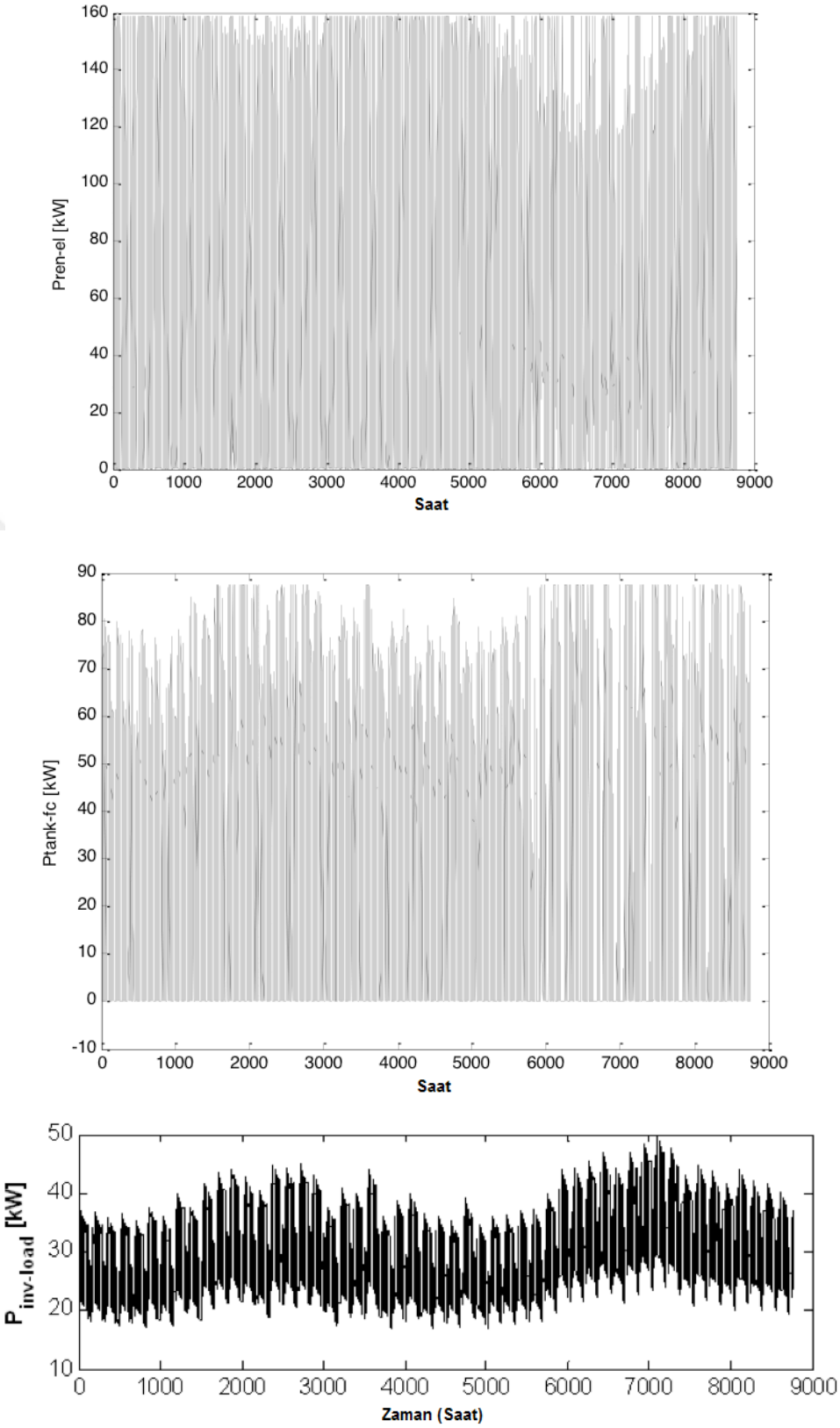
Şekil 4.8.Bir yıl boyunca yenilenebilir kaynakların üretim gücü



Şekil 4.9. Bir yıl boyunca hidrojen tanklarında depolanan enerjinin matematiksel beklentisi.



Şekil 4.10. Bir yıl boyunca yenilenebilir kaynaklardan invertöre, elektrolizörden tanka ve yakıt hücresinden invertöre aktarılan güç (yukarıdan aşağıya)

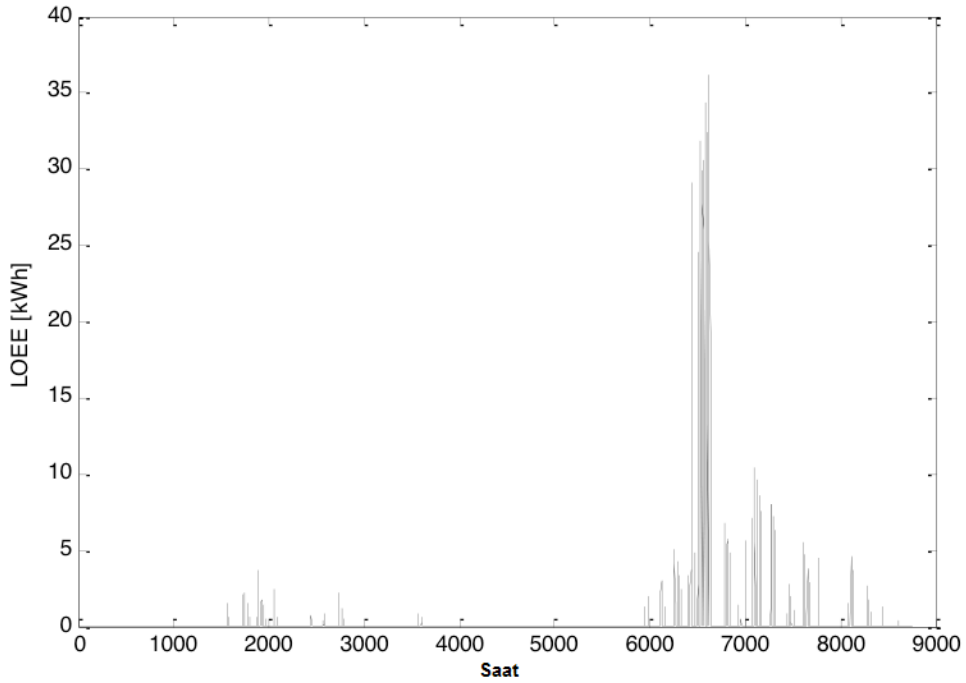


Şekil 4.11. Bir yıl boyunca yenilenebilir kaynaklardan elektrolizöre, tanktan yakıt hücresine ve invertörden yüke aktarılan güç (yukarıdan aşağıya)

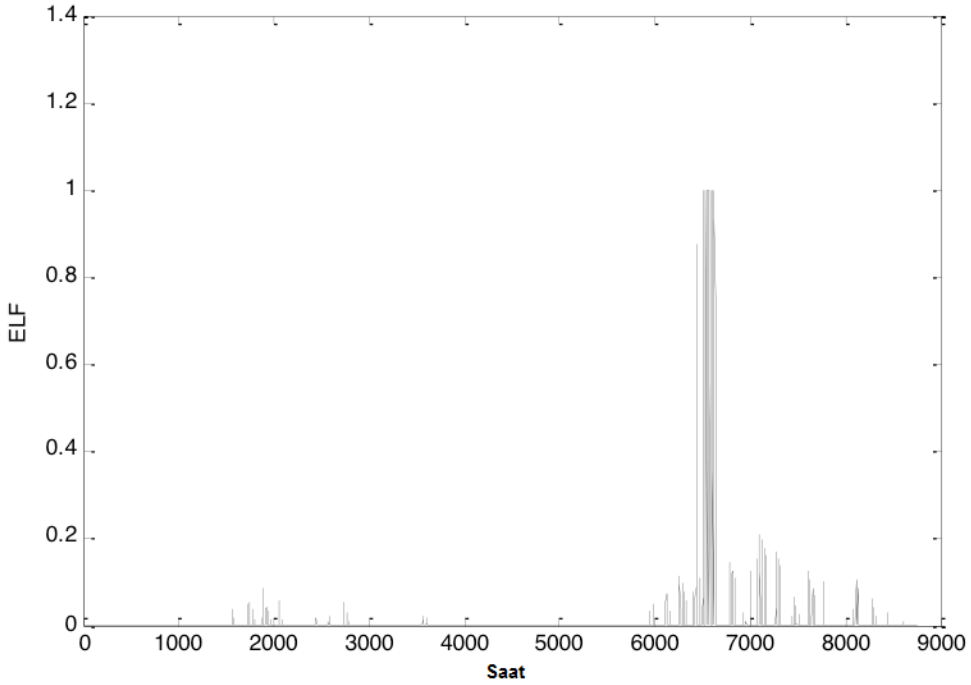
Bölüm IV'te belirtildiği gibi enerji üretiminin net mevcut maliyeti; 20 yıllık bir süre boyunca üretim birimleri, depolama sistemi ve invertörün yapım, işletim ve bakım masraflarının net şimdiki maliyetinden oluşmaktadır ve yük kaybı maliyeti, yük kesintisine bağlı maliyetlerin şimdiki değerine eşittir. Bir başka deyişle, üretimin net şimdiki maliyeti $\sum_i NPC_i$ ve yük kaybının net şimdiki maliyeti NPC_{loss}'dir. Sistemin maliyet ve güvenilirlik endekslerini de içeren optimizasyon sonuçları Çizelge 4-5' te gösterilmektedir. Bu sonuçların diğer referansların sonuçları ile karşılaştırılması, önerilen optimizasyon yöntemi tarafından elde edilen sonuçların iyi faydasına işaret etmektedir. 1 yıl boyunca Tedarik Edilmeyen Beklenen Enerji (EENS), Eşdeğer Kayıp Faktörü (ELF) ve Beklenen Yük Kaybı (LOLE) Şekil 4.12 ila 4.14 arasında gösterilmektedir.

Çizelge4.5. Hibrit sistemin maliyet ve güvenilirlik endekslerinin değerleri

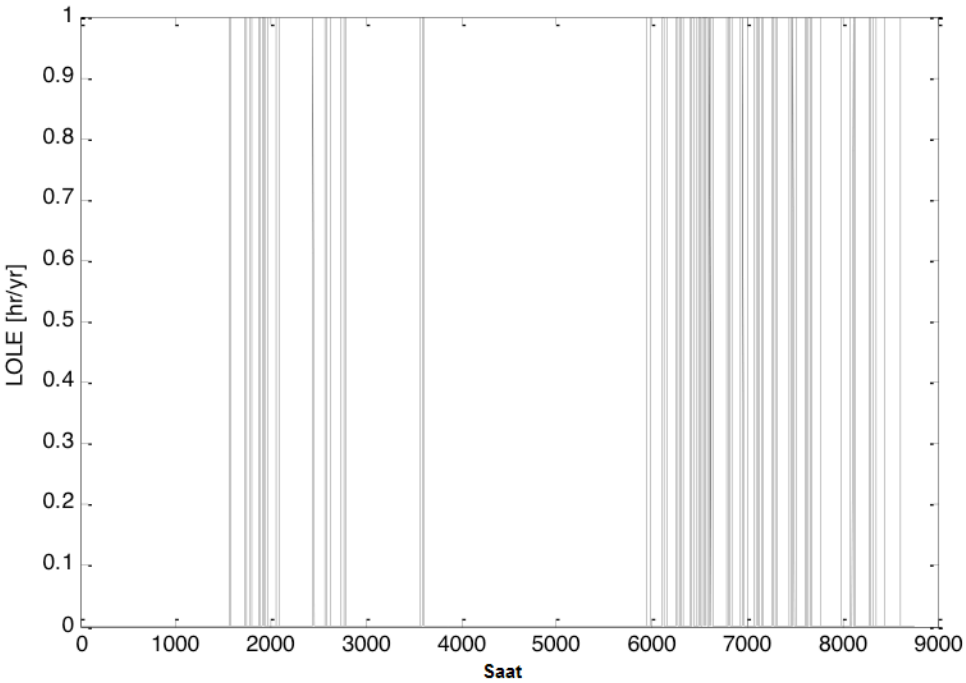
parametre	**Enerji üretiminin net şimdiki maliyeti (MUS$)**	**Başlangıç yatırım maliyeti (MUS$)**	**Yük kaybı maliyeti (MUS$)**	ELF	$LOEE$ **(MWs/yıl)**	$LPSP$	$LOLE$ **(saat/yıl)**
GWO	2.87	2.49	0.119	0.0086	2.385	0.0089	32.296
PSO	2.9	2.32	0.132	0.0083	2.37	0.0088	33.596



Şekil 4.12. Bir yıl boyunca EENS



Şekil 4.13. Bir yıl boyunca ELF



Şekil 4.14. Bir yıl boyunca LOLE

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

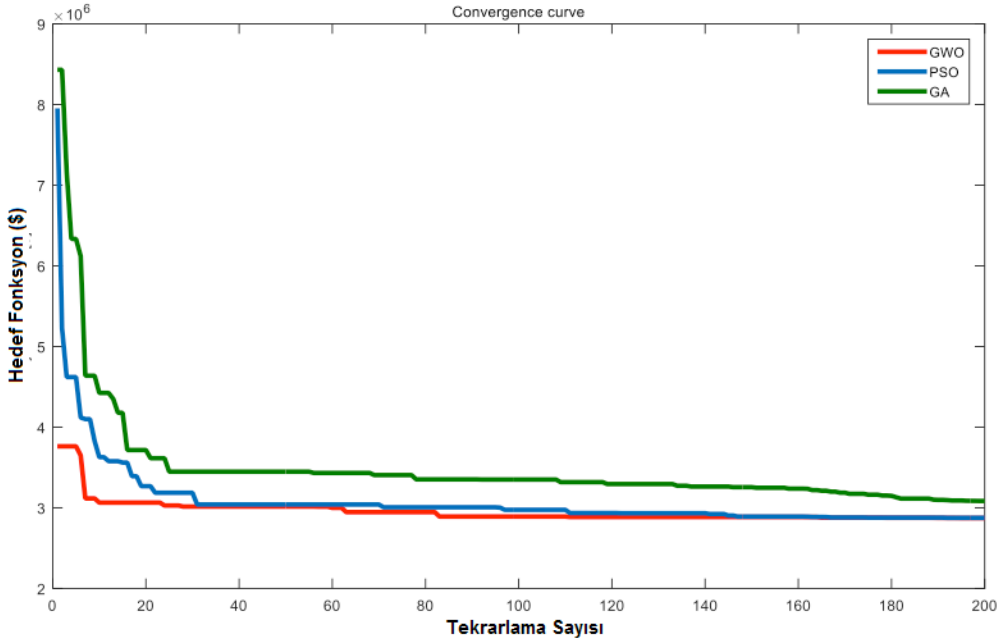
5.1. Sonuç

Rüzgar hızı ve güneş radyasyon yoğunluğunun doğrusal olmayan özellikleri, makul işletme ve yatırım maliyetleri ile güvenilir ve sürekli tedarik sağlamak için hibrit güneş-rüzgar-yakıt hücresi sisteminin optimal tasarımının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sisteminin arzu edilen güvenilirlik endekslerine göre kapasitesinin belirlenmesi için bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem, yatırım, işletme, bakım ve donanım değişiminin net şimdiki maliyetleri ve 20 yıl boyunca yük kaybı nedeniyle ortaya çıkan maliyetler dahil olmak üzere enerji üretim maliyetlerini en aza indirgemek amacıyla Gri Kurt Optimizasyonu algoritması kullanılarak bir güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sisteminin tasarlanması ve optimize edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Matlab ortamında bir yazılım programı geliştirilmiştir. Hibrit sistemin güvenilirlik/maliyet endekslerinin değerlendirilmesi, bir yıl süreyle 1 saatlik zaman adımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem optimizasyonu boyunca rüzgar türbinlerinin sayısı, fotovoltaik dizilerin sayısı ve açısı, elektrolizör kapasitesi, hidrojen depolama tankı, yakıt hücresi ve invertör ile buna mukabil maliyet ve güvenilirlik endeksleri elde edilmiştir.

Denklem (3-28) ile tanımlanan amaç fonksiyonunun bir kısmı, müşterilerin yük kesintilerinden kaynaklanan kayıplarını veya memnuniyetsizliğini temsil etmektedir. Amaç fonksiyonuna ilave olarak kısıt 3-34 ila 3-37, yük kesintisinin miktarını sınırlamakta, böylece sistem güvenilirliğini arzu edilen düzeyde tutmaktadır. Çizelge 4.13'te gösterilen sonuçlara göre Eşdeğer Kayıp Faktörü (ELF), sistemin arzu edilen optimizasyonuna işaret eden, maksimum değerinden daha düşük bir optimal noktada elde edilmektedir. Böylelikle optimal noktada, sistem güvenilirliği kısıtlaması aktive edilmeyecektir. Aslında, sistem güvenilirliğinin iyileştirilmesinden kaynaklanan maliyetle karşılaştırıldığında yük kayıplarının daha yüksek maliyetleri; sistemin yapım, değişim, işletme ve bakımdan (daha maliyetli bir sistem tasarlamak) kaynaklanan yüksek yatırım maliyetini daha maliyet etkin hale getirmektedir. Bir başka deyişle, güvenilirliğin geliştirilmesi, yük kaybı cezalarını ödemekten daha maliyet etkindir.

Bu tezde, rüzgar türbinlerini, güneş dizilerini ve yakıt hücresi sistemini içeren hibrit sistemlerin optimal tasarımı, Gri Kurt Optimizasyon (GWO) algoritmasını kullanarak yük taleplerini karşılamak ve enerji üretim maliyetlerini en aza indirgemek için sunulmaktadır.

Ayrıca, önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek için Parçacık Sürü Algoritması (PSO) ve Genetik Yaklaşım (GA) ile hibrit sistemlerin tasarımı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Optimizasyon yöntemleri için algoritmaların popülasyon sayısı ve algoritmaların maksimum yineleme sayısı sırasıyla 70 ve 200 olarak seçilmektedir. Hibrit sistem tasarımı problemini çözmek için optimizasyon yöntemlerinin yakınsama eğrisi aşağıdaki şekilde sunulmuştur.



Şekil 5.1. Optimizasyon Sorununu Çözmek için Yinelemeleri Açısından Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmasının Yakınsama Eğrisi

Yukarıdaki şekle göre, şunlar söylenebilir:

- Gri Kurt Optimizasyonu yönteminin yakınsama toleransı Parçacık Sürü Algoritması (PSO) ve Genetik Yaklaşım (GA)'dan daha azdır.
- Gri Kurt Optimizasyonu yöntemi, daha az yineleme ile yakınsamaya ulaşmıştır; bu, yakınsama hızının diğer yöntemlerden daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.
- Gri Kurt Optimizasyonu yöntemi, Parçacık Sürü Algoritması (PSO) (2/9) ve Genetik Yaklaşım (GA) (3/05) yöntemlerinden daha iyi amaç fonksiyonu değeri ve daha az maliyet (2/87) elde etmiştir.

Optimizasyon yöntemlerinden elde edilen, incelenen sistem donanımının optimal kapasitesi aşağıdaki Çizelgeda sunulmuştur.

Çizelge 5-1. İncelenen Sistem Donanımının Optimal Kapasitesi

Parametre	θ_{PV} (°)	P_{inv} (kW)	P_{FC} (kW)	M_{tank} (m^3)	P_{el} (kW)	N_{PV} Adet	N_{WG} Adet
GWO	34.67	47.11	43.85	131.256	119.239	223	9
PSO	33.82	46.94	43.18	134.73	118	219	10
GA	34.12	46.29	43.05	134.19	118.06	227	8

Optimizasyon yöntemlerinden elde edilen hibrit sistemin maliyet değerleri ve güvenilirlik indeksleri Çizelge 5-2 ‘de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre GWO yönteminin daha düşük maliyete yol açtığı görülmektedir. Önerilen yöntemde başlangıç yatırım maliyeti daha düşük maliyete sahiptir ve GWO yönteminde yük kaybı maliyeti GA yöntemindekinden daha düşüktür ve PSO yönteminin değerine yakındır. Bu nedenle, sistem tasarımının maliyet değerlendirmesinde önerilen GWO yöntemi, diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterir. Güvenilirliğin değerlendirilmesi açısından, daha yüksek maliyet nedeniyle PSO yöntemi daha iyi göstergeler sağlamıştır. Ayrıca GWO yönteminden elde edilen değerler PSO yönteminin sonuçlarına yakındır. Bu nedenle önerilen GWO yöntemi, hibrid sistem tasarımı ve güvenilirlik / maliyet değerlendirmesi probleminin çözümünde optimal performansı göstermektedir.

Çizelge 5-2. Hibrit Sistemin Maliyet ve Güvenilirlik Endekslerinin Değerleri

parametre	Enerji üretiminin net şimdiki maliyeti (MUS$)	Başlangıç yatırım maliyeti (MUS$)	Yük kaybı maliyeti (MUS$)	ELF	$LOEE$ (MWs/yıl)	$LPSP$	$LOLE$ (saat/yıl)
GWO	2.87	2.49	0.119	0.0086	2.385	0.0089	296.32
PSO	2.9	2.52	0.1185	0.0083	2.31	0.0085	295.29
GA	3.05	2.62	0.1194	0.0089	2.396	0.0092	315.14

5.2. Öneri

Güneş-rüzgâr-yakıt hücresi hibrit sisteminin güvenilirlik ve maliyet endekslerine göre daha da geliştirilmesi için gelecek çalışmaların aşağıdaki konuları incelemesi önerilir:

- Pil gibi kısa süreli depolama birimlerinin kullanılması,
- Enerji şebekesine bağlanabilirlik etkisi ve dağıtım ağının güvenilirliğinin geliştirilmesi,
- Rüzgar hızı ve güneş ışınımındaki belirsizliğin etkisinin değerlendirilmesi,
- Artan yük talebinin etkisinin değerlendirilmesi.

KAYNAKÇA

[1] A. Borbely and J. F. Kreider, Distributed Generation The Power Paradigm for the New Millennium, 1st ed. 2001.

[2] P. Bajpai and V. Dash, "Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications : A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 16, no. 5, pp. 2926–2939, 2012.

[3] T. K. A. Rahman, S. R. A. Rahim, and I. Musirin, "Optimal Allocation and Sizing of Embedded Generators," in National Power & Energy conference (PECon), 2004.

[4] S. Islam and R. Belmans, "Grid Independent Photovoltaic Fuel-Cell Hybrid System : Design and Control Strategy," ESAT-ELECTA, no. October, pp. 3–7, 2005.

[5] B. E. Türkay and A. Y. Tellİ, "Economic Analysis of Stand Alone and Grid Connected Hybrid Energy Systems," renewable energy, pp. 34–39, 2011.

[6] J. H. R. Enslin and D. B. Snyman, "Combined Low-Cost, High-Efficient Inverter, Peak Power Tracker and Regulator for PV Applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 6, no. 9038024, pp. 73–82, 1991.

[7] B. Banerjee and S. M. Islam, "Reliability based optimum location of distributed generation," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 33, no. 8, pp. 1470–1478, 2011.

[8] R. Billinton and R. N.Allan, Reliability Evaluation of power systems, Second. 1994.

[9] Y. Zhan, H. Wang, and J. Zhu, "Modelling and control of hybrid UPS system with backup PEM fuel cell / battery," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 43, no. 1, pp. 1322–1331, 2012.

[10] L. Hedström, C. Wallmark, P. Alvfors, M. Rissanen, B. Stridh, and J. Ekman, "Description and modelling of the solar – hydrogen – biogas-fuel cell system in GlashusEtt," J. Power Sources, vol. 131, pp. 340–350, 2004.

[11] R. Dufo-lópez and J. L. Bernal-agustín, "Multi-objective design of PV-Wind-Diesel-Hydrogen-Battery systems," Renew. energy, pp. 1–43, 2008.

[12] Q. Li, W. Chen, Y. Li, S. Liu, and J. Huang, “Energy management strategy for fuel cell / battery / ultracapacitor hybrid vehicle based on fuzzy logic,” Electr. power energy Syst., vol. 43, pp. 514–525, 2012.

[13] J. H. Lim, “Optimal Combination and Sizing of a New and Renewable Hybrid Generation System,” Int. J. Futur. Gener. Commun. Netw., vol. 5, no. 2, 2012.

[14] M. Engin and D. Engin, “Sizing PV-wind hybrid energy system for lighting,” Int. J. Dev. Sustain., vol. 1, no. 2, pp. 85–98, 2012.

[15] H. Yang, W. Zhou, L. Lu, and Z. Fang, “Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar – wind system with LPSP technology by using genetic algorithm,” Sol. Energy, vol. 82, pp. 354–367, 2008.

[16] O. C. Onar, M. Uzunoglu, and M. S. Alam, “Dynamic modeling , design and simulation of a wind / fuel cell / ultra-capacitor-based hybrid power generation system,” J. Power Sources, vol. 161, pp. 707–722, 2006.

[17] E. Dursun and O. Kilic, “Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV / Wind / PEMFC hybrid power system,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 34, no. 1, pp. 81–89, 2012.

[18] H. Yang, L. Lu, and W. Zhou, “A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system,” Sol. Energy, vol. 81, pp. 76–84, 2007.

[19] S. Dehghan, “Optimal Sizing of a Hydrogen-based Wind / PV Plant Considering Reliability Indices,” World Acad. Sci. Eng. Technol., vol. 56, 2009.

[20] A. A.Bayod-rujla, M. E. Haro-Larrode, and A. Martinez-Garcia, “Sizing criteria of hybrid photovoltaic – wind systems with battery storage and self-consumption considering interaction with the grid,” Sol. Energy, vol. 98, pp. 582–591, 2013.

[21] F. O. Hocaog, “A novel hybrid (wind – photovoltaic) system sizing procedure,” Sol. Energy, vol. 83, pp. 2019–2028, 2009.

[22] G. Aydinli, N. S. Sisworahardjo, and M. S. Alam, “Reliability and Sensitivity Analysis of Low Power Portable Direct Methanol Fuel Cell,” in Eurocon, 2007, pp. 1457–1462.

[23] A. K. Kaviani, G. H. Riahy, and S. H. M. Kouhsari, “Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind / PV generating system , considering component outages,” Renew. Energy, vol. 34, no. 11, pp. 2380–2390, 2009.

[24] M. Tanrioven and M. S. Alam, “Reliability modeling and analysis of stand-alone PEM fuel cell power plants *,” Renew. energy, vol. 31, pp. 915–933, 2006.

[25] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, “Grey Wolf Optimizer,” Adv. Eng. Softw., vol. 69, pp. 46–61, 2014.

[26] C. Muro, R. Escobedo, L. Spector, and R. P. Coppinger, “Wolf-pack (Canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations,” Behav. Processes, vol. 88, no. 3, pp. 192–197, 2011.

[27] M. J. Khan and M. T. Iqbal, “Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland,” Renew. energy, vol. 30, pp. 835–854, 2005.

[28] M. Tanrioven, A. Rahman, and M. S. Alam, “Cost related sensitivity analysis for optimal operation of a grid-parallel PEM fuel cell power plant,” J. Power Sources, vol. 161, pp. 1198–1207, 2006.

[29] K. Strunz and E. K. Brock, “Stochastic Energy Source Access Management : Infrastructure-integrative modular plant for sustainable,” Int. J. Hydrogen Energy, vol. 31, pp. 1129–1141, 2006.

[30] D. Xu, L. Kang, L. Chang, and B. Cao, “Optimal Sizing Of Stand Alone Hybrid Wind/PV Power Systems Using Genetic Algorithms.” in International Conference of Future Power System, 2005, no. May, pp. 1722–1725.

[31] R. S. Garcia and D. Weisser, “A wind – diesel system with hydrogen storage : Joint optimisation of design and dispatch,” Renew. energy, vol. 31, pp. 2296–2320, 2006.

[32] Ghadiri Nejad, Mazyar, et al. "A mathematical model and simulated annealing algorithm for solving the cyclic scheduling problem of a flexible robotic cell." Advances in Mechanical Engineering 10.1 (2018): 1687814017753912.

[33] Nejad, Mazyar Ghadiri, et al. "An optimization model for cyclic scheduling problem in flexible robotic cells." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2017): 1-11.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Iraj ASGHARI

Doğum Yeri : MARAND, IRAN

Medeni Hali : Bekar

E-posta : asghari.iraj@gmail.com

Adresi : IRAN

Eğitim

Lise : Behrouz Rafian (1999-2002)

Lisans : Tabriz Teknik Koleji (2002.2005) & Sapco Uygulama Bilim Merkezi(2008-2010

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar- Fen Bilimleri enstitüsü- Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı (2012-2018)

Yabancı Dil ve Düzeyi: İngilizce, Türkçe, Farsça

İş Deneyimi: Tahran Rafinerisi (Kontrol Ve Otomasyon Mühendisi)

Deneyim Alanları: Otomasyon Ve Kontrol Mühendisliği

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 02/02/2018

Tez Başlığı / Konusu: Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmasına Dayalı Bir Rüzgar / Fotovoltaik / Yakıt Hücreli Hibrit Sisteminin Optimal Büyüklükteki Tasarımı
Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 83 sayfalık kısmına ilişkin, 02/02/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:
1- Kaynakça hariç
2- Alıntılar dâhil
3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Iraj ASGHARI
Öğrenci No: N12128187
Anabilim Dalı: Temiz Tükenmez Enerjiler
Programı:
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Reza YATANKHAH
(Unvan, Ad Soyad, İmza)

HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING
THESIS/DISSERTATION ORIGINALITY REPORT

HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING
TO THE DEPARTMENT OF CLEAN AND RENEWABLE ENERGIES

Date: 02/02/2018

Thesis Title / Topic: Optimally-Sized Design of a Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Hybrid System Based on Grey Wolf Optimization Algorithm (GWO)

According to the originality report obtained by my thesis advisor by using the *Turnitin* plagiarism detection software and by applying the filtering options stated below on 02/02/2018 for the total of 83 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 4 %.

Filtering options applied:

1. Bibliography/Works Cited excluded
2. Quotes included
3. Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Sciene and Engineering Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

Name Surname: Iraj ASGHARI

Student No: N12128187

Department: Clean And Renewable Energies

Program:

Status: ☒ Masters ☐ Ph.D. ☐ Integrated Ph.D.

ADVISOR APPROVAL

APPROVED.

Dr. Reza VATANKHAH

(Title, Name Surname, Signature)

Iraj Asghari Tez

ORIGINALITY REPORT

4%	1%	1%	3%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to TechKnowledge Turkey Student Paper	2%
2	Submitted to Eastern Mediterranean University Student Paper	1%
3	jiaeee.org Internet Source	<1%
4	Kashefi Kaviani, A.. "Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages", Renewable Energy, 200911 Publication	<1%
5	www.etf.bg.ac.rs Internet Source	<1%
6	DEMİR, Gökhan and TANYILDIZI, Erkan. "Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)'nın Kullanılması", Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enst., 2017. Publication	<1%

7	Nowdeh, Saber Arabi, and Mahdi Hajibeigy. "Economic Designing of PV/FC/Wind Hybrid System Considering Components Availability", International Journal of Modern Education and Computer Science, 2013. Publication	<1%
8	docplayer.biz.tr Internet Source	<1%

Exclude quotes	Off	Exclude matches	< 5 words
Exclude bibliography	On		