



**GÜNEŞ VE HİDROELEKTRİKTEN OLUŞAN BİR HİBRİT ENERJİ
SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI**

Muhammed Fatih SALTUK

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammet Fatih SALTUK

23/01/2023

GÜNEŞ VE HİDROELEKTRİKTEN OLUŞAN BİR HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

(Doktora Tezi)

Muhammed Fatih SALTUK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir özelliklerine karşın gün içi üretim dalgalanmaları ve kapasite kullanım oranlarındaki düşük oranlar, hibrit enerji kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Güneş-Hidroelektrik (GHE), güneş ve hidroelektrik enerjisinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan bir hibrit enerji türüdür. Bu doktora tez çalışmasında, GHE hibrit yapısının modellenmesi yapılmış, birlikte oluşturulan sistem için enerji yönetiminin sağlanması ve farklı yenilenebilir hibrit çiftleri ile performans karşılaştırmaları verilmiştir. Bu tez çalışması ile birlikte, enerji üretim ve şebeke kapasite kullanım verimliliğinin artırılması amaçlanmış olup, ayrıca GHE sistemi için en uygun güneş enerji tesisi kurulu güç elde edilmiştir. Modelleme çalışmalarında MATLAB Simulink kullanılmıştır. Birbirinden farklı özelliklere sahip, mevcutta çalışan ve yapılması planlanan nehir tipi hidroelektrik santraller için vaka çalışmaları yapılmıştır. Hibrit GHE sistem simülasyonu nehir tipi hidroelektrik santrallerinin temel parametreleri kullanılarak modellenmiştir. Çalışma kapsamında, ele alınan vaka çalışmaları için GHE hibrit yapısına en uygun güneş enerji tesisi kurulu güç tespiti yapılmıştır. Bu tespit yapılırken ilk etapta sistem parametreleri belirlenmiş, matematiksel model geliştirilmiş ve en uygun sistemi sağlayacak algoritma oluşturulmuştur. Matematiksel modelin en önemli parametrelerden biri güneş ışıma miktarıdır. Saatlik bazda güneş ışıma miktarını sağlayabilmek için literatür taranmış ve en yaygın olarak kullanılan iki model olan, ampirik model ile ekonometrik modeller algoritma içinde denenmiştir. Önerilen algoritma kapsamındaki tüm parametreler temin edilerek, vaka çalışmaları tamamlanmıştır. Sonuç olarak kurgulanan yapı en uygun sistem kurulu gücünün tespitini sağlamıştır. Oluşturulan algoritma sayesinde Türkiye'nin potansiyel GHE hibrit kurulu gücü tespit edilmiş olup, diğer yenilenebilir enerji tesisleri ile performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bilim Kodu : 90544

Anahtar Kelimeler : GHE (Güneş-Hidroelektrik) sistemi, entegre hibrit sistem, güneş enerjisi, enerji yönetimi, hidroelektrik enerji

Sayfa Adedi : 233

Danışman : Prof. Dr. Mahir DURSUN

MODELING AND PERFORMANCE COMPARISON OF A HYBRID ENERGY SYSTEM COMBINED BY HYDROELECTRIC AND SOLAR ENERGY

(Ph. D. Thesis)

Muhammed Fatih SALTUK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

Despite the sustainable characteristics of renewable energy sources, the daily production fluctuations and the low capacity utilization rates make hybrid energy mandatory. Solar-Hydroelectric (SHE) is a kind hybrid energy type created by using solar and hydroelectric energy together. In this doctoral thesis, modeling of the SHE hybrid structure was performed by using energy management for the co-created system and performance comparisons with different renewable hybrid pairs. This thesis aimed to increase the efficiency of energy production and grid capacity utilization, and the most suitable solar power plant installed power for the SHE system. MATLAB Simulink was used in modeling studies. Case studies were conducted for river-type hydroelectric power plants that have different characteristics, are currently operating, and are planned to be built. Hybrid SHE system simulation is modeled using basic parameters of river-type hydroelectric power plants. Within the scope of the study, the most suitable solar power plant installed power was determined for the SHE hybrid structure for the case studies discussed. While making this determination, system parameters were determined in the first place, a mathematical model was developed and an algorithm was created to provide the most suitable system. One of the most critical parameters of the mathematical model is the amount of solar radiation. To provide the amount of solar radiation on an hourly basis, the literature was searched and the two most widely used models, the empirical model, and the econometric models were tested in the algorithm. All the parameters within the scope of the proposed algorithm were provided and the case studies were completed. As a result, the structure that was constructed enabled the determination of the most suitable system-installed power. Thanks to the created algorithm, Türkiye's potential SHE hybrid installed power has been determined and performance comparisons have been made with other renewable energy facilities.

Science Code : 90544

Key Words : SHE (Solar Hydroelectric Energy) system, integrated hybrid system, solar energy, hnergy management, hydroelectric energy

Page Number : 233

Supervisor : Prof. Dr. Mahir DURSUN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Mahir DURSUN'a, tez izleme komite üyelerim Sayın Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na, Sayın Prof. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ'a çok teşekkür ederim. Süreçte manevi desteğini veren sevgili eşim Semiha SALTUK, çocuklarım Efsa SALTUK ve Ömer Hamza SALTUK, babam Cevdet SALTUK, annem Emsal SALTUK, kardeşlerim Serhat SALTUK ve Merve SALTUK ile Genel Müdür Yardımcım Sayın Seçil KIZILKAYA YILDIZ'a teşekkür ederim. Ayrıca, bu doktora tez çalışması 07/2017-05 proje kodu ile GAZİ BAP tarafından desteklenmiş olup, GAZİ BAP'a teşekkürü de bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ KAVRAMI VE ÖNEMİ	3
2.1. Dünya’da Enerji Üretimi ve Tüketimi	5
2.2. Türkiye’de Enerji Üretimi ve Tüketimi	10
3. İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE KURAKLIK	15
4. HİDROELEKTRİK ENERJİ	21
5. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	35
6. LİTERATÜR TARAMASI.....	47
7. MATEMATİKSEL MODEL VE ALGORİTMA.....	85
8. VAKA ÇALIŞMALARI	105
9. GÜNEŞ VE HİDROELEKTRİK HİBRİT YAPISI İLE DİĞER YENİLENEBİLİR HİBRİT ENERJİ ÇİFTLERİNİN POTANSİYEL KARŞILAŞTIRMASI.....	139
9.1. Nicel Ölçme ve Değerlendirme.....	139

	Sayfa
9.2. Nitel Ölçme ve Değerlendirme	145
9.3. Vaka Çalışması ve Performans Karşılaştırma	149
10. GHE (SHE) HİBRİT SİSTEMİNE UYGUN HİDROELEKTRİK TESİSİ SEÇİM ALGORİTMASI : TÜRKİYE ÖRNEĞİ	171
10.1. Farklı Coğrafi Bölgelerde Yapılan Vaka Çalışmaları	182
10.2. Farklı Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Hibrit Yapı Performans Karşılaştırmaları	189
10.3. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Vaka Çalışması	194
11. SONUÇ VE ÖNERİLER	203
KAYNAKLAR	209
EKLER.....	229
EK-1.	230
EK-2.	231
EK-3.	232
ÖZGEÇMİŞ	233

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye'nin lisanslı ve lisanssız enerji üretim tesisleri	12
Çizelge 4.1. HES tesislerinin Türkiye toplam kurulu güç içindeki durumu	26
Çizelge 4.2. Mevcut ve 2023 yılına kadar devreye girmesi planlanan HES tesisleri	27
Çizelge 8.1. HES tesisi proje karakteristikleri.....	105
Çizelge 8.2. MATLAB HES model parametreleri.....	121
Çizelge 8.3. MATLAB Simulink GES model parametreleri	121
Çizelge 8.4. HES tesisi proje karakteristikleri	131
Çizelge 9.1. Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım birim maliyetleri.....	141
Çizelge 9.2. Yenilenebilir enerji kaynak araştırma birim maliyetleri ve değerlendirmesi.....	141
Çizelge 9.3. Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım birim maliyetleri ve değerlendirme	144
Çizelge 9.4. Yenilenebilir enerji kaynakları birim işletme giderleri.....	144
Çizelge 9.5. Yenilenebilir enerji kaynakları birim CO ₂ emisyon azaltımları ve değerlendirme	145
Çizelge 9.6. GHE entegrasyon yapısının diğer yenilenebilir enerji türleriyle karşılaştırması	145
Çizelge 9.7. GHE entegrasyon yapısının diğer yenilenebilir enerji türleriyle karşılaştırması	149
Çizelge 9.8. Senaryolar ve HES tesisi proje karakteristikleri	150
Çizelge 9.9. Yenilenebilir enerji kaynakları proje karakteristikleri.....	151
Çizelge 9.10. Yenilenebilir enerji kaynakları özet sonuçlar	158
Çizelge 9.11. Yenilenebilir hibrit çiftleri özet sonuçlar	158
Çizelge 9.12. Yenilenebilir enerji kaynakları özet sonuçlar	158
Çizelge 9.13. Yenilenebilir hibrit çiftleri özet sonuçlar	158

Çizelge	Sayfa
Çizelge 9.14. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri	160
Çizelge 9.15. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları.....	161
Çizelge 9.16. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri	161
Çizelge 9.17. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları.....	161
Çizelge 9.18. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri	167
Çizelge 9.19. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları.....	167
Çizelge 9.20. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri	167
Çizelge 9.21. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları.....	167
Çizelge 10.1. Işıma bölgesine göre performans karşılaştırma	175
Çizelge 10.2. Aynı kurulu güç değeri için ışıma bölgesine göre performans karşılaştırma	176
Çizelge 10.3. Türkiye'nin hidroelektrik tesis bilgileri	180
Çizelge 10.4. Türkiye entegre GHE tesis potansiyeli	180
Çizelge 10.5. Seçilen HES tesisleri proje karakteristikleri	182
Çizelge 10.6. Işıma bölgesine göre ekonomik değerlendirme tablosu	186
Çizelge 10.7. Seçilen yenilenebilir enerji tesis proje karakteristikleri.....	189
Çizelge 10.8. Hibrit yapı proje karakteristikleri	191
Çizelge 10.9. Hibrit yapıların performans karşılaştırmaları	194
Çizelge 10.10. Türkiye'de yapılması planlanan PHES tesisleri	196
Çizelge 10.11. 2020 yılı depolama teknoloji maliyetleri	197
Çizelge 10.12. Enerji birim satış fiyatları	198
Çizelge 10.13. Pompaj depolamalı HES/Hibrit GES senaryo karşılaştırmaları	199

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 42 galon ham petrolden elde edilen ürünler	4
Şekil 2.2. Hidrokarbon gaz sıvıların üretimi ve tipleri	5
Şekil 2.3. Dünya kaynak tüketimi (1993-2018).....	6
Şekil 2.4. Yakıt bazlı üretim oranları.....	6
Şekil 2.5. 1998-2018 yılları arası bölgesel ve kaynak bazlı yenilenebilir enerji tüketimi	8
Şekil 2.6. Enerji kaynağına göre 2040 yılı enerji tüketim tahminleri.....	9
Şekil 2.7. Enerji kaynağına göre 2025-2050 yılları arası değişim (%) beklentisi	9
Şekil 2.8. 2001-2019 yılları arası elektrik talep ve talep artış oranı	10
Şekil 2.9. 2019 yılı elektrik dağıtım bölgeleri elektrik tüketim miktarı ve tüketici sayısı	11
Şekil 2.10. Lisanslı ve lisanssız tesislerin kurulu güç dağılım grafiği.....	12
Şekil 2.11. Türkiye 1990-2019 yılları arası enerji kaynağı türüne göre elektrik üretim miktarları.....	13
Şekil 2.12. 2018-2022 yılları arası kurulu güç tahminleri	13
Şekil 2.13. Türkiye’deki yenilenebilir enerji tesislerinin kapasite kullanım oranları.....	14
Şekil 3.1. Dünya ortalama sıcaklık anomalisi ve ortalama sıcaklık atlası	17
Şekil 3.2. Türkiye ortalama sıcaklık değerleri değişimi	18
Şekil 4.1. Küresel elektrik üretimindeki HES tesislerinin payı	22
Şekil 4.2. 2018 yılı Dünya HES tesisi kurulu gücü ve ülkelere göre dağılımı	22
Şekil 4.3. 1950-2018 yılları arası Dünya HES tesis kapasiteleri ve üretimleri.....	24
Şekil 4.4. İHA verilerine göre 2018 yılı Dünya pompaj depolamalı HES kurulu gücü ve dağılımı	25
Şekil 4.5. Avrupa kıtası HES kurulu güç dağılımı.....	26
Şekil 4.6. Tipik bir nehir tipi HES santrali gösterimi	30

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Kaplan tipi türbinin çalışma aralığı ve teknik çizimi.....	33
Şekil 4.8. Francis türbin teknik çizim ve çalışma aralığı.....	33
Şekil 4.9. Pelton türbin resmi ve çalışma aralığı	34
Şekil 5.1. Güneş ışıması spektral dağılımı.....	37
Şekil 5.2. Fotovoltaik etki gösterimi ve basitleştirilmiş PV model	38
Şekil 5.3. PV panel modellerinde yaşanan verimlilik gelişmeleri	39
Şekil 5.4. 2040 yılına kadar bölgelere göre yenilenebilir enerji tahminleri.....	44
Şekil 5.5. IEA 2019-2024 yılları arası yenilenebilir enerji kapasite öngörüsü.....	44
Şekil 5.6. Türkiye güneş enerji potansiyeli.....	45
Şekil 7.1. Basitleştirilmiş güneş hücresi devresi.....	85
Şekil 7.2. Eğim açısı ve yıl içinde değişimi.....	89
Şekil 7.3. NASA ışıma verileri	92
Şekil 7.4. Saatlik ışıma miktarı grafiği	93
Şekil 7.5. Korelasyon grafiği	93
Şekil 7.6. GHE hibrit entegre yapısı için GES tesisinin en uygun kurulu gücünü belirleyen algoritma	96
Şekil 7.7. GHE hibrit entegre yapısı için GES tesisinin en uygun kurulu gücünü belirleyen algoritma	97
Şekil 7.8. Örnek GHE sistem tasarımları.....	102
Şekil 8.1. HES tesisi kanal yapısının SHE sistemine entegrasyonu	106
Şekil 8.2. Günlük ışıma miktarı	106
Şekil 8.3. Ocak ayı ilk üç gün için güneş ışıma miktarı tahmini	107
Şekil 8.4. Ocak ayı hafta/ay ve tüm yıl güneş ışıma tahmini.....	108
Şekil 8.5. Saatlik güneş ışıma miktarı tahmini	108
Şekil 8.6. Korelasyon grafiği	109

Şekil	Sayfa
Şekil 8.7. AR ve MA modelleri kullanarak 1 günlük güneş ışıma miktarı tahmini	110
Şekil 8.8. ARIMA, YSA kullanarak güneş ışıma miktarı tahmini ve karşılaştırması	110
Şekil 8.9. ARIMA, YSA kullanarak güneş ışıma miktarı tahmini ve karşılaştırması	111
Şekil 8.10. ARIMA, YSA kullanarak güneş ışıma miktarı tahmini ve karşılaştırması ..	111
Şekil 8.11. Farklı aylardaki bir günlük güneş ışıma miktarı öngörülleri	113
Şekil 8.12. Güneş enerji tesisleri kurulu kapasite maliyeti, kapasite faktörü, LCOE.....	116
Şekil 8.13. GHE sistemi fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği.....	117
Şekil 8.14. Düzensiz su verilerine göre hesaplanan birim kurulu güç ve üretim grafikleri.....	117
Şekil 8.15. Düzenli su verilerine göre hesaplanan birim kurulu güç ve üretim grafikleri.....	118
Şekil 8.16. HES-GES-entegre GHE sistemi yıl içinde günlük elektrik üretim miktarı..	119
Şekil 8.17. MATLAB Simulink GHE sistem tasarımı	120
Şekil 8.18. MATLAB Simulink HES tesisi gösterimi	122
Şekil 8.19. MATLAB PV model güç, akım ve gerilim karakteristiği	122
Şekil 8.20. MATLAB PV array model gösterimi	123
Şekil 8.21. MATLAB Simulink güneş ışıma ve sıcaklık girişi sinyalleri	123
Şekil 8.22. Bir yıllık ışıma ve sıcaklık ortalaması değerleri (temsili 3 saniye)	124
Şekil 8.23. MATLAB Simulink şebeke altyapı gösterimi	124
Şekil 8.24. MATLAB Simulink şebeke gerilim ve akım grafikleri.....	125
Şekil 8.25. MATLAB Simulink şebeke gerilim ve akım grafikleri.....	125
Şekil 8.26. MATLAB Simulink şebeke gerilim ve akım grafikleri.....	126
Şekil 8.27. Önerilen SHE sistemi ve V-I değerleri	126
Şekil 8.28. Önerilen MATLAB Simulink şebeke gösterimi.....	127
Şekil 8.29. MATLAB Simulink GHE sistem tasarımı (Fazör mod).....	128

Şekil	Sayfa
Şekil 8.30. MATLAB Simulink GHE sistem tasarımı (Fazör mod).....	130
Şekil 8.31. GHE sistemi en uygun fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği.....	132
Şekil 8.32. Hava durumuna göre gerçek zamanlı sabit-hareketli güneş sisteminin üre tim karşılaştırması.....	133
Şekil 8.33. Düzensiz su verilerine göre hesaplanan kurulu güç ve üretim grafikleri	135
Şekil 8.34. HES, GES ve GHE sistemi elektrik üretim miktarı.....	135
Şekil 8.35. Düzenli su verilerine göre hesaplanan kurulu güç ve üretim grafikleri.....	137
Şekil 8.36. HES, GES ve GHE sistemi elektrik üretim miktarı.....	138
Şekil 9.1. Rüzgar enerji tesisleri kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE	142
Şekil 9.2. Jeotermal enerji tesisleri kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE	143
Şekil 9.3. Biyokütle enerji tesisleri kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE	143
Şekil 9.4. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği	153
Şekil 9.5. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği	154
Şekil 9.6. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktar grafiği	156
Şekil 9.7. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktar grafiği	157
Şekil 9.8. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği	163
Şekil 9.9. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği	164
Şekil 9.10. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktar grafiği	165
Şekil 9.11. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktar grafiği	166

Şekil	Sayfa
Şekil 10.1. GHE sistemine uygun HES tesis seçim algoritması	171
Şekil 10.2. Işıma bölgesi temelli en uygun kurulu güç tespiti çalışması	174
Şekil 10.3. Hidro enerjinin kapasite kullanım oranı %40 olduğunda güneş ısıma bölgesi temelli kurulu güç tahminleri.....	179
Şekil 10.4. Seçilen HES tesis konumlarının güneş enerji atlasında gösterimi.....	182
Şekil 10.5. Seçilen HES tesislerinin fayda/maliyet oran grafikleri	183
Şekil 10.6. HES 2 hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği	183
Şekil 10.7. HES 3 hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği	184
Şekil 10.8. HES 4 hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği	184
Şekil 10.9. HES 5 hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği	185
Şekil 10.10. HES 6 hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği	185
Şekil 10.11. Işıma bölgesine göre hazırlanan Hibrit GES fayda/maliyet oran grafiği ...	187
Şekil 10.12. HES 2/Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri	188
Şekil 10.13. HES 3/Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri	188
Şekil 10.14. HES 4/Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri	188
Şekil 10.15. HES 5/Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri	189
Şekil 10.16. HES 6/Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri	189
Şekil 10.17. Aydın il sınırları içerisinde seçilen yenilenebilir enerji tesisleri	190
Şekil 10.18. Seçilen yenilenebilir enerji tesislerinin fayda/maliyet oran grafikleri.....	191
Şekil 10.19. HES + GES (SHE) tesisi fayda/maliyet grafiği ve enerji üretimi	192
Şekil 10.20. JES + GES tesisi fayda/maliyet oran grafiği ve enerji üretimi	192
Şekil 10.21. Tipik pompajlı enerji depolama/üretim süreç gösterimi.....	195
Şekil 10.22. Hibrit GES fayda/maliyet oran grafiği ve enerji üretimi	200
Şekil 10.23. Gökçekaya HES ve hibrit GHE sistem enerji üretim karşılaştırması	201

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Dünya'nın en yüksek kurulu gücüne sahip olan üç boğaz barajı	24
Resim 5.1. Güneş enerjisinde yeni teknolojik ürünlere ait görseller	42
Resim 5.2. Tasarlanan odaklayıcı güneş hücresi (a) ve multilevel inverter (b, c)	43
Resim 8.1. Vaka 1 google earth görüntüsü	105
Resim 8.2. Vaka 2 google earth görüntüsü ve GHE entegre tesis uygun alanlar	132
Resim 8.3. Odaklayıcı (a, b) yüzer güneş ve klasik (c) yüzer güneş örnekleri	134
Resim 9.1. Kanal üstü (a) güneş, baraj gövde yüzeyi güneş (b, c) ve göl alanı (d) yüzer güneş tesis örnekleri	149
Resim 10.1. Türkiye'nin ilk yenilenebilir hibrit (hidroelektrik+güneş) enerji tesisi	181
Resim 10.2. Mardin-Ceylanpınar sulama kanalı	181

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. 2018 yılı Dünya kişi başı petrol kullanım yoğunluğu	7
Harita 2.2. 2018 yılı Dünya kişi başı doğalgaz tüketimi	7
Harita 3.1. Dünya küresel su kıtlığı haritası.....	16
Harita 3.2. Avrupa su kıtlığı haritası.....	16
Harita 3.3. Türkiye çölleşme risk haritası	19
Harita 3.4. Dünya su stresi haritası	19
Harita 4.1. Bölgesel HES tesisi kurulu güç dağılımı haritası.....	23
Harita 5.1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası	43
Harita 10.1. Türkiye güneş enerji atlası.....	172

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

m³	Metreküp
db	Desibel
hz	Hertz
m²	Metrekare
m	Metre
kg	Kilogram
kWh	Kilo Watt Hour
MWh	Mega Watt Hour
GWh	Giga Watt Hour
TWh	Tera Watt Hour
CO₂	Karbondioksit

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
ÇEM	Çölleşme ve Erezyonla Mücadele
DSİ	Devlet Su İşleri
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
GHE	Güneş Hidroelektrik
SHE	Solar Hydroelectric

1. GİRİŞ

Enerji, modern Dünya'nın en büyük gereksinimlerinden biridir. Elektrik, en çok kullanılan enerji türlerindendir. Yaşamın her alanında elektrik tüketilmektedir. Elektrik tüketimi günden güne artarak devam etmekte olup, ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil kaynaklarının sınırlı olması ve yenilenebilir enerjinin temiz ve sürdürülebilir bir kaynak olması, son yıllarda yenilenebilir enerjiye olan ilginin artmasına yol açmıştır.

Üretim profili ve özellikleri açısından, birbirinden oldukça farklı yenilenebilir enerji kaynakları olmakla birlikte, en yaygın kullanımı olan yenilenebilir enerji türleri hidro, güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerjidir. Hidroelektrik santralleri, ülkemizde olduğu gibi Dünya'da da en yoğun şekilde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından. Hidroelektrik santrallerini temelde, depolamalı (rezervuarlı veya baraj tipi) ve nehir tipi (akarsu tipi) olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Hidroelektrik santrallerinin potansiyel kapasitesini etkileyen ana unsurlar olarak su kaynakları, meteorolojik veriler ve yer şekilleri gösterilebilmektedir. Depolamalı hidroelektrik santraller, göl alanları sayesinde enerji üretimlerini nispeten kontrol edebilme şansına sahipken, nehir tipi santraller tamamen yağışlara bağımlıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir özelliklerine karşın gün içi üretim dalgalanmaları ve kapasite kullanım oranlarındaki düşük oranlar hibrit enerji kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Güneş-Hidroelektrik (GHE), güneş ve hidroelektrik enerjisinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan bir hibrit enerji türüdür. Bu doktora tez çalışmasında, GHE hibrit yapısının modellenmesi, hibrit sistem enerji yönetimi ve farklı yenilenebilir enerji çiftleri için performans karşılaştırması verilmiştir. Modelleme için MATLAB Simulink kullanılmıştır. Mevcut çalışan ve yapılması planlanan nehir tipi hidroelektrik santraller için vaka çalışması yapılmış ve GHE simülasyonu yapılmıştır. Çalışmalarda entegre hibrit yapı üzerinde durulmuştur.

Uluslararası elektrik hat bağlantılarının az veya zayıf olduğu durumlarda, şebekenin kararlılığını ve istikrarını korumak için yenilenebilir enerjiye ayrılan trafo kapasitesi sınırlamak zorunda kalılabilmektedir. Fakat bu uygulama, yenilenebilir enerji yatırımlarının da kısıtlanmasına yol açmaktadır. Nehir tipi Hidroelektrik Enerji Santrali (HES) tesislerinin ilkbahar aylarında yüksek, diğer zamanlarda ise düşük üretim yapması, hidroelektrik tesislerine ayrılan trafo kapasitelerinin verimsiz ve etkisiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu tarz kısıtlar hibrit enerjiyi kaçınılmaz hale getirmektedir. Güneş enerjisi, yağışlara bağımlı olan

hidroelektrik tesislerinin aksine yağmurlu zamanlarda az, yaz aylarında ise daha çok üretim yapabilmektedir. Üretim profillerindeki farklılıklar, güneş ve hidroelektrik tesislerin birbirini tamamlamasına ve daha etkin bir enerji yönetiminin ortaya çıkmasına imkân vermektedir. Bu tezin dört ana özgün gerekçesi bulunmaktadır;

- Enerji üretim verimliliğini artırmak ve enerji yönetimi,
- Şebeke Kapasite kullanım verimliliğini artırmak
- GHE hibrit sistemi için en uygun güneş enerji kurulu güç tespiti
- Önerilen sistemin diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile performans karşılaştırması

Genelde, hidroelektrik santralleri ile güneş enerji santralleri ayrı ayrı alanlarda kurulmakta, dolayısıyla her bir santral için ayrı şebeke kapasitesi, maliyet ve işletme giderine katlanılmaktadır. Özellikle yıllık enerji üretim verimliliği, %25-40 arasında değişen hidroelektrik ve %15-20 arasında değişen güneş enerji santralleri için ayrılan şebeke kapasiteleri yüzünden, yeni trafo merkezleri kurulumu zorunlu hale gelmektedir. Buda ilave çıkan maliyetler yüzünden yenilenebilir enerji santrallerinin yapılmasından vazgeçilmesine sebep olabilmektedir. Aslında enerji üretim dönemlerinin farklı olmasından dolayı birbirini tamamlayan güneş ve hidroelektrik enerji sistemlerinin entegre bir şekilde kullanılması ile mevcut trafo tesisleri kullanılarak, yeni maliyetlerinin oluşmasının önüne geçmek mümkündür. Güneş enerjisi sisteminin ana parçaları olan paneller, sıcaklıktan olumsuz etkilenmektedir. Rüzgarlı alanlarda kullanılan veya vantilatör/havalandırma imkanı olan güneş sistemlerinin performansında ise artış gözlenmiştir. Aynı şekilde, su kanalı üzerine kurulacak bir sistemden de performans artışı beklendiği birçok makale ve çalışmada belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında, enerji kavramı açıklanmış, enerjinin temel türleri ve sınıflarına ayrılması hakkında bilgi verilmiş, yenilenebilir enerji kaynakları, hidro enerji, güneş enerjisi, Dünya’da ve Türkiye’deki enerji üretimleri ve tüketimleri ile birlikte yaşanan son gelişmeler hakkında detay açıklamalar yapılmıştır. Hibrit enerji ve GHE kavramı açıklanmış ve bu konuda yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Geliştirilen matematiksel model ve algoritma çerçevesinde, en uygun kurulu kapasiteyi veren sonuç için MATLAB ve MATLAB Simulink kullanılarak modelleme yapılmış olup, oluşturulan modeller diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırılmıştır.

2. ENERJİ KAVRAMI VE ÖNEMİ

Enerji kelimesi Yunanca “energeia” kelimesinden türetilmiştir. Eski Yunancada bir şey yapmak veya bir şey olmak anlamlarına gelen kelime, ilk modern fizikçiler tarafından bir şey yapabilme yeteneği olarak anlamlandırılmıştır [1].

Enerji kaynakları birçok şekilde karşımıza çıkmaktadır [2]. Bunlar genel hatlarıyla;

- Işık Enerjisi
- Nükleer Enerji
- Kinetik Enerji
- Kimyasal Enerji
- Yer Çekimi Potansiyel Enerjisi
- Elektrik Enerjisi
- Isı Enerjisi

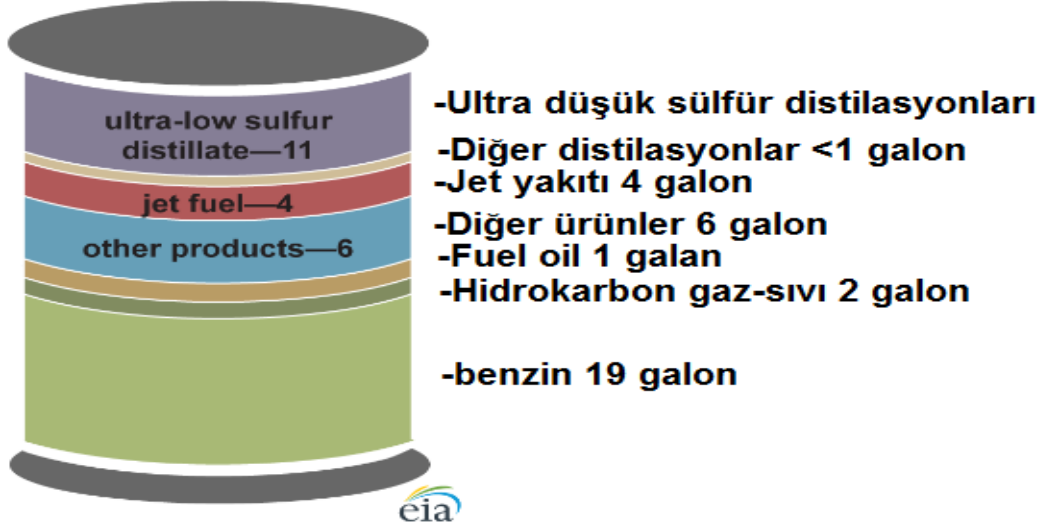
Kaynaklar, farklı şekillerde sınıflandırılmakla beraber en yaygın sınıflandırma şekli birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde yapılan sınıflandırmadır. Örnek vermek gerekirse, birincil enerji kaynağı olarak petrol, kömür, linyit, yenilenebilir enerji kaynakları ve benzeri gösterilebilir. İkincil enerji kaynaklarına ise elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı (Liquid petroleum gas- LPG) vb. kaynaklar gösterilebilir. Ayrıca enerji kaynakları temel olarak yenilenmeyen ve yenilenebilir kaynaklar olarak da ikiye ayrılabilir;

Bunlar;

Yenilenmeyen kaynaklar

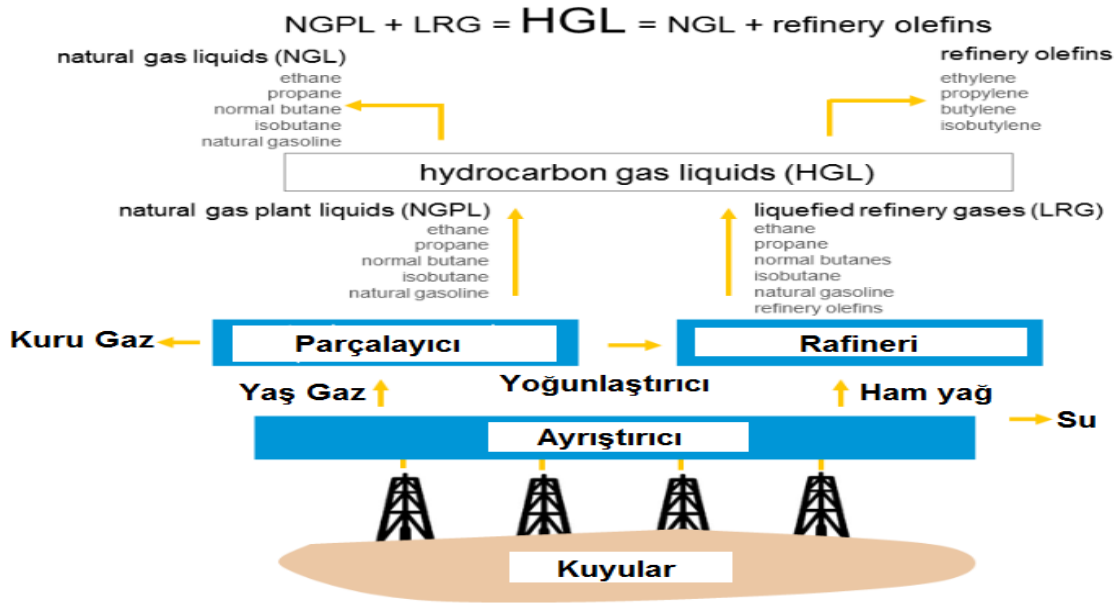
- Yağ ve petrol ürünleri: Ham yağ, yıllar önce yaşamış ve hidrokarbon içeriğine sahip hayvan ve bitki kalıntılarından oluşmaktadır. Ham petrol ise fosil bazlı bir yakıt olup, yeraltı havuzlarında veya rezervuarlardaki kayaçlar içinde yer almaktadır. Petrol ürünleri olarak adlandırılan ürünler, ham petrol ve doğalgazda bünyesinde yer alan hidrokarbonlardan türetilmektedirler. Şekil 2.1. içerisinde 42 galonluk bir ham petrol varilinden elde

edilebilecek ürünlere ait gösterim verilmiştir [3]. Şekilden de anlaşılacağı üzere ham petrolün neredeyse yarısı benzin olarak elde edilmektedir.



Şekil 2.1. 42 galon ham petrolden elde edilen ürünler [4]

- Doğalgaz: Doğalgaz, fosil kaynaklı bir enerji kaynağı türüdür. Bir karbon atomu ve dört hidrojen atomuna sahip bir bileşik olan metan (CH_4), doğalgazın temel bileşenlerindendir. Doğalgaz, yaygın olarak kullanılan bir yakıttır [5].
- Kömür: Kömür, genelde siyah veya kahverengi renge sahip olan ve içeriğinde yüksek miktarda karbon ve hidrokarbon barındıran tortul bir kaya olarak tanımlanabilmektedir. Kömürün uzun yıllar boyunca süren oluşum süreci, bu kaynağın yenilenemez bir enerji kaynağı olarak sınıflandırılmasına yol açmaktadır. Yıllar boyunca basınç ve ısıya maruz kalan bitkilerin depoladıkları enerji, kömür maddesine dönüşmektedir.
- Hidrokarbon Gazı Sıvıları: Doğalgaz ve ham yağ, farklı hidrokarbonların karışımlarıdır. Hidrokarbonlar, çeşitli kombinasyonlardaki karbon ve hidrojen molekülleridir. Hidrokarbon gazı sıvıları (HGL), atmosferik basınçta gaz olarak ve yüksek basınçlarda sıvı olarak oluşan hidrokarbonlardır. HGL ayrıca soğutma ile sıvılaştırılabilir. Gazların sıvılaştığı spesifik basınçlar ve sıcaklıklar HGL tipine göre değişmektedir. HGL, bir HGL molekülündeki karbon atomu ve hidrojen atomu sayısına göre hafif veya ağır olarak tanımlanabilmektedir. Şekil 2.2. içerisinde hidrokarbon gaz sıvıların üretimi ve tipleri gösterilmiştir [6]. Esas itibarıyla kuyulardan elde edilen ham madde, ayrıştırıcı işleminden sonra yağ gaz ve ham yağ olarak işlem görmektedir.



Şekil 2.2. Hidrokarbon gaz sıvıların üretimi ve tipleri [6]

- **Nükleer Enerji:** Maddelerin moleküllerini oluşturan atomlarda, elektron parçacıkları ile çevrili olan protonlar, ayrıca nötronları içeren bir çekirdekleri bulunmaktadır. Protonlar temel olarak pozitif, elektronlar negatif elektrik yükü taşıyan yapılar olup nötronlar ise elektrik yükü olmayan parçacıklardır. Çekirdek içerisinde dengeli bir bağ yapısı bulunup, bu yapı çok yüksek bir enerjiye sahiptir. Çekirdek bağlarındaki bu enerjiye nükleer enerji adı verilmekte olup, bu bağların kırılmasıyla ortaya çıkan enerji, elektrik üretilmesi için kullanılabilir [7].

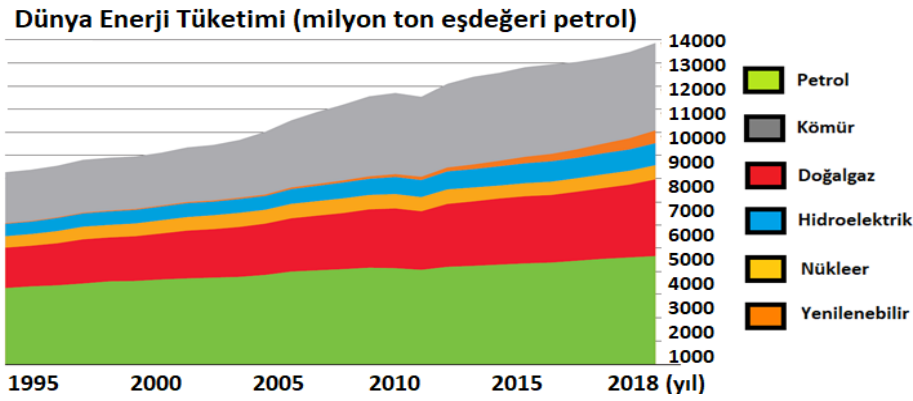
Yenilenebilir Kaynaklar (en yaygın kullanılanlar)

- Güneş Enerjisi
- Rüzgar Enerjisi
- Jeotermal Enerjisi
- Biyokütle
- Hidro Enerji

2. 1. Dünya’da Enerji Üretimi ve Tüketimi

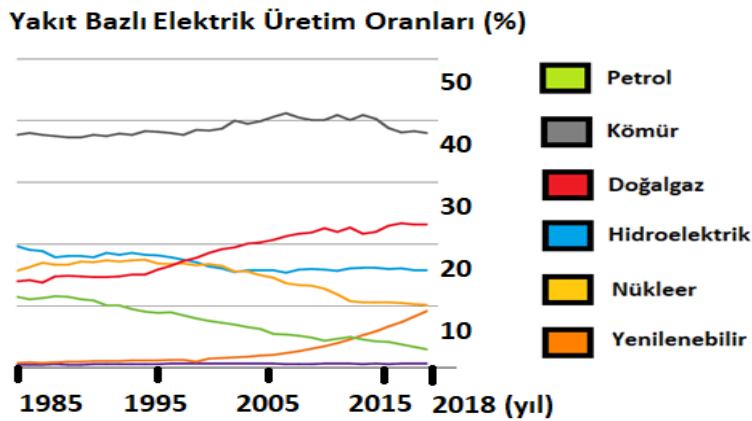
Dünya’da teknolojik gelişmeler ve artan nüfus yüzünden enerji tüketimi günden güne artmaktadır. Dünyada enerji üretim ve tüketimiyle ilgili olarak British Petroleum (BP) 2019 yılı istatistik raporu kullanılmıştır. Raporda BP grup baş ekonomisti Spencer Dale’in yorumları ve

analizleri bulunmaktadır. Yorumlarda 2018'deki enerji tüketimindeki şaşırtıcı artışın büyük bir oranda hava koşullarına bağlı olduğu değerlendirilmiştir [8]. Küresel birincil enerji tüketim miktarı, 2018'de % 2,9 oranında artmıştır. Son on yılın ortalamasının %1,5 olduğu düşünüldüğünde, neredeyse ortalamanın iki katı oranında bir artış sağlanmıştır. Bu oran 2010 yılından bu yana görülen en hızlı büyüme oranıdır. Tüketimin yaklaşık üçte ikisini oluşturan Çin, ABD ve Hindistan en büyük küresel oyuncular olarak yer almaktadır. Son yılların ortalamalarına göre, en çarpıcı tüketim artışı % 3,5 oran ile ABD'de gerçekleşmiştir [8]. Şekil 2.3. içerisinde kaynaklar bazında Dünya tüketim miktarı verilmiştir [8]. Grafik incelendiğinde, enerji tüketiminin uzun yıllar boyunca sürekli arttığı gözlemlenmektedir. Bu ivmelenmede, özellikle doğalgaz tüketim miktarında gerçekleşen artış önemli rol oynamaktadır.



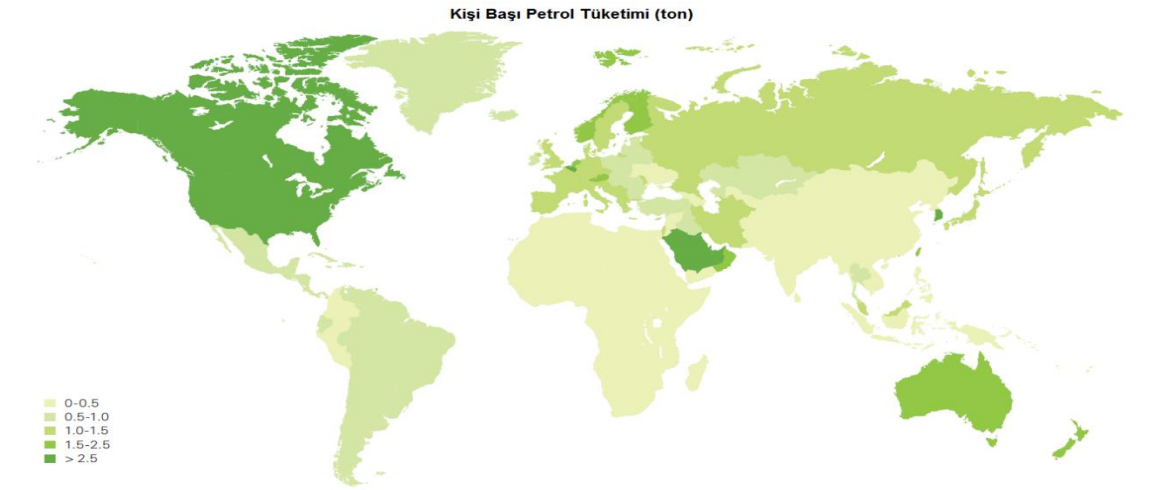
Şekil 2.3. Dünya kaynak tüketimi (1993-2018) [8]

1986-2018 yılları arasında gerçekleşen yakıt bazında elektrik üretim oranları ve bölgesel bazda güç üretimindeki yenilenebilir enerjinin payı Şekil 2.4. grafiğinde gösterilmiştir.

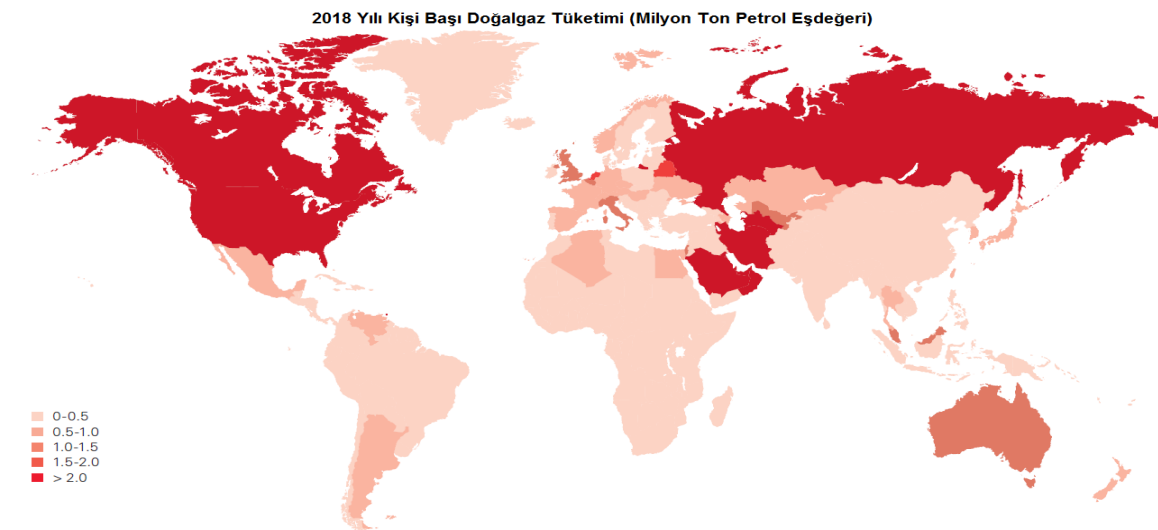


Şekil 2.4. Yakıt bazlı üretim oranları [8]

ABD, Çin ve Hindistan tüm güç üretimi içinde de önemli bir rol oynamaktadır. Yıllık güç üretimindeki büyüme için yakıt bazında yıllık değişimler incelendiğinde, kömür ve yenilenebilir enerji kaynakları dikkat çekmektedir [8]. Petrol talebi, istikrarlı bir şekilde büyümeyi sürdürmektedir. Petrol talebinin büyük bir kısmını Çin, Hindistan ve gelişmekte olan ülkeler oluşturmaktadır. Petrol talebinin artmasının arkasındaki en büyük nedenlerden biri olarak sanayileşmedeki petrokimyasalların gittikçe artan önemi olarak gösterilebilir. Enerji tüketimindeki artışın %40'ından fazlası doğalgazdan kaynaklanmıştır. Karbon emisyonları da, yedi yıl boyunca en hızlı büyüme olan oranı olan %2 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Harita 2.1. ve Harita 2.2 içerisinde, 2018 yılı Dünya'nın kişi başı petrol/doğalgaz kullanımı verilmiştir [8]. Haritalar incelendiğinde bölgeler bazında benzer kullanımlar olduğu göze çarpmaktadır.

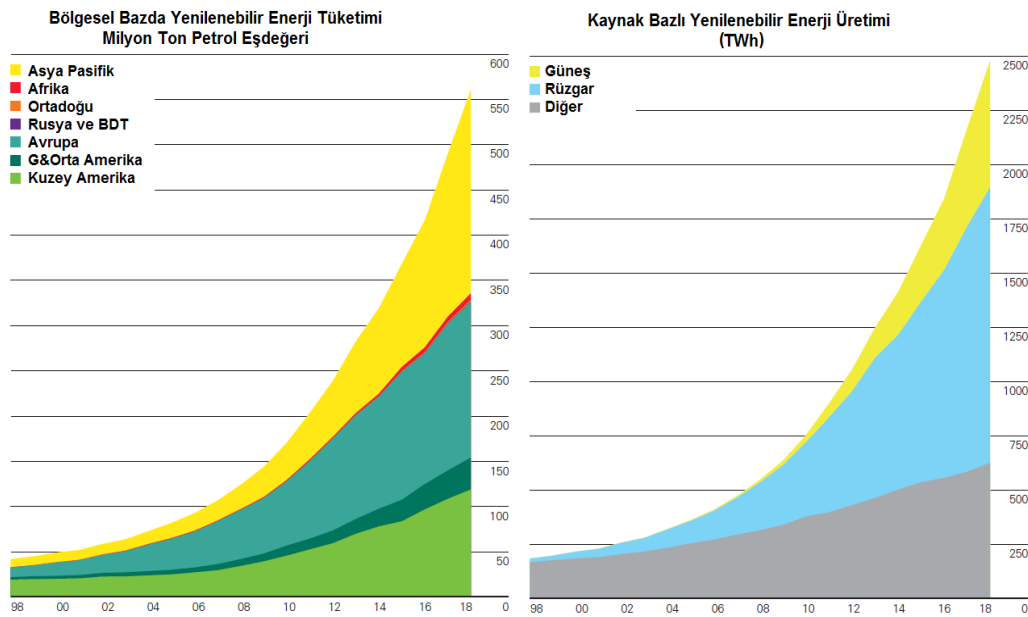


Harita 2.1. 2018 yılı Dünya kişi başı petrol kullanım yoğunluğu [8]



Harita 2.2. 2018 yılı Dünya kişi başı doğalgaz tüketimi [8]

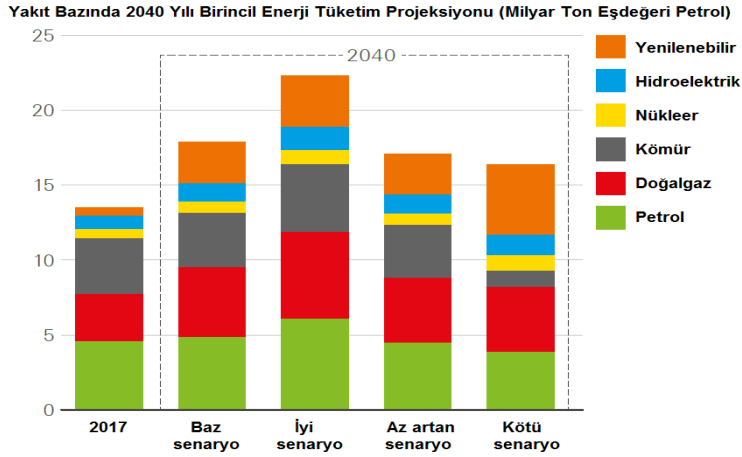
Kömür tüketim büyümesinde en büyük pay sahibi olan ülkeler Hindistan (36 milyon ton eşdeğeri petrol-mtoe) ve Çin'dir (16 mtoe). OECD ülkelerinin kömür talebi 2018 yılında, 1975'ten bu yana en düşük seviyesinde gerçekleşmiştir. Kömürün birincil enerji içindeki payı on beş yıldaki en düşük seviyesi olan %27,2 seviyelerine gerilemiştir. Küresel kömür üretimi 162 mtoe olarak gerçekleşmiş ve 2018 yılı için %4,3 oranında artış sağlanmıştır. Üretimden en büyük pay alan ülkeler, Çin (82 mtoe) ve Endonezya'dır (51 mtoe) [8]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim ve tüketim, özellikle son yıllarda artarak devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklı tüketimde yıllar içinde artış gözlenmiştir. Çin, OECD'nin tamamının büyüme oranını aşarak yenilenebilir tüketim büyümesine katkı yapan en büyük ülke olmuştur. 1998-2018 yılları arasında gerçekleşen bölgesel bazda yenilenebilir enerji tüketimi (milyon ton petrol eşdeğeri) ve kaynak bazlı yenilenebilir enerji üretim (TWh) grafikleri aşağıda verilmiştir. Yenilenebilir enerji içindeki güneş ve rüzgar enerji kaynak payının yıllar itibarıyla artma eğiliminde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2.5. 1998-2018 yılları arası bölgesel ve kaynak bazlı yenilenebilir enerji tüketimi [8]

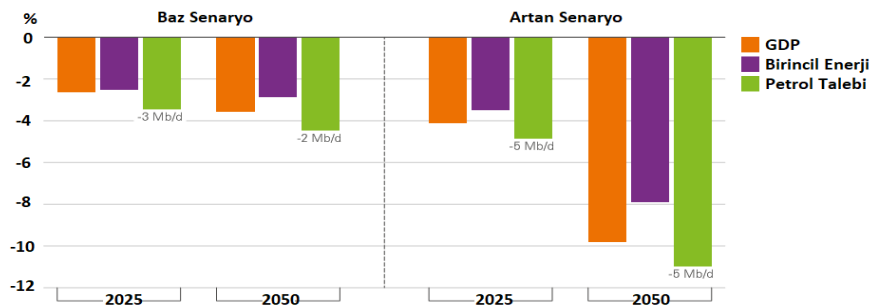
BP Enerji Raporunda 2040 yılı için 4 senaryo üzerinde durulup, tahminler yapılmıştır. Birinci senaryo olan baz senaryoda geçmiş yıllarda meydana gelen gerçekleştirmeler göz önünde bulundurularak 2040 yılı için yakıt bazında birincil enerji tüketim tahmini yapılmıştır. İkinci senaryo iyi senaryo olarak adlandırılmış ve küreselleşme, ticaret hacmi ve enerji taleplerinin üst düzeyde olduğu düşünülerek tahminde bulunulmuştur. Üçüncü senaryo, az artan senaryo olarak adlandırılmış ve küreselleşmenin beklenen ve gerçekleşen oranların altında olduğu

varsayılarak tahminler yapılmıştır. Dördüncü ve son senaryoda ise küreselleşmenin çok düşük olduğu durum göz önünde bulundurulmuştur [9].



Şekil 2.6. Enerji kaynağına göre 2040 yılı enerji tüketim tahminleri [9]

Senaryoya bağımlı olmaksızın, 2040 yılına kadar olan süreçte, yenilenebilir enerjinin payının diğer kaynaklara nazaran oldukça arttığı gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji üretimi ve tüketimi konusunda en önemli payı alacak ülkelerin AB, ABD, Çin ve Hindistan olması beklenmektedir. Güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji türlerine göre daha fazla gelişeceği öngörülmektedir. 2019 yılı sonunda başlayan ve halen daha etkilerini global ölçekte sürdüren COVID-19 pandemisi sebebiyle, daha önce yapılan enerji bakışını barındıran raporlar revize edilmiştir. COVID-19 pandemisi, sosyal yaşam ile beraber, sanayiden turizme, üretimden tüketime her sektör ve alanı derinden etkilemiştir. 2019 yılı tarihli raporlar ve 2020 yılı tarihli raporlar, değişikliğin göze çarpması için birarada verilmiştir. BP tarafından hazırlanan rapora göre, COVID-19 pandemi sebebiyle, 2025-2050 yılları için yapılan tahminlerde hem ekonomik yönden, hem de arz-talep yönünden düşmeler yaşanacağı yönünde güçlü beklentiler oluşmuştur [10].

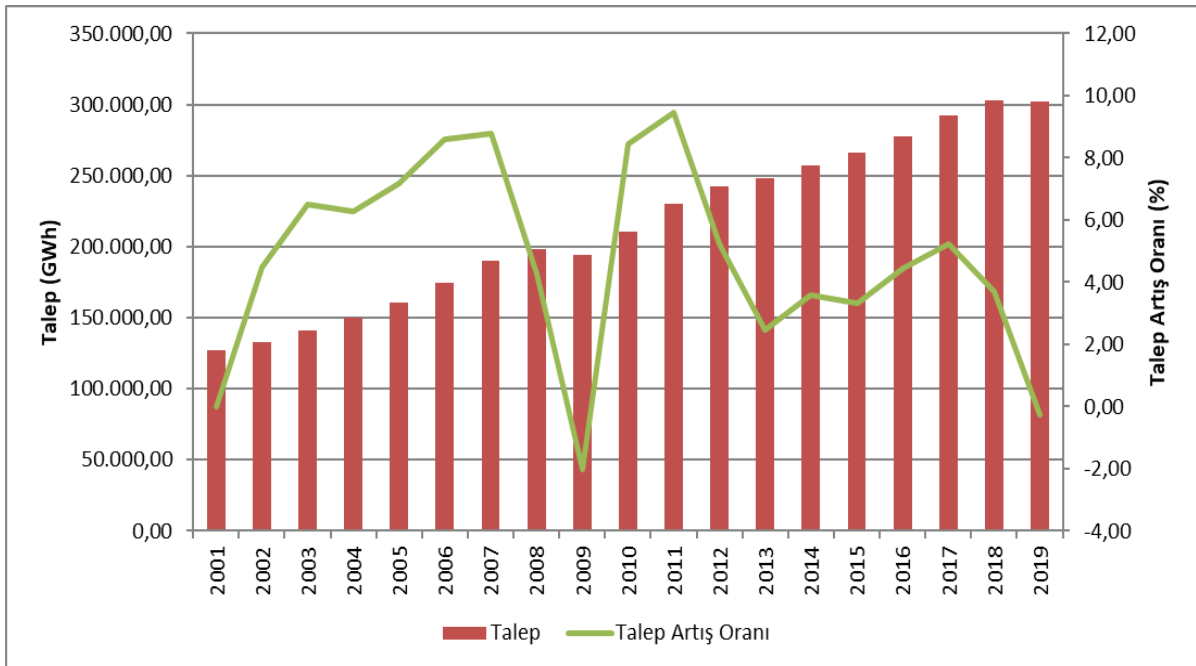


Şekil 2.7. Enerji kaynağına göre 2025-2050 yılları arası değişim (%) beklentisi [10]

Rusya'nın 24 Şubat 2022 tarihinde Ukrayna'nın doğu bölgelerine başlatmış olduğu askeri operasyonlar neticesinde, tüm Dünya'da enerjinin arz güvenliği konusu ön plana çıkmıştır. Rusya, hem rezerv hem de üretim bakımından önemli bir doğalgaz oyuncusudur. Aynı şekilde Ukrayna da önemli bir kömür sektörü oyuncusudur. Bu iki ülke arasında başlayan gerilim, bir dizi ekonomik yaptırımların uygulanma kararı alınmasına sebep olmuştur. Tüm bu gelişmeler neticesinde enerji fiyatlarında artışlar meydana gelmiştir. Ülkeler kendi enerji arz güvenliklerini sağlamak amacıyla, bir dizi önlem almaya ve özellikle yenilenebilir enerji yatırım planlamalarına başlamışlardır.

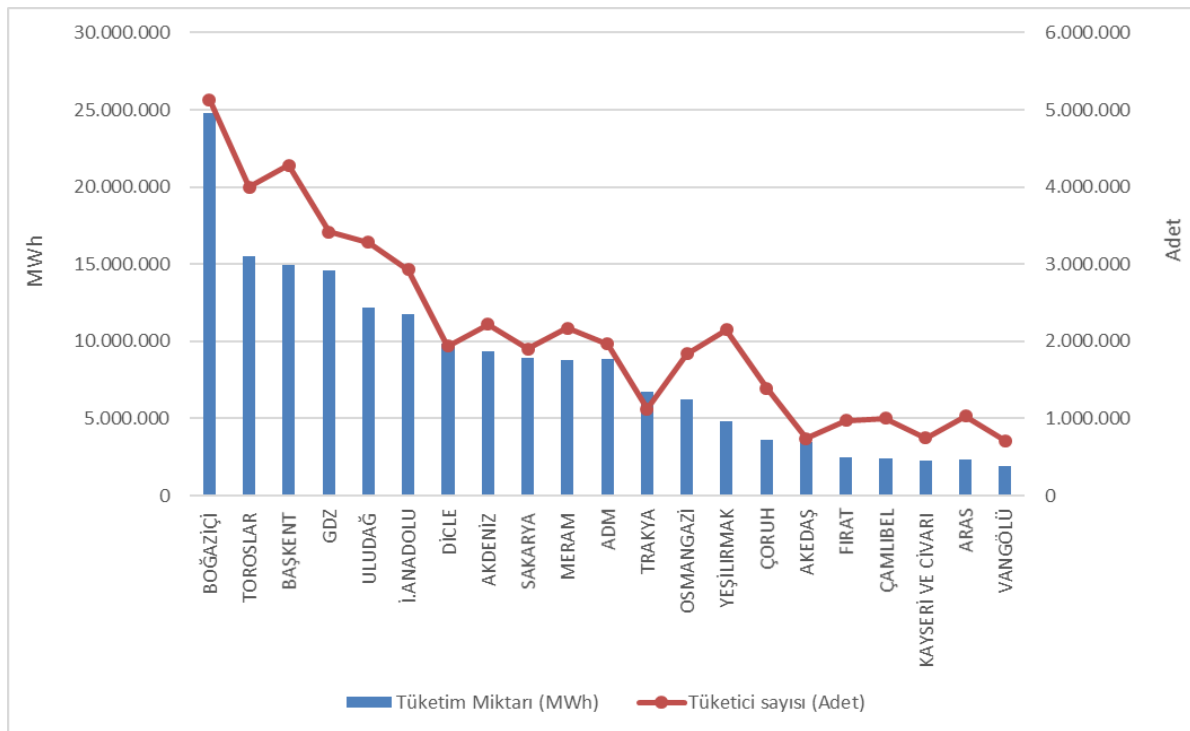
2.2. Türkiye' de Enerji Üretimi ve Tüketimi

2019 yılında gerçekleşen elektrik talep miktarı bir önceki yıla göre yaklaşık olarak %0,26 oranında azalarak 300 TWh civarında gerçekleşmiştir. Talep ve talep artış oranları Şekil 2.8. grafiğinde gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 2008 yılında meydana gelen ekonomik krizin etkisiyle 2009 yılında elektrik talep miktarında düşme yaşandığı gözlenmiştir. 2009 yılından sonra ekonominin de toparlanmasıyla her yıl % 2-5 aralığında değişen oranlarda talep artmıştır. Ama 2019 yılına gelindiğinde, ilk defa 2009 yılından sonra bir önceki yıla göre düşme görülmüştür. Özellikle COVID-19 etkisiyle benzer şekilde düşmenin devam etmesi beklenmektedir [11].



Şekil 2.8. 2001-2019 yılları arası elektrik talep ve talep artış oranı [11]

Türkiye’de 21 farklı elektrik dağıtım bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler yetkilendirilmiş elektrik dağıtım şirketleri tarafından yönetilmektedir. 2019 yılı elektrik tüketim miktarları ve abone sayılarına göre elektrik dağıtım şirketleri büyüklükleri Şekil 2.9. grafiğinde gösterilmiştir. Abone sayısı ve elektrik tüketim miktarı bakımından en büyük elektrik dağıtım şirketi İstanbul’un Avrupa Yakasının elektrik dağıtımından sorumlu olan Boğaziçi Elektrik Dağıtım Şirkettir. Şekil 2.9. grafiğinde dağıtım bölgesine göre gerçekleşen 2019 yılı tüketim miktarları verilmiştir [11].



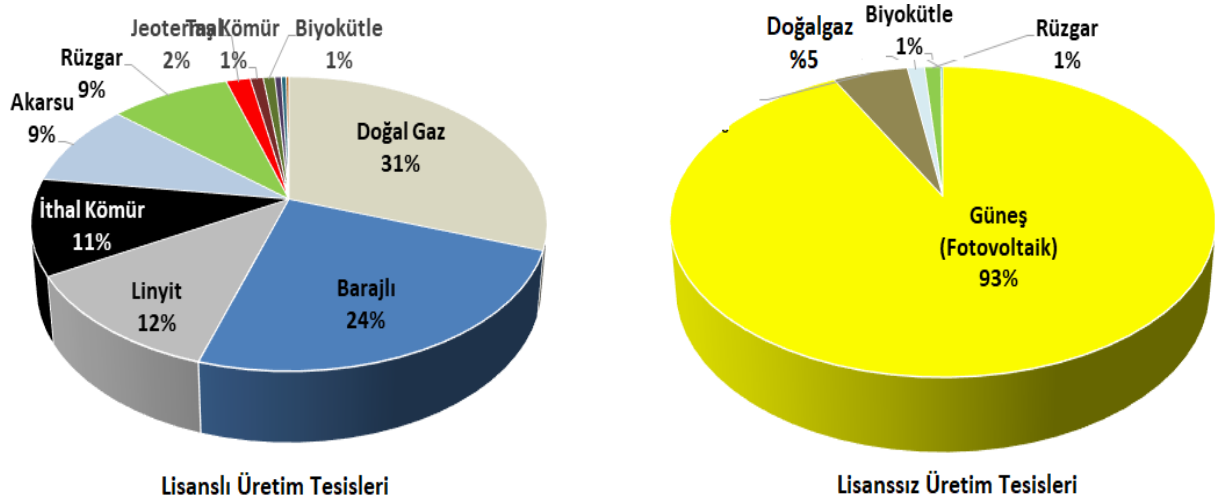
Şekil 2.9. 2019 yılı elektrik dağıtım bölgeleri elektrik tüketim miktarı ve tüketici sayısı [11]

Tesis bazında lisanslı/lisanssız olmak üzere toplam kurulu güç dağılımları ve payları Çizelge 2.1.’de verilmiştir. Doğalgaz ve baraj tipi HES tesisleri en yüksek paya sahip olmakla birlikte, özellikle doğalgaz tesislerinde son yıllarda devreden çıkmalar yaşanmaktadır. Tam aksine yenilenebilir enerjide ise yıldan yıla artış gözlenmektedir. Lisanssız enerji tesislerinde en büyük pay güneş enerji tesislerine aittir. Tüm enerji tipleri içinde en yüksek kurulu güçte devreye girme, lisanssız güneş enerji tesislerinde yaşanmıştır [11].

Çizelge 2.1. Türkiye'nin lisanslı ve lisanssız enerji üretim tesisleri [11]

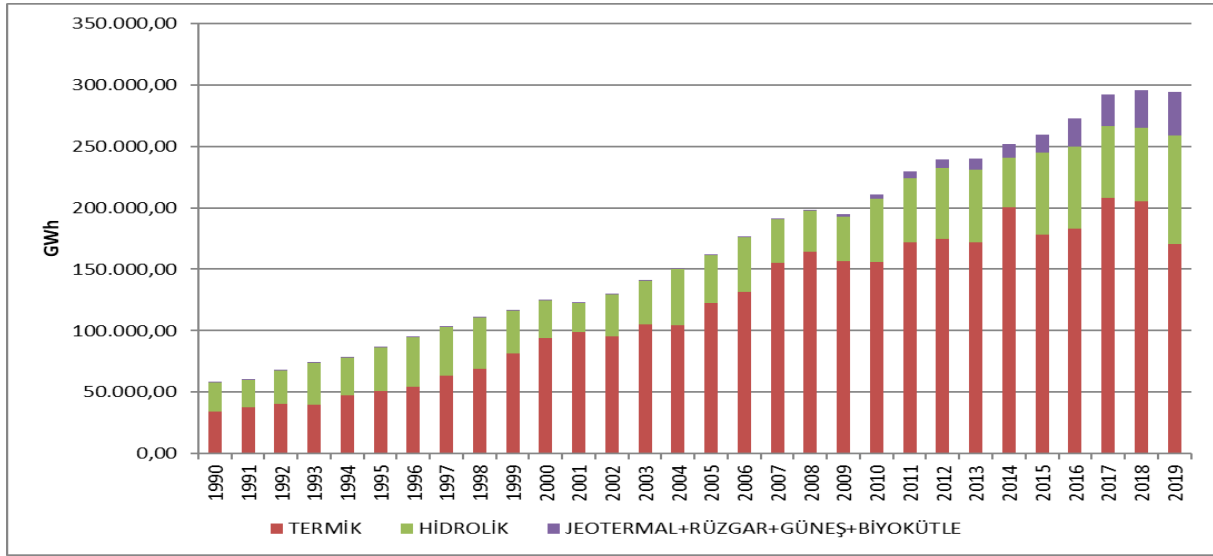
Lisanslı Kaynak Türü	2018 Kurulu Güç (MW)	Pay(%)	2019 Kurulu Güç (MW)	Pay(%)
Doğal Gaz	25 731,93	32,28	25 935,41	30,53
Barajlı	20 534,80	24,23	20 642,51	24,30
Linyit	9 597,12	11,37	10 101,03	11,89
İthal Kömür	8 938,85	10,96	8 966,85	10,55
Akarsu	7 748,90	9,21	7 851,85	9,24
Rüzgar	6 942,27	7,95	7 520,33	8,85
Jeotermal	1 282,52	1,31	1 514,69	1,78
Taş Kömür	616,15	0,86	810,77	0,95
Biyokütle	590,92	0,76	725,92	0,85
Asfaltit Kömür	405	0,54	405,00	0,48
Fuel Oil	709,21	0,50	305,93	0,36
Güneş	81,66	0,02	169,70	0,20
Nafta	4,74	0,01	4,74	0,01
Lng	1,95	0,00	1,95	0,00
Motorin	1,04	0,00	1,04	0,00
Lisanslı Genel Toplam	83 187,05	100,00	84 957,72	100,00
Lisanssız Kaynak Türü				
Güneş	5 017,49	94,48	5 825,46	92,33
Doğal gaz	153,04	2,88	328,66	5,21
Biyokütle	79,18	1,49	75,67	1,20
Rüzgar	51,95	0,98	70,83	1,12
Hidrolik	8,91	0,17	8,65	0,14
Lisanssız Genel Toplam	5 310,57	100,00	6 309,27	100,00
GENEL TOPLAM	88 497,62		91 266,99	

Lisanslı ve lisanssız tesislerin toplam kurulu güç dağılımlarına ait grafikler aşağıda verilmiştir.



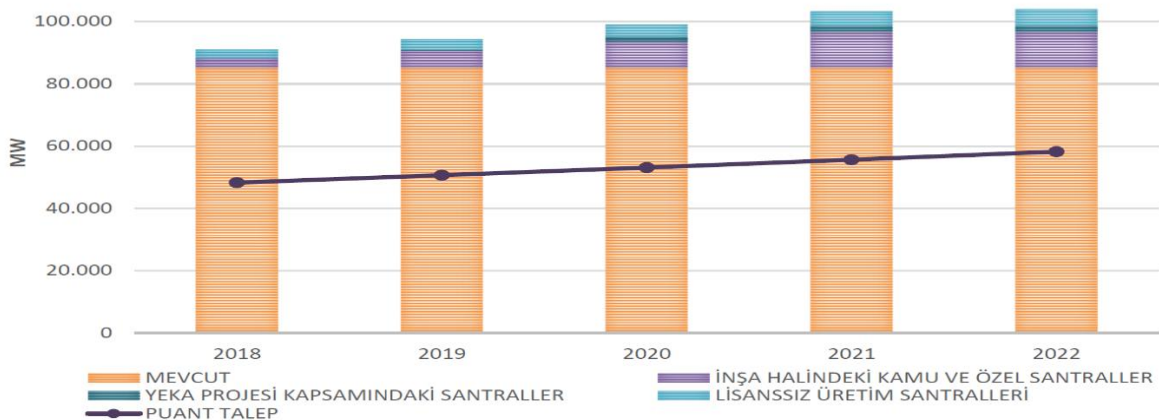
Şekil 2.10. Lisanslı ve lisanssız tesislerin kurulu güç dağılım grafiği [11]

TEİAŞ Aralık 2022 raporuna göre Türkiye'nin kurulu güç miktarı 103.809 MW seviyesine ulaşmış durumdadır [12]. Türkiye'deki elektrik üretiminin çok büyük bir çoğunluğu lisanslı tesisler tarafından karşılanmaktadır. Tüketime karşılık gelen üretim ve bu üretimlerin lisanslı tesis tipi bazında yıllık dağılımı Şekil 2.11. grafiğinde verilmiştir. Grafik incelendiğinde özellikle 2007 yılından itibaren yenilenebilir enerjiye ait tesislerde hızlı bir yükseliş yaşandığı göze çarpmaktadır.



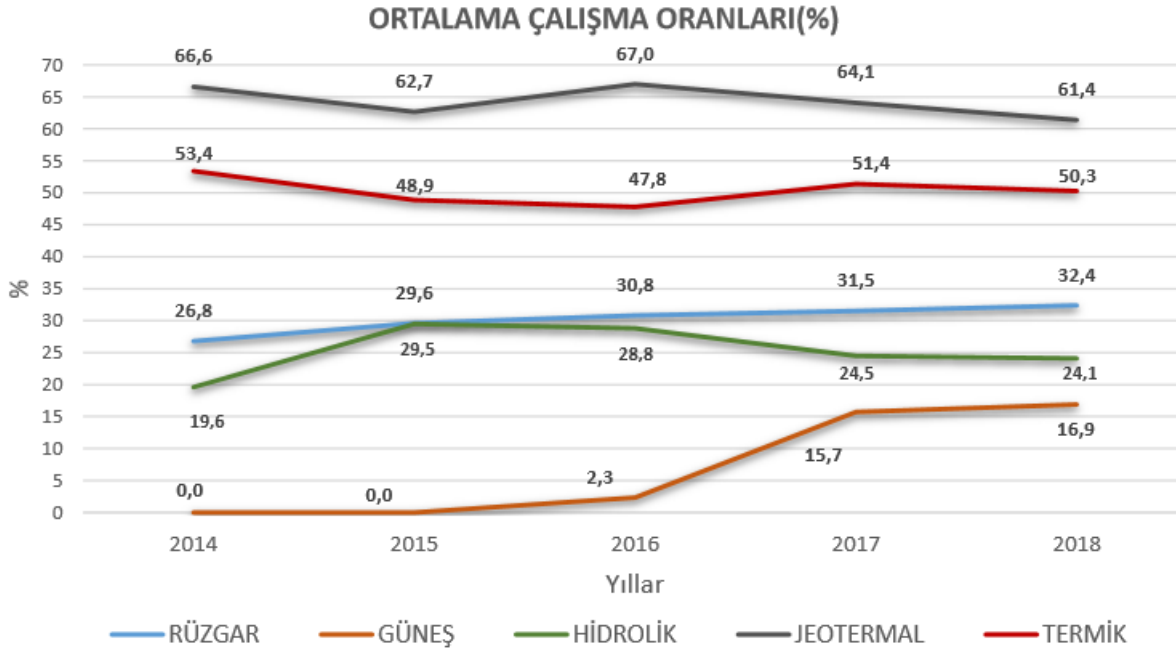
Şekil 2.11. Türkiye 1990-2019 yılları arası enerji kaynağı türüne göre elektrik üretim miktarları [13]

Şekil 2.12. grafiğinde ele alınan temel senaryoda mevcut, YEKA projeleri, inşa halindeki kamu ve özel santraller ile lisanssız üretim santrallerine yönelik tahminler verilmiştir. Kullanılan tahminler gerçekleştirmelerle uyumludur [14].



Şekil 2.12. 2018-2022 yılları arası kurulu güç tahminleri [14]

Şekil 2.13. grafiğinde Türkiye’de bulunan tesislerin ortalama yıllık kapasite kullanım oranları verilmiştir [15].



Şekil 2.13. Türkiye’deki yenilenebilir enerji tesislerinin kapasite kullanım oranları [15]

Şekil 2.13’te, Türkiye’de bulunan tesislerin 2014-2018 yılları arasındaki gerçekleşen kapasite kullanım oranları gösterilmiştir. Kapasite kullanım oranı ilgili yıl içinde enerji kaynağına göre gerçekleşen enerji üretim miktarlarının, yine o yıldaki mevcut kapasitenin maksimum üretebileceği enerji üretim miktarına oranlanması ile bulunmuştur. Rüzgar enerjisi kapasite kullanım oranı 2014 yılında %26,8 iken, 2018 yılına gelindiğinde bu oran %32,4 olarak gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi kapasite kullanım oranı 2014 yılında mevcut herhangi bir GES tesisi olmamasından ötürü sıfır iken, 2018 yılına gelindiğinde bu oran %16,9 olarak gerçekleşmiştir. Hidro enerji yağışlara bağımlı bir enerji türü olduğundan kapasite kullanım oranı 2014-2018 yılları arasında %19,6 ile %29,5 arasında değişkenlik göstermiştir. Jeotermal enerji üretimleri, ilgili yıllardaki hava sıcaklıklarından etkilenmiş olup kapasite kullanım oranı 2014-2018 yılları arasında %61,4 ile %67 arasında değişkenlik göstermiştir. Türkiye’de termik santrallerin büyük çoğunluğu hammadde olarak doğalgaz ve kömür kullanmakta olup, kapasite kullanım oranları hammadde birim fiyatları ile arz/talep denge fiyatı değişimlerinden etkilenmektedir. Şekilde verilen termik enerji kapasite kullanım oranı 2014-2018 yılları arasında %47,8 ile %53,4 arasında değişkenlik göstermiştir.

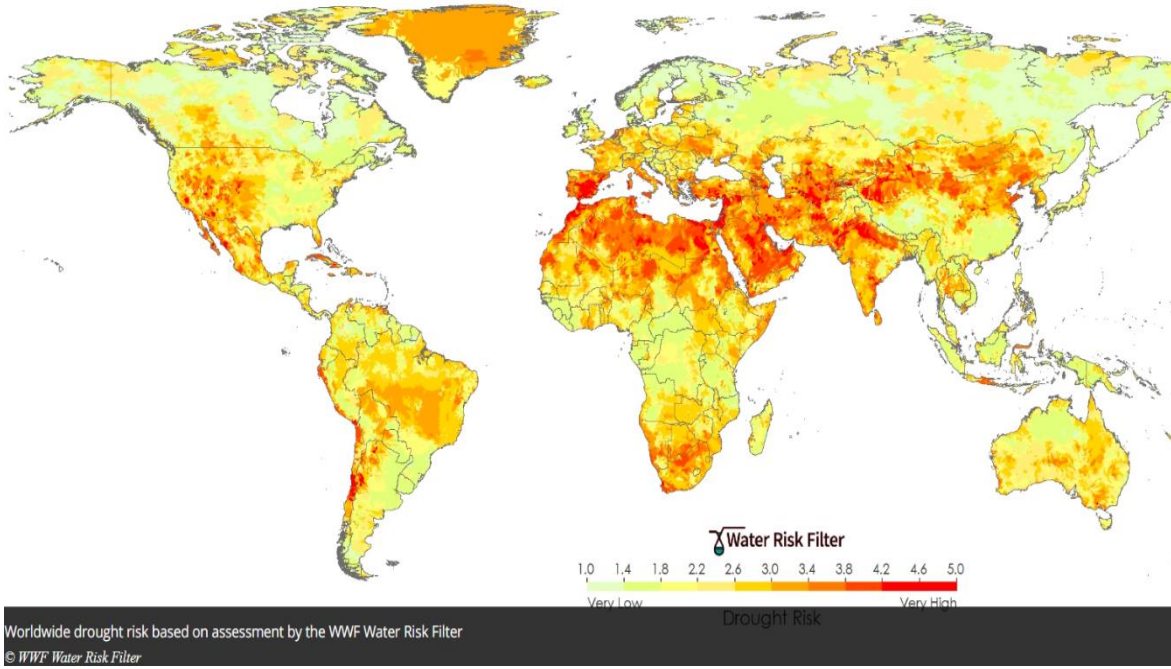
3. İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE KURAKLIK

Kuraklık ifadesi, Birleşmiş Milletler çölleşme ile mücadele yayınlarında, yağışların önemli derecede azalması sonucu, arazi ve kaynakları olumsuz şekilde etkileyen ve hidrolojik dengesizliğe sebep olan doğal olay olarak yer almaktadır [16]. Çölleşme etkisinin insan hayatı, canlı hayatı, ekonomi, sosyal ve kültürel hayat üzerinde ciddi etkileri bulunduğu ifade edilmektedir.

Kuraklık belli aralıklarla kendini tekrarlayan bir iklim olayıdır. Kuraklık sonucunda, sadece bir mevsimi veya daha çok mevsime yayılan azalan yağışlar gözlemlenebilmektedir. Son yıllarda kuraklık kavramının göze çarpmasının nedeni, küresel iklim değişikliğinin sonucu dünyanın birden fazla bölgesinde gözlemlenen yüksek sıcaklıklar ve nispeten düşen yağış miktarlarıdır. Küresel ısınmanın sebep olduğu bu durum, normalde tekrarlanabilen doğa olayı olan kuraklıkların gerçekleşme sıklığını artırmakta ve dolayısıyla bu durumdan tüm ekosistemin etkilenmesine yol açmaktadır.

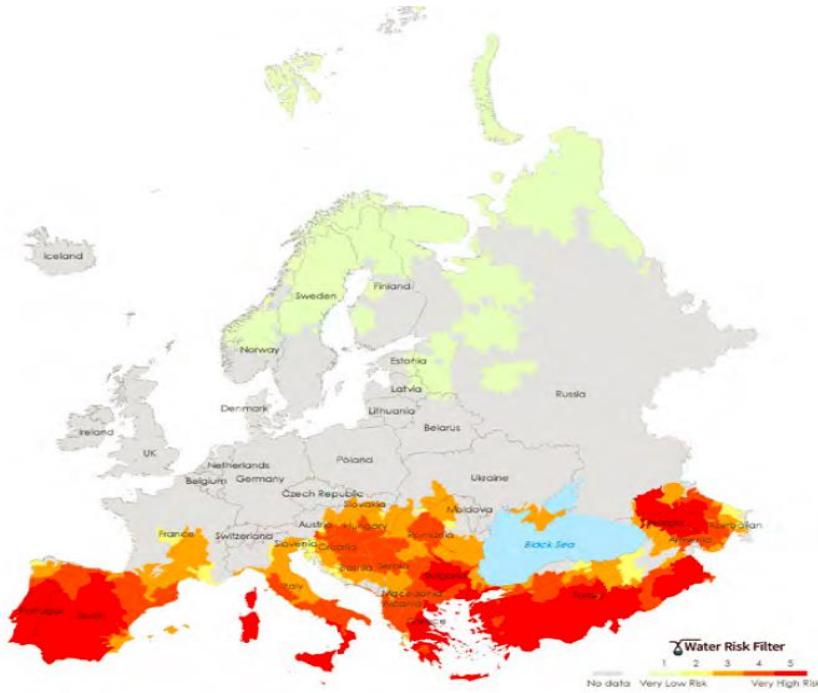
Kuraklık etkisi bazen sadece küçük bir bölgede gözlemlenebiliyorken bazen bir ülke hatta kıtalar bazında da sonuçlar doğurabilmektedir. Kuraklığın en büyük etkisi yaşandığı bölgedeki biyoçeşitlilik, tarım faaliyetleri, ekonomik, çevresel ve sosyal etmenler üzerinde yaşanmaktadır. Kuraklık çoğu yerde olağan doğal bir döngü olarak tanımlanmakla birlikte, özellikle insanoğlunun doğal kaynakları aşırı kullanımı veya bu kaynakları plansız kullanarak kirliliğe yol açması uzun vadede kuraklığı tetikleyen etmenler olarak konumlandırılabilir. Kuraklıklar kısa süre yaşandığında etkisi nispeten az olabilmekle birlikte, uzayan kuraklık dönemleri ekonomi, çevresel ve sosyal paydaşlar üzerinde ciddi ve olumsuz kalıcı etkiler bırakabilmektedir.

Dünya Doğa Koruma Vakfı (WWF- World Wide Fund for Nature) Almanya şubesinin hazırlamış olduğu “İklim Krizi Döneminde Küresel Su Kıtlığı” isimli çalışmanın Dünya ölçeğindeki gösterimi Harita 3.1. içinde verilmiştir. Özellikle Ortadoğu, Orta Asya, Kuzey Afrika, Arap Yarımadası ve İspanya’da bu kıtlığın etkisinin daha yüksek olması beklenmektedir [17].



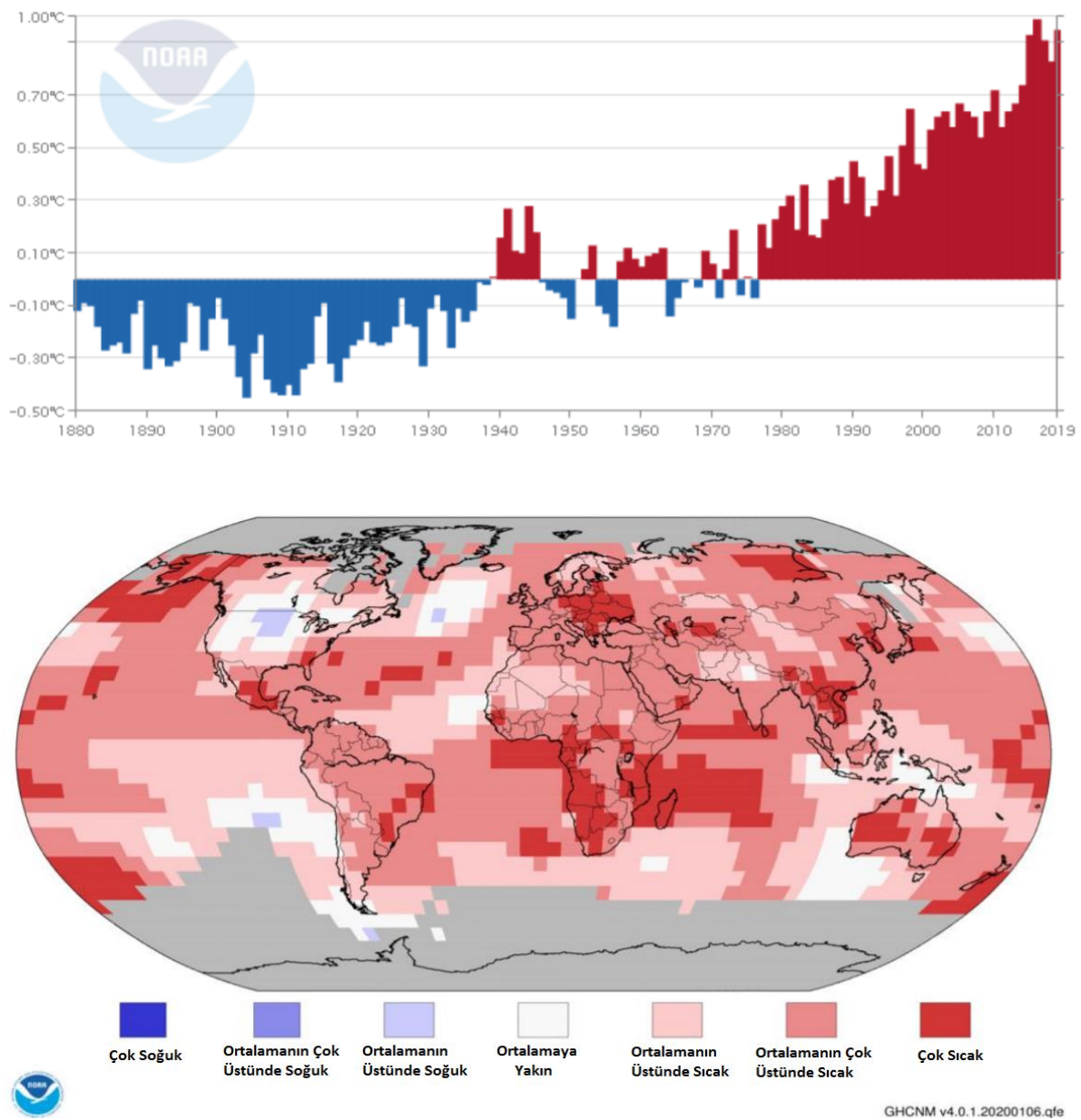
Harita 3.1. Dünya küresel su kıtlığı haritası [17]

WWF raporunda Avrupa özelinde de su kıtlığı ve kuraklık incelendiğinde, en fazla etkilenecek ülkelerin Akdeniz’e kıyısı olan ülkeler olduğu belirtilmiştir. Projeksiyon içerisinde kıtlık ve su yetersizliği bakımından hassas bir bölge olarak gösterilen Türkiye, ilerleyen dönemlerde Avrupa kıtası içerisinde en fazla etkilenen ülkeler arasında yer alacağı belirtilmektedir.



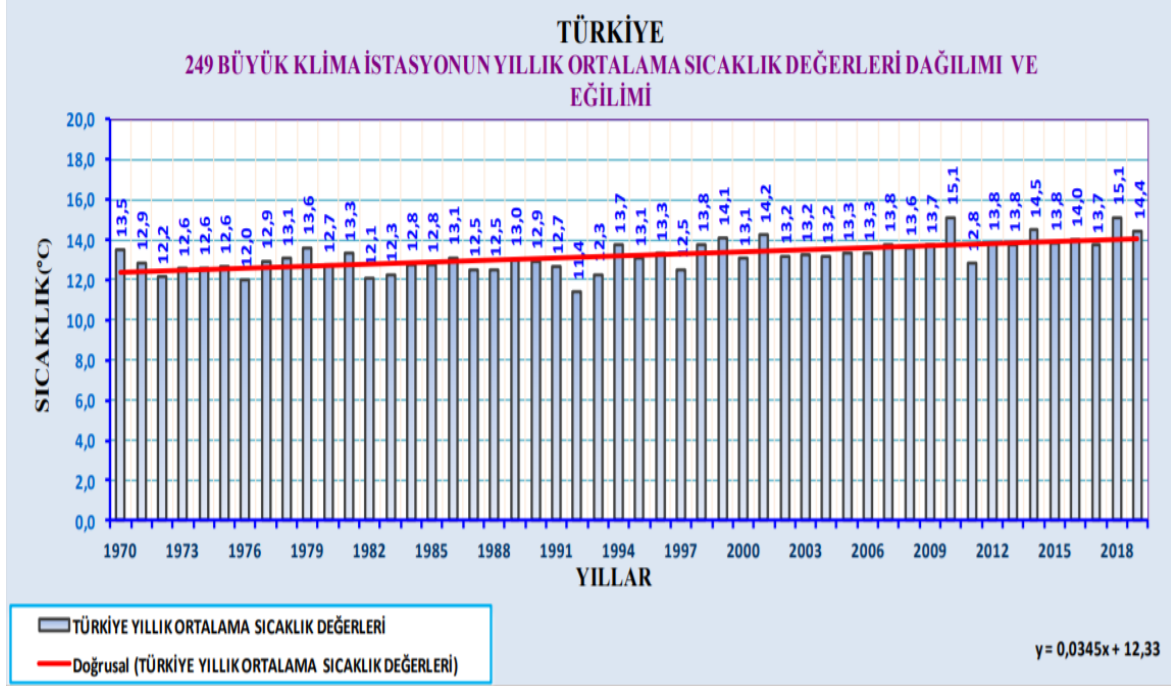
Harita 3.2. Avrupa su kıtlığı haritası [17]

Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi (NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration) yaptığı çalışmalar kapsamında oluşturduğu anomali grafiğinde 2019 yılındaki gerçekleşen sıcaklıkların, 1880 yılından itibaren geçen 140 yıllık süreçte yaşanan en yüksek sıcaklıklardan olduğu belirtilmiştir. Anomali incelendiğinde özellikle 1940 yılından sonra ortalamanın üstünde sıcaklıkların yaşandığı ortaya çıkmaktadır. Sıcaklıkların küresel bazda artması da kuraklık ve su kıtlığı olaylarının her yıl daha da gün yüzüne çıkmasına sebep olmaktadır. Küresel bazda gerçekleşen ortalama sıcaklıkların bölgesel gösterimi Şekil 3.1. içerisinde gösterilmiştir [18].



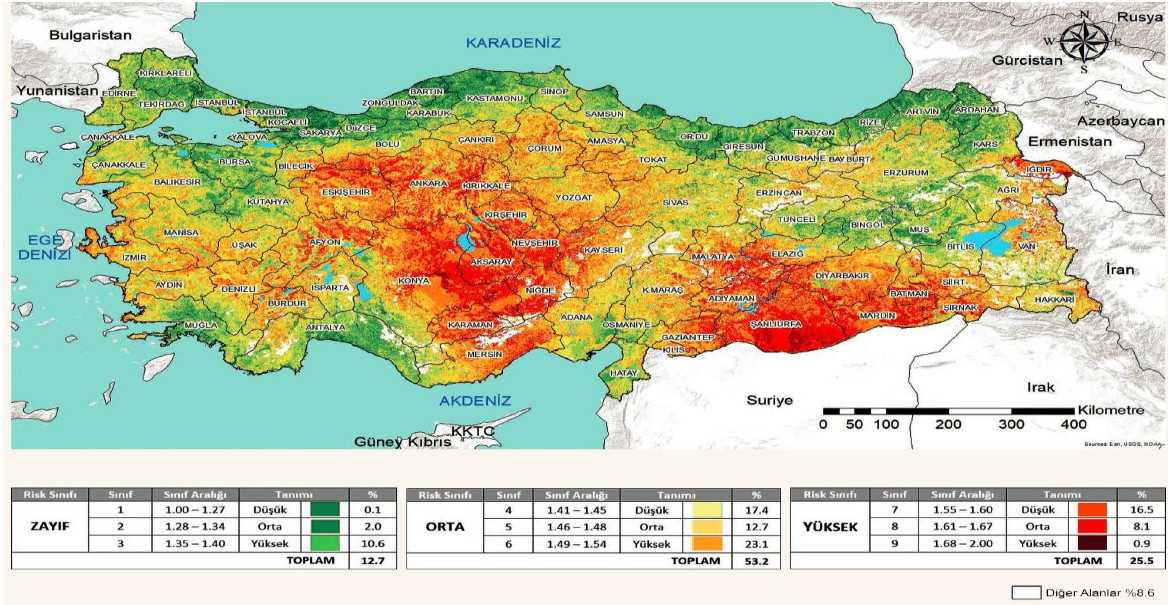
Şekil 3.1. Dünya ortalama sıcaklık anomali ve ortalama sıcaklık atlası [18]

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve 1970 ile 2019 yılları arasında gerçekleşen sıcaklık değişimlerini yansıtan kamuoyuyla paylaşılan çalışmada büyük meteoroloji istasyonlarının verileri istatistiki olarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 1970 yılından itibaren ortalama sıcaklık değişiminin artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu grafik Şekil 3.2. olarak verilmiştir [19].



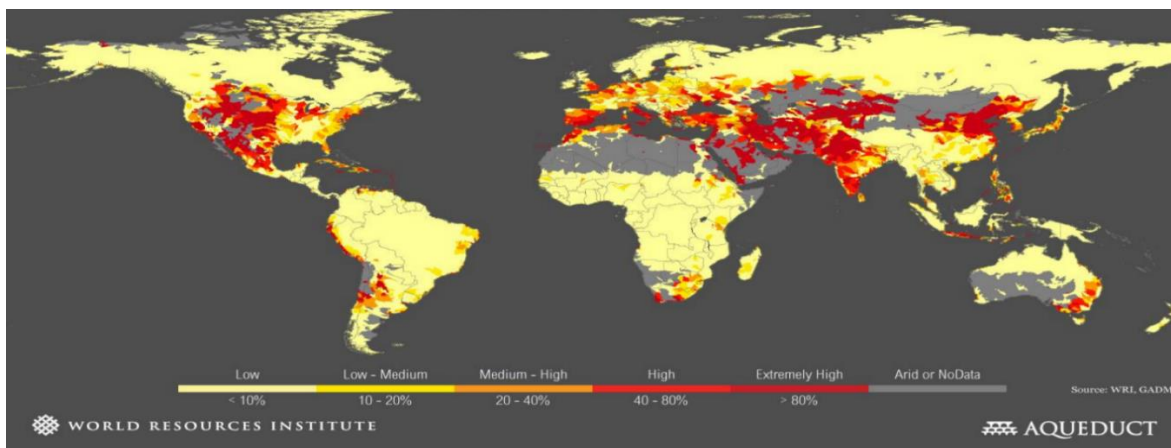
Şekil 3.2. Türkiye ortalama sıcaklık değerleri değişimi [19]

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nca düzenlenen, Türkiye Çölleşme Modelinin teknik özeti Aralık 2017'de yayınlanmıştır. Raporda yapılan çalışmanın, ilgili Genel Müdürlük ve TÜBİTAK Bilgem arasındaki sözleşmeye istinaden hazırlanan Türkiye Çölleşme Modeli ve Havza İzleme ana raporunun teknik özeti olduğu ifade edilmiştir. Söz konusu çalışma, jeomorfoloji, topoloji, iklim, arazi yapısı ve yararlanma şekilleri, su / toprak kullanımı, sosyo-ekonomi etkileri ve yönetilmesi olarak belirtilmiştir. Yapılan bu detaylı çalışma kapsamında, Türkiye'nin yüzölçümünün %25,5'i kadarlık kısmının yüksek, %53,2'sinin orta, %12,7'sinin düşük risk sınıfında olduğu belirlenmiştir. Orta-yüksek risk sınıfına göre tekrar bir değerlendirme yapıldığında ise neredeyse Türkiye'nin yarısının (%48,6) ciddi çölleşme riski ile karşı karşıya olduğu belirtilmiştir. Bölgesel olarak en yüksek riskin İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde olduğu tespit edilmiştir. Harita 3.3. içerisinde Türkiye'nin çölleşme risk haritası verilmiştir [20].



Harita 3.3. Türkiye çölleşme risk haritası [20]

Canlı yaşamı için hayati konuma sahip olan su, ülkeler bazında kullanılabilirliğine ve nüfusa göre derecelendirebilmektedir. Nüfusuna göre ulaşılabilir su kaynağı yüksek olan ülkeler su bakımından zengin, düşük olan ülkeler ise su bakımından fakir olarak adlandırılmaktadır. Harita 3.4. içinde Dünya su stres haritası verilmiştir. Koyu kırmızı ve kırmızı ile gösterilen alanlar su stresinin yüksek ve çok yüksek olduğu alanları simgelemektedir. Son yıllarda özellikle Orta Asya, ABD, Akdeniz ülkeleri ve Güneybatı Asya üzerinde artan bir stres göze çarpmaktadır. Türkiye, şu an için su fakiri ülke sınıflandırması içinde yer almasa da, artan nüfus, suya ulaşımında yaşanan sıkıntılar, su kaynak yönetimi ve küresel ısınma etmenleri de göz önünde bulundurulduğunda yakın bir gelecekte su fakiri ülke sınıfı içerisinde yer alacağı öngörülmektedir [21].



Harita 3.4. Dünya su stres haritası [21]

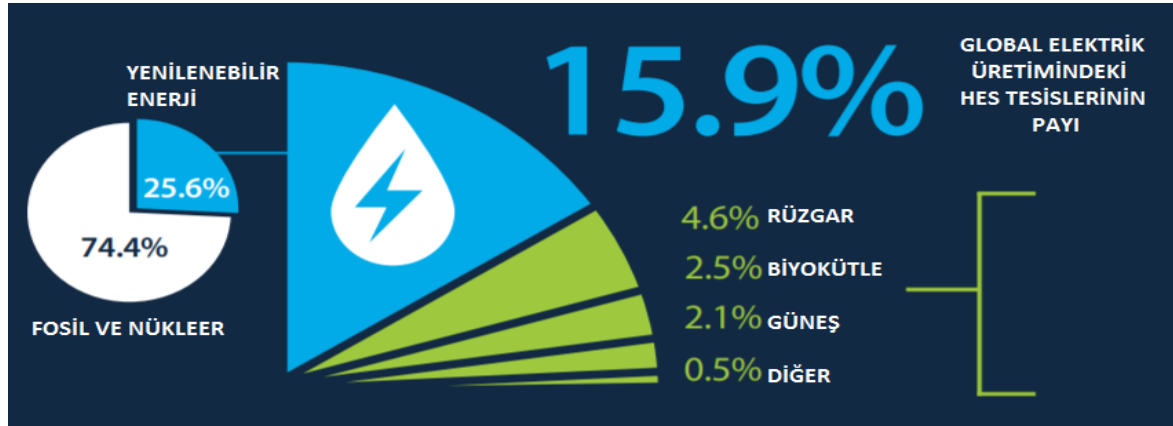
4. HİDROELEKTRİK ENERJİ

İnsanoğlu çok eski zamanlardan beri suyun gücünden yararlanmaktadır. Yaşam için çok önemli yere sahip olan su, yüzyıllar boyunca mücadele unsuru olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Eski veya yeni medeniyetler tarafından su ve nehir çevrelerinde yerleşim alanları kurulmuştur. Özellikle yerleşik düzene geçildikten sonra su daha da önemli hale gelmiş ve sulama sistemleriyle birlikte insanoğlu topraktan ürün almaya başlamıştır. Yaşam için tüm canlıların ihtiyaç hiyerarşisinde en üst basamaklarda bulunan su, önce sulama, sonrada gücünden faydalanmak yoluyla tahıl öğütme ve diğer ihtiyaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. Çin’de en az 2000 yıldır suyun gücünden faydalanılmaktadır. Su değirmenleri, yaklaşık olarak M.Ö. 13 yılında eski Yunan ve Roma medeniyetinde icat edilmiştir. Romalı bir mühendis ve yazar olan Marcus Vitruvius Pollio suyun kullanımı için mekanik bir sistem ve mil tanımında bulunmuştur. Yıllar sonra yapılan arkeolojik kazılarda bahsi geçen sistemlerin kalıntılarına rastlanmış, ürün sulamalarında kullanılmak için tasarlandığı anlaşılmıştır [22].

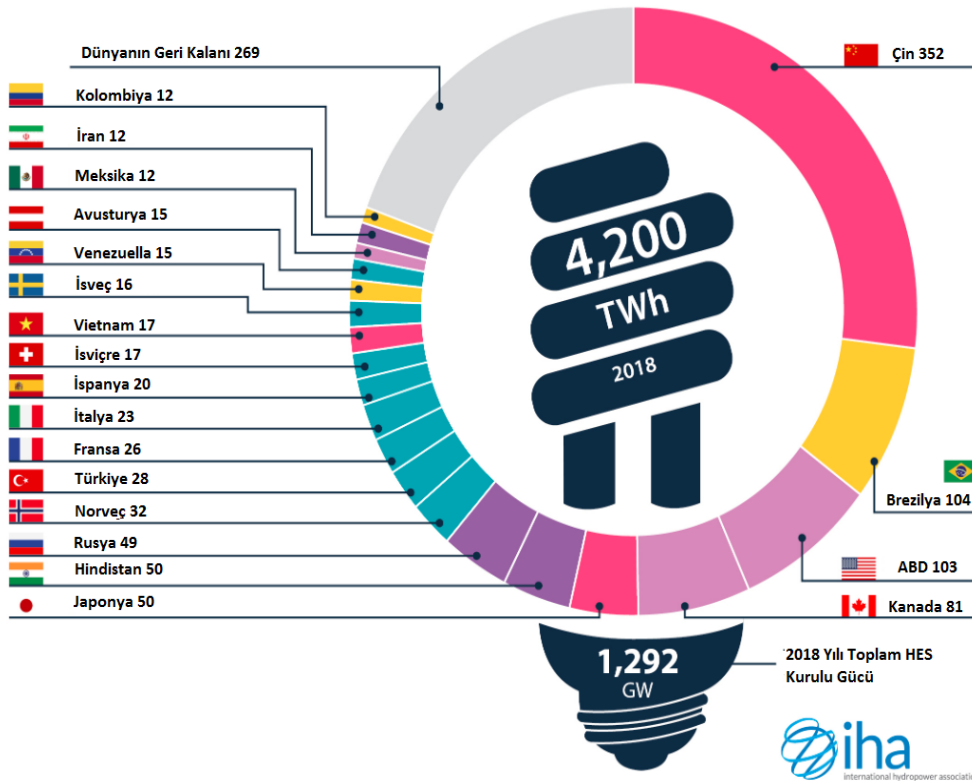
Ortaçağda yel değirmenleri Avrupa’nın en fazla kullanılan sistemleri haline gelmiştir. 16.yüzyılda Leonardo da Vinci günümüzde kullanılan su türbinlerine çok benzer çizimler yapmıştır. 1737 yılında Fransız bir mühendis olan B. F. Belidor kavisli kanatlar barındıran bir su çarkı tasarlamış, 1738 yılında ise Daniel Bernoulli su çarkları üzerine kendi teorilerini barındıran bir hidrodinamik kitabı yayınlamıştır. 1754 yılında ise Leonhard Euler her ne kadar tasarımını türbin olarak adlandırmasa da kapakcıklı su türbini teoremini barındıran bir yayın yapmıştır [22]. 1770 yılından sonra kademe kademe su çarkları geliştirilmeye başlamış ve döküm tekniğiyle çarklar üretilmiştir. Türbin için ilk adım, 1825 yılında kavisli kanat barındıran çarklarla Fransız bilim insanı Jean Victorie Poncelet tarafından atılmıştır [23]. Amerikalı James B. Francis, spiral çerçeve ve draft tüpü içeren sistemler geliştirmiştir. İlk ticari amaçlı kurulan hidroelektrik santrali, 30 Eylül 1882 yılında Amerika’da Appleton/Wisconsin sınırları içerisinde Fox Nehri üzerinde kurulan santraldir. Bu santral aydınlatma amacıyla kurulmuştur. Thomas Edison’un New-York şehrinde kurmayı planladığı elektrik üretim tesisinden esinlenerek kurulan santral, daha sonraları Appleton Edison Aydınlatma Şirketi olarak anılmaya başlamıştır [24].

Uluslararası Hidro Kurumu’nun (International Hydropower Association-IHA) 2019 yılı raporuna göre, 2018 yılında üretilen elektrik üretiminin yaklaşık %25,6 kadarlık kısmı

yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Bu tutar içinde de en büyük pay %15,9 ile Hidroelektrik tesislerine aittir. Elektrik üretiminde halen fosil kaynaklı üretim önemli bir yer almakla birlikte, geleceğe yönelik yapılan tüm projeksiyonlarda yenilenebilir enerji payının zamanla yükseleceği öngörülmektedir. Mevcut durumda yenilenebilir enerji tesisleri içinde, hidroelektrik tesislerini sırasıyla rüzgar, biyokütle ve güneş enerji tesisleri takip etmektedir. Şekil 4.1. grafiğinde ilgili dağılım verilmiştir [25].

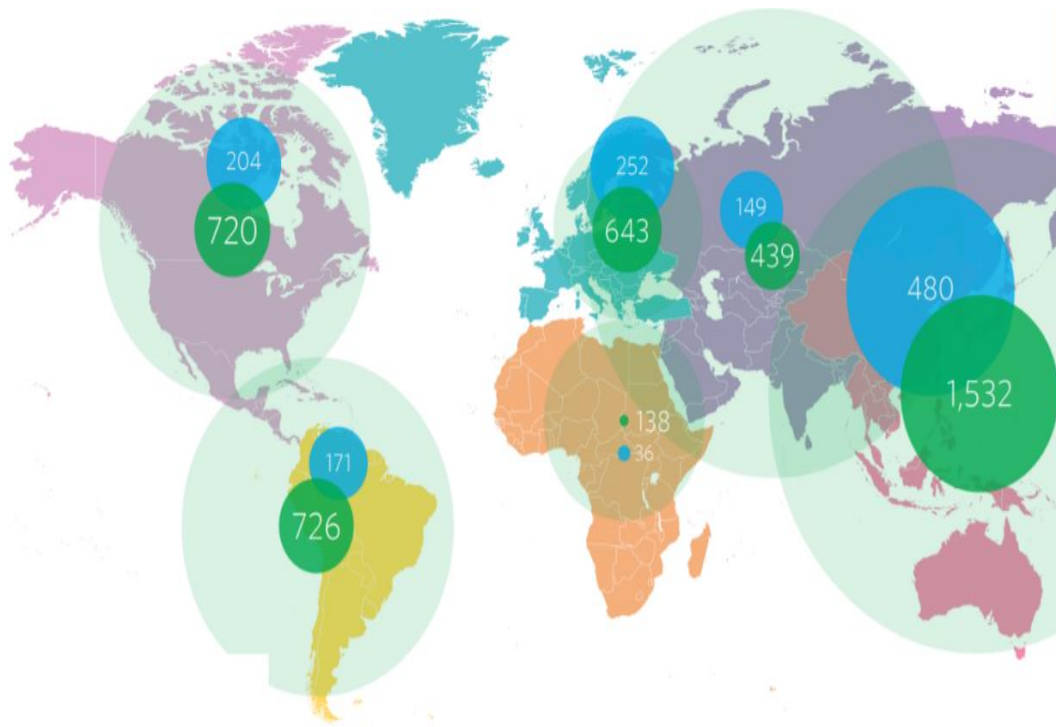


Şekil 4.1. Küresel elektrik üretimindeki HES tesislerinin payı [25]



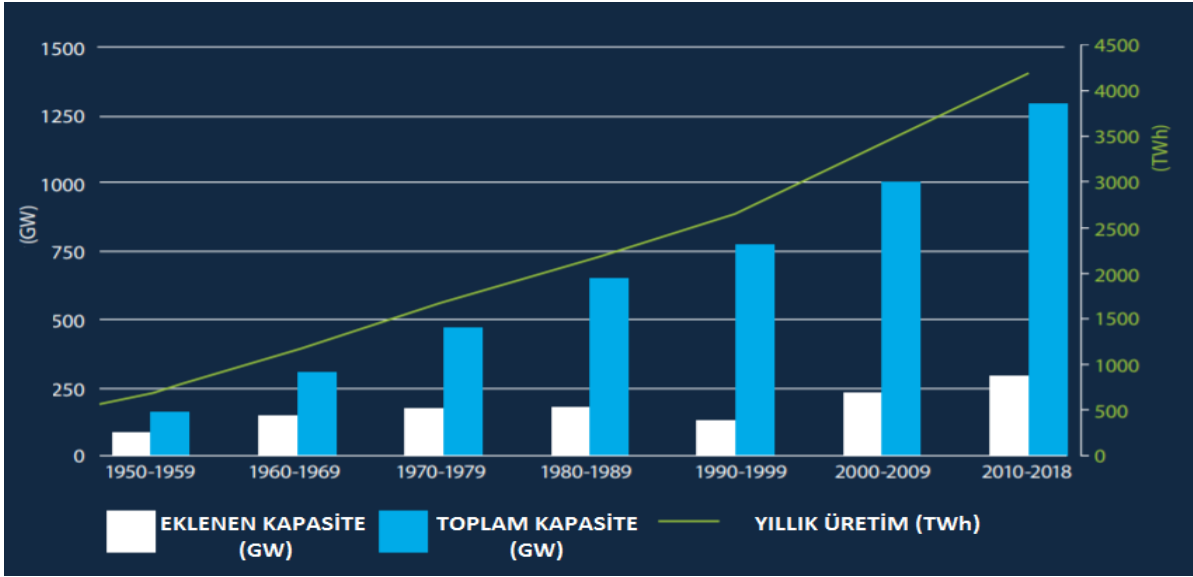
Şekil 4.2. 2018 yılı Dünya HES tesisi kurulu gücü ve ülkelere göre dağılımı [25]

IHA 2019 yılı raporuna göre hidroelektrik tesislerinin toplam kurulu güç 2018 yılı itibariyle 1 292 GW mertebelerindedir ve 2018 yılında toplam 4 200 TWh elektrik üretimi bu tesislerden sağlanmıştır. Tüm kurulu gücün neredeyse yarısı Çin, Brezilya, ABD ve Kanada ülkelerinde bulunmaktadır. Çin 352 GW kurulu güç ile tüm Dünya'nın sahip olduğu hidroelektrik tesislerinin yaklaşık olarak %27,2 kadarlık kısmını barındırmaktadır [25]. Bölgesel olarak incelendiğinde Güneydoğu Asya en fazla kurulu güç kapasitesine sahip olan bölge olduğu ortaya çıkmaktadır. En düşük kurulu güç kapasitesi ise Afrika kıtası ve Orta Amerika'yı içeren bölgelerdedir.



Harita 4.1. Bölgesel HES tesisi kurulu güç dağılımı haritası [25]

Özellikle 1950'li yıllardan itibaren hidroelektrik enerji tesisleri yatırımlarında artış gözlemlenmiştir. 1950-1960 ve 1960-1970 yılları arasında Dünya genelinde Hidroelektrik enerji tesislerinin kapasitesi mevcut kapasitenin yaklaşık olarak 2 katına çıkmıştır. 1980-2000 yılları arasındaki artışlar nispeten daha düşük oranlarda artmış, 2000-2018 yıllarında ise tekrardan artan oranlarda bir ivme yakalanmıştır. IHA 2019 raporuna göre, her 10 yılda yaşanan ek kapasite artışları ve ulaşılan kapasiteler Şekil 4.3. içinde verilmiştir [25].



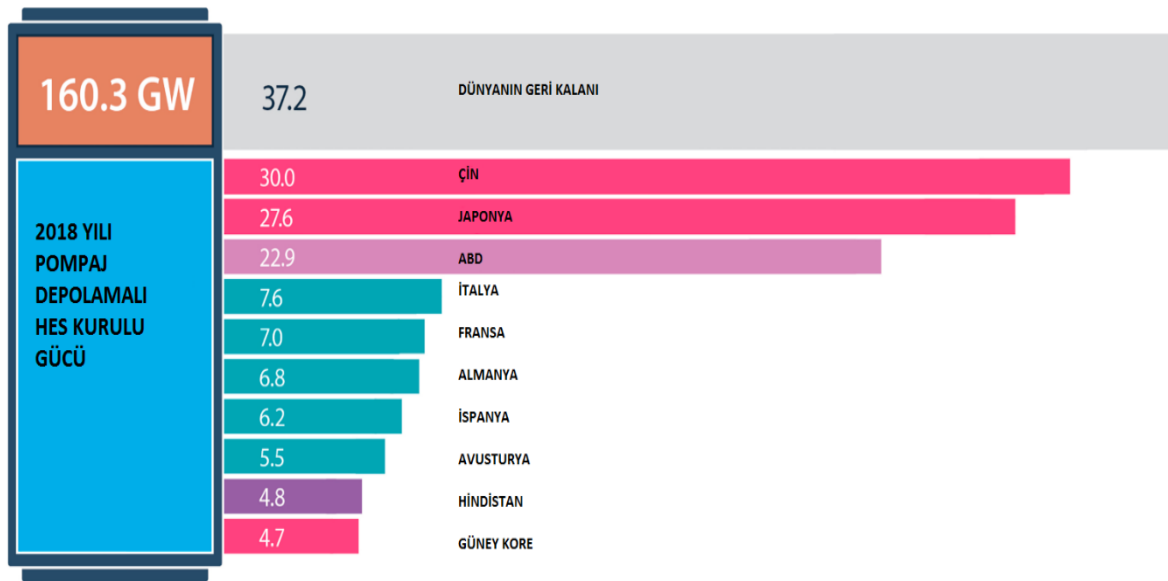
Şekil 4.3. 1950-2018 yılları arası Dünya HES tesis kapasiteleri ve üretimleri [25]

Dünya'nın en yüksek kurulu gücüne sahip Çin, Üç Boğaz Barajı ve HES santrali ile en yüksek kurulu güçteki hidroelektrik santralini bünyesinde barındırmaktadır. Bu Baraj, Hubei eyaletinde, Yiling bölgesinde bulunan Yangtze Nehri üzerinde kurulmuştur. Tesisin inşaatına ilk olarak 1993 yılında başlanmış, 2003 yılında işletmeye geçilmiş, 2012 yılında ise özellikle gemilerin geçebileceği bir platform inşasının tamamlanmasıyla hizmete geçmiştir. Tesisin kurulu gücü 22 500 MW'tır. Resim 4.1. içinde, söz konusu barajın drone tarafından çekilmiş görüntüsü verilmiştir [26].



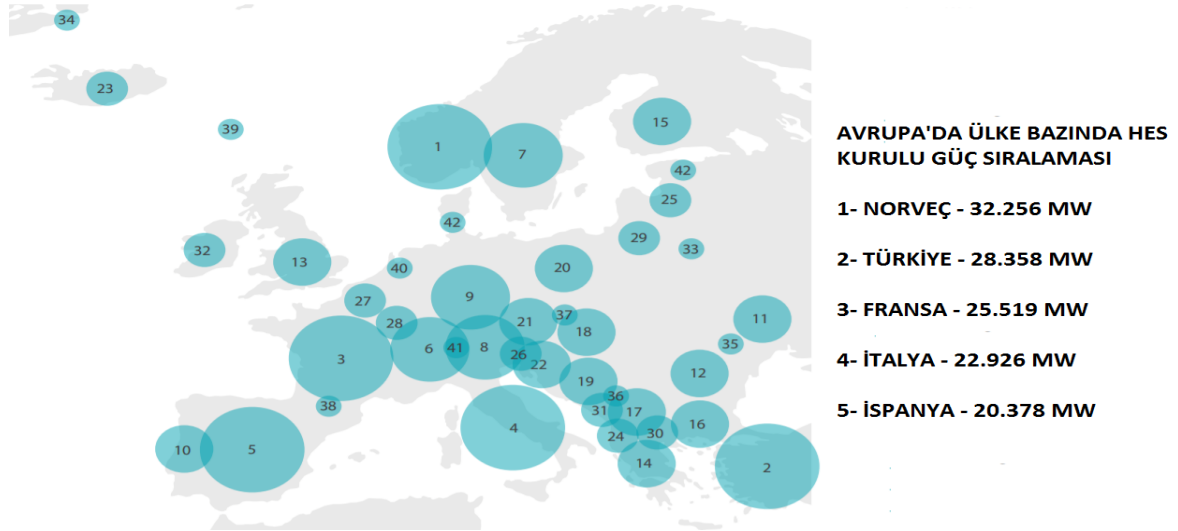
Resim 4.1. Dünya'nın en yüksek kurulu gücüne sahip olan üç boğaz barajı [26]

Son yıllarda özellikle pompaj depolamalı HES tesisleri de çoğalmaya başlamıştır. Pompaj depolamalı HES tesisleri genelde tüketimin az olduğu saatlerde daha düşük kotta bulunan depolamalı su miktarını, daha yüksek kotta bulunan rezervuar alanına taşımak, tüketimin fazla olduğu saatlerde de elektrik üretimi yapmak amacıyla kurulmaktadır. Ana hedef ticari olarak tüketim ve üretim arasındaki farktan yararlanarak kar maksimizasyonu sağlamaktır. Barajlar sadece elektrik üretimi için değil, taşkın ve sulama amaçlarına da hizmet ettiklerinden ötürü, çevresel ve sosyal katkısı en yüksek olan yenilenebilir enerji türlerindendir. IHA 2019 yılı raporuna göre Dünya’da, 2018 yılında toplam kurulu gücü 160,3 GW olan pompaj depolamalı HES tesisi bulunmaktadır. Pompaj depolamalı HES kapasitesinde, barajlarda da olduğu gibi 30 GW kurulu güç ile Çin’in liderliği söz konusudur. Çin’i sırasıyla Japonya, ABD, İtalya, Fransa, Almanya, İspanya, Avusturya, Hindistan ve Güney Kore izlemektedir. Pompaj depolamalı HES tesisleri ile ilgili grafik aşağıda verilmiştir [25].



Şekil 4.4. IHA verilerine göre 2018 yılı Dünya pompaj depolamalı HES kurulu gücü ve dağılımı [25]

İHA 2019 Yılı sektör raporuna göre Türkiye, 2018 yılında Dünya’da en büyük dokuzuncu, Avrupa kıtası içinde ise en büyük ikinci hidroelektrik kurulu güç kapasitesine sahip ülkedir. Avrupa kıtasının kurulu güç bakımından büyükten küçüğe ülke bazında sıralaması Şekil 4.5. içinde verilmiştir [25].



Şekil 4.5. Avrupa kıtası HES kurulu güç dağılımı [25]

Devlet Su İşleri (DSİ) resmi web sitesinde 31 Mart 2020 tarihi itibarıyla Hidroelektrik Enerji Tesislerinin istatistikleri paylaşılmıştır. Türkiye'nin 31 Mart 2020 tarihi itibarıyla sahip olduğu kurulu güç kapasitesi 29 532 MW seviyesindedir. Bu kapasitenin 22 080 MW kurulu güç kadarlık kısmı baraj tipi HES olarak adlandırılan depolamalı/rezervuarlı tesislere, 7 452 MW kurulu gücündeki geriye kalan kısmı ise Nehir tipi HES tesisi olarak adlandırılan tesislere aittir. Söz konusu tesislerin Türkiye'deki toplam kurulu güce oranı %31,9, toplam elektrik üretim miktarındaki oranı ise %29,4'tür. Çizelge 4.1. isimli tabloda söz konusu özet tablo verilmiştir [27].

Çizelge 4.1. HES tesislerinin Türkiye toplam kurulu güç içindeki durumu [27]

Kaynak		Kurulu Kapasite İçindeki Payı (MW)			Üretim Miktarı İçindeki Payı (GWh/yıl)		
Hidrolik	Depolamalı	23 754	%24,9	31 391	57 563	%19,6	78 106
	Depolamasız	7 637	%8	%32,9	20 543	%7,2	% 25,6

Her ne kadar Türkiye, su bakımından zengin bir ülke olmasa da sahip olduğu coğrafi yapının da yardımıyla çok ciddi bir hidroelektrik enerji potansiyeline sahiptir. Mevcut durumda işletme halinde bulunan toplam 714 HES tesisinin 68 tanesi DSİ tarafından (13 766 MW), 646 tanesi ise özel sektör tarafından inşa edilmiştir. Zaman içinde yapılan özelleştirmelerle DSİ tarafından yapılan bazı baraj ve HES tesisleri özel sektör uhdesine geçmiştir. DSİ tarafından inşa edilen baraj ve HES tesisleri genelde taşkın koruma, sulama ve elektrik üretim amacıyla yapılmıştır. Özel sektör ise ağırlıklı olarak elektrik üretimine yönelik tesisler inşa etmişlerdir. Özel sektör,

nehir tipi HES tesisleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Türkiye'nin en büyük barajı ve HES tesisi 2 400 MW kurulu güç büyüklüğüyle Atatürk Barajıdır. İlk 10 büyük baraj ve HES tesisinin her birinin kurulu gücü 500 MW'ın üstündedir. İlk 6 büyük baraj ve HES tesisi, Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) tarafından işletilmektedir. Bunun yanı sıra inşa halinde 37 HES tesisi bulunmaktadır. Ayrıca etüt-proje aşamasında olan ve toplam 9 194 MW kurulu güç büyüklüğünde 252 adet tesis bulunmaktadır. DSİ tarafından yapılan fizibilite çalışmasına göre, ülkemizin yaklaşık olarak 55 000 MW kurulu gücünde, hidroelektrik enerji potansiyelinin olduğu öngörülmüştür. İlgili özet tablo aşağıda verilmiştir [28].

Çizelge 4.2. Mevcut ve 2023 yılına kadar devreye girmesi planlanan HES tesisleri [28]

Projelerin Aşaması	İnşa Eden (Kamu/Özel Sektör)	Adet	Kurulu Güç (MW)	Üretim Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Üretim Oranı (%)
İşletme	DSİ	68	13 766	48 952	27,2
	Özel Sektör	646	17 625	59 053	32,8
	Toplam	714	31 391	108 005	60,0
İnşaat	DSİ	2	700	2 569	1,4
	Özel Sektör	35	579	2 009	1,1
	Toplam	37	1 279	4 578	2,5
Etüt-Proje	Özel Sektör	204	7 343	20 758	11,5
	Özel Sektör (Tabloda İlan Olanlar)	6	277	922	0,5
	DSİ (Önlisans-Planlama)	42	1 574	4 704	2,6
	Toplam	252	9 194	26 384	14,6
İşletme+İnşaat+Etüt-Proje Toplamı		1 003	41 864	138 967	77,1
Belli Bir Güç (10 MW) Üstünde İlan Edilebilecek Projeler		241	6 123	19 832	11,1
2022 Yıl Sonuna Kadar Geliştirilmesi Planlanan Potansiyel		1 244	47 987	158 799	88,2
Geliştirilebilecek Projeler (10 MW altı)		613	2 594	8 570	4,8
2023 Yılı ve Sonrasında Geliştirilebilecek Proje Potansiyeli			4 419	12 631	7,0
Toplam Potansiyel		1 857	55 000	180 000	100,0

Elektrik üretiminde suyun gücünden faydalanan tesisler Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES) olarak adlandırılmaktadır. Kendi içinde hidroelektrik santraller baraj tipi (rezervuarlı) ve nehir tipi olmak üzere iki başlık altında gruplandırılmaktadır.

- Baraj Tipi HES Tesisleri
- Nehir Tipi HES Tesisleri

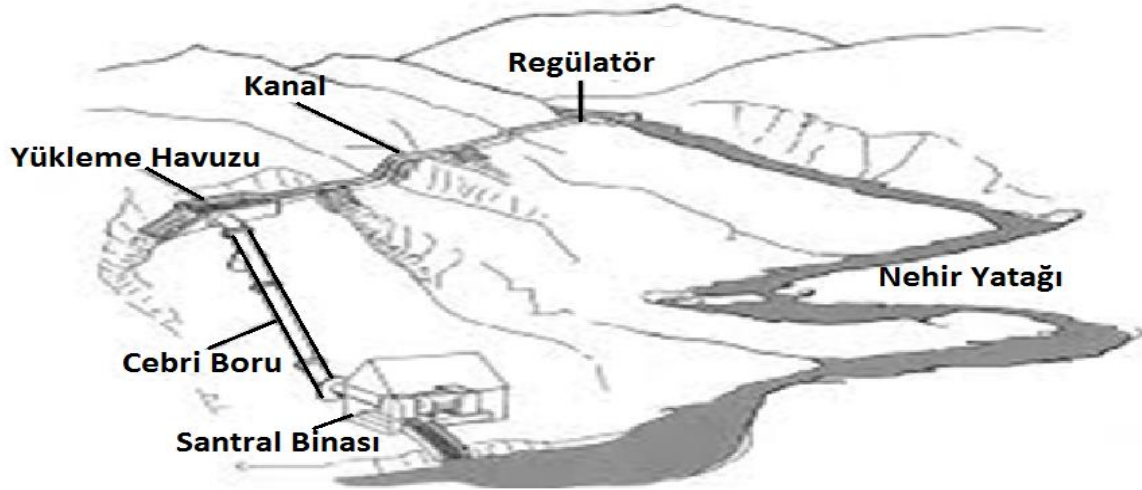
Baraj tipi santrallerde adından da anlaşıldığı üzere, bir baraj yapısı sayesinde akışkan olan bir akarsu/nehir rejiminden rezervuar oluşturulmakta ve akımlar bu sayede düzenlenmektedir. Depolamalı hidroelektrik santralleri, su akımlarını düzenleyip depolayarak daha düzenli bir şekilde debi elde edilmesinin sağlandığı yapılardır. Baraj tipi tesislerde yağış rejiminin dengesizliği giderilmektedir. Barajlar çoğunlukla sulama, taşkın önleme ve elektrik üretimi amacıyla inşa edilmektedir. Birçok barajda da bu 3 amaç birden gözetilerek inşaat kararı verilir. Yağışların azaldığı yaz aylarında tarımsal faaliyetlerde kullanmak amacıyla, nispeten yağışın bol olduğu dönemlerde baraj tarafından su tutma işlemleri yapılmaktadır. Sulama dönemi geldiğinde de tarımsal ihtiyaca göre Barajlardan su verilmekte ve yine bu dönemlerde elektrik üretimi yapılmaktadır. Baraj yapısı, yağış rejiminden kaynaklı düzensizlikleri telafi ederek kümülatif değerlendirme imkanı sunmaktadır. Baraj yapısı, coğrafi olarak en uygun bölgede akarsuyunun önüne set kurulması ile inşa edilmektedir. Genelde elektrik santralleri de topuk/etek santrali adıyla Barajın hemen bitişiğinde kurulmaktadır. Kendi içinde sıkıştırılmalı, dolgu beton, kemer yapı vb. türlerde yapıya sahip olmakla birlikte, kullanılan suyun kuvvetine dayanım gösterebilecek ve coğrafi şartların en uygun olduğu yerde inşa edilmesi kurgusuyla yola çıkarak baraj tasarımları yapılmaktadır. Baraj maliyeti çok yüksek olup, yıllar boyunca süren inşaat süreçleri de olabilmektedir. Ayrıca su tutmaya başladıktan sonra çok büyük oranda toprak parçaları su altında kalabilmektedir. Baraj kurulumu için güç optimizasyonu yapılırken üretilecek elektrik üretim miktarının yanı sıra çevre, sosyal ve ekonomik anlamda katkısı da değerlendirilerek kararlar verilmektedir. Şebeke hattının istikrarlı bir düzende çalışması için baz yük önemli bir yer teşkil etmektedir. Genelde baz yük fosil kaynaklı veya nükleer enerji elektrik üretim tesislerinden karşılanmaktadır. Barajlar, istikrarlı üretimleri sayesinde zaman zaman baz yük üretimlerini yüklenmekte görev alabilmektedirler.

Pompaj depolamalı hidroelektrik projelerindeki amaç, enerji ihtiyacının az ve maliyetinin nispeten düşük olduğu zamanlarda mevcut rezervuardaki suyu daha yüksek kottaki başka bir

rezervuar alanına pompalamak, enerji ihtiyacının yüksek ve arzın az olduğu zamanlarda da yüksek kotta depolanan suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi sağlamaktır. Daha çok ticari ve gelir kazanımına yönelik bir işletme türüdür. Nehir tipi santrallerdeki amaç ise doğal kaynağından alınan suyun aktarıldığı iletim kanalında, istenen potansiyel ve düşü yakalanana kadar taşınması, daha sonrasında ise bu suyun türbin sayesinde enerjisi alınarak dere yatağına geri verilmesidir. Nehir tipi hidroelektrik santrallerinde, rezervuar sisteminin olmamasından ötürü ve düşünün de santralin kurulduğu yerdeki coğrafi özelliklere bağlı olarak belli bir aralıktaki değişimi nedeniyle-su miktarına bağlı olarak sürtünmeden kaynaklı düşü değişimleri az miktarda olsa yaşanabilmektedir- santralden elde edilen elektrik üretim miktarı, su kaynağında bulunan debinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür tesislerin yağış rejimine aşırı bağımlılığından ötürü, enerji üretim miktarlarını yönetme yetenekleri bulunmamaktadır. Nehir tipi HES tesislerinde anlık olarak gelen su miktarı depolanmadan, doğrudan enerji üretimine yönlendirilmektedir. Nehir tipi HES santrallerinin kurulu güç optimizasyonu yapılırken, elektrik üretim miktarının yatırım maliyetine oranının en yüksek olduğu nokta olarak ele alınır. Normalde proje debisi olarak ele alınan debinin çok üstüne çıkılma ihtimali yüksektir. Ama bu çok sıklıkla yaşanan bir olay olmadığından daha gerçekçi ve maliyet maksimizasyonunu en anlamlı kılan debi, proje debisi olarak tercih edilmektedir. Böyle yapılmasının amacı nehir tipi HES santral dizaynı yapılırken, ilk inşai yapıdan son inşai yapıya kadar proje debisi ile senkron şekilde imal edilme gereksiniminden kaynaklanmaktadır. Türbin seçimi yapılırken akarsuyun gücünden yararlanabilmeyi artıracak şekilde farklı sayıda ve kurulu güçte seçimler yapılabilir. Genelde dönersellik çalışma durumu göz önünde bulundurularak böyle bir ayırım yapılabilir. Bu yaklaşımla birlikte akarsuda en düşük su akımlarının bulunduğu zamanlarda bile küçük kapasiteli türbinin çalıştırılmasıyla, debi süreklilik eğrisinin daha geniş bir şekilde kullanılması mümkün olabilmektedir. Nehir tipi santraller genelde 5 temel yapıdan oluşmaktadır;

- Regülatör
- İletim kanalı (Kanal/tünel vb.)
- Yükleme havuzu
- Cebri boru (Basınçlı)
- Santral binası

Şekil 4.6. içinde tipik bir nehir tipi HES santrali gösterilmiştir [29].



Şekil 4.6. Tipik bir nehir tipi HES santrali gösterimi [29]

Regülatör; nehir tipi HES tesislerinde, suyun ilk karşılandığı yer olan regülatör sayesinde, gelen su akımları belli bir oranda şişirilerek su alma yapısına yönlendirilmektedir. Şişirildikten sonra çökeltim havuzunda, su içinde bulunan ve türbinin çalışmasına engel olabilecek veya zarar verebilecek maddelerin çökertilmesi işlemi de yapılır. Belli dönemlerde regülatör temizliğinin yapılması gerekmektedir. Çünkü su ile beraber taşınan toprak zamanla regülatörü tamamen doldurarak işlevsiz hale getirebilmektedir. Ayrıca rüsubat olarak adlandırılan ve suyla taşınan dal parçalarının da periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir.

İletim Kanalı; regülatörden alınan suyun istenen düşü yakalanana kadar yükleme havuzuna kadar taşınmasını sağlayan kanallardır. İletim kanallarında suyun taşınması için ayrıca bir güç harcanmaz. Suyun yer çekimi sayesinde ilerleyebileceği eğimli bir kanal inşa edilerek yükleme havuzuna ulaşması ve suyun ilk alındığı noktadan santralin kuyruk suyuna kadar düşü kazanılması sağlanmaktadır.

Yükleme havuzu, suyun cebri borular vasıtasıyla santrale aktarılmadan önce biriktirildiği havuzlardır. Bu kısımda su ile taşınıp, türbinlere zarar verme potansiyeli barındıran malzemelere karşı ızgaralar yapılmıştır.

Cebri boru, basınçlı çelik borudur. Yükleme havuzundan alınan su, cebri boru vasıtasıyla türbinlere ulaştırılmaktadır. Alınmak istenen su miktarına bağlı olarak cebri boru kapakçıkları ayarlanmaktadır.

Santral binası, elektrik üretiminin yapıldığı yapıdır. Temel olarak içinde, hidromekanik kapaklar, türbin, jeneratör, uyartım sistemi, otomasyon sistemleri (Supervisory Control and Data Acquisition-SCADA sistemi) vb. elektrik/elektronik ve elektromekanik teçhizatlar bulunmaktadır. Suyun enerjisi alındıktan sonra kuyruk suyu vasıtasıyla akarsuyun esas güzergahı olan dere yatağına bırakılır. Jeneratörde üretilen elektrik ise önce trafo ile istenen gerilim değeri elde edilir ve enerji nakil hattı (ENH) vasıtasıyla şebekeye bağlanır.

Coğrafi şekillere de bağlı olarak iletim kanalı yerine tüneller veya regülatörden sonra doğrudan yükleme havuzu tasarımları yapılabilmektedir. Baraj tipi hidroelektrik santrallerinde, oluşan rezervuar alanının altında kalan yerleşim alanları ve mülkler nedeniyle o bölgede yaşayan insanların yeniden yerleşime tabi tutulması, tarihi ve kültürel varlıkların taşınmak zorunda kalması, tesis etrafında yaşayan ve kimi zaman tükenme tehlikesinde olan bitki ve hayvan türlerinin bulunması, orman / tarım alanlarının su altında kalması sonucu heyelan riskinin yaşanma ihtimalinin artması, çevresel-sosyal hassasiyetler doğuran sonuçlara sebep olabilmektedir. Bazı baraj tipi santrallerin heyelan riski oluşturma ihtimali de bulunmaktadır. Dolayısıyla tasarım yapılırken, çevresel-sosyal risk ve maliyet açısından en uygun yere ve bölgeye yapılması gerekmektedir. Hidroelektrik santral yapımı ağırlıklı olarak inşai maliyetler içermektedir ve her zaman beklenen maliyetin üstünde giderlerle karşılaşma ihtimali bulunmaktadır. Bahsi geçen büyük ölçekli olumsuzluklardan ve kaynağında tüketim amaçlı dağıtık sistem anlayışının artmasından dolayı son yıllarda nehir tipi santrallere doğru bir yönelim olmuştur. Nehir tipi hidroelektrik santral kurma kararı verilirken, tesisin bulunacağı coğrafyanın inşaata uygunluğu ve su değerlerinin doğru tespiti, projeyi etkileyen en önemli faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. Güvenilir su verisi olmayan yerlerde proje debisi belirlemek çok güç olmaktadır. Tüm tasarımın regülatörden santral binasına kadar proje debisine uygun şekilde imal edilme zorunluluğu düşünüldüğünde, bu konunun nehir tipi santralleri ne boyutta etkileyeceği ortaya çıkmaktadır. Hiç su verisi bulunmayan sahalarda en yakın akım gözlem istasyonu (AGİ) verileri kullanılmakta ve hidroloji alanları göz önünde bulundurularak, havzalar arası korelasyon kurulup öngörüler yapılmaktadır. Nehir tipi santrallerde, su kaynağı olarak yeraltı kaynaklarına dayanan ve sürekliliği olan elektrik üretimi için güvenilir enerji (firm), tamamıyla yağışlara bağımlı olarak elde edilen elektrik üretimi için ise tali enerji (seconder) adlandırılması yapılmaktadır.

Hidroelektrik enerji santrallerindeki elektrik üretimi, büyük oranda debi değişimlerine bağlıdır. Hidroelektrik enerji tesislerinden elde edilebilecek gücün hesaplanmasında aşağıda verilen 4.1 numaralı eşitlik kullanılmaktadır.

$$P = \eta_{total} \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (4.1)$$

Burada η_{total} toplam verimliliğin ifadesidir. Verimlilik; türbin verimliliği, jeneratör verimliliği ve trafo verimliliğini kapsamaktadır. Bu üç elektromekanik malzemenin çarpımı sonucunda sistemin toplam verimliliği elde edilmektedir. ρ olarak ifade edilen terim su yoğunluğunu (1000 kg/m^3), g olarak ifade edilen terim yerçekimi ivmesini ($9,81 \text{ m/s}^2$), Q olarak ifade edilen terim proje debisini (m^3/s) ve H ise hidroelektrik tesisin düşüsünü (m) temsil etmektedir.

$$P = \text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{s} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{s^3} \quad (4.2)$$

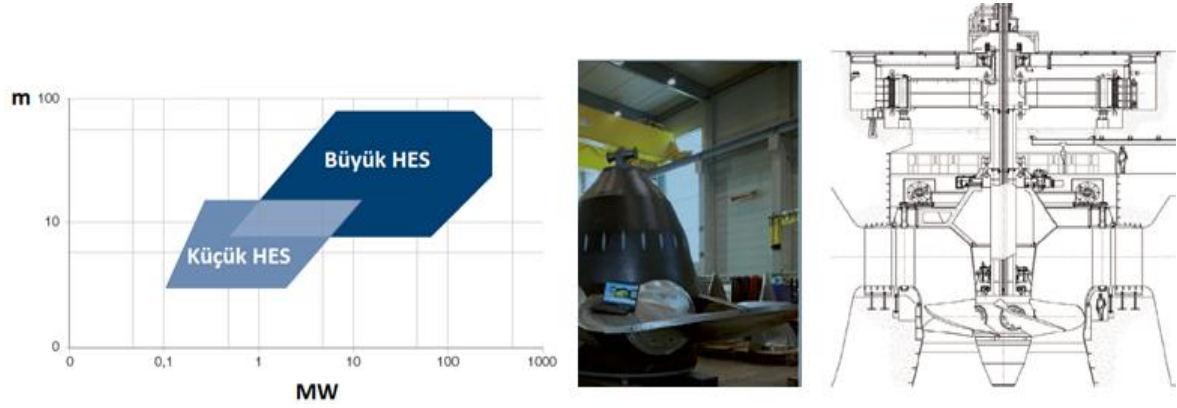
1 Joule 1 Watt.saniye'ye eşittir. Güç Watt veya Joule/s olarak ifade edilebilir. Yıllık enerji miktarını hesaplarken tesisin çalışma saatiyle, hesaplanan güç çarpılarak üretim miktarı elde edilmiş olur. Tesisler genelde kurulu güç doğrultusunda birebir üretim yapamayabilir. HES tesisleri için ortalama debide elde edilen gücün çalışma saatiyle çarpılmasıyla yıllık elektrik üretim miktarı hesaplanır. Ortalama gücün, fiile güce oranı kapasite faktörü olarak adlandırılmaktadır.

Genelde nehir tipi HES santrallerinde bu oran nispeten düşük olmakla beraber, baraj tipi HES tesislerinde daha yüksektir. Hidroelektrik tesislerin en dinamik proje karakteristiğini, proje debileri oluşturmaktadır. Farklı özelliklerdeki su kaynakları ve düşüler için farklı türbin çeşitleri kullanılmaktadır. Dünya'da en yaygın olarak 3 türbin tipi kullanılmaktadır. Bunlar;

- Kaplan
- Francis
- Pelton

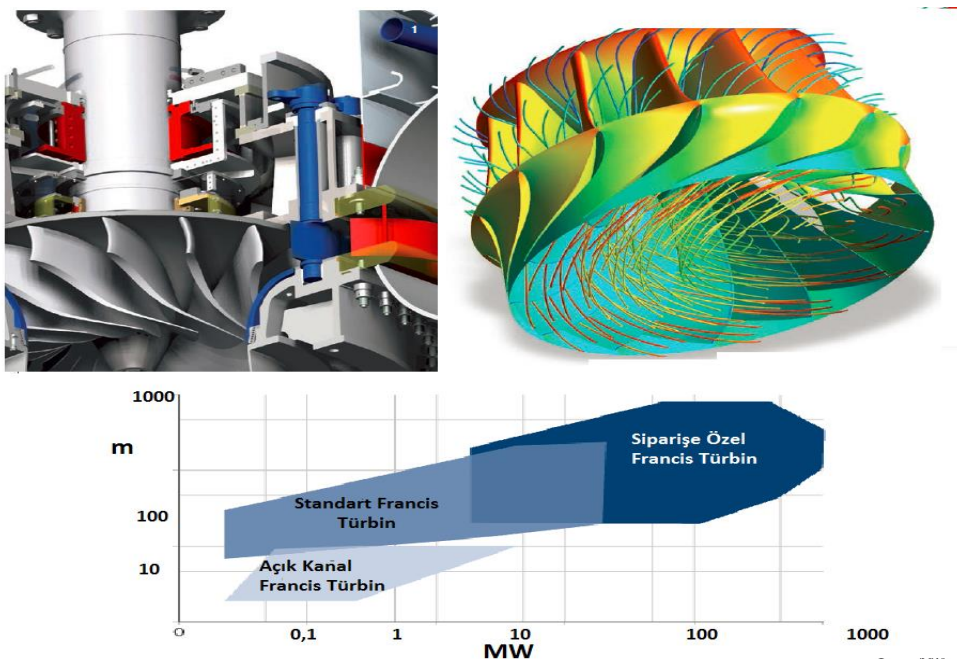
Kaplan türbinler, ağırlıklı olarak yüksek debiye ve nispeten düşük yüksekliğe sahip tesislerde kullanılan bir türbin tipidir. Şekli gemi pervanelerini andırmaktadır. Ağırlıklı olarak minimum

3 ve maksimum 8 kanatçık içermektedir. Kaplan tipi türbinin kullanıldığı akarsular genelde yüksek debili ve nispeten mevsimsel yağışlardan daha az etkilenen akarsu veya barajlardır. Aşağıda klasik bir kaplan tipi türbinin çalışma aralığı ve teknik çizimi ile ilgili görseller verilmiştir [30].



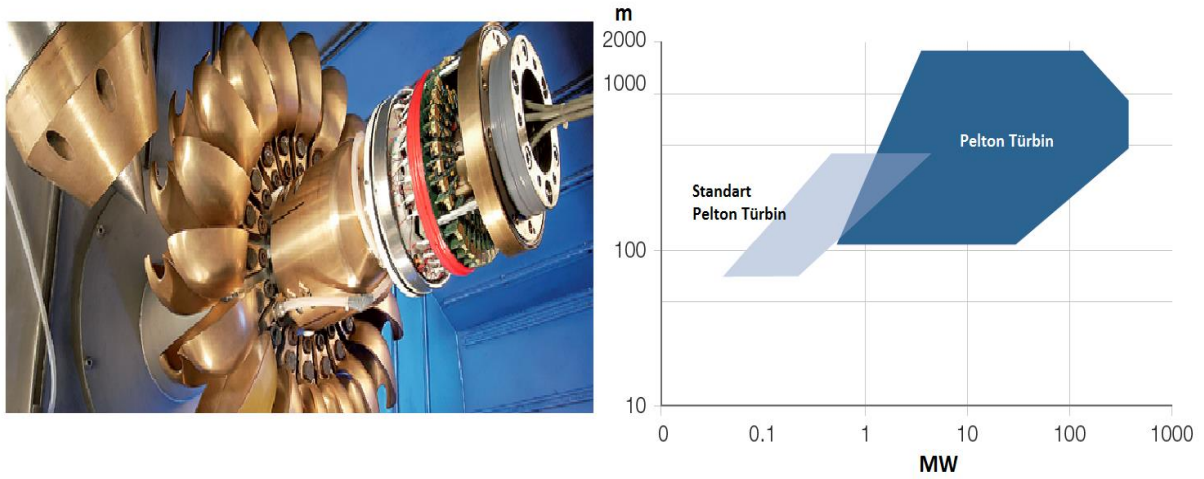
Şekil 4.7. Kaplan tipi türbinin çalışma aralığı ve teknik çizimi [30]

Francis tipi türbin, orta büyüklükteki düşü ve debiler için kullanılan türbin tipidir. Bu türbin tipinde kanatçık aralıkları, kaplan türbin tipine göre daha dardır. Francis türbin tipinin kullanım alanı çok geniştir. Çoğu hidroelektrik tesisinin debi ve düşü aralığı Francis türbin için uygun sınıfta bulunmaktadır. Şekil 4.8. içinde Francis türbin teknik çizim ve çalışma aralığı verilmiştir [31].



Şekil 4.8. Francis türbin teknik çizim ve çalışma aralığı [31]

Pelton türbin ise ağırlıklı olarak düşük debilere karşın çok yüksek düşülerin olduğu hidroelektrik tesislerinde kullanılmaktadır. Genelde bu hidroelektrik tesisleri yağış rejimine yüksek bağımlılığı olan tesislerdir. Bu türbinin kanatçık yerine su taşıyan kepçeleri bulunmaktadır. Çok yüksek bir düşü ve basınçla gelen suyun enerjisinden yararlanıldığı için yıpranma payı diğer türbin tiplerine göre daha yüksektir. Şekil 4.9 içinde pelton türbininin çalışma aralıkları ve görseli verilmiştir [32].



Şekil 4.9. Pelton türbin resmi ve çalışma aralığı [32]

Hidroelektrik enerji santralleri, çok eski zamanlardan beri kullanılmakta olup, çoğu ülkenin elektrik üretiminde önemli bir yer almaktadır. Zamanla türbin teknolojileri gelişmiş, daha doğru, güvenilir ve anlaşılabilir su verileri temin edilmeye başlanmış, inşaat, hidromekanik, elektromekanik, elektrik, elektronik ve otomasyon teknolojilerinde sağlanan gelişmeler HES tesislerinde de uygulanır hale gelmiştir. Yeni teknolojik malzemelerin kullanımıyla daha etkin üretim teknikleri sağlanmıştır. Son yıllarda özellikle pompaj depolamalı HES tesisleri, mevcut kanal ve su istasyonlarının enerjisinden yararlanmayı sağlayan hidrokinetik enerji tesisleri ve HES tesislerinin hibrit kullanımına yönelik uygulamalar dikkat çekmektedir.

5. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş canlı hayatının devamı için en önemli enerji kaynaklarından biridir. Canlılar belli bir sıcaklığın altında yaşayamazlar. Güneş canlıların yaşayabileceği ortam sıcaklığını dengeleyerek, canlıların hayatta kalmasını, büyümesini ve gelişmesini sağlamaktadır. İnsanoğlunun Güneş'ten yararlanması ve kendi ihtiyaçları doğrultusunda kullanması çok eski zamanlara kadar dayanmaktadır. Geçmişten bugüne ısı, tarım faaliyetleri, aydınlatma, elektrik üretimi vb. birçok alanda Güneş'ten faydalanılmaktadır. Güneşin enerjisinden bilinçli olarak ilk kullanım yaklaşık 2 500 yıl önce Sokrates tarafından sağlanmıştır [33]. Sokrates ev dizaynı yapılırken, ev pencerelerinin güney cephesine bakmasına yönelik çalışmalar yaparak, binanın yüksekliği, pencere genişliği, pencerenin ev içinde bulunması gereken nokta, yaz-kış güneşinin farklı açılarda ama en fazla yararlanılabilecek durumda evin içine alınması, çatı şekli ve kış rüzgarlarına karşı alınan tedbirlerle Güneş'in ısısından en fazla yararlanılacak şekilde dizayn ve yönlendirmelerde bulunmuştur. Arşimet, Roma gemilerini güneş ve ayna yardımıyla batırmayı amaçlayan bir plan kurmuş, her ne kadar batırma sağlanamasa da, yüksek yoğunlaşmanın sebep olduğu küçük yangınlar sebebiyle donanmanın dağılmasına, düzenlerinin bozulmasına yol açmıştır. Çoğu eski güneşten faydalanma uygulamaları, güneş ışınlarını odaklamaya yarayan ayna ve lenslerden oluşmaktadır. Güneşten yararlanarak pişirme ve kurutma işlemlerinin ilk örneklerinden biri olarak İsviçreli bir filozof olan De Saussure'un kayıtları verilebilir. Fransız bir fizikçi olan Foret Belidor ise güneşten yararlanarak su pompası icat etmiştir. Güneş ışımasına yönelik ilk deneyler ve tanımlar ise 19. Yüzyılda Sir John Herschel tarafından yapılmıştır. John Ericsson 7 Mart 1871 yılında yapmış olduğu ışıma tanımlamasıyla yaklaşık olarak $1\,332\text{ kW/km}^2$ ifadesine denk gelen güneş ışıma miktarı açıklamalarında bulunmuştur. İlk ticari güneş su ısıtıcısı 1891 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır. Fosil kaynaklara dayalı sistemlerin bir gün tükeneceği beklentisi, araştırmacıları yenilenebilir enerji alanına yönlendirmiştir. Bu konudaki ilk büyük kapsamlı sempozyum Ekim 1954'te Yeni Delhi'de yapılmıştır. Bu tarih milat olarak kabul edilebilir, çünkü özellikle gelişmiş ülkeler bu tarihten sonra güneş enerjisi fonlarının paylarını artırmış, bilim insanları ve akademileri teşvik edecek imkanlar sağlamışlardır [34]. Günümüzde, güneş enerjisinden birçok konuda yararlanılmaktadır. Dünya'da ısı enerjisi elde etmenin uygun olduğu her bölgede sıcak su elde etmek için güneşten faydalanan ısı kolektörleri kullanılmaktadır. Meyve/sebze kurutma için güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Hatta yemek pişirmek için bile kullanılabilir. Hatta

Güneş enerjisinden ısı üretilen uygulamalar, ısı seviyelerine göre;

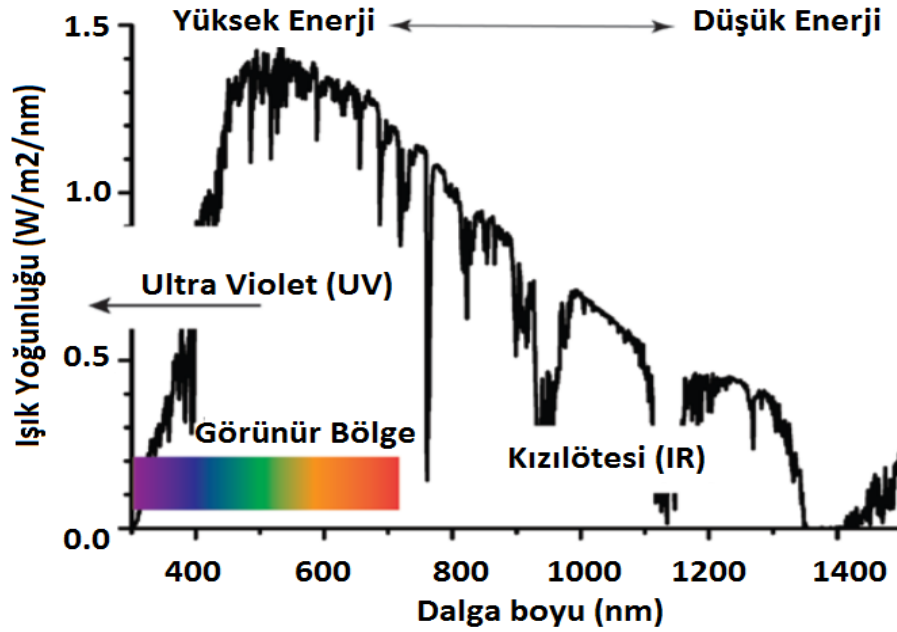
- Düşük
- Orta
- Yüksek olarak 3 grupta toplanabilir.

Düşük sıcaklık uygulamasına örnek olarak düzlemsel güneş kolektörleri verilebilir. Uygulanan sıcaklık dereceleri değiştikçe, yararlanılan sistemlerde farklılaşmaktadır. Örneğin, orta sıcaklık uygulamalarında genelde parabolik oluk sistemleri, yüksek sıcaklık uygulamalarında ise parabolik çanak sistemleri kullanılabilir.

Düzlemsel güneş kolektörleri, birçok bölgede konut ısıtma ve sıcak su ihtiyaçları için rahatlıkla uygulanabilmektedir. Çalışma prensibi olarak, güneş enerjisinden elde edilen ısı, su veya ikincil bir akışkana ısı olarak yansıtılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektör sistemi içinde bulunan akışkan sıcaklıkları, genelde 70-80°C sıcaklık aralıklarına kadar yükselebilmektedir. Evsel kullanımlar dışında, birçok ticari ve fabrika binalarında, yüzme havuzlarının ve sanayi tesislerinin ısıtılmasında da kullanılmaktadır.

Bu kullanım alanlarına ek olarak, güneş enerjisi son yıllarda elektrik üretimi için ciddi ve artan miktarda kullanılmaya başlanmıştır. Güneş, Dünya üzerine muazzam bir enerji göndermektedir. Bu enerji Dünya’da bulunan ve bilinen tüm enerji kaynaklarının üstündedir. Standart koşullar çerçevesinde kabul edilen ve Dünya üzerine düşen Güneş güç yoğunluğu 1 366 W/m²’dir. Bu miktarın yaklaşık %30 kadarlık kısmı atmosferin izolasyon etkisinden dolayı düşmekte ve yaklaşık 1 000 W/m² kadar bir yoğunluk miktarının deniz seviyesinde ve açık bir günde Dünya yüzeyine ulaşabilecek yoğunluk olduğu kabul edilmektedir. Bu değer tüm fotovoltaik (PV) sistemlerinde standart güneş ışıması olarak kabul edilip hesaplamalar gerçekleştirilmektedir [35].

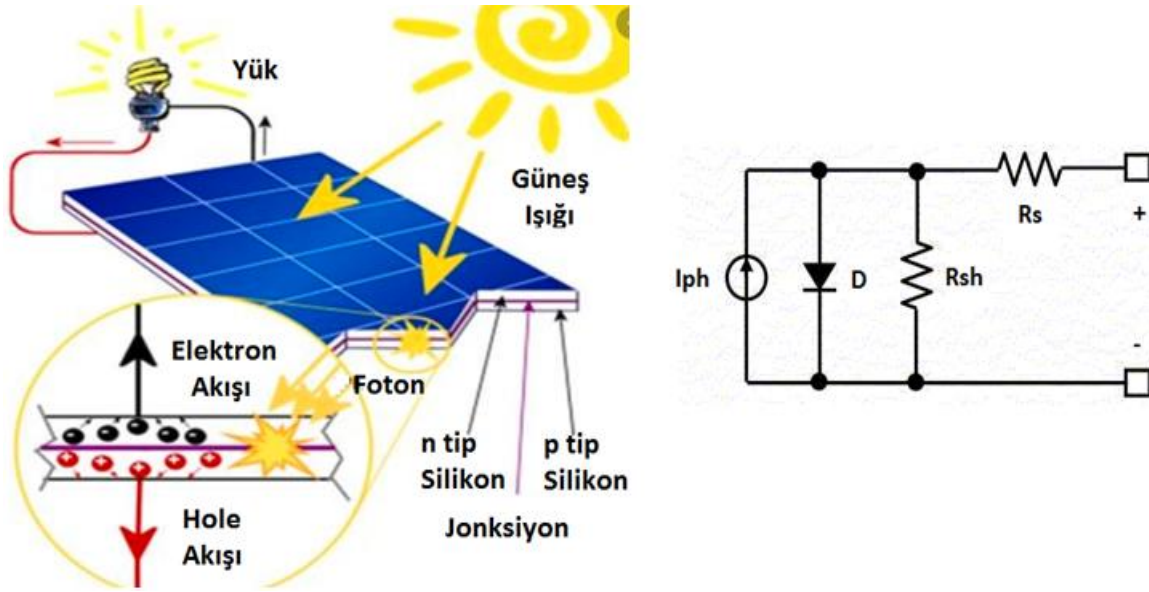
Güneş ışımasının yüksek yoğunlukta geldiği görünür bölge, 380-700 nm aralığındadır. Mor ve kırmızı ötesi güneş ışıması da spektrumda yer almakla birlikte en yoğun olan ışıma kısmı görünür bölge olarak adlandırılan aralıkta gözlemlenmektedir. Şekil 5.1. içinde güneş ışımasının spektral dağılımı gösterilmiştir [36].



Şekil 5.1. Güneş ışınması spektral dağılımı [36]

PV teknolojisinin geçmişi 1839 yılına kadar dayanmaktadır. Fransız bir fizikçi olan Edmond Becquerel, PV etkisini bu yılda keşfetmiştir. İlk katı halde bulunan PV hücresi ise 1877 yılında selenyumdan yapılmış olup, fotoğraflardaki ışık miktarını ölçmek için kullanılmıştır. Bu hücrelerin bugünkü bildiğimiz PV halini alması ise 1950'li yıllarda yaşanan yarı-iletken gelişimine kadar sürmüştür. İlk modern PV çalışmalarına ve doğrudan elektrik üretimi için kullanılabilecek malzemelere, 1954 yılında Bell ve RCA (Radio Corporation of America) laboratuvarlarında silikon ve germanyum yarı iletkenler üzerine çalışan araştırmacıların başlamıştır. İlk tasarlandıklarında beklenen ilgiyi görmeseler de özellikle uydu teknoloji ve girişimlerinin artmasıyla Güneşten bu hücreler yardımıyla enerji elde etme fikri önem kazanmaya başlamıştır. İlk PV güç kaynağı 1958 yılında yapılan uydu araştırmalarında kullanılmıştır. Bu hücre yaklaşık 100 cm² yer kaplamakta ve birkaç 10 mili Watt mertebelerinde enerji üretmektedir. 1962 yılında oluşturulan ilk ticari uydu olan Telstar'daki PV sistemi kurulu gücü 14 Watt seviyelerine gelmiştir. PV teknolojisi 1970'li yıllarda halen çok pahalı bir teknoloji olarak yer almaktadır. Ama 1973 yılında meydana gelen petrol krizi, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına yönelik adımlar atılmasını zaruri hale getirmiştir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya PV araştırmalarına yönelik ciddi fonlar sağlamıştır. Bu destekler neticesinde başta düşük verim ve kapasiteler konuşulurken zamanla artan bir ivme yakalanmıştır [35].

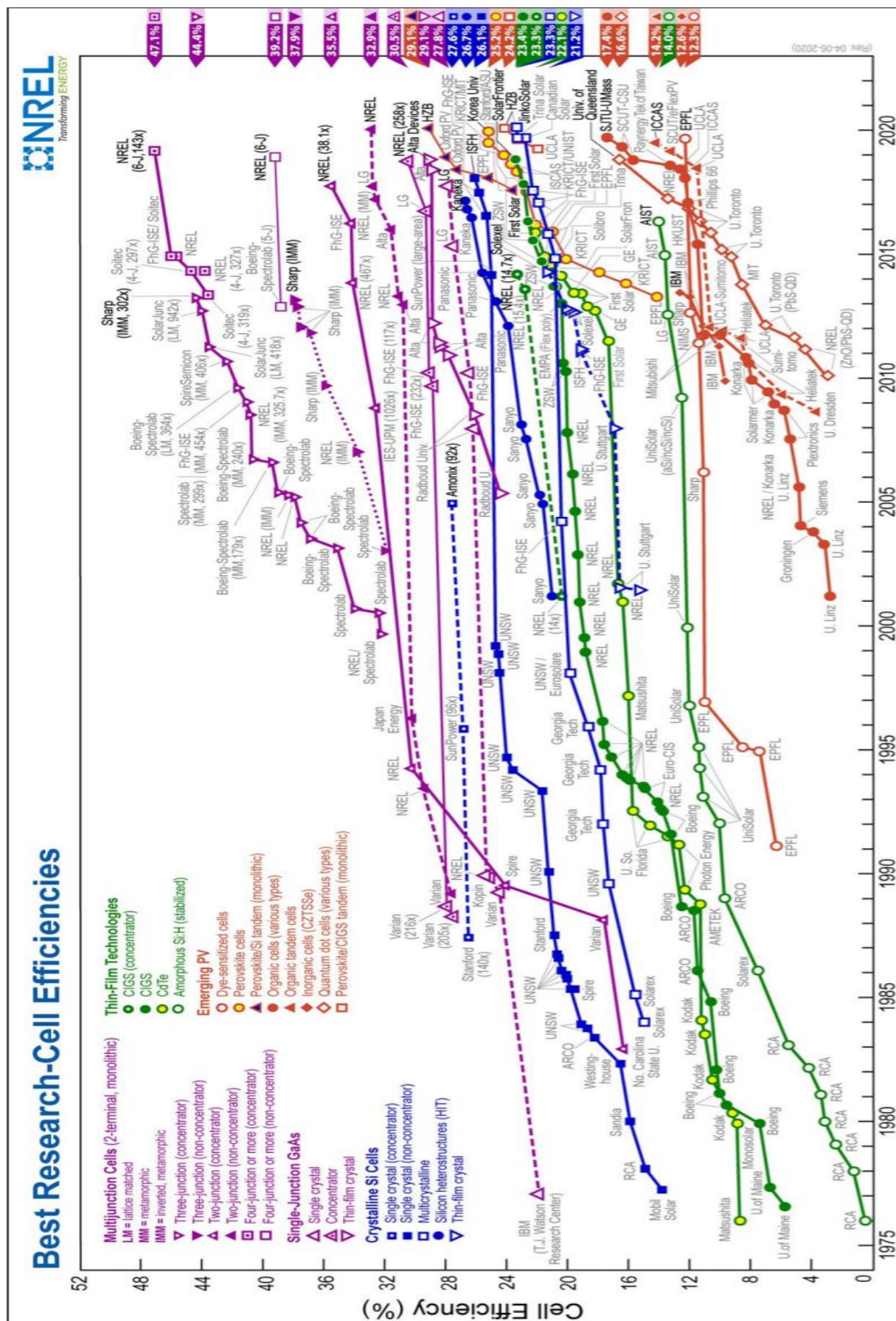
Güneş panelleri, PV etki ilkesi doğrultusunda çalışmaktadır. PV malzemenin üzerine güneş ışığı geldiğinde, bu yarı iletken malzeme güneş ışığını DC elektrik enerjisine çevirmektedir. Yük ve kurulu güç optimizasyonu talebine göre birbirinden farklı büyüklüklerde güneş enerji tesisleri kurulabilmek mümkündür. Şekil 5.2. içinde PV etki gösterimi sunulmuştur [37].



Şekil 5.2. PV etki gösterimi [37] ve basitleştirilmiş PV model [38]

PV pillerin ilk kullanımları uzay uygulamaları için yapılmakta iken sonraki uygulamalar ağırlıklı olarak elektrik altyapısı olmayan veya çok maliyetli olan bölgelerde yoğunluklu olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, yine başka bir enerji kaynağından güç sağlamanın çok zor olduğu durumlarda (örneğin haberleşme istasyonları, elektrik ve su dağıtım tesislerinde yapılan tele-metrik ölçümler ve benzeri) da kullanılabilir. Günümüzde birçok binada kendi enerji öz tüketimleri karşılamak üzere, binaların çatı, duvar, kaplamalarında PV paneller kurulabilmektedir. Ayrıca güneş enerjisi, hibrit enerji kaynakları olarak diğer enerji türleriyle birlikte de kullanılmaktadır.

Şekil 5.3. grafiğinde, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory - NREL) tarafından hazırlanan ve yıllar itibariyle PV panel modellerinde yaşanan verimlilik gelişmeleri gösterilmiştir [39].



Grafikte de gösterildiği üzere verimlilik katsayısı en yüksek olan PV panel modeli, NREL tarafından geliştirilmiş olup, %47,1 ile bir tandem (multijunction-çok katlı) yapıya sahip olan paneldir. Bu paneller laboratuvar ortamında geliştirilmiş ve henüz ticari hayatta yer bulamamışlardır. Özellikle 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi, tüm ülkelerde alternatif enerji kaynak arayışını hızlandırmış, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine araştırmalar yapılmıştır. İlk başta çalışmalar neticesinde elde edilen verimlilik katsayıları %1’in bile çok altındayken, zamanla artan teknolojik gelişmeler ve araştırmalarla laboratuvar ortamında kullanılan malzemenin tipine göre daha önceden teorik olarak hesaplanan üst sınırlara yaklaşmıştır. Söz konusu çalışmaların ticari ortamda da yakalanması hedeflenmektedir.

Güneş paneli çeşitleri ticari hayattaki yoğun kullanımlarına göre dört başlık altında toplanabilir;

1. Monokristal
2. Polikristal
3. Esnek
4. İnce film

Monokristal Güneş Paneli: Yapısında sadece yüksek saflıktaki kristal kullanıldığından ötürü bu tip paneller monokristal adını almaktadır. Kullanımı ve elektrik üretim ömrü polikristal ve amorf tip kristal panellerle karşılaştırıldığında daha uzundur. Verimliliği de diğer tipteki kristal güneş panellerine göre daha yüksektir. Küçük alanda büyük enerji üretebilme kapasitelerine sahiptir. Diğer güneş hücreleri ile karşılaştırınca birim güç miktarı için en az yer kaplayan panel tipidir. Görünüşü diğer PV panel tiplerine kıyasla daha koyudur.

Polikristal Güneş Paneli: Yakın zamana kadar piyasada en çok kullanılan ve tercih edilen güneş paneli tipi olan polikristal paneller, maliyetlerin diğer hücre tiplerinde de düşmesi ile birlikte bu cazibesini kaybetmeye başlamıştır. Heterojen yapısından dolayı polikristal adını almaktadır. Üretim süreci daha kısa olup, hücrelerin kapasite faktörleri monokristal güneş hücrelerinin altındadır. Monokristal güneş panelleriyle karşılaştırıldıklarında, havadaki ısı değişimlerinden daha az etkilenmektedir. Polikristal güneş panelinin dezavantajı, monokristal panellere göre daha çok yer kaplaması ve daha az enerji üretmesi olarak gösterilebilir. Görünüşü monokristal PV panele kıyasla daha açıktır.

Esnek Güneş Paneli: Monokristal ve polikristal güneş panelleri gibi arazi tipi uygulamalarından ziyade özellikle bina ve çatı uygulamalarında kullanılmaktadır. Esnek paneller aslında kristal

yapıdaki panellerdir. Hem monokristal hem de polikristal olabilir ve buna bağlı olarak verimlilik ve alan miktarları birbirinden farklılık gösterebilir. Bu panellerin alüminyum çerçevesi ve ön yüzeyde bulunan camları olmadığından kolay taşınabilir ve kolay montaj edilebilir. Montajı esnasında herhangi bir taşıyıcıya gereksinim duyulmamaktadır. Diğer kristal tipindeki panellerle karşılaştırıldığında hücrelerinin kapasite faktörünün daha düşük olduğu söylenebilir.

İnce Film Güneş Paneli: Silisyum (kristal) dışındaki yarı iletken malzemelerden oluşturulan bir panel tipidir. Bu tipteki panellerin kapasite faktörleri kristal tip panellere nazaran daha düşüktür. İnce film paneller şık bir görüntüye sahip olup, diğer paneller gibi aşırı ısı değişimleri ve gölgelenme gibi enerji üretimi üzerinde olumsuz etkisi olan durumlardan nispeten daha az etkilenmektedirler. Dünyadaki en önemli ince film panel üreticileri Solar Frontier KK (Japonya) ve First Solar (ABD) şirketleridir. 1970’li yıllarda başlayan araştırmalar, güneş enerjisinin muazzam potansiyelini de göz önünde bulundurarak artan bir ivme ile devam etmiştir. Günümüzde de çeşitli varsayımlar çerçevesinde teorik ve pratik PV panel modelleri tasarlanmakta, ticari olarak kullanılabilecek seviyeye getirmek için çaba harcanmaktadır. Umut vaat eden araştırmaların yoğunlaştığı birkaç önemli gelişme hakkında ilerleyen paragraflarda özet bilgilendirme yapılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak ABD Michigan Devlet Üniversitesinin şeffaf güneş paneli çalışması gösterilebilir. Şeffaf güneş paneli, güneş spektrumunda yer alan tüm bölgelerin (mor ve kırmızı ötesi dahil) enerjisinin elde edilmesi prensibi ile çalışmaktadır. Tamamen şeffaf olan bu panelleri elde etmek için parlak güneş yoğunlaştırıcı (Transparent Luminiscent Solar Concentrator-TLSC) olarak adlandırılan organik moleküller tasarlanmıştır [40]. Ar-Ge aşamasında olan bu panellerin verimliliği şu an için %1 civarlarındadır. Verimliliğin %5 seviyesine çıkarılması konusunda halen daha çalışmalar yapılmaktadır. TLSC teknolojisinin, endüstriyel uygulamalardan ziyade daha küçük ölçekteki elektronik araç-gereçlerde kullanılması planlanmaktadır.

Diğer bir örnek olarak yüzen güneş (floating solar) enerji santralleri verilebilir. Güneş enerjisinin bu şekilde kullanımı ağırlıklı olarak dalga ve rüzgar etkisinin daha düşük olduğu baraj ve göl alanı gibi alanların üzerinde kurulmaktadır. Bu tip kullanımlar içinde birkaç farklı model geliştirilmekle birlikte, şu an en fazla kullanılan sistem duba tarzı batmaz taşıyıcı elamanların üstüne montajla yapılan PV panel kullanımlarıdır. Gelişmiş birçok ülke bu tarz uygulamalara başlamıştır. Ülkemizde de özellikle son 3 yıldır bu konuyla ilgili araştırmalar ve

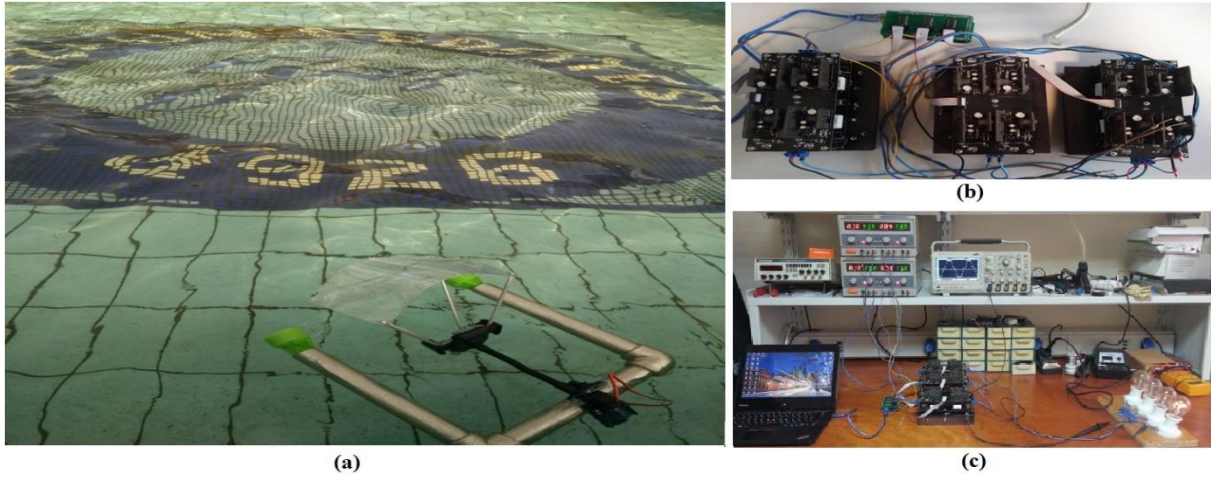
tesis kurulumları yapılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanları son yıllarda oldukça çeşitlenmiştir. Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda tipik uygulamalar yapılmaya başlanmıştır. Enerji üreten giysi veya çantalar üzerine ticari faaliyetlere geçilmiştir. Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde kendi enerjisini üreten binalar kavramı ön plana çıkmaya başlamıştır. Önce mevzuat hazırlıkları tamamlanan konuda, sonraki yıllarda yeni yapılan her binanın kendi enerjisini sağlamasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu konudaki en büyük enerji üretim potansiyeli de güneş enerjisi olarak görülmektedir. Binalara entegre şekilde tasarlanan bu güneş enerji tesisleri (Building Integrated PV-BIPV) hem estetik olarak gözü rahatsız etmemekte hem de binanın enerji ihtiyacını nispeten karşılayabilmektedir. Özellikle cam giydirmeli ofis binalarında şeffaf bir görünüm sağlayan BIPV tesisleri kurulabilmektedir. Diğer bir güneş enerjisinde yaşanan gelişmeye ise fresnel lens veya odaklayıcı sistemleri kullanarak enerji elde edilmesi örnek gösterilebilir. Bu çalışmalarda mantık güneş enerjisini belli bir noktaya odaklamak ve artan ışıma miktarı ile enerji üretimini sağlamaktır. Yapılan son çalışmalarda özellikle bulutlu günlerde veya herhangi bir sebeple güneş enerjisinin nispeten daha düşük ışıma yaydığı durumlarda, ışımayı bir noktaya odaklayarak enerji kayıplarının azaltılması ve yüksek verimde enerji üretiminin sağlanması planlanmaktadır. Resim 5.1. görselinde, Michigan Üniversitesinde geliştirme çalışmaları devam eden saydam panel ve odaklayıcı sistemlerle ilgili görseller verilmiştir [41].



Resim 5.1. Güneş enerjisinde yeni teknolojik ürünlere ait görseller [41]

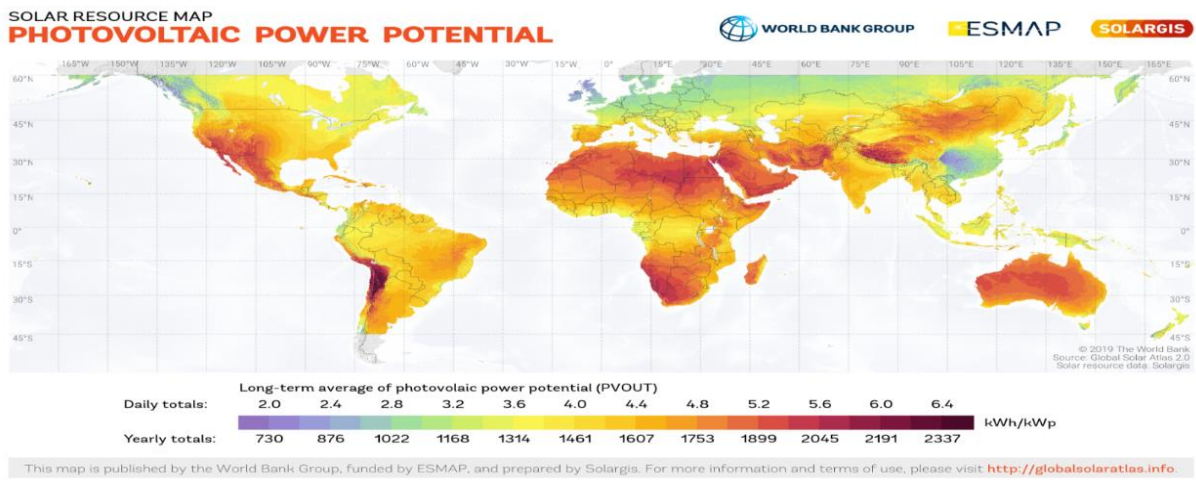
Resim 5.2. içinde 07/2017-05 proje kodu ile GAZİ BAP projesi kapsamında hazırlanan fresnel lens odaklayıcı yüzer panel (floating solar) prototipi ve 7 seviyeli multilevel inverter verilmiştir. Fresnel lens, güneş ışınmasını odaklayarak belli bir alanda ışımaları yoğunlaştırmaktadır. Normal şartlarda gelmesi beklenen güneş ışıma miktarının çok daha fazlası yönlendirilerek birden fazla güneş etkisi oluşturulmaktadır. Birim alanlarda yapılan

ölçümlerde, fresnel lens odaklayıcılı panellerden normal panellere göre daha fazla akım elde edildiği gözlenmiştir. Bu tipteki panellerin en büyük dezavantajı ısınma problemidir. Söz konusu ürünü geliştirmek için araştırmaların devam ettiği literatür taramasından anlaşılmıştır.



Resim 5.2. Tasarlanan odaklayıcılı güneş hücresi (a) ve multilevel inverter (b, c)

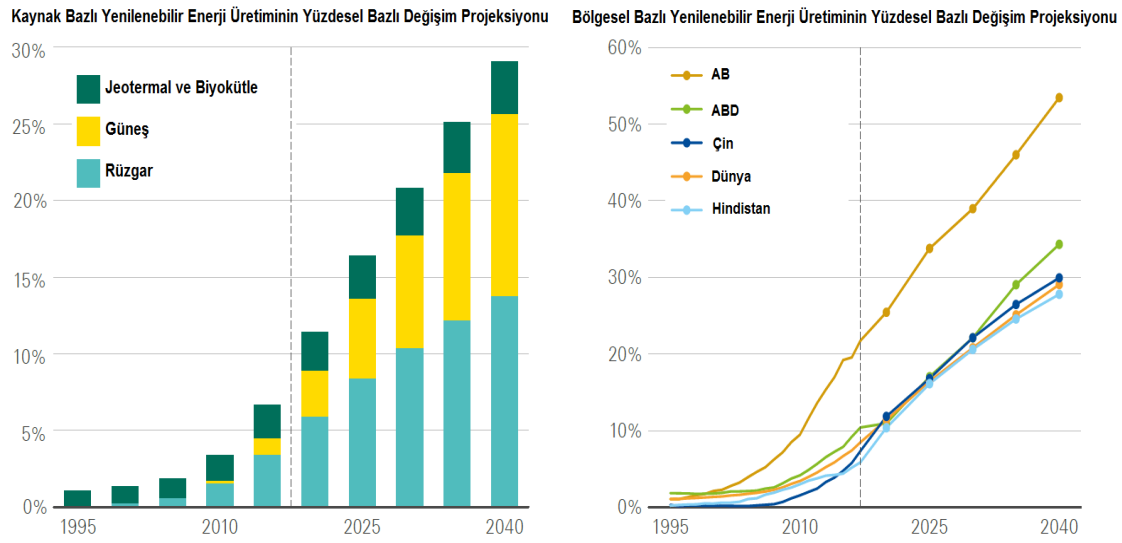
Güneş enerjisi, uygulama potansiyeli en yüksek yenilenebilir enerji kaynaklarından ve rahatlıkla Dünya'nın her yerinde kullanılabilecek bir enerji türüdür. Harita 5.1. içinde Dünya'nın güneş enerji potansiyeli gösterilmiştir [42].



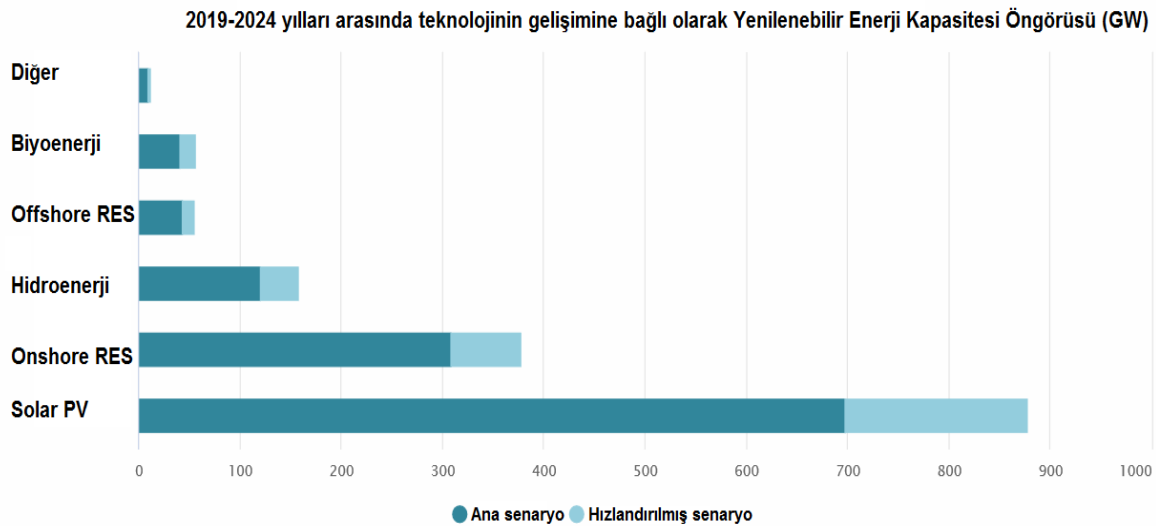
Harita 5.1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası [42]

British Petroleum (BP) tarafından hazırlanan 2019 yılı enerji raporunda 2040 yılına kadar kaynak bazlı yenilenebilir enerji üretiminin tahminleri verilmiştir. Bu tahminlere göre en

önemli artışın güneş enerjisinde yaşanması beklenmektedir. İkinci sırada ise rüzgar enerjisi gelmektedir. Üçüncü sırada ise jeotermal enerjinin geleceği düşünülmekle birlikte, bu enerji tipinde çok ciddi bir artış öngörülmemiştir. Global kapsamda, Dünya üzerinde her bölgede 2040 yılına kadar yenilenebilir enerjinin yükselen bir trendi bulunmaktadır. Hali hazırda yüksek oranda yenilenebilir enerji kaynağı kullanan Avrupa Birliği (AB) ve ABD, 2040 yılına kadar da bu konudaki liderliklerini koruyacakları öngörülmüştür. Şekil 5.4. içinde, söz konusu raporun ilgili tahminleri verilmiştir [9].



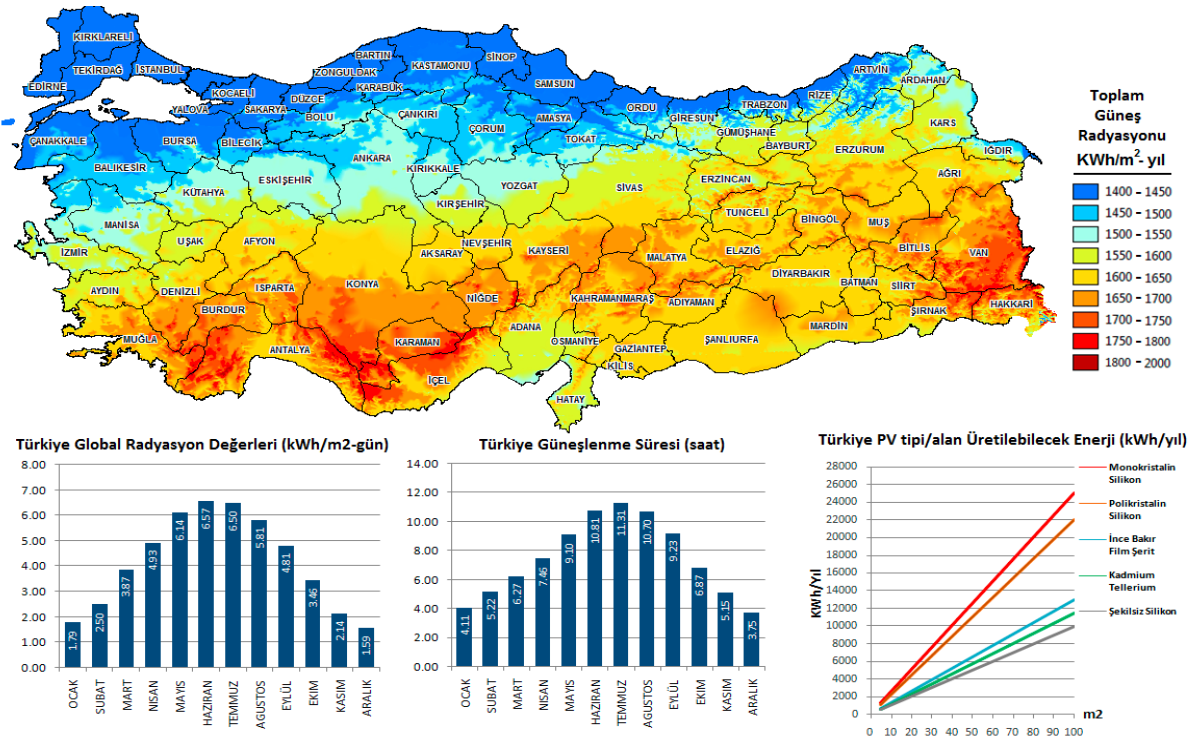
Şekil 5.4. 2040 yılına kadar bölgelere göre yenilenebilir enerji tahminleri [9]



Şekil 5.5. IEA 2019-2024 yılları arası yenilenebilir enerji kapasite öngörüsü [43]

Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency-IEA) tarafından yapılan 2019-2024 yılları arasında fazla talep karşısındaki gelişime bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynak

kapasitesi öngörüsünde bulunmuştur. Fazla talep olması durumunda en çok sırasıyla güneş, kara tipi rüzgar ve hidroelektrik enerji tesislerinde gelişme yaşanması beklenmektedir. Şekil 5.5.'te söz konusu tahminler yansıtılmıştır [43]. Türkiye'nin de coğrafi konumundan ötürü çok önemli bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Gelişen teknoloji ve yıllar içinde ciddi derecede düşen maliyetler, güneş uygulamalarını hayatımızın her alanına sokmayı başarmıştır. Ülkemizde en düşük güneş ışıması Karadeniz Bölgesinde gerçekleşmektedir. Güneylere doğru gidildikçe güneş ışıma miktarı artmaktadır. Ülkemizdeki güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinden daha fazla yararlanmak amacıyla yasal düzenlemeler yapılarak, yenilenebilir enerji kaynaklı üretim yapan santrallerin kurulumu teşvik edilmiştir. Bu yasal düzenlemeler ile kullanılan yenilenebilir enerji kaynağına göre elde edilen elektriğin satışlarında uygulanacak fiyat teşvikleri belirlenmiştir. Ayrıca yerli kullanılacak elektromekanik ekipmanlara da teşvikler getirilerek, yerli/yabancı tedarikçilerin tesis kurması ve kümelenmesi desteklenmiştir. Son yıllarda da ithal panel ve ürünlere gözetim belgesi getirmekle ve Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) projelerinde yerli katkı oranları içeren proje tasarımlarına odaklanılmasıyla, yerli üretimin artırılması ile Türkiye ve Türkiye'nin hinterlandında güneş enerjisi ve ekipman imalatında söz sahibi olunması amaçlanmıştır. Şekil 5.6. içinde, Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli verilmektedir [44].



Şekil 5.6. Türkiye güneş enerji potansiyeli [44]

Türkiye güneş enerji potansiyeli bakımından diğer ülkelerle karşılaştırıldığında nispeten şanslı bir coğrafi konumda bulunmaktadır. Işımanın orta ve yüksek seviyede bulunduğu yerlerde yoğun şekilde tamamlanan santraller ve son yıllarda hızla artan PV panel üreticileri ile birlikte Türkiye, ciddi bir güneş enerji oyuncusuna dönüşmüştür.

6. LİTERATÜR TARAMASI

Güneş ve Hidroelektrikten oluşan enerji tesislerinin modellenmesi için gerekli parametrelerin temin edilmesi amacıyla literatür taraması yapılmıştır. İlerleyen paragraflarda araştırılan literatür çalışmaları ve kısaca özetleri verilmiştir.

Rath ve diğerleri, PV/Hidro hibrit sistemleri üzerine araştırmalar yapmıştır [45]. Yaptıkları çalışmada, yerleşim alanlarına uzak yerler için gereken elektrik enerjisinin, tek başına bir enerji türünden veya bir PV sisteminden elde edilme maliyetinin yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durumlarda, "melez/hibrit" bir sistem olarak bilinen sistemi oluşturmak için birkaç farklı güç kaynağını birleştirmenin daha makul bir yaklaşım olabileceği ifade edilmektedir. Hibrit sistemlerin, geleneksel fosil yakıt teknolojilerinden daha düşük emisyonu sahip sistemler olduğu vurgulanmıştır. Yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji içeren hibrit sisteminin modellenmesi ve simülasyonu sunulmaktadır. Çalışma oluşturulurken, gün boyunca tüm radyasyon, sıcaklık, hidro debileri ve yük talebinin değişimi göz önünde bulundurularak PV / hidro HEPS (hydroelectric power system) tasarlanmıştır. Modeli oluştururken MATLAB/Simulink kullanılmıştır. Çalışmada, histerezis akım kontrolü ve anlık p-q (gerçek-sanal) güç teorisi kullanılmıştır.

Yibo ve Honghua, mikroşebeke (microgrid) bir sistem için hidro/PV tasarım ve uygulama üzerine çalışmışlardır [46]. Yapılan çalışmada, küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinin, kırsal alanlarda sıklıkla kullanıldığını ancak talep edilen enerjiyi genelde karşılayamadığı ifade edilmiştir. Özellikle kurak dönemlerde talep edilen elektrik karşılanamamaktadır. Bu durumlarda hidroelektrik enerjiyi, PV (PV) bir sistem ile tamamlamak uygun bir seçenek olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada, Mega-Watt ölçeklerinde bir PV sistem yapısını, hidro sistem ile birleştirerek bir hibrit sistem önerilmiş ve tasarım seçenekleri karşılaştırılmıştır. Çin'in Yushu bölgesinde bulunan bir hidroelektrik tesis için 2 MW kurulu gücü olan ilave bir güneş enerji tasarımı yapılmıştır.

Bhandari ve diğerleri, rüzgar, güneş, hidrodan oluşan bir yenilenebilir enerji hibrit sistemi için matematiksel modelleme yapmışlardır [47]. Çalışmalarında, alternatif enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji üzerinde durulmuştur. Yenilenebilir enerjinin doğada bol miktarda

bulunduğu ve her yerde, ücretsiz ve kirlletmeyen özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte, bu enerji kaynaklarının hava koşullarına olan bağımlılığından bahsedilmiştir. Birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının birleştirilmesi, yalnızca güvenilir güç sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda gerekli depolama kapasitesinin oluşmasında bir çözüm olabileceği ifade edilmiştir. Büyük ölçekli enerji tesisleri şebekenin ihtiyaç duyduğu yük talebini karşılayabilse de, atıl kapasite yüzünden yüksek maliyetler barındırabilmektedir. Hibrit bir sistem ekonomik olmakla birlikte, yük talebini karşılamakta zorlanabilir. Yenilenebilir enerji güç sisteminin optimal boyutlandırılması ve sistem bileşenlerinin matematiksel modeli çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmada, çeşitli yenilenebilir enerji sisteminin matematiksel modellemesi özetlenmektedir. Özellikle de PV, rüzgar, hidro ve depolama aygıtları üzerinde durulmuştur. Doğrusal olmayan güç özellikleri nedeniyle, rüzgar ve PV sistemi maksimum güç takip teknikleri gerektirmektedir. Hibrit sistem iki (veya daha fazla) farklı gücün entegrasyonu nedeniyle karmaşık kontrol sistemine sahip kaynaklardır. Sistemin karmaşıklığı, alt sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası izleme (MPPT) teknikleriyle artırılmaktadır. Bu çalışmada aynı zamanda, hibrit yenilenebilir enerji sistemleri için çeşitli MPPT tekniklerinin matematiksel modellemesi özetlenmektedir.

Nazir ve diğerleri, yenilenebilir enerji optimizasyonu yaparak bir mikro-şebeke model tasarımı üzerine çalışma yapmışlardır [48]. Bu çalışmada, kırsal alanlardaki enerji kullanımının optimize edilmesi için basit mikro şebeke modelinin geliştirilmesi analiz edilmektedir. Önerilen mikro şebeke modeli, yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan enerji santrallerinin şebeke sistemine bağlı olan mikro hidro (MHP) ve PV sistem (PV) kaynakları içermektedir. Bu model, HOMER ve MATLAB yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Yük profilleri ve su debisinin uygunluğuna göre HOMER programında önerilen mikro-şebeke modelinin benzetimi yapılmıştır. Simülasyon sonucunda, MHP'nin en büyük kapasitesine sahip olan mikro şebeke modelinin en düşük enerji maliyeti içerdiği ve CO₂ emisyonunun azaltılması ve yenilenebilir enerjinin katkısı gösterilmiştir. Dolayısıyla, MATLAB sonuçları, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji santrallerinin performanslarının azami düzeyde kullanıldığı gösterilmiştir.

Meshram ve diğerleri, PV/Hidro hibrit bir sistem modellemesi yapmışlardır [49]. Bu çalışmada, şebekeye DC bağlı PV / hidro hibrit sisteminin simülasyon modellemesi oluşturulmuştur. 10 kW PV sistemi ve 7,5 kW Pico-hidro sistemi paralel bağlanarak hibrit sistem oluşturulmuş ve bu hibrit sistem elektrik şebekesine entegre edilmiştir. PV sistem, yağışlı dönemlerde, hidro

sistem ise ağırlıklı olarak yaz aylarında yeteri kadar güç sağlayamadığından, bu problemi aşmak için PV ve hidro sistem bütünleştirilmiştir. PV sistem ve Pico-hidro sistem, sistemin maliyetini ve karmaşıklığını azaltmak için DC terminal ile birbirine bağlanmıştır. Önerilen sistem ile yük talebinin şebekeden ziyade PV/hidro hibrit sisteminden karşılanması amaçlanmaktadır.

Margeta ve Glasnovic, PV ve hidroelektrik sistemden oluşan bir hibrit enerji sistemi üzerine çalışma yapmışlardır [50]. Çalışmada hidroelektrik santrali (HES) ve PV (PV) enerji santralinden oluşan tek bir hibrit elektrik santrali kurgulanmıştır. Çalışmada, Hırvatistan'da bulunan mevcut bir HES tesisinin verileri kullanılmıştır.

Meshram ve diğerleri, şebekeye entegre şekilde çalışan bir PV / HES hibrit tesisinin performans analizi üzerine çalışma yapmışlardır [51]. Çalışmada yenilenebilir enerji sistemlerinin, çevrenin korunması için önemli bir kaynak olduğundan bahsedilmiştir. Maliyetlerin önemli bir etken olduğu tasarımlarda, tek başına yetersiz olarak değerlendirilebilecek enerji sistemleri diğer enerji türleri ile entegre edilerek iyileştirilebilir. Bu çalışmada, hidro (7,5 kW) ve güneş sistemleri (10 kW) ele alınmış ve şebeke bağlantısı yapılmıştır. Hidro enerji üretim sistemi, kendinden tahrikli indüksiyon jeneratörü (SEIG) ve dönüştürücüler kullanmaktadır. Güneş enerjisi üretim sistemi, PV dizisi, yükseltici dönüştürücü ve güneş invertörünün (evirici) kombinasyonudur. Hem hidro hem de güneşin kontrolü, sabit akım kontrolörü ile sağlanmaktadır.

Rao ve diğerleri, PV/Hidro hibrit enerji sistemleri üzerine çalışma yapmışlardır [52]. Çalışmalarında yenilenebilir enerjinin temiz bir enerji kaynağı olduğu vurgulanmıştır. Yenilenebilir tanımı içinde yer alan kaynaklardan bahsedilmiştir. Bu kaynakların her biri benzersizdir ve kullanım alanları birbirinden farklılık göstermektedir. Bu çalışmada güneş ve hidro enerjiden oluşan hibrit bir sistemin simülasyon modellemesi yapılmıştır. Çalışmalar MATLAB/Simulink kullanarak tamamlanmıştır. Önerilen devrede, anlık p-q (gerçek-hayali) güç kullanılmaktadır.

Margeta ve Glasnovic, sürdürülebilir enerji üretimi için PV-hidro enerji sistemlerinin kurulumuna yönelik çalışmalar yapmışlardır [53]. Çalışmada PV santrallerinin sürekli olarak enerji arzında tek başına yetersiz olduğu, olabildiğince hidro enerji ile hibritizasyon yapılmasının bu kısıtı çözebileceği önerilmektedir. Çalışmada önerilen sistem, birincil enerji

kaynağı olarak güneş enerjisini kabul etmekle birlikte sürdürülebilir bir hibrit enerji mekanizması tasarlanmıştır. Enerji kaynağının depolanması içinde hidro sistem önerilmiştir. Pompaj depolamalı sistem (PSH-pumping storage hydroelectricity) kullanımı ile yükten fazla arz edilen enerji miktarını depolamak mümkün olabilecektir. Çalışmada ayrıca önerilen sistemin çevre ve sosyal hayata etkilerinden bahsedilmiş, sürdürülebilirlik açısından değerlendirmesi de yapılmıştır. Klasik enerji üretimlerine oranla, sera gazı emisyonları, atık üretimleri, insanlar ve çevre için oluşabilecek risklerin çok daha az olduğu ve uygulamanın çeşitli hidrolojik ortam ve koşullarda esnek uygulama imkanı verdiği vurgulanmıştır. Ayrıca güneş ve hidro enerjinin birbirini doğal olarak tamamlayıcı rol üstlendiği, birinin üretimi az iken diğerinin çok olduğunu ve optimal hibrit kaynakları olduğu ifade edilmiştir.

Kittner ve diğerleri, küçük bir şebeke için mini bir hidro ve PV'den oluşan bir sistem yatırımının enerji getiri analizi üzerine çalışma yapmışlardır [54]. Dramatik maliyet düşüşleri ve performans iyileştirmeleriyle global olarak, mini hidroelektrik ve güneş PVleri (PV) artık yetersiz bölgelerdeki elektrik talebini karşılamak için iyi bir seçenek olduğundan bahsedilmiştir. Mini hidroelektrik enerji yatırımının net enerji getirisi (EROI-energy return on investment) hesaplanmıştır. Kuzey Tayland'daki mevcut beş mini hidroelektrik tesisini şebeke ile bağlayarak simülasyonlar yapılmıştır. Her iki değerlendirme de EROI'yi tahmin etmek için yaşam döngüsü perspektifi kullanılmıştır. Yıllık üretim hacminin % 50'sine kadar güneş enerjisi (PV penetrasyonlarına sahip) kullanılan mini şebekeler kurgulanmıştır. Klasik enerji üretimleri değerlendirilmiş, mini şebekeleri enerji geri ödemeleri için optimize eden tasarımlarda yerel kaynaklar kullanılmıştır.

François ve diğerleri, Kuzey İtalya'da hidro ve güneş gücünün birbirini tamamlamasına yönelik bir çalışma yapmışlardır [55]. Bu çalışma, Kuzey İtalya'da iki enerji kaynağının ana alternatif enerji olduğu (PV ve hidroelektrik) % 100 yenilenebilir hibrit enerji sisteminin kullanımına yöneliktir. Çalışmada, bu iki kaynağın olası tüm analizleri yapılmış, farklı zamansal ölçekler arasındaki PV ve hidro enerji arasındaki tamamlayıcılık, enerji dengesi ve üretim ile yükü dengelemek için gereken teorik depolama gösterilmiştir. Çalışma sonucunda hidroelektrik enerji sistemlerinin bu kurguda belirleyici rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

Marquez ve diğerleri, mikro hidro elektrik santrali için dinamik modelleme üzerine çalışmışlardır [56]. Çalışmalarında, küçük ölçekli bir hidroelektrik istasyonun genellikle sabit

bir debi kullanan nehir tipi santrali olduğu vurgulanmıştır. Bu tasarım, yüksek verimliliğe ulaşmayı sağlamayı hedeflemektedir. Ancak karmaşık bir çalıştırma mekanizması kullanılmıştır ve yüksek maliyetlidir. Ölçek büyüdükçe sistem daha uygun maliyetli olma eğilimindedir. Bu çalışmada, daha küçük, daha hafif, daha sağlam ve daha çok alana dayanan bir mikro hidro enerji santrali (MHPP-Micro-hydro power plant) ele alınmıştır. Önerilen tasarımla, çok daha basit ve yeni bir elektronik güç kontrol sistemi ile mekanik ayarlamalar, elektrik şebekesine bağlantı, daha yüksek güvenilirlik ve düşük santralin maliyeti sağlandığı ifade edilmiştir. MHPP'nin tam ayrıntılı bir modeli türetilmiş ve yeni bir üç seviyeli kontrol şeması tasarlanmıştır. Önerilen MHPP'nin dinamik performansı doğrulanmış ve dijital simülasyonlar yolu ile küçük ölçekli bir deneysel kurulum kullanılmıştır.

Jordehi, PV hücre parametrelerinin tahmini üzerine bir çalışma yapmıştır [57]. Çalışmada, PVlerin hücreleri genel devre olarak modellenmiştir. PV hücrelerin, model parametreleri analiz edilmiş, değerlendirme, kontrol, verimlilik hesaplamaları, performansı, PV sistemlerinin "devre modeli" parametrelerini bulma problemi ve "PV" hücre model parametresi tahmini üzerinde yoğunlaşmıştır.

Li ve Qiu, hidro-PV hibrit enerji sistemlerine üzerine optimizasyon çalışması yapmıştır [58]. Çalışmada, güneş enerjisinin en çarpıcı özelliğinin, çevresel faktörlerden kaynaklanan aralıklı ve dengesiz enerji üretimi olduğundan bahsedilmiş, hidroelektrik gücün, PV (PV) gücü elde ederken oluşabilecek bu durumları telafi etmek için ideal bir seçim olabileceği vurgulanmıştır. Hidroelektrik güç işletme aşamasının düşük maliyetlerle yönetilebileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada toplam güç çıkış sürecinin istikrarı da göz önünde bulundurarak entegre hidro / PV güç sistemi için model ve sistemin yıllık toplam enerji üretim miktarı, uzun vadeli çok amaçlı bir optimizasyon olarak önerilmiştir. Öncelikle PV gücü elde etmek için saatlik güneş radyasyonu ve sıcaklık verileri hesaplanmış ve bu veriler daha sonra rezervuar optimizasyonu için sınır şartı olarak kabul edilmiştir. Önerilen model Çin'in Qinghai eyaletindeki Longyangxia hidro / PV hibrit güç sistemine uygulanmıştır. Sonuç olarak, hidroelektrik enerjisinin, özellikle güneş enerjisinden çok fazla performans sağlanamayan yağışlı yıllarda/durumlarda, PV gücü için ideal bir telafi kaynağı olarak kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Su kaynağının bol miktarda oldurduğu durumlarda, güneş radyasyonu yağışlar nedeniyle düşmektedir. Yapılan çalışmada, farklı hidrolojik yıllar ve potansiyelleri için üretim ve işletme koşulları

değerlendirilmiştir. Önerilen metodolojinin genel olarak kurgulanabilecek diğer hidro / PV güç sistemleri için de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kota ve Bhukya, gözlemle ve düzelt (P&O – perturbation and observation) yöntemi kullanarak maksimum güç noktası takibi yapan bir çalışma yapmışlardır [59]. Çalışmada, geleneksel algoritma, analog veya dijital cihazlar kullanılarak kolayca uygulanabildiği belirtilmiş, geleneksel algoritmaların düşük verimlilikten, sabit durum gücünde salınımlardan ve zayıf dinamik performanslarından dolayı, lineer tabanlı P&O kullanan yeni bir MPPT şeması önerilmiştir. Performanslarını doğrulamak için, önerilen şema ve diğer geleneksel algoritmalar MATLAB / Simulink kullanılarak simüle edilmiştir. Simüle edilmiş sonuçlar, önerilen yöntemin geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi doğruluk, artmış verimlilik, düşük salınım, geliştirilmiş kararlı durum ve dinamik performansa sahip olduğuna dair kanıtlar sağlamıştır.

Kenfack ve diğerleri, kırsal alanda bir mikro hidro-PV hibrit enerji sistemi üzerine çalışma yapmışlardır [60]. Yapılan çalışmada, Afrika'nın Ekvator bölgesindeki birçok ülkesinde, tek başına çalıştığı takdirde hidroelektrik santrallerin tüm yıl boyunca güç talebini karşılamasının zor olduğunu, bu durumlarda, hibrit bir sistem oluşturmak için diğer yenilenebilir kaynaklardan oluşan karmaşık bir kombinasyonun, kırsal alan elektrifikasyon problemlerini çözmeye yardımcı olabileceği belirtilmiştir. Bu kombinasyonlardan biri, dizel ve bataryalarla birlikte PV kullanımı olarak ifade edilmiştir. Kamerun'daki bir köyde böyle bir sistem ölçeğini belirlemek için bir optimizasyon modelinin kullanımı vurgulanmıştır.

Fang ve diğerleri, Dünya'nın en büyük PV-hidro hibrit yapısının optimizasyonuna yönelik bir çalışma yapmışlardır [61]. Çalışmalarında, PV güç kalitesinin artırılması ve PV sisteme entegrasyonun sağlanması amacıyla tamamlayıcı hidro-PV hibrit enerji sistemi araştırılmıştır. Birinci bölümde, önerilen sistemin uygulanması için uygun bölgelerin ortaya çıkarılması ele alınmıştır. Ardından, farklı yük talep tiplerini daha iyi tatmin etmek için yeni çalışma modunun üç pratik senaryosu önerilmiştir. Dahası, bir hidroelektrik santraline entegre bir PV tesisin optimum ölçeklendirilmesi için bir yöntem geliştirilmiş, tesisin ekonomik ömür boyunca net geliri en yüksek olacak şekilde fonksiyon oluşturulmuştur. Dünya'nın en büyük hidro-PV enerji santrali olan Longyangxia tamamlayıcı hidro-PV hibrit proje, bir vaka çalışması olarak seçilmiş ve farklı senaryolar için oluşturulabilecek PV kapasiteleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bir PV tesisin boyut optimizasyonunda hidroelektrik yüklü kapasitenin önemli rol oynadığını ve

tamamlayıcı hidro-PV tesisin, Longyangxia mevcut rezervuarının su kaynakları yönetimi üzerinde çok az olumsuz etkiye neden olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma modunun, ölçek optimizasyonu ile birlikte PV enerji üretiminin nüfuzunu iyileştirmekle kalmayıp, Dünya genelinde diğer yenilenebilir enerji türlerinin büyük ölçekli kullanımı için değerli bir referans sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Bayrak ve Cebeci, şebeke bağlantılı yakıt hücresi ve PV sistemden oluşan bir hibrit enerji tesisinin MATLAB Simulink ile dizaynı üzerine çalışmışlardır [62]. Çalışmalarında, klasik fosil yakıtlı enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının (özellikle PV (PV) teknoloji ve yakıt hücresi (FC) teknolojisinin hızla gelişmesi ve maliyetlerinin düşmesiyle) ön plana çıktığı belirtilmiştir. PV, off-grid ev uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca, şebekeye bağlı PV güç üretim sistemleri yaygınlaşmıştır. Öte yandan, yakıt hücresi güç üretim sistemleri, PV üretmeyi destekleyecek hibrit üretim sistemleri açısından araştırılmaktadır. Bu çalışmada, bir şebekeye bağlı yakıt hücresi ve PV hibrit güç üretim sistemi MATLAB Simulink ile tasarlanmıştır. 160 Wp kapasiteli PV modülü, sıcaklık ve ısıma miktarları göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Ticari bir PV modülünün gerçek veri seti ve daha sonra bu modülleri kullanarak 800 Wp gücünde PV dizisi elde edilmiştir. PV sisteminin çıkış akımı ve gerilimi DC/DC boost konvertöründe dönüştürülmüş ve çıkış invertör girişi için kullanılmıştır. PV sistemi şebekeye bağlanmış ve 5 kW SOFC (Solid Oxide Fuel Cell/ katı oksit yakıt hücresi) sistemi tasarlanmıştır. Önerilen model şebekeye bağlı SOFC ve PV sistemlerini tasarlayarak oluşturulmuştur.

Margeta ve Glasnovic, Avrupa'da PV-hidro hibrit sisteminden oluşan bir sistemin yapılabilirliği üzerine çalışma yapmışlardır [63]. Bu çalışmada, teknolojik bir konsept olarak hibrit güneş ve hidro (SHE-Solar hydro energy) sistemi incelenmektedir. Söz konusu çalışma, sürekli elektrik enerjisi ve enerji tedarikini sağlayabilen sürdürülebilir enerji sisteminin Avrupa ve Avrupa'daki iklim koşullarının benzer olduğu alanlar için yapılmıştır. Bu sistemin sürdürülebilirliği, güneş PV (PV) ve hidroelektrik (HE) enerjisine dayanmaktadır. Tüm ilgili değerleri bir tek SHE sistemine bağlamak amacıyla, PV santralinin optimum büyüklüğünü seçmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Duyarlılık analizi (Parametre analizi), yerel iklim parametrelerinin değiştiği model için yapılmıştır ve güneş ışıması, hava sıcaklığı, rezervuar hacmi, toplam yağış, buharlaşma ve doğal su debi girişini kapsamaktadır. Elde edilen

sonuçların, yeni enerji kaynağının geniş bir uygulama yelpazesini ortaya koyduğu ifade edilmiştir.

Glasnovic ve diğerleri, güneş termal hidroelektrik güç santralinin ölçeklendirme optimizasyonu için bir model üzerinde çalışmışlardır [64]. Bu çalışmada, parabolik toplayıcılarla çalışan, güneş Termal (ST-Solar Thermal) bir enerji santralinin optimum boyutlandırılması için bir model sunulmuştur. Modelde Pompaj Depolamalı Hidroelektrik (PSH-Pumped Storage Hydroelectricity) kaynağı kullanılmıştır. Sürdürülebilirlik anlamında sadece güneş enerjisi girdisine (herhangi bir fosil yakıtla melezleşmeden), yenilenebilir enerji kaynağı olarak hidro enerji kullanılmıştır. Fizibilite ve önerilen ST-PSH santrali, Hırvatistan'daki Vis Adası'nın güç kaynağı üzerinde test edilmiştir. Sonuç olarak, ST-PSH santrallerinin nispeten düşük ışınlama olan yerlerde bile başarılı bir şekilde uygulanabileceğini gösterilmiştir.

Krismadinataa ve diğerleri, MATLAB/Simulink kullanarak bir PV modül modellemişlerdir [65]. Yapılan çalışmada Simulink / MATLAB'da uygulanan bir modelleme ve simülasyon PV (PV) modülü anlatılmıştır. Bir güç dönüştürücü ile etkileşime girmek için bir PV hücresi için devre tabanlı bir simülasyon modeli tanımlamak gerekmektedir. Işıma ve sıcaklıktan etkilenen PV hücrelerinin özellikleri bir devre modeli ile modellenmiştir. Model olarak diyot eşdeğeri olan basitleştirilmiş bir PV eşdeğer devresi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları farklı PV modül veri sayfaları türleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçları, üretilen Simulink / MATLAB'daki benzetim blokları, farklı PV modül tiplerine ve kullanıcı dostu olan gerçek PV modüllerine benzer özellikler göstermiştir.

Beluco ve diğerleri, hidro ve güneşten oluşan bir hibrit enerji sisteminin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır [66]. Çalışmanın yapıldığı hibrit sistem için hidroelektrik ve PV enerji kaynaklarının kombinasyonunun, maliyet açısından zor bir kombinasyon gözükmekle birlikte, gelecek yıllarda ciddi bir potansiyel taşıdığı ifade edilmiştir. Çalışmada ilerleyen yıllarda bu maliyetlerde azalma olmasının beklendiği belirtilmiştir. Hibrit hidro-PV tesislerinin incelemesi yapılmıştır. Santral için teorik bir performans limiti kavramı önerilmiş, idealize edilmiş enerji ile bilgisayar simülasyonları kullanarak bu performans limitinin belirlenmesi için çalışılmıştır.

Kougias ve diğerleri, küçük ölçekte hidroelektrik ve PV santrallerin birbirini tamamlayıcılığı üzerine bir metodoloji çalışması yapmışlardır [67]. Çalışmada, önemli küresel enerji, çevresel ve sürdürülebilirlik hedeflerinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ile yakından ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Buna Sera Gazı emisyonlarının azaltılması ve güvenli enerji sağlanması da sürdürülebilirliğin bir parçası olarak değerlendirilmiştir. Yenilenebilir enerji tesislerinin enerji yönetimindeki entegrasyonun, şebeke operasyonlarıyla ilgili teknik zorlukların üstesinden gelmekte olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, farklı yenilenebilir enerji tesislerinin daha sinerjik bir yaklaşımla çalışacağı ifade edilmiştir. Bunun sağlanması için basit bir yol olarak, zaman içinde ve mekansal olarak yenilenebilir enerji sistemleri arasındaki tamamlayıcılığın optimize edilmesi vurgulanmıştır. Bu çalışmada, küçük hidroelektrik santralleri ve komşu şekilde bulunan güneş PV sistemleri arasındaki tamamlayıcılık derecesini inceleyen bir metodoloji geliştirilmiştir. Metodoloji, hidrolojik ile güneş radyasyon bilgisini ilişkilendiren bir optimizasyon algoritması üzerine kuruludur. Özellikle, algoritma toplam güneş enerjisi üretiminde az miktarda tavizler ile tamamlayıcılığı artıran PV sistem kurulumunda (azimut, eğim vb.) olası değişiklikleri incelemektedir. Metodoloji bir vaka çalışmasında test edilmiş ve sonuç olarak, güneş enerjisi üretimindeki etkisi gösterilmiştir.

Chin ve diğerleri, tek eksenli güneş takip sisteminin MATLAB/Simulink kullanarak tasarlanması ve test edilmesi üzerine çalışmışlardır [68]. Çalışmada, güneş ışımasının, PV (PV) panelin yüzeyinde bulunan iki ışığa-bağımlı direnç (LDR – Light Dependent Resistor) sensörü tarafından algılanmaktadır. Akıllı izleyici sistemi, farklı hava koşullarına ve farklı kullanıcılar için tercihlere uyum ve esneklik sağlamak üzere farklı modlarda çalışmaktadır. Bağımsız güneş izleyici sisteminin bir bilgisayar modeli önce MATLAB / Simulink ile modellenmiştir. Sabit güneş paneli üzerindeki verimlilik, üretilen güç ve istenen seviyede verim elde etmek için kullanılan PV sistemleri tespit edilmiştir.

Beluco ve diğerleri, güneş ve hidroelektrik enerji arasında zaman tamamlayıcılığı açısından endeks değerlendirmesi yapmıştır [69]. Çalışmanın yapıldığı zaman, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanan enerji santrallerinin, başlangıçtaki maliyetlerin yüksek olması ve toplam verimliliklerin düşük olması nedeniyle çeşitli kabul zorluklarıyla karşılaştığı belirtilmiştir. Bu sistemlerin performansını artırmanın yolu, birden fazla enerji türünü bir arada kullanmak olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada zamanla enerji bütünlüğü tartışılmakta ve iki veya daha fazla enerji kaynağında, aynı veya farklı yerlerde veya farklı yerlerde aynı türden iki kaynak

arasında bu enerji bütünlüğünü değerlendiren sayısal bir boyutsuz dizin önerilmektedir. Sonuçta, bu endeksin güney Brezilya'daki Rio Grande do Sul eyaleti üzerindeki güneş ve su debisinin kullanılabilirliklerine uygulanmasının sonuçları, haritaları sunulmuştur.

Akikur ve diğerleri, kırsal alanlarda uygulanabilecek güneş enerji santrali ve hibrit enerji karşılaştırması üzerine çalışma yapmışlardır [70]. Çalışmalarında, hibrit enerji kaynaklarının avantajları göz önüne serilmiştir. Bir çok konuda performans değerlendirmeleri yapılarak, hibrit enerji kullanılmasının sistem üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Glasnovic ve Margeta, sürdürülebilir güneş ve hidroelektrik enerjiden oluşan bir sistem üzerine çalışma yapmışlardır [71]. Bu çalışmada, PV (PV) enerji santraliyle birlikte çalışan modifiye hidroelektrik enerji santralini (HES) içeren yeni bir hibrit tesisin temel özelliklerini sunulmuştur. Santralin fizibilitesi ve özellikleri, Hırvatistan'daki Vis adasının elektrik enerjisi temini üzerine test edilmiştir. Sistemin gerçek, uygulanabilir ve farklı yerlerde, farklı tüketiciler için başarılı bir şekilde uygulanabileceği ve boyutu değişebileceği tespit edilmiştir. Bu sistemin gerçekleştirilmesi için ön şart, uyumlu bir HES enerji santralinin inşası olarak gösterilmiştir. Sunulan SHE sistemi, çevre üzerinde zararlı etkilere neden olmaksızın yalnızca doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak, sürekli olarak bir tüketiciye güç kaynağı sağlayabilen sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak ifade edilmiştir.

Meshram ve diğerleri, hidro / PV / bataryadan oluşan hibrit enerji sistemlerinde güç yönetim stratejisi üzerine çalışmalar yapmıştır [72]. Aktif güç paylaşımını tanımlamak için bağımsız DC bağlantılı hidro / PV / pil hibrit enerji sistemi (HES) ve güç yönetim stratejisi (PMS-Power Management Strategy) simülasyonu ve modellenmesi yapılmıştır. Önerilen sistemin performans analizi ve güç yönetimi stratejisi, MATLAB yazılımının Simulink araç kutuları kullanılarak yapılmıştır. Önerilen sistem, 10 kW PV sistemi, 7,5 kW hidro sistem, batarya ve güç durumu birimi içermektedir. Bazı kırsal alanlarda, elektrik şebekesi ile yıl boyunca elektrik enerjisi talebini karşılamamanın çok zor olduğu vurgulanmıştır. Bu gibi durumlarda, enerji ihtiyacının, hidro veya PV sistemi gibi yenilenebilir enerji sistemi ile yerine getirilebileceği ifade edilmiştir. Her iki sistemin kendi aralıklı çalışmaları ve kısıtları olduğu için tek başlarına, yıl boyunca yeteri kadar güç gereksinimi sağlayamadığı ifade edilmiştir. Bu nedenle, hidro ve PV sisteminin kombinasyonu birlikte modellenmiştir. Güç yönetimi stratejisi, yük talebini karşılamak için enerji sistemlerinin ve bataryanın güç akışını yönetmek üzere modellenmiştir.

Sonuç olarak, önerilen sistemin ve kontrol stratejisinin kırsal alanlarda uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

Kusakana ve diğerleri, kırsal alanda hibrit PV-Mikro HES tesislerinin yapılabilirliğine yönelik çalışma yapmışlardır [73]. Bu çalışmada, tipik bir şekilde yerleşimden uzak ve izole edilmiş kırsal alanın enerji yük gereksinimlerini karşılayabilecek, nispeten uygun maliyetli bir güneş / mikro hidro hibrit enerji tesisi kullanabilme olasılığı araştırılmıştır. Bu bağlamda, hibrit sistemin teknik ve ekonomik performansını iyileştirmek için en uygun boyutlar, yük enerjisi gereksinimleri, güneş ve su kaynakları ile arz sürekliliğinin önemine göre belirlenmiştir. Önerilen sistemin kurulum ve işletme maliyetleri, proje debisi, güneş ışıması ve sistem bileşenleri maliyetleri girdi olarak Yenilenebilir Hibrit Optimizasyon Modeli (HOMER-Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables) kullanılarak simüle edilmiş ve daha sonra dizel kaynaklı üretim gibi diğer enerji kaynağı seçenekleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak hibrit enerji sisteminin verimi gösterilmiştir.

Lal ve diğerleri, HOMER programı kullanarak PV/Rüzgar/Mikro-Hidro/Dizel den oluşan hibrit bir sistemin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır [74]. Yaptıkları çalışmada, Hindistan'ın, Orissa Eyaletindeki kırsal bir bölge olan Sundargarh bölgesindeki elektrik ihtiyacını karşılamak üzere hibrit bir enerji sistemi tasarımı yapılmış, enerji kullanılabilirliği ve talepleri saatlik bazda elde edecek şekilde optimum sistem konfigürasyonu sağlanmıştır. Çeşitli yenilenebilir enerji alternatifleri simülasyona sokularak, enerji depolama ve maliyeti yönünden karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar yaparken HOMER programı kullanılmıştır. Programla duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiş, sonuç olarak tasarlanan hibrit enerji tesisinin kırsal bölgelerde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Sirasani ve Kamdi, güneş, rüzgar ve hidrodan oluşan bir hibrit sistemin simülasyonu üzerine çalışma yapmışlardır [75]. Çalışmada hibrit sistemlerin önemi vurgulanmış, hibrit sistemlerin yeni uygulamaları, analiz ve modelleme konusunda nelere dikkat edilmesi gerektiği üzerine yorumlar yapılmıştır. Yenilenebilir enerjiye dayanan hibrit sistemlerin teorik çalışmasını, hibrit sistemlerin ve en önemlisi yazılım simülasyon ortamlarının davranışlarını incelemek için kullanılabilen modellerin test edilmiş, hibrit güç sistemlerinin simülasyonunda kullanılabilecek farklı modeller üzerinde durulmuştur.

Muhida ve diğerleri, Endonezya'nın Taratak şehrinde uzun zamandır işletmede olan PV-mikro hidro tesisle ilgili çalışma yapmışlardır [76]. Çalışmada, 10 Haziran 1989'dan bu yana Endonezya'nın Taratak kentinde kurulan bir 71,1 kWp PV-mikro-hidro tesis olduğundan bahsedilmiştir. Sistem, her iki enerji dönüşüm sisteminin avantajlarını birleştirerek optimum sonuç elde etmek için Endonezya'da geliştirilmesinin üzerinde durulmuştur. PV sistem, bu hibrit tesisin baskın parçası olarak çalışmaktadır. Bununla birlikte, mikro hidro alt sistemin, PVteki üretim eksikliklerini telafi etmek için çalıştığı ifade edilmiştir. Çalışmada amacın iklimsel belirsizliği gözlemleyerek, pik zamandaki yük ihtiyacını karşılayabilecek bir enerji sistem performansının ortaya konulması olarak ifade edilmiştir. Taratak'ta bir PV-mikro-hidro (PV-MH) sisteminin performansını analiz edip değerlendiren çalışma sonucunda, PV-MH sisteminin çalışmasının ve performansının iyi seviyelerde olduğu gösterilmiştir.

Arith ve diğerleri, kırsal bir alanda PV-Mini Hidro-Dizel'den oluşacak bir sistemin değerlendirmesini içeren bir çalışma yapmışlardır [77]. Çalışmada HOMER programıyla Malezya'nın bir köyünde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının optimizasyonu yapılmıştır. Öncelikle köyün yıllık elektrik tüketim eğilimi çıkarılmış, daha sonra önerilen PV-Hidro-Dizel hibrit tesisi kurulması ile tüketimin nasıl karşılanacağı ve bu sistemi oluşturan parçaların fayda-maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır.

Dumitru ve Gligor, MATLAB/Simulink programı kullanarak yenilenebilir enerji tesislerinden oluşan bir hibrit sistemin modellenmesi üzerine çalışmışlardır [78]. Uygulama, şebekeye bağlı gerçek güneş-rüzgar-hidroelektrik sisteminin analizi, simülasyonu ve her bir bileşen modülünün etkisini incelemek için modüler mimari kurmak üzerine yoğunlaştırılmıştır. Yük, enerji dönüşümleri ve yenilenebilir enerji tesislerinin modeli bloklar halinde uygulanmış, simülasyon sonucunda, kesintisiz bir kaynak temin ederken yenilenebilir ve değişken zamanlı enerji kaynaklarının kullanılmasına izin veren hibrit sistemin davranışı incelenmiştir.

Iemsomboon ve diğerleri, Mikro Hidro ve PV tesisinin performansı üzerine bir çalışma yapmıştır [79]. Çalışmada, Tayland'ın Nan şehrinde bulunan Bunnasopit okulu uygulama alanı olarak seçilmiş, mikro hidro ve PV sistem kullanılarak hibrit yenilenebilir enerjinin performans analizi ve çalışması sunulmuştur. Bu bölge kırsal bir alan olarak tanımlanmış, böyle bir sistemin uygulanmasının ana problemi olarak şebeke dağıtım sisteminin gerilim istikrarsızlığı gösterilmiştir. Bu hibrit sistemin tasarımı ve analizi için elektriksel güç tüketimi, hidroloji ve

meteoroloji verileri kullanılmıştır. HOMER programı kullanılarak elektrik üretim sisteminin performansını analiz etmek için veriler düzenlenmiştir. Simülasyon sonuçları, maliyet ve kısıt analizleri için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, hibrit sistemin maksimum yükü 5 kW bulunmuş, günlük 44 kWh üretebileceği hesaplanmıştır. Hibrit sistem tasarımında, Hidro enerjisi 36 kWh/gün iken, PV sisteminin sadece 14 kWh/gün elektrik üretebileceği hesaplanmıştır. Üretim miktarı hesaplandıktan sonra yatırım maliyeti ve performans karşılaştırmaları yapılmış, hibrit sistemin iç karlılık oranı gösterilmiştir.

Khayyatadeh ve Kazemzadeh, PV santrallerinin alt-senkron rezonansları üzerine çalışma yapmışlardır [80]. Çalışmada, temiz ve yenilenebilir enerjiye artan ihtiyacın, tüm Dünya’da PV (PV) tesislerinin hızlı bir şekilde geliştirilmesine yol açtığından bahsedilmiştir. Büyük ölçekli PV tesislerinin güç sistemlerine bağlanması ve santrallerin güç sistemi kararlılığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Büyük ölçekli PV santrallerinin, alt-senkron rezonansı (SSR-Sub synchronous resonance) azaltmaya nasıl yardımcı olabileceği araştırılmıştır. Bu kapsamda bir deney düzeneği kurulmuştur. Vaka çalışmasında, SSR'yi azaltmak ve ayrıca uzaktan geri besleme sinyalinde zaman gecikmesinin tahrip edici etkisini araştırmak için PV alanının ana kontrol döngüsüne bir Geniş Alan Ölçüm Sistemi (WAMS-Wide Area Measurement System) tabanlı geleneksel sönümleme denetleyicisi tasarlanmış ve eklenmiştir. Optimizasyon problemlerini yönetmek için öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO-Teaching Learning Base Optimization) algoritması adı verilen yeni bir optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Önerilen sistemin dayanıklılığı, jeneratör ve güç sistemi çalışma noktasında, arıza süresinde ve PV tesisinin ürettiği güçte önemli değişikliklere neden olan bozulmalara sahip sistemle değerlendirilerek analiz edilmiş, tüm simülasyonlar, MATLAB / Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Kusakana, dağıtık hibrit ve pompaj depolamalı sistemler üzerine çalışmalar yapmıştır [81]. Çalışmada, PV ve rüzgar enerjisi üretiminin, özellikle şebekeden bağımsız uygulamalarda kırsal alan elektrifikasyonunda sürdürülebilir seçenek olarak görüldüğünü vurgulamıştır. Bununla birlikte, güneş ve rüzgar kaynaklarının değişken karakteri ve değişken yük talebi yüzünden, bu üretim sistemlerinin uygun enerji depolama sistemi olmadan tamamen güvenilir olmayacağı da belirtilmiştir. Kırsal alan elektrifikasyonunda PV ve rüzgar sistemlerinin kullanımı konusunda çeşitli araştırma çalışmaları yapıldığı ama bir çoğunda sadece klasik batarya depolama sistemleri üzerinde durulduğu, diğer enerji depolama alternatiflerinin dikkate

alınmadığı belirtilmiştir. Dolayısıyla çalışmada, güneş ve rüzgar enerji kaynaklarının aralıklı niteliği ve talebin değişimi göz önüne alınarak, yük talebini karşılayan bir enerji dağıtım modeli, bir PV ünite, rüzgar ünitesi, pompalı hidro depolama sistemi ve bir dizel jeneratör ele alınarak çalışma yapılmıştır. Geliştirilen modelin ana amacı, hibrit sistemin çalışma maliyetini en aza indirmek ve sistemin güç akışını farklı bileşenin çalışma kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak optimize etmek olduğu ifade edilmiştir. Simülasyonlar MATLAB'da oluşturulmuş, iki test örneğine uygulanmıştır. Simülasyon sonucunda analizler yapılmış ve verilen yük talebini karşılamak için dizel jeneratörün tek başına kullanıldığı durumla karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçta, önerilen hibrit yapıda geliştirilmiş kontrol modeli kullanıldığında, yakıt tasarrufu, dizelin aynı yük tedarik etmek için tek başına kullanıldığı duruma kıyasla daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Petrakopoulou, kırsal alanlarda kurulacak yenilenebilir hibrit enerji ekonomisi üzerine çalışmalar yapmıştır [82]. Çalışmasında, son dönemde bir çok bölgede yenilenebilir enerji kullanımının artmış olduğu vurgulanmış, bununla birlikte, şebekeden bağımsız bir şekilde yeterli derecede enerji üretimi yapabilme imkanının henüz tam anlamıyla sağlanamadığı belirtilmiştir. Bu çalışmanın amacı, temsili olarak seçilen bir Yunan adasında tek başına çalışan yenilenebilir hibrit enerji santrallerinin ilgili maliyetlerini araştırmak ve halihazırda kullanılan fosil yakıt kaynaklı klasik üretim maliyetiyle karşılaştırmak olduğu ifade edilmiştir. Burada incelenen santraller, adanın elektrik ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Adaların çok sayıda enerji sorunu ile karşı karşıya kalabildiği ve büyük oranda çevreye zararlı yakıtların kullanılmakta olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda uzak bir bölgenin, hibrit enerji ile birlikte nispeten yüksek elektrik maliyetinin rekabet edebilirliğinin artabileceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı teknolojilerin daha geniş bir şekilde dahil edilmesinin teşvik edilmesi gerektiği önerilmektedir. Bu önerinin olağan klasik enerji çözümlerine göre daha ekonomik olduğu gösterilmiştir.

Gavhane ve Shingare, su üstünde yüzen güneş enerji sistemleri üzerine çalışma yapmışlardır [83]. Çalışmada, odaklayıcı kullanan PV tesislerin, klasik düz yüzeyli yarı-iletken PV panellere göre önemli avantajlar sağlayabileceğinden bahsedilmiştir. Son yıllarda her ne kadar PV maliyetleri düşmüş olsa da, bu panellerin kapladığı alanların büyük olması sebebiyle kurulumlarda problemler yaşanabileceği belirtilmiştir. Bu problemi çözmek için daha küçük alanlara sahip ama daha yoğun ışıma alabilen odaklayıcı sistem kullanan PV modelleri ve

karadaki alanların kullanım kısıtlarından etkilenmeyen su üzerinde yüzen güneş panelleri (LSA-Liquid Solar Array) üzerinde durulmuştur. Odaklayıcı olarak fresnel lens kullanan bu sistemlerin güneş takibini yaparak ve daha az yapısal taşıyıcılar kullanarak, klasik PV sistem ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Ming ve diğerleri, büyük ölçekte bir hidro-PV hibrit enerji sisteminin günlük enerji üretiminin optimizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır [84]. Çalışmada, son yıllarda yenilenebilir enerji tesislerini bir arada barındıran hibrit projelerinin popüler olmasından ve yeni bir trend haline gelmesinden bahsedilmiştir. PV ve hidro enerjiden elde edilecek gücü göz önünde bulundurarak günlük enerji yönetimi yapılmış, bu amaca ulaşmak içinde bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritmanın temel bileşeni olarak maksimum enerji üretimi elde edilebilecek nokta baz alınmıştır. Oluşturulan algoritma bir vaka çalışması ile test edilmiştir. Önerilen algoritmayla, Çin'in Longyangxia eyaletinde bulunan PV-hidro hibrit enerji sistemi vaka çalışması olarak kullanılmıştır. Gerçekleşen üretimle karşılaştırıldığında, hidrodan elde edilecek enerji düşerken, toplamda elde edilen enerjinin artabileceği gösterilmiştir.

Apichonnabutr ve Tiwary, mikro hidro kullanan hibrit enerji tesislerinin ekonomik ve çevresel performansları arasındaki etkileşim konusunda bir çalışma yapmışlardır [85]. Yapılan çalışmada, dizel jeneratörlere dayanan üretimlerin sürdürülebilir alternatifinin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Mevsimsel olarak kurak dönemlerde mikro hidro enerji tesisleri büyük boyutlarda etkilenmekte, dizel jeneratörlerin ise insan sağlığını ve ekolojik çevreyi etkileyecek şekilde üretim yaptığı belirtilmiştir. Çalışmada, maliyetleri değerlendirirken farklı bir gösterge olarak, çevresel maliyetlerinde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Vaka çalışması olarak Tayland, Chiang Mai eyaletindeki, Si Lanna Khun Pang mikro hidroelektrik projesi ele alınmış ve farklı senaryolar uygulanmıştır. Mikro hidronun enerji açığında kaldığı durumlarda dizel jeneratör hibrit tamamlayıcı olarak uygulandığı belirtilmiştir. Proje sonucunda, mikro hidroelektrik tesislerinin ekolojik olarak güçlendirilmesi için en sürdürülebilir çözüm haline geldiği vurgulanmıştır.

Priyadarshane, hibrit bir AC / DC şebekenin modellenmesi ve kontrolü üzerine master tez çalışması yapmıştır [86]. Tezinde yenilenebilir enerji tabanlı dağıtık sistemlerin son zamanlarda çok popüler olduğundan bahsetmiş, bu enerji kaynağının çevre dostu olması, kapasite artış potansiyeli ve esnekliği, diğer klasik enerji üretim tesislerinden daha ön plana çıkmasına yol açtığını vurgulamıştır. Dağıtık sistemlerde ana şebekeden bağımsız şekilde yükler ve enerji

üretimi sağlayan yenilenebilir kaynaklar olduğundan, AC ve DC bağlantılar önem kazanmaktadır. Mikro şebeke yapısının, AC / DC dönüşümlerinde bağlantı kolaylığı sağladığını belirtmiştir. Kullanılan makine-teçhizatın güvenli çalışması ve korunmasının önemini vurgulamış olup, ayrıca tez çalışmasında, besleyici kayıpların azaltılması, verimlilik, atık ısı, gerilim dönüşümlerini kapsayacak şekilde MATLAB/Simulink kullanarak hibrit AC / DC mikro şebeke sisteminin performansını analiz etmiştir.

Sattouf, hidroelektrik santralinin MATLAB/Simulink kullanarak modellenmesi üzerine bir araştırma çalışması yapmıştır [87]. Yaptığı çalışmada, Hidroelektrik enerji kullanımının yenilenebilir enerji tesisleri içerisinde önemli bir yer teşkil ettiğini, bu kaynağın çevre dostu ve karbondioksit emisyonunu azaltıcı olduğunu vurgulamış olup, MATLAB/Simulink yardımıyla şebekeye bağlı senkron bir hidro türbinin genelleştirilmiş modelini ortaya çıkarmıştır.

Sumathi ve diğerleri, güneş takip sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır [88]. Yapılan çalışmada, farklı MPPT algoritma teknikleri gözden geçirilmiş ve bu sayede elde edilebilecek enerji kazanımları karşılaştırılmıştır. Güneş enerjisinin, yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki önemine vurgu yapılmış, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için farklı tipteki algoritmalar incelenmiştir. Uygulama olarak tek eksenli mikrodenetleyici tabanlı otomatik takip sisteminin gerçek zamanlı verileri kullanılmış, sistem performansı test edilmiştir.

Garcia ve diğerleri, PV, hidrokinetik, hidrojen ve bataryadan oluşan bir hibrit sistemde, hidrokinetik türbinin optimal yeri ve teknik-ekonomik analizi üzerine çalışmışlardır [89]. Yapılan çalışmada, şebekeden bağımsız olarak ve / veya kırsal alanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmaya başlandığı ve hibrit enerji sistemlerinin güvenilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi vurgulanmıştır. Ayrıca, hidrokinetik türbinin yapı içerisinde nereye konumlandırılması gerektiğine yönelik analiz çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak, hidrokinetik türbinin aktif rol oynadığı bir hibrit enerji modeli ortaya konulmuştur.

Kumar ve Sarkar, hidrokinetik enerji dönüşüm sistemlerinin teknolojisi, performansı, dizayn optimizasyonu, güvenilirliği, teknik/ekonomik ve çevresel etki değerlendirmesini içeren bir çalışma yapmışlardır [90]. Çalışmada, hidrokinetik enerji tesislerinin son yıllarda yakalamış

olduğu ivme ve kaynaklardan bahsedilmiş, doğal su kaynakları veya insan yapımı su yapılarında kullanılmasının analizi ortaya konulmuştur.

Sahu ve diğerleri, yüzen PV tesislerinin teknoloji ve maliyetlerinin analiz edilmesine yönelik araştırmalar yapmışlardır [91]. Çalışmada, değişik su kaynakları ve yapıları üzerinde bulunan veya bulunma potansiyeli olan yüzen PV tesislerinin incelemeleri yapılmıştır.

Bahaidarah ve diğerleri, sıcak iklimlerde işletmede olan PV santrallerinin arka yüzeylerinin su ile soğutmasıyla birlikte performans analizinin yapılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır [92]. Çalışmada, PV modüllerin performansının ortam sıcaklığından fazlasıyla etkilendiği, bu durumunda enerji kayıplarına yol açtığı belirtilmiş, bu konunun irdelenmesi için performansı etkileyen elektriksel ve termal parametreleri sayısallaştıran bir model oluşturulmuştur. Suudi Arabistan iklimi için yapılan çalışmada, su soğutma sistemi kullanan panellerin verimliliğinin arttığı ifade edilmiştir.

Xu ve diğerleri, PV panel için en uygun eğim açısının analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır [93]. Çalışmada, PV panelin güç çıkışını etkileyen konulardan birinin de tozlanma olduğundan bahsedilmiş, diğer parametreler ve toz arasında bağlantı kurulmuş, toz birikim yoğunluğu ve eğim açısı sabit tip bir PV panel modeli için uygulanarak, toz birikiminin ışıma geçirgenliği üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Program olarak MATLAB kullanılmış, ayrıca toz birikme miktarı ile PV panel çalışma sıcaklığı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Gisbert ve diğerleri, su yüzeylerinde kullanılabilecek yeni bir yüzen PV modeli üzerinde çalışma yapmışlardır [94]. Çalışmada, İspanya'nın Valencia şehrinde bulunan ve sanayi-üniversite işbirliği tarafından oluşturulan sistemin değerlendirilmesi yapılmıştır. Oluşturulan sistem sayesinde polietilen yüzer modüller kullanarak vaka çalışması yapılmıştır.

Silverio ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, Brezilya'da son yıllarda artan elektrik talebini karşılamak için termik santral kurulumlarının arttığını ama bunun sonucunda sera gazı emisyonlarının ve maliyetlerin yükseldiği ifade edilmiştir [95]. Bu durumların üstesinden gelebilmek için hidroelektrik santraller ile koordineli çalışan ve birbirinin dönemsel açıklarını telafi eden yüzer PV santralleri önerilmiştir. Sao Fransisco nehri havzasında bir tesis vaka çalışması için seçilmiş ve teknik-ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda,

düşük maliyetle ama yüksek performansla çalışan hibrit bir enerji tesisi elde edildiği vurgulanmış, önerilen yapının zamanla termik bazlı enerji üretim tesislerinin yerini alabileceği ifade edilmiştir.

Shabani ve Mahmoudimehr, PV-Hidroelektrik bir hibrit sistemde kullanılan PV takip teknolojisinin teknik/ekonomik rolü üzerine çalışma yapmışlardır [96]. Çalışmada, çok amaçlı PV – PSH (PV-Pompaj Depolamalı Hidroelektrik) optimizasyon prosedürü geliştirilmiş, prosedürde yatay ve sabit eğim gibi farklı parametrelerin ayrı uygulanmasıyla PV takip teknolojileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Vaka olarak İran'ın güneyinde bir alan seçilerek, yatırım maliyeti ve enerji kayıpları analizi yapılmıştır. Tasarım kapsamında bir çok değişken kullanılmış, yapay zeka uygulamaları ile algoritma oluşturulduğu ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, sabit eğimle bulunan PV tesisinin, en düşük maliyete sahip olduğu, ayrıca kullanılan hibrit sistemle beraber yüksek oranda enerji tasarrufu sağlandığı ifade edilmiştir.

Bagher ve diğerleri, güneş hücrelerinin tipleri ve kullanım alanlarına yönelik bir çalışma yapmışlardır [97]. Çalışmada, mevcut durumda piyasada kullanılan veya üzerine araştırmalar yapılan PV hücrelerinin detaylı teknik incelemesi ve performans bilgileri verilerek, kullanım alanları ile potansiyelleri hakkında kapsamlı bir araştırma yapılmış ve özet halinde sunulmuştur. Mahmoudimehr ve Shabani, İran'ın kuzeyi ve güneyinde yer alabilecek hibrit PV-hidroelektrik enerji tesisleri için optimal tasarım üzerine çalışmalar yapmışlardır [98]. Çalışmada, yapay zeka kapsamında genetik algoritma kombinasyonu kullanılmıştır. PV modüllerinin sayısı, türbin kapasitesi, şarj ve deşarj borularının çapları, rezervuar hacmi, kurulum yüksekliği, derinlik gibi parametreler kullanılmıştır. Talep ve sistem kısıtlamaları da göz önünde bulundurularak İran'ın belirtilen farklı bölgeleri için maliyet ve performans karşılaştırması yapılmıştır.

Jurasz ve diğerleri, hidroelektrik sistemleriyle hibrit rüzgar ve güneş enerji tesislerinin entegrasyonuna yönelik çalışma yapmışlardır [99]. Çalışmada, güneş ve rüzgar enerji kaynaklarının değişkenliği, güç sistemlerine entegrasyonu ve dağıtık enerjideki konumundan bahsedilmiş, hidroelektrik sistemine entegrasyonu yapılırken matematiksel bir model geliştirilmiştir. Hidroelektrik enerji tesislerinde özellikle nehir tiplerinde, su kaynağından yeterince faydalanılmadığı ama rüzgar ve güneş enerji tesislerinin, hidroelektrik enerji tesislerine entegrasyonunun sağlanarak üretimde oluşan açıkların telafi edilebileceği

belirtilmiştir. Hibrit bir çalışma yapılmasının birbirinden bağımsız ve verimlilikleri düşük birçok farklı enerji tesisi yapmak yerine tek bir hibrit yapı altında olmasının maliyet avantajı getirdiği ifade edilmiştir.

Jurasz, güneş, rüzgar ve hidroelektrik enerji tesislerinden oluşan bir hibrit enerji tesisinin modellenmesi ve enerji akışının tahmini üzerine bir çalışma yapmıştır [100]. Çalışmada, talep tarafının ihtiyaçları ve arzda yenilenebilir enerji ağırlığı olduğunda üretim değişkenliği göz önünde bulundurularak modern bir hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Yapay sinir ağları kullanarak, PV-rüzgar-pompaj depolamalı hidroelektrik enerjiden oluşan hibrit enerji sistemiyle enerji yönetiminin ve enerji akışının analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, önerilen sistemin güvenilir sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

Kougias ve diğerleri, mevcut barajlar için entegre şekilde kullanılabilecek PV enerji tesislerine yönelik çalışmalar yapmışlardır [101]. Çalışmada, son yıllarda PV enerji tesisleri kurmak için arazilerin kullanımlarında yaşanan problemlere değinilmiş, alternatif PV enerji sistem kurulumuna yönelik yaklaşımlar vurgulanmıştır. Baraj yapılarında, özellikle gövde kısımları betonarme veya kaya / asfalt / kil vb. dolgu yüzeylerinin çok büyük alanlara sahip olduğu ve PV kurulumları için uygun olduğu belirtilmiştir. Böyle kurulumlarının yapılmasıyla verimli toprakların harcanmasının önüne geçilmiş, atıl alanların değerlendirilmesi sağlanmış olacağı ifade edilmiştir. Ayrıca, bu yapılarla baraj yakınında bulunan yerleşim yerlerine enerji sağlanması, birbirinden bağımsız mini şebekelerin oluşturulması, PV-hidroelektrik enerji tesislerinin bir arada çalışması neticesinde birbirlerinin açıklarını kapatabileceklerine atıfta bulunulmuştur. Vaka çalışması olarak Güney Afrika'da bulunan bir tesis seçilerek ele alınmış, PV yıllık elektrik üretim miktarı PVGIS enerji sistemi ile tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, önerinin avantajlı ve uygulanabilir bir sistem olduğu gösterilmiştir.

Beluco ve diğerleri, hibrit PV-hidroelektrik enerji tesislerinin birbirlerinin açıklarını tamamlamaları konusunda bir çalışma yapmışlardır [102]. Çalışmada, hibrit enerji tesislerinin maliyetlerinin düşmesinin beklendiğine vurgu yapılmış, alternatif depolama sistemleri kullanarak daha etkin bir hibrit enerji sistemi oluşturulabileceği belirtilmiş, performans limitini belirlemek için incelemeler yapılmıştır. Farklı karakteristikte olan PV ve hidroelektrik tesislerinin, zaman içinde ürettikleri enerji dalgalanmalarını telafi edebildiği, tüketicilere enerji arzını ölçen en küçük arıza endekslerinden yola çıkarak zaman indekslerinin oluşturulduğu

ifade edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, önerilen sistemin büyük ölçüde birbirini tamamladığı, ilerleyen dönemlerde özellikle bu enerji sistemlerinin işletilmesinin ön plana çıkacağı ve enerji yönetiminin çok daha önemli bir hale geleceği belirtilmiştir.

Ding ve diğerleri, PV modüllerinin basitleştirilmiş bir modeli üzerine çalışmışlardır [103]. Çalışmada, tek diyotlu bir model oluşturulmuş, denklemleri analiz edilmiş, önerilen sistem için deneysel bir ortam oluşturulmuştur. Dış mekanlarda yapılan ölçümlerde akım-gerilim uyumu sağlanmıştır. Modelleme MATLAB / Simulink kullanarak elde edilmiştir.

Santafe ve diğerleri, sulama sistemleri için kurulan regülatör alanları üzerinde yüzen PV enerji sisteminin kurulumuna yönelik çalışma yapmışlardır [104]. Çalışmada, yüzen PV sistemin genel özellikleri ve tasarım parametreleri sunulmuş, polietilen yüzer taşıyıcı ekipmanlar ve bağlantı elamanları analiz edilmiştir, elektrik enerjisi üretirken bir taraftan da rezervuar alanındaki suyun buharlaşmasını azalttığı vurgulanmıştır.

Liu ve diğerleri, yüzen PV sistemlerin enerji üretim verimliliği ve özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır [105]. Çalışmada, Çin’de ekonomik ve sosyal gelişimin çevre kirliliği gibi birçok faktör yüzünden kısıtlandığı, klasik PV enerji tesislerinin kurulumunun toprak ve su kaynaklarının etkili kullanılmamasına yol açtığını vurgulamışlardır. Yüzen PV sistemlerinin, güç üretim verimliliği ve teknolojisi hakkında analizler yapılmıştır. Sonuç olarak, özellikle önerilen hibrit PV-hidroelektrik enerji sisteminin, mevcut su kaynakları ve santrallerde göz önüne alındığında Çin için uygun bir sistem olduğu ifade edilmiştir.

François ve diğerleri, nehir tipi bir hidroelektrik enerji tesisinin, rüzgar ve güneş enerjisi ile entegrasyonunun sağlanmasıyla artan iklim değişikliklerinin etkisini değerlendirdikleri bir çalışma yapmışlardır [106]. Çalışmada, birbirinden ayrı olarak düşünüldüğünde birçok zorluklarla karşılaşılan yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada değerlendirildiği zaman daha sinerjik sonuçlar elde edilebileceğinden bahsedilmiştir. Dünya’da genelde rüzgar ve güneş enerjisinden oluşan hibrit enerji tesislerine yönelik çalışmalara ağırlık verildiği vurgulanmış, oysa ki optimum hibrit enerji karışımı için hidroelektrik enerji tesislerinde göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir. Avrupa’dan örnekler verilmiş, nehir tipi bir HES tesisinin üretim verimliliğinin projeden projeye değişmekle birlikte ağırlıklı olarak %35-65 seviyeleri arasında yer aldığı ifade edilmiştir. Güneş açısından verimli alanlar ise ağırlıklı olarak Avrupa’nın

güneyinde yer almaktadır. Rüzgar ise Avrupa'nın kuzey ülkelerinde daha uygulanabilir bir model oluşturabilmektedir. Tüm bu veriler çalışmada değerlendirilmiş, en uygun yapı olarak %60 hidroelektrik enerji tesisinden, %40 ise rüzgar / güneş yapılarından oluşan bir hibrit enerji tesisi önerilmiştir. Önerilen hibrit enerji sistemiyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının birbirini üst düzeyde tamamlayabileceği açıklanmıştır.

Notton ve diğerleri, PV-rüzgar ve pompaj depolamalı bir hibrit enerji tesisinin işletmesine yönelik çalışma yapmışlardır [107]. Çalışmada, Korsika adasında bir uygulama dikkate alınmış, pompaj depolamalı hidro için güneş ve rüzgar kaynaklarının değişkenliği göz önünde bulundurulmuştur. Bu hibrit yapı oluştururken elde edilmek istenen amaç, özellikle ada gibi bölgelerde çevreye ciddi zararları bulunan fosil yakıtlı enerji kaynaklarına olan yüksek bağımlılıktır. Önerilen hibrit sistemle birlikte, maliyeti düşük ve çevreye zararlı olmayan bir yapı baz kabul edilerek, gerektiğinde dışarıdan elektrik ithal ederek sürdürülebilir ve yönetilebilir bir enerji üretim sistemi ortaya konulmuştur. Oluşturulan hibrit konfigürasyonları analiz edilmiştir.

Zohbi ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, rüzgar enerjisinin güvenilir bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğundan bahsedilmiş, Lübnan için rüzgar enerjisinin tek başına kullanımının yetersiz potansiyelden ötürü başarılı olamayacağından, ama eğer hibrit bir enerji sisteminde rüzgar enerjisi kullanılabilirse sağlanacak faydalardan bahsedilmiştir [108]. Çalışmada, Lübnan'da bulunan iki barajda (Quaraoun ve Chabrouh) gece rüzgar enerjisinin ürettiği elektrik miktarının, su pompalamak için kullanılmasını içeren bir hibrit yapı önerilmiştir. Sonuçta önerilen hibrit yapının, maliyet ve sistem olarak uygulanabilir olduğu vurgulanmıştır.

Taboada ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, Kuzey Şili'deki kurak koşullar sebebiyle su ve enerjiye ulaşımın sınırlı olduğu vurgulanmış, yüzer PV tesisler için deneysel bir çalışma hazırlamıştır [109]. Birbirine benzer nitelikte iki havuz deneysel uygulama için kullanılmış, birinin yüzeyi yüzer PV panellerle kaplanmıştır. Çalışma sonucunda, yüzer PV panellerin bulunduğu havuzda buharlaşmanın daha az olduğu, ve panellerden elde edilen enerji ile havuzun kullanıma uygun bir şekilde ısıtıldığı ifade edilmiştir.

Mustafa ve diğerleri, çevresel etkenlerin PV panellerde oluşturduğu performans etkisi üzerine çalışma yapmışlardır [110]. Çalışmada, esas olarak mevcut kabullerin / analizlerin güvenilirliği

ve geçerliliği incelenmiştir. Dört çevresel faktör (toz birikmesi, su damlacıkları, kuş dışkısı ve kısmi gölgelenme) göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçta, toz, gölgeleme ve kuş pislikleri PV akımı ve gerilimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmakla birlikte, en güçlü etkinin gölgeleme faktörü tarafından gerçekleştirildiği belirlenmiştir. PV modülü üzerine uygulanan yüzdesel gölgeleme etkilerinin güç üzerinde ciddi azalmalara yol açtığı sonucuna varılmıştır. Su damlacıkları ise diğer faktörlerin tersine, PV güç çıkışına olumlu etkisi olduğu çalışma sonucunda tespit edilmiştir.

Tırmıkçı, yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, sabit eğime sahip PV panel ile iki eksen takip sistemli PV panel arasında gerçek zamanlı karşılaştırma yapmıştır [111]. Tez çalışmasında, en uygun eğimle yerleştirilmiş sabit ve iki eksenli takip sistemi barındıran PV sistemlerinin deneysel düzenekleri kurulmuş ve gerçek zamanlı performans değerlendirmesi yapılmıştır. Mevcut durumda güneş ışıma verisi olmayan deney bölgesi için regresyon analizi ve matematiksel denklemler sonucunda güneş ışıma miktarının bulunduğu ifade edilmiştir. Ölçümlerin sonucunda, günlük ve aylık bazlarda hava koşulları da dikkate alınarak performans analizlerinin yapıldığı, sonrasında ise maliyet değerlendirilmesinin yapıldığı belirtilmiştir.

Şişman, yapmış olduğu doktora çalışmasında, Türkiye'nin elektrik talebinin karşılanabilmesi için güneş enerjisinden sağlanabilecek katkı üzerine araştırma sonuçlarını paylaşmıştır [112]. Çalışmada, Türkiye'nin günden güne artan enerji ihtiyacı olduğunu, güneş enerjisinin bu talebi karşılamakta iyi bir kaynak olabileceği vurgulanmıştır. Yatırım kararlarının doğru ve güvenilir bir çerçevede alınabilmesi için, tahmin modelleri incelenmiş, Türkiye'deki şehirler ve sahip oldukları kurulu güç, üretim, tüketim dağılımları göz önünde bulundurulmuş, elektrik tüketimini tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağları (YSA) içeren bir yaklaşım kullanılması tezin bir parçası olarak sunulmuştur. Modellerde, nüfus, gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH), ihracat gibi değişkenler göz önüne alınmıştır. Tahmin projeksiyonunda 1975-2016 yılları arasındaki enerji tüketim verileri kullanılmış, 2017-2023 yılları arası talep miktarları öngörülmüştür. Tez çalışması sonucunda, güneş enerji tesislerinin daha verimli bir şekilde de uygulama yapılabilmesi için bina tipi tesislerin kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Demirtaş, yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, güneş ve rüzgardan oluşan bir hibrit enerji tesisine yönelik değerlendirmelerde bulunmuştur [113]. Tasarımı yapılan hibrit enerji sisteminden elde edilen enerji miktarını depolayabilmek için akü gruplarına yer verilmiş,

enerjiyi doğrudan yüke veya şebekeye verebilecek bağlantılar oluşturulmuştur. Tasarımda akülerin boş olduğu veya üretim olmadığı zamanlarda şebekeden enerji çekilmektedir. Elde edilen gücü sürekli maksimize etmek için MPPT tasarlanmış ve mikro denetleyici üzerinden kontrol edildiği ifade edilmiştir.

Çoban, yapmış olduğu doktora tezinde, güneş enerji potansiyelinin modellenmesi üzerinde durmuştur [114]. Tez çalışmasında, güneş enerjisine etki eden kritik faktörler belirlenmiş, bu faktörler arasında nedensellik ilkesi gereği ilişkiler kurulmuş ve kümeler oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmada, güneş enerji fiyatları ile ekonomik göstergeler arasında sıkı bir ilişki olduğu belirtilmiş ve maliyet değerlendirmesinde bulunulmuştur.

Güneş ışıma miktarlarının tespiti için en yaygın kullanılan yöntemler, gerçekleşen ölçümler çerçevesinde hazırlanan ampirik yaklaşım ve ekonometrik / yapay zeka modellere dayanan istatistiki yaklaşımlardır. Jacovides ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, Kıbrıs için güneş ışıması ölçümleri yapmış ve daha önce başka araştırmacılar tarafından yapılan literatür çalışmalarında belirtilen matematiksel modellerden de yararlanarak, kısaca ampirik olarak tanımlanan deneye dayalı katsayılar hesaplayarak, saatlik güneş ışıması tahmini yapmıştır [115]. Elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak en doğru ve güvenilir yaklaşımın ortaya çıkması sağlanmıştır. Iqbal, çalışmasında, Kanada'nın farklı şehirleri için istasyonlardan temin edilen veriler ile aylık ortalama güneş ışıma miktar hesaplamaları yapılmıştır [116]. İstasyonlardan elde edilen veriler uzun dönemli meteorolojik ölçümleri içermektedir. Alsafadi ve Filik, çalışmasında, Eskişehir ili için ampirik modellere makine öğrenmesi (ML- machine learning) uygulayarak saatlik bazda güneş ışıması miktarı tahmini yapmıştır [117]. Serttaş, hazırlamış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, yeni bir örüntü yöntemi kullanarak güneş ışıma tahmininde bulunmuştur [118].

Maleki ve diğerleri, çalışmalarında belirledikleri bir bölge için özellikle son 10 yılda geliştirilen ampirik güneş ışıma modellerinin karşılaştırmasını yapmışlardır [119]. Chandel ve Aggarwal, çalışmalarında, her sahada güvenilir ve doğru sonuçlar verebilecek bir saatlik güneş enerji modeli üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarını birçok makalede de referans olarak gösterilmiştir [120].

Khatib ve Elmenreich, çalışmalarında, yapay sinir ağları kullanarak günlük güneş verilerinden saatlik bazda güneş ışıma miktarları elde etmek için bir model genelleştirmişlerdir [121]. Berrizbeitia ve diğerleri, çalışmalarında, günlük güneş ışıma miktarlarının Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (The National Aeronautics and Space Administration - NASA) kaynaklarından kolayca edinebildiği ama yine de saatlik bazda elde edilen güneş ışıma miktarı için bir model geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmış, 19 farklı bölge için ampirik katsayılar teste tabi tutulmuştur [122].

Gueymard, çalışmasında, büyük bir coğrafik alan ve birçok veri istasyonundan sağlanan bilgiler doğrultusunda iki yeni model kullanılarak aylık ve ortalama saatlik bazda güneş ışıma miktarlarının tahmininde bulunmuştur. Bu çalışmada önerilen ampirik katsayılar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da kullanılmıştır [123]. Al-Rawahi ve diğerleri, çalışmalarında, Umman için mevcut günlük güneş ışıma miktarlarından saatlik bazda güneş ışıma miktarı hesaplamaları yapmışlardır [124]. Ishola ve diğerleri, çalışmalarında, İrlanda için birçok meteorolojik veriyi de kullanarak, 10 güneş ışıma miktarını tespit eden tahmin modeli özelinde karşılaştırmış ve bölgesel ışımayı tespit eden katsayılar belirlemiştir [125]. Hussein, çalışmasında, meteorolojik verilerden de yararlanarak Mısır için saatlik bazda güneş ışıma miktarı hesaplayan bir matematiksel model tahmininde bulunmuştur [126].

Ampirik katsayı ve tahmin modellerinin yanında güneş ışıma miktarı belirlenirken istatistiki modeller de kullanılmaktadır. İstatistiki modeller kullanılırken daha çok gerçekleşen veriler kullanılarak ileriye dönük tahminler yapılmaktadır. Saatlik bazda veri elde edilebilen bölgeler için, istatistiki yöntemler sayesinde yüksek korelasyon sağlanabilen sonuçlar elde edilebilmektedir. Huang ve diğerleri, çalışmalarında, güneş ışıma miktarının özellikle bulutluluk gibi hava değişimlerinden ciddi derecede etkilendiği vurgulanmış, bu durumda günümüzdeki en iyi yaklaşımların zaman serileri, yapay zeka ağları ve stokastik diye adlandırılan rastgele değişkenlerin var olduğu metotlar olduğu belirtilmiştir. Çalışmada birbiriyle özbağılantılı (AR-autoregressive) model, dinamik bir sistem modeliyle birlikte kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen sistemin, tahminleri %30 civarında doğruladığı ve iyileştirdiği ifade edilmiştir [127].

Mbaye ve diğerleri, çalışmalarında, kısa dönemli güneş ışıma miktarı tahmini için özbağılantılı dinamik ortalamalı (ARMA-Autoregressive Moving Average) model kullanılmıştır. Veriler ve

doğrulamalar Dakar’da bulunan bir istasyondan elde edilmiştir. Veriler 2016 Ekim ve 2017 Eylül arasını temsil etmekte ve birer saatlik bazda sunulmuştur. Çalışma sonucunda ARMA yönteminin güvenilir bir yöntem olduğu vurgulanmıştır [128]. Adejumo ve Suleiman, çalışmalarında, özbağımlı dinamik ortalamalı model (ARMA) ile genelleştirilmiş özbağımlı ve değişen varyans koşullarını içeren model (GARCH-Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) bir arada değerlendirilerek Nijerya’nın güney kesimleri için güneş ışıma miktarı için tahmin yapılmıştır [129].

Ghofrani ve Alolayan, çalışmalarında, yenilenebilir enerji için kullanılabilecek tüm zaman serileri ve bağlantılarından bahsetmiş ve genel çerçeveleri hakkında bilgi vermişlerdir [130]. Hejase ve diğerleri, çalışmalarında, Birleşik Arap Emirliklerinin hava durumu verileri kullanılarak, klasik ampirik modeller, yapay sinir ağları ve zaman serileri bağlantı modelleri (ARIMA- Autoregressive integrated moving-average) içeren güneş ışıma miktar tahminleri yapılmıştır. 10 yıllık veri alınıp (1995-2004), bu veriler ışığında 2 yıllık tahmin (2005-2007) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar için korelasyon çalışmaları da yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır [131].

Prajapati ve Sahay, çalışmalarında, güneş ışıma miktarlarının tahmini için birbirinden farklı ve güvenilir istatistiki yöntemler kullanılmış ve sonuçları açıklanmıştır [132]. Huang ve diğerleri, çalışmalarında, MATLAB programı ve ARMA istatistiki modeli kullanılarak kısa zamanlı güneş ışıma miktarı tahmini yapılmıştır [133]. Ferrari ve diğerleri, çalışmalarında, Milan şehri için elde edilen iklimsel verileri de kullanarak, güneş ışıma miktarlarını birçok istatistiki model çerçevesinde tahmin etmiş ve birbiriyle kıyaslamışlardır [134]. Acland ve diğerleri, çalışmalarında, uydu verilerini de kullanarak kendini tekrarlayan bir algoritma sayesinde kısa dönem güneş ışıma miktarı tahmininde bulunmuşlardır [135]. Colak ve diğerleri çalışmalarında, 1 saatlik zaman serisi modeli kurgulanmış ve bu modele ARMA ve ARIMA model kıyaslamaları da yapılarak en iyi sonucu veren güneş ışıma miktar tahmini yapılmıştır [136]. Diagne ve diğerleri, çalışmalarında, güneş ışıma miktarının zaman içinde çok hızlı değişmesinden ötürü, güneş enerjisinin dalgalı bir üretim eğilimi olduğu ve bu yüzden ışıma miktarının tahmininin güneş enerjisinde çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Güneş ışıma miktarı için istatistiki modeller kullanılmış ve birbiriyle karşılaştırılmıştır [137]. Alsharif ve diğerleri, çalışmalarında, Seul şehri için mevsimlik istatistiki yöntemler kullanarak (SARIMA-Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) güneş ışıma miktarı tahmininde bulunulmuştur.

Yaklaşık 37 yıllık veri seti kullanarak (1981-2017) bağlantılar kurulmuş ve kıyaslamalar yapılmıştır [138].

Goswami ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, enerji güvenliğini sağlamak, iklim değişikliğinden kaynaklı sorunları minimum seviyeye düşürmek ve sürdürülebilir kalkınmayı devam ettirebilmek için, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerekliliğini vurgulamışlardır [139]. Güneş enerji santrallerinin çevreci bir kaynak olduğu, ama özellikle yerleşim birimleri yakınlarında bu tarz tesisleri kurmanın hem arazi fiyatlarını artırdığı hem de ekonomik değeri olan bu arazilerin başka kullanım amaçlarının önüne geçildiği belirtilmiştir. Çalışmada, bu sorunların önüne geçebilmek için arazi gereksinimi bulunmayan yüzer güneş santralleri kullanımını önermişlerdir. Saha tipi bir güneş enerji tesisi ile yüzer güneş enerji tesisini karşılaştırmış ve 10 MW kurulu gücündeki bir tesis için tekno-ekonomik bir analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda, yüzer güneş santrallerinin, saha tipi güneş enerji santrallerinden %10,2 oranında daha fazla elektrik üretimi sağladığını, ayrıca ekolojik denge ve karbondioksit emisyon azaltımı açısından daha etkili olduğu, ortaya konulmuştur.

Mittal ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yüzer güneş enerji santrallerinin, arazi korunumu ve su altyapılarında kullanım imkanından ötürü, yenilikçi bir yaklaşım olduğu vurgulanmış, bu tesislerin buharlaşmayı azaltabileceği belirtilmiştir [140]. Hindistan için bu sistemlerin etkin kullanımı ile ciddi oranda enerji arz ve talebine katkı sunulabileceği belirtilmiş, Rajasthan Kota'da bulunan Kota barajı ve Kishore Sagar gölüne, her biri 1 MW kurulu gücünde bulunan yüzer güneş enerji tesisi fizibilitesi sunulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen elektrik üretim miktarı, su buharlaşmasına engel olunan miktarlar ve CO₂ emisyon azaltım miktarları paylaşılmıştır.

Sahu ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, elektrik talebindeki artış ve dünya genelinde çevre konusunda artan hassasiyet için büyük ölçekli güneş enerji santrallerinin devreye alınması gerekliliğinin doğduğu ifade edilmiştir [141]. Değerli toprak ve suyu korumak için, güneş enerji sistemlerinin, normalde pasif alanlar olan baraj ve su kanalları, yükleme havuzları, durgun su alanları, arıtma tesisleri gibi yapıların üzerinde kurulmasının çok cazip bir seçenek olduğu belirtilmiştir. Yüzer güneş enerji santrallerinin altında su olmasından ötürü doğal bir soğutma sistemi görevi yapacağı, aynı zamanda da buharlaşmaya engel olarak suyun korunumunu sağlanacağı ifade edilmiştir. Çalışmada, birbirinden farklı tip ve kullanımlarda bulunan yüzer

güneş enerji santrallerinin mevcut durumu ile tasarım seçenekleri hakkında bilgiler verilmiştir. Lee ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yüzer güneş sistem uygulamalarının, doğrudan su yüzeyine yerleştirilebildiğinden ilgi artmış olup, halen daha yeteri kadar yaygınlaşmadığı vurgulanmıştır [142]. Bu sistemin hidroelektrik enerji sistemleri gibi hibrit yenilenebilir enerji tesisleriyle kullanımının avantajları ve teknik analiz ile karar verilmesini kapsayan bir analiz çalışması yapılmıştır. Değerlendirmede yeni bir jeo-uzamsal yaklaşım sunularak, küresel teknik potansiyelinin 3 TW ile 7,6 TW arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fereshtehpour ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, su ve enerji krizlerinin küresel ölçekte derinleştiğini ve aslında birlikte ele alınmasının gereklilik haline geldiğini ifade etmişlerdir [143]. Bu sisteme örnek olarak hidroelektrik enerji santrallerinin baraj yüzeyinde kurulan yüzer enerji santralleri örnek verilmiş, ayrıca bu sistemlerden arazi ve su korunumuna ek olarak modül çalışma verimliliği elde edilebileceği belirtilmiştir. Çalışmada, literatür taraması yapılarak, yüzer güneş enerji santrallerinin potansiyel kullanımına yönelik bir çerçeve önerisinde bulunulmuş, İran’da 5 büyük hidroelektrik enerji santrali seçilerek, bu yüzer güneş enerji santralleri ile birlikte bir uygulama yapıp enerji üretimi, buharlaşma azaltımı, ekonomik verimlilik ve çevresel iyileştirme konularında analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, hidroelektrik enerji sistemlerine hibrit şekilde uygulanan yüzer enerji sistemleri yatırımlarının kendini 5-6 yıl içinde geri ödediği ve bu uygulamaların sürdürülebilir sistemler olduğu vurgulanmıştır. Kumar ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, 10 MW_p kurulu gücünde bir kanal üstü güneş enerji santralinin, 2 yılı aşkın verileri kullanılarak, enerji, performans ve güvenilirlik anlamında analizleri yapılmıştır [144]. Analizler saha tipi güneş enerji santralleriyle karşılaştırılmıştır. Genel anlamda performans ve güvenilirliği, saha tipi güneş enerji santrallerinin biraz altında ama oldukça yakın çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca incelenen vakada, yüzer güneş enerji santrallerinin yıllık yaklaşık olarak 95 milyon litre su tasarrufu sağladığı ifade edilmiştir.

Kapoor ve Garg, yaptıkları çalışmada, Hindistan Roorkee’de bulunan bir su kanalı üstünde mevcut ve potansiyel güneş enerji sistem uygulaması için analiz yapılmıştır [145]. Fiziksel olarak uygun kanal alanı tespit edilmiş, coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve kamuya açık meteorolojik veriler kullanılarak güneş potansiyel değerlendirmesi tamamlanmıştır. Mercek altına alınan Roorkee yerleşim biriminde kasabaların %83’ü ve köylerin %46’sının, kanal üstü güneş enerji santrali potansiyelinden yararlanabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, anlık olarak elde

edilebilecek enerji miktarının, bu yerleşim birimindeki çiftçilerin ve eğitim kurumlarının ihtiyacını karşılayabileceği belirtilmiştir.

Kumar ve Kumar, yaptıkları çalışmada, birbirinden farklı çevresel koşullara sahip olan kanal üstü güneş enerji sistemleri ile saha tipi güneş enerji sistemlerinin güvenilirlik ve performans karşılaştırması yapılmıştır [146]. Kanal üzerindeki güneş enerji sistemlerinin performans davranışını anlayabilmek için, Hindistan'ın Gujarat eyaletinde kurulu olan ve Dünya'nın ilk ticari panel tabanlı olduğu belirtilen 10 MW_p kurulu gücündeki sistem incelenmiştir. Tesisin yaklaşık olarak 32 aylık işletim verileri analiz edilerek ve Roorkee yerleşim biriminde bulunan Hindistan Teknoloji Enstitüsü'nde 6 ay boyunca dış ortam koşullarında ölçüm yaparak analiz tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda, sanılanın aksine, kanal tipi güneş enerji santrallerinin performansı, saha tipi güneş enerji sistemlerinin altında ve yaklaşık olarak %1,5 düşük olacak şekilde tespit edilmiştir.

Kumar ve Kumar, yaptıkları çalışmada, su yüzeylerinde kullanılan güneş enerji sistemlerinin PV teknolojisi seçiminin, büyük ölçekli kurgulanan ve/veya iyileştirme yapılmak istenen tesislerde çok önemli olduğu vurgulanmıştır [147]. Temin ettikleri 3 tip güneş paneli ile su yüzeyinde performans değerlendirmesi yapılmıştır. PV paneller, multikristal (Multi-Si), ince film katmanlı heteroeklem (heterojunction with intrinsic thin layer-HIT) ve ince film (CdTe tipi ince film) panellerden oluşmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, yüzer güneş enerji santrallerinin aynı panel kullanan saha tipi güneş enerji santralleri ile karşılaştırıldığında, multikristal ve HIT paneller daha düşük, ince film ise daha yüksek performans göstermiştir. Ayrıca, yüzer güneş enerji sistemleri sayesinde yaklaşık olarak %29,1 oranında buharlaşmanın azaldığının tespit edildiği belirtilmiştir.

Javaid ve Islam, yaptıkları çalışmada, Pakistan'da artan nüfus yoğunluğununda etkisiyle enerji ve su krizlerinin baş göstermekte olduğu ve diğer Asya ülkelerine göre elektrik üretim maliyetlerinin yüksek olduğu vurgulanmıştır [148]. Elektrik üretiminin sadece %2 kadarlık kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandığını, güneş enerji potansiyelinin yüksek olmasına rağmen pek kullanılmadığı ifade edilmiştir. Çalışmada önerilen sistemde, genelde kanal yakınlarında bulunan termik santrallerin şebeke alt yapısı kullanılarak, kanal üstü güneş enerji santralleri kurulumu ile birlikte su buharlaşmasının azaltımı ve yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi hedeflenmektedir.

Sharma ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerji sistemlerinin, her yerde rahatça bulunabildiği için öne çıktığı vurgulanmıştır [149]. Yüzer güneş enerji santralleri, hem arazi kullanımı hem de modül verimliliği bakımından uygulanabilir sistemler olduğu için son yıllarda bu sistemlere ilginin arttığı belirtilmiştir. Çalışmada, bir yüzer güneş santrali için tasarım parametreleri tanımlanmış ve açıklanmıştır.

Farfan ve Breyer, yaptıkları çalışmada, hidroelektrik enerji santrallerinin hala en büyük yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ifade edilmiş, mevcut barajlı hidroelektrik enerji santrallerinin sahip olduğu 265,7 km² yüzey alanın bulunduğu ve bu alanın sadece %25'i bile değerlendirilse, yaklaşık olarak 4400 GW kurulu gücünde yüzer güneş enerji santralleri kurulabileceği ve 6270 TWh elektrik üretimi yapılabileceği ifade edilmiştir [150]. Ayrıca, kurulacak yüzer enerji santrallerinin su buharlaşmasını engellemesiyle, hidroelektrik enerji santrallerinin üretiminin %6,3 daha fazla gerçekleşebileceği tahmin edilmiştir.

Sanchez ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, Afrika kıtasının güneş ışıma miktarı ve güneş enerji potansiyeli bakımından zengin bir kıta olduğu belirtilmiş, buna karşılık her ne kadar birçok ülkesinde hidroelektrik enerji santrali bulunsada, yıllar süren kuraklıklar yaşandığı ve hidrodan yapılan enerji üretiminin son yıllarda ciddi bir şekilde etkilenip düştüğü ifade edilmiştir [151]. Yüzer güneş enerji santrallerinin bu hidroelektrik santral barajları üzerinde kurulması, kuraklık zamanlarında hidrodan üretilen enerjideki düşmeyi telafi edebileceği ve hızla artan Afrika nüfusunun enerji gereksinimini karşılayabileceği belirtilmiştir. Çalışma için Afrika kıtasındaki en büyük 146 baraj verileri dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, su buharlaşmasının engellenmesi ve hidrodan elde edilen enerji üretiminde artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

Patil ve diğerleri, yaptıkları araştırmada, dünyanın birçok bölgesinde son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ilginin artmış olduğu vurgulanmış, güneş enerji sistemlerinde yıllar boyunca düşen maliyetleri ve her yerde enerji üretim yapabilme yeteneğinden dolayı ön plana çıktığı belirtilmiştir [152]. Devletlerin arazi politikaları ve trafo merkezi kapasitelerinden ötürü inovatif bir öneri sunulmuş, güneş enerji sistemlerinin yüzer tipi kullanımıyla göl alanı, kanal yapısı ve benzeri su yüzeylerinde rahatlıkla uygulanabilir olduğu ifade edilmiştir. Çalışma içinde dünya çapında uygulanan birçok yüzer güneş sistemi hakkında görsel ve karakteristik bilgi verilmiştir.

Rahman ve diğerkleri, yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerji tesislerinin, çevreye olumsuz ciddi bir etkisi olmadığı vurgulanmış ve daha etkin kullanılması gerektiği belirtilmiştir [153]. Bangladeş gibi nüfus yoğunluğu ve coğrafi olarak fiziki imkanları kısıtlı olan ülkelerde, yüzer güneş enerji sistemlerinin iyi bir alternatif olabileceği belirtilmiştir. Bangladeş için 57 büyük nehir su yüzeyi ve kıyıların kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Sahu ve Sudhakar, yaptıkları çalışmada, güneş enerji sistemlerine ilginin günden güne arttığını ama arazi kısıtlarından dolayı, büyük ölçekli saha tipi güneş enerji santral kurulumlarının zor olduğunu belirtmişlerdir [154]. Bu durumda yüzer güneş enerji santrallerinin önemli bir alternatif haline geldiği vurgulanmıştır. Yüzer güneş panelleri taşıyıcı sistemi olarak kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen (high density poly ethylen-HDPE) mazlemesinin güneş altındaki malzeme dayanımı ve zamanla taşıyıcılığında meydana gelen değişim ortaya konulmuştur.

Jamalludin ve diğerkleri, yaptıkları çalışmada, güneş enerjisinin enerji ihtiyacını karşılamakta etkin bir kaynak olduğu ve her yerde kolayca ulaşılabilir olduğunu belirtmişlerdir [155]. Malezya gibi arazi kısıtlarından ötürü saha tipi güneş enerji santrali kurulumunda uygun alanları bulunmayan ülkelerde, kıyıya yakın okyanus ve nehir yüzeylerinde, yüzer güneş enerji santrallerinin hayata geçirilebileceği ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, Malezya'nın yıllık olarak 14 530 MWh enerji üretimi potansiyeli olduğu ortaya konulmuştur.

Golroodbari ve diğerkleri, yaptıkları çalışmada, Kuzey denizinde, Hollanda'ya ait mevcut bir deniz üstü (offshore) rüzgar enerji santraline yüzer güneş enerji santrali eklemenin teknik ve ekonomik analizini ortaya koymuşlardır [156]. Offshore rüzgar enerji santrallerinin kullanmış olduğu deniz altı kabloların tam kapasitede kullanılmadığı, dolayısıyla bu atıl kapasitenin yüzer güneş enerji santralleri tarafından da kullanılabileceği önerilmiştir. Öneri daha da geliştirilerek, hibrit yapı kurulabilecek şekilde yüzer güneş enerji santralinin kurulu gücünü tespit eden bir çerçeve geliştirilmiştir. Ekonomik analiz yapılırken net bugünkü değer kullanılmış ve PV kapasitesi, ilk yatırım tutarı, elektrik satış fiyatı, aktif olunan saatler, kablo kapasitesi, kapasite aşımaları gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Solomin ve diğerkleri, yaptıkları çalışmada, birçok yüzer tip güneş enerji santralinin detay tanım ve açıklamasını yaparak, kullanım şekilleri, tasarım parametreleri hakkında bilgi verilmiştir. Hibrit kullanımın getireceği teknik, ekonomik ve çevresel katkılar sunulmuştur [157].

Gull ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, güneş enerji santrallerinin kurulmasında bazen elektrik alt yapısı eksikliğinden ötürü istenen ölçeklerde ve büyüklükte tesislerin kurulamadığı belirtilmiştir [158]. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için, baraj gövdelerine kurulabilecek yüzer güneş enerji santrallerinin, hidroelektrik enerji santralinin elektrik iletim ve dağıtım alt yapısından yararlanabilmesi önerilmiştir. Vaka çalışması olarak Pakistan’da bulunan Ghazi Barotha barajı ele alınmıştır. Singh ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, Hindistan’ın Pondicherry şehrinin akıllı şehirler sıralamasında 75. sırada bulunduğunu belirtmiş ve bu sıralamada daha üst seviyelere çıkılabilmesi için yüzer güneş enerji santrali kurulması önerilerek, fizibilite analizi ortaya konulmuştur. 2 MW kurulu gücünde tasarlanan yüzer güneş enerji santralinin, yaklaşık 1,6 milyon USD maliyetle gerçekleştirilebileceğini ve yatırımın kendisini 6 yıl içinde geri ödeyeceğini ifade etmişlerdir [159].

Rauf ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, güneş enerji kaynağının yenilenebilir enerji içinde en hızlı yükselen kaynaklardan olduğu belirtilmiş, son yıllarda yüzen güneş enerji sistemlerinin saha tipi güneş enerji sistemlerine bir alternatif olarak ortaya çıktığı ifade edilmiştir [160]. Yüzer güneş enerji sistemlerinin sadece arazi kullanımı tasarrufu yönünden faydası olmadığı, ayrıca mevcut hidroelektrik enerji santrallerinin iletim ve dağıtım gibi elektriksel altyapılarını kullanarak etkili bir hibrit yapı oluşmasına ön ayak olunduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, Pakistan’da bulunan bir hidroelektrik enerji santrali üzerine yüzer güneş enerji santralleri kurulması tasarlanarak, birbirinden farklı gerilim seviyelerinde incelemeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, hibrit yapı oluşturulabileceği ve yaklaşık 200 MW_p ölçeğinde yüzer güneş enerji santrali kurulabileceği hesaplanmıştır.

Gamarra ve Ronk, yaptıkları çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri, Texas eyaletinde enerji tüketiminde hızlı bir büyüme yaşandığını, bunda elektrik ve su kaynakları üzerinde baskı oluşturduğu belirtilmiştir [161]. Güneş enerji potansiyeli olarak iyi bir konumda olan Texas, aynı zamanda kuraklık ile de sık sık karşı karşıya kaldığı için yüzer güneş enerji sistemlerinin su kaynaklarının buharlaşmasını engellemesi, alg oluşumlarını düşürerek su kalitesine katkıda bulunması ve enerji ihtiyacını karşılayabilmesi bakımından uygulanabilir bir sistem olarak öne çıktığı vurgulanmıştır. Yüzer güneş enerji sistemlerinin, Texas göl alanları, rezervuar alanları, atık su arıtma tesisleri, sulama tesisleri, soğutma tesisleri gibi yapıların üzerine kurulabileceği belirtilmiştir. Bakar ve Nandong, yaptıkları çalışmada, Malezya’da Bakun gölü üzerinde kurgulanan yüzer güneş enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır.

Çalışmada, sezgisel tabanlı optimizasyon yaklaşımı kullanarak 5 PV panel markası arasından en uygun olan panel tercihi ortaya konulmuştur [162].

Maues, yaptığı çalışmada, güneş ve hidroelektrik sistemden oluşan bir hibrit enerji yapısının, ekonomik verimlilik ve üretim anlamında birbirine çok katkı sağlayan yapılar olduğunu, ayrıca hidroelektrik enerji tesislerinin doğal su depolama alanlarıyla, düzenli su verisinin sağlanıp, enerji yönetimi yapılabileceğini açıklamıştır [163]. Hidroelektrik enerji tesisleri yakınlarına güneş enerji tesisi veya yüzer güneş enerji santrali kurulumlarıyla, Brezilya'nın potansiyel olarak 53,3 TWh üretim yapabileceğini, bu miktarında tüm ülke ihtiyacının yaklaşık %10'una denk geldiği belirtilmiştir. Elshafei ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, özellikle güney Asya ve orta Asya'da su ve enerjiye ulaşımında zorluklar yaşandığını vurgulamışlardır. Buna ek olarak buharlaşmanın ciddi bir problem haline geldiği belirtilmiştir. Yüzer güneş enerji santrallerin belirtilen bu sorunları çözmek için öneri haline getirilmiştir [164]. Lopez ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, İspanya'nın Asturias isimli bölgesinde, deniz tipi (offshore) rüzgar enerji santralinin, yüzer güneş enerji santrali ile birlikte hibrit bir yapı oluşturduğu kurguya yönelik analiz yapmışlardır [165]. Nebey ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, Etiyopya'da ele aldıkları barajlarda yüzer güneş analizleri yaparak, barajlar arasında karşılaştırma yapmışlardır [166].

Sharma ve Kothari, yaptıkları çalışmada, 2022 yılı itibarıyla 100 GW güneş enerji sistemi hedefi bulunan Hindistan'ın, yüzer güneş santralleri ve pompaj depolamalı HES tesisleri hibrit yapı olarak değerlendirildiğinde, kesintisiz yeşil enerji elde edebileceği vurgulanmıştır [167]. Jamil ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, arduino kullanılarak akım, gerilim ve güç izleme yapılmış, yüzer güneş enerji tesislerinin performans analizi sunulmuştur [168]. Vivas ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yenilenebilir hibrit enerji sistemlerinden oluşan kurgularda, teknik ve ekonomik analizin çok önemli olduğu vurgulanmış, doğru optimizasyon ve enerji yönetimleriyle güvenilir, sürdürülebilir sistemlerin tasarlanabileceğini belirtmişlerdir [169]. Donado ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, HOMER programı kullanarak, hibrit enerji optimizasyonu değerlendirilmiştir [170]. Optimizasyon çalışmasında ilk maliyetler, ekonomik ömür, güç kayıpları ve benzeri parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Augustin ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, sabit açılı yerleştirilen kanal üstü güneş panellerinin arkasında bulunabilecek bir yansıtıcının, panel üretimlerindeki performans katkısını ortaya koymuşlardır [171]. Raina ve Sinha, yaptıkları çalışmada, güneş enerji sistemlerinin geliştirilmesi ve daha etkin kullanılması için öngörülen politika ve uygulama önerileri sunulmuştur [172]. Akpolat ve

diğerleri, yaptıkları çalışmada, çatı üstünde uygulanan güneş enerji sistemlerinin performansına yönelik bir analiz sunmuşlardır [173]. Lee ve Choi, yaptıkları çalışmada, öğrenme temelli bir enerji yönetim sistemiyle, çatı üzerine kurulan güneş enerji tesisleri, enerji depolama sistemleri ve talep edilen enerji miktarı arasında bağlantı kurup, analizler ortaya konulmuştur [174]. Akrami ve diğerleri, oluşturdukları çalışmada, güneş enerji sistemlerinin yardımcı kaynak pozisyonunda olduğu entegre ve inovatif sistemlerde, gündüz ve gece saatlerindeki güç üretimine yönelik bir araştırma yapmışlardır [175]. Palomba ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, güneş ve biyokütle enerji tesisinden oluşan bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin analizi ortaya konulmuştur [176].

Roosa ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, genel kapsamlı olarak etkili enerji yönetimi, enerji denetimi, ekonomik analiz, kontrol sistemleri, finansal ve veri doğrulama teknikleri, enerji tasarrufu, ölçme konularına değinmişlerdir [177]. Zhang ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından ve dağıtık bir sistemden oluşan oluşan güç sistemlerinin verimlilik ve güvenilirlikleri üzerine analiz yapmışlardır [178]. Horinov ve Horinova, yaptıkları çalışmada, enerji yönetiminin günümüzde artık bir zorunluluk olduğunu belirtmiş, sistem altyapılarında geleneksel üretimlerin kullanılmasından ziyade yenilenebilir enerji tesislerine ağırlık verilmesi önerilmiştir [179]. Calvillo ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, özellikle şehir şebekelerini daha kullanışlı hale getiren akıllı şebeke kavramı üzerinde durmuş ve enerji yönetiminin bu sistem üzerindeki etkilerini irdelemişlerdir [180]. Wan ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, güneş enerji sistemlerinin akıllı şebeke içinde kullanımına yönelik detaylı analizler gerçekleştirmişlerdir [181]. Prakesh ve Sherine, yaptıkları çalışmada, akıllı şebekeler için güneş enerji kaynaklarının tahminine yönelik analizler yapmışlardır [182]. Thounthong ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yakıt hücresi, güneş hücresi, süper kapasitör ve yenilenebilir hibrit enerjiden oluşan sistemin enerji yönetimi analizi yapmışlardır [183]. Kumar ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, hibrit bir şekilde bulunan küçük ölçekli rüzgar, güneş ve depolama enerji sistemleri içeren mikro şebeke yapısı üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir [184]. Kuo ve Huang, yaptıkları çalışmada, PV sistemlerin herhangi bir gürültü ve kirliliğe sebep olmadan, yeşil-sürdürülebilir enerji kaynağı olarak kullanıldığını vurgulamış, kurulumunun da çok basit olduğu belirtilmiştir. Sistemin en büyük girdisi olan güneş ışınım miktarının tahmini için yapay zeka uygulamaları önerilmiş, bununla ilgili model geliştirilmiştir [185]. Abbassi ve Chebbi, yaptıkları çalışmada, entegre şekilde bulunan yenilenebilir enerji sistemlerine, işletim optimizasyonu sunan algoritma geliştirilme amaçlanmıştır. MATLAB programı kullanarak

şebeke bağlantılı ve bataryası bulunan rüzgar-güneş hibrit yenilenebilir enerji sistemi incelenmiştir [186]. Leo ve diğerleri, güneş enerjisinden oluşan mikro şebeke yapısının optimum enerji yönetimi üzerine çalışmışlardır [187]. Zaheeruddin ve Manas, yaptıkları çalışmada, izole şekilde güneş, rüzgar ve biyokütleden oluşan ve bünyesinde batarya da barındıran bir yenilenebilir enerji sistemi üzerinde durmuşlardır. Mikro şebeke merkezi kontrolörünü sistemin içinde kullanarak enerji yönetim algoritmasını yönlendirmişlerdir [188].

Alhussein ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, makine öğrenmesinden de faydalanarak, kısa dönem rüzgar hızı ve güneş ışıma miktarlarını kullanıp, mikro şebeke seviyesinde enerji yönetimi ile dağıtık enerji sistemleri ilişkisini ortaya koymuşlardır [189]. Arabul ve diğerleri, şebeke bağlantısı olmayan ve yakıt hücresi, batarya, rüzgar ile güneş enerji sistemlerinden oluşan bir akıllı ev sisteminin enerji yönetiminin sağlanması amacıyla MATLAB/Simulink kullanarak çalışma yapmışlardır [190]. Kamala ve Santhosh, yaptıkları çalışmada, güneş kaynağından elde edilen enerjinin verimli bir şekilde yönetilmesi üzerinde durmuşlardır. Hem düşük gerilim, hem de yüksek gerilim için kullanılabilecek, arayüz uygulamaları içeren kontrol yapıları önermişlerdir [191]. Amorosi ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi ve bataryadan oluşan bir enerji sisteminin optimal enerji yönetimi üzerinde durmuşlardır [192]. Rahim ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji sistemleri için birbirinden farklı yapılara sahip olan kontrol algoritmalarını karşılaştırmışlardır [193]. Baziar ve Fard, enerji yönetimi optimizasyonu esnasındaki belirsizlikleri öngören bir çalışma yapmışlardır [194]. Ahmad ve diğerleri, entegre yenilenebilir enerji ve depolama barındıran bir sistemin optimizasyonunu yapmışlardır [195].

Vera ve diğerleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının mikro şebekedeki enerji yönetimi için literatür taraması yapmışlardır [196]. Boynuegri ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, tüketim talebinden ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bu ihtiyacı karşılamadaki payından bahsetmişlerdir. Akıllı şebekenin en doğru ve güvenilir sistem olduğu vurgulanmış ve enerji yönetim algoritması üzerinde durmuşlardır [197]. Saharia ve diğerleri, yaptıkları çalışmada hibrit yenilenebilir enerji kaynaklarının kırsal alanların enerji ihtiyacı için çözüm olabileceğini vurgulamış, farklı yapay zeka algoritmaları kullanarak bu sistemlerin kontrol ve optimizasyonlarını incelemişlerdir [198]. Fernando ve diğerleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji yönetimi üzerindeki etkileri üzerine araştırma yapmışlardır [199]. Pilloni ve diğerleri, yenilenebilir enerji sistemleri içeren akıllı ev sistemlerinde enerji yönetimi

çalışmışlardır. Çalışma sonucunda elektrik fiyatları ile karşılaştırma da yaparak, enerji tasarruf ve etkileri açıklanmıştır [200]. Hasankhani ve Hakimi, enerji maliyetlerini düşürüp, elektrik üretimini maksimize eden algoritmalar üzerine çalışarak, özellikle rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinden oluşan mikro şebeke yapıları için enerji yönetimi sağlamışlardır [201]. Mollahosseini ve diğerleri, İran'daki mevcut durum ve gelecekte gerçekleşmesi olası talep durumları için, yenilenebilir enerji sektör yönetimi üzerine bir araştırma yapmışlardır [202]. Worku ve diğerleri, şebekeden bağımsız olarak ada modunda yenilenebilir enerji kaynaklarının gerçek zamanlı enerji yönetimi ve kontroü üzerine çalışma yapmışlardır [203]. Sekar ve Duraisamy, MATLAB/Simulink kullanarak entegre yenilenebilir enerji kaynakları için verimli enerji yönetim sistemleri üzerine çalışmışlardır [204]. Ifaei ve diğerleri, İran'da bir vaka çalışması yapmış, yenilenebilir enerji yönetimi yapılırken hidroelektrik enerji tesislerini dahil ederek ve dahil etmeden strateji analizi yapmışlardır [205].

Jarvela ve diğerleri, bulutlardan yansıyan güneş ışıma miktarları ve bu ışıma miktarının PV güneş enerji tesisleri üzerindeki etkisi üzerine çalışma yapmışlardır [206]. Khaing ve diğerleri, kısmi gölgelenme altında, birbirinden farklı PV panellerinin göstermiş olduğu tepkiler ve karakteristik yapıları hakkında araştırma yapmışlardır [207]. Dorobantu ve diğerleri, Pspice ve PVsyst programlarından da yararlanarak, birbirinden farklı güneş ışıma miktarları etkisindeki PV panellerinin tepkilerini simüle etmişlerdir [208]. Chepp ve Krenzinger, yaptıkları çalışmada, PV sistemlerde gölgelemenin değerlendirme ve tahminine yönelik bir metodoloji oluşturmuşlardır [209]. Yang ve diğerleri, binalara entegre şekilde çalışan güneş enerji sistemlerinin, güneş enerji miktarlarını maksimize edecek bir konfigürasyon üzerinde çalışmışlardır [210]. Elamin ve diğerleri, deneysel bir çalışma yaparak kısmi gölgelenmenin, güneş enerji hücrelerindeki elektrik parametrelerini nasıl etkilediğini raporlamışlardır. Ele alınan parametreler açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve güç parametreleridir [211]. Seritan ve diğerleri, kısmi gölgelemenin maksimum gücün performansını nasıl etkilediğine yönelik bir değerlendirme yapmışlardır [212]. Alsadi ve Nassar, yaptıkları çalışmada gölgelemenin güneş enerji sistemleri üzerindeki etkisi üzerinde durmuş ve ampirik ifadelerle, enerjide yaşanan düşmeleri açıklamışlardır [213]. Thakkar ve diğerleri, PV güneş enerji sistemlerini etkileyen kısmi gölgelenme için basit bir non-lineer model üzerinde çalışma yapmışlardır [214]. Djalab ve diğerleri, gölgelemenin güneş enerji sistemleri üzerindeki etkisi üzerine çalışmalar yapmış, akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiklerinin değişimlerini gözlemlemişlerdir [215]. Abdulaziz yapmış olduğu çalışmada, tozun güneş enerjisinin performansını nasıl etkilediğini

incelemiştir [216]. Bleicher ve diğerleri, güneş enerjisinin gölge altında vermiş olduğu tepkilerin, performans üzerindeki etkisini açıklamak için deneysel bir çalışma yapmışlardır [217].

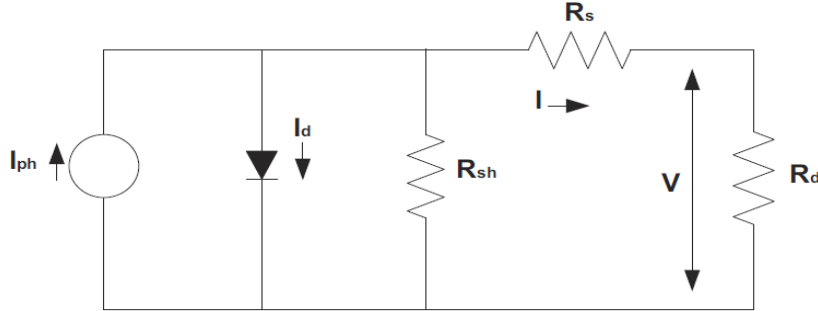
Galeano ve diğerleri, gölgeleme oranı değiştikçe, güneş enerji sistem karakteristiklerinin nasıl etkilendiğine dair bir çalışma ve analiz yapmışlardır [218]. Malara ve diğerleri, gölgelemenin güneş enerjisi üzerindeki ekonomik ve çevresel etkilerini analiz etmişlerdir. Ele aldıkları en önemli iki kavram net bugünkü değer ve CO₂ emisyon değerleridir [219]. Humada ve diğerleri, birbirinden farklı gölgeleme seviyesi bulunan koşullar için PV güneş enerji dizi modellemesi yapmışlardır [220]. Wang ve diğerleri, Çin'in farklı iklimsel bölgelerinde bulunan çatı tipi güneş enerji sistemlerini, hem gölgeleme hem de enerji üretimi açısından değerlendirme yapan bir metod üzerine çalışma yapmışlardır [221]. Ahmed ve diğerleri, yaptıkları çalışmada toz, kuş pisliği, panel kusurları ve benzeri çevresel sebeplerle güneş enerji panellerinde meydana gelen performans değişimlerinden bahsetmiş, karbon emisyonunu bu faktörlerin nasıl etkilediğini analiz etmişlerdir [222].

Pompaj depolamalı HES tesisleri Düna için yeni bir konu olmakla birlikte, özellikle enerji ve su kaynaklarının arzı anlamında kısa zamanda gelişmiş ve hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Rehman ve diğerleri, pompaj depolamalı hidro enerji sistemlerinin teknoloji, hibrit uygunlukları ve ada mod çalışmalarına yönelik değerlendirmelerde bulunmuşlardır [223]. Blakers ve diğerleri, pompaj depolamalı hidro enerjinin diğer batarya depolama yöntemlerine göre daha uzun süre depoalama imkanı verdiğini vurgulamıştır [224]. Steffen, Almanya için pompaj depolamalı hidro enerjinin kullanım alanlarına yönelik araştırma yapmıştır [225]. Ma ve diğerleri, yenilenebilir kaynaklarla enerji ihtiyacını karşılayan adalar için hem pompaj depolamalı hidro enerji hem de batarya depolama kullanımın analizini yapmıştır [226]. Yang ve Jackson, Amerika Birleşik Devletlerinde pompaj depolama hidro enerji kullanımının SWOT analizini yapmıştır [227]. Hunt ve diğerleri, mevcut durumda çalışan ve ileride yapılması planlanan pompaj depolamalı hidro enerji tesislerinin değerlendirmesini yapmıştır [228]. Sivakumar ve diğerleri, Hindistan için pompaj depolama hidro enerji tesislerinin geleceğine yönelik araştırma ve projeksiyon yapmıştır [229]. Foley ve diğerleri, rüzgar enerjisi ile uzun dönem bağlantılı çalışacak PHES tesisinin değerlendirmesini yapmıştır [230]. Javed ve diğerleri, yenilenebilir enerji Kaynakları olan rüzgar, güneş ve pompaj depolamalı hidro enerjinin hibrit yapı altında birlikte çalışmasını incelemiştir [231]. Ma ve diğerleri, Hong

Kong'ta bulunan bir ada için pompaj depolamalı hidro enerji yapısı da barındıran hibrit yenilenebilir enerji kurgusunun yapılabilirliği üzerine çalışmışlardır [232]. Kusakana, dağıtık enerji sistemlerinin pompaj depolamalı hidro enerji kullanarak optimizasyonu üzerine çalışmıştır [233]. Barbour ve diğerleri, pompaj depolamalı hidro enerjinin uluslararası enerji açısından değeri üzerine araştırma yapmıştır [234]. Lin ve diğerleri, konutlar için küçük çapta PV enerji ve pompaj depolamadan oluşan bir system üzerine çalışmıştır [235]. Ding ve diğerleri, rüzgar ve pompaj depolamalı hidrodan oluşan bir sistemin enerji yönetimi üzerine çalışma yapmışlardır [236]. Javed ve diğerleri, batarya ve pompaj depolamadan oluşan bir hibrit yapı üzerine çalışmışlardır [237]. Kocaman ve Modi, hibrit sistem içinde bulunan pompaj depolamalı hidro için performans analizi yapmıştır [238]. Kim ve diğerleri, hibrit şekilde çalışan hava ve pompaj hidro depolamaları üzerine araştırma yapmıştır [239]. Kapsali ve diğerleri, rüzgar enerjisinden yararlanarak kullanılan bir pompaj depolamalı hidro enerji tesisinin ekonomik analizini yapmıştır [240]. Stocks ve diğerleri, pompaj depolama hidro tiplerinden biri olan dışarıya herhangi bir akış sunmayan kapalı döngü sistemler üzerinde araştırma yapmıştır [241]. Fan ve diğerleri, güncel durumda kullanılmayan bir kömür madeni sahasının pompaj depolamalı hidro enerji maksatlı kullanımına yönelik ön fizibilite çalışması yapmıştır [242].

7. MATEMATİKSEL MODEL VE ALGORİTMA

PV etki matematiksel modeli aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.1. Basitleştirilmiş güneş hücresi devresi [9]

PV diziler sayesinde elde edilen enerji temel olarak sıcaklık ve ışımaya bağlıdır. PV dizinden elde edilebilecek güç Eşitlik 7.1 ile hesaplanabilir [243].

$$P_{pv} = \eta_{pv} g \cdot A_{pv} \cdot G_t \quad (7.1)$$

Burada gösterilen PV güç miktarı tespit edilirken, PV'nin üretim verimliliği η_{pv} , PV'nin üretim alanı A_{pv} (m²) ve güneş ışıma miktarı ise G_t (W/m²) olarak ifade edilmiştir. Güneş hücrelerinde, PV etki sayesinde elektrik üretimi yapabilen ve p-n jonksiyon bağlantılı yarı iletkenler kullanılmaktadır [244]. PV hücreler seri ve paralel olarak birbirine bağlanabilmektedir. PV içinde kullanılan I (akım), PV dizi V(gerilimi) değeri ile bağlantılı olabilir.

$$I = N_p \left[I_{ph} - I_{rs} \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{AKT N_s} \right) - 1 \right] \right] \quad (7.2)$$

Burada,

$$I_{rs} = I_{rr} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \exp \left[\frac{E_G}{AK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (7.3)$$

Burada N_p , paralel bağlantılı hücreleri, N_s , seri bağlantılı hücreleri, T , hücre sıcaklığı (K), T_r hücre referans sıcaklığını, I hücre akımı, V hücre gerilimi, I_{ph} foto akımı, I_{rs} ; T sıcaklığındaki

ters saturasyon akımını, I_{rr} ; T_r sıcaklığındaki ters saturasyon akımını, R_s seri direnci, q electron yükünü ($1,6 \times 10^{-19}C$), A diyot ideal faktörünü, K Boltzman sabitini, EG bant aralığını, temsil etmektedir. Buradan I_{ph} sıcaklığa da bağlı olarak şöyle değişir;

$$I_{ph} = \left[I_{scr} + k_i(T - T_r) \frac{S}{100} \right] \quad (7.4)$$

Burada I_{scr} , hücrenin kısa devre akımını, k_i kısa devre sıcaklık katsayısını, S ise güneş ışıma değerini (mW/cm^2) temsil etmektedir. Tek hücre modelinde ek paralel dirençte kullanılmaktadır. PV modelin I-V karakteristiği Eşitlik 7.5 ve Eşitlik 7.6 içinde verilmiştir; [245]

$$I = I_{ph} - I_d \quad (7.5)$$

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{q(V - R_s I)}{AKT} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \right] \quad (7.6)$$

Burada I_d diyot akımı, I_o ters doyum akımı, R_{sh} paralel dirençtir. Basitleştirilmiş model Eşitlik 7.7 ve Eşitlik 7.8 içinde belirtildiği gibi ifade edilebilir [246].

$$v_{oc} = \frac{V_{oc}}{cKT/q} \quad (7.7)$$

$$P_{max} = \frac{\frac{V_{oc}}{cKT/q} - \ln \left(\frac{V_{oc}}{cKT/q} + 0.72 \right)}{\left(1 + \frac{V_{oc}}{nKT/q} \right)} \left(1 - \frac{R_s}{V_{oc}/I_{sc}} \right) \left(\frac{V_{oco}}{1 + \beta \ln \frac{G_o}{G}} \right) \left(\frac{T_o}{T} \right)^\gamma I_{sc0} \left(\frac{G}{G_o} \right)^\alpha \quad (7.8)$$

Burada v_{oc} açık devre gerilimi olan V_{oc} değerinin termal gerilime $V_t = nkT/q$ göre normalize edilmiş halidir, n ideal faktörü ($1 < n < 2$), α non-lineer etki faktörü, β katsayısı PV boyutsuzluk katsayısı, γ non-lineer sıcaklık-gerilim etki faktörünü ifade etmektedir. 7.8 numaralı eşitlikte PV modülün maksimum güç çıkışını ifade etmektedir. PV sistemler birbirine seri ve paralel bağlanarak oluşturulmaktadır. PV diziler Eşitlik 7.9 içinde belirtildiği gibi ifade edilebilir;

$$P_{array} = N_s N_p P_m \quad (7.9)$$

Parray PV dizisinin gücünü, *Ns* seri sayısını, *Np* paralel sayısını, *Pm* tek bir PV 'nin maksimum gücünü temsil etmektedir.

$$P_s = f(T, r) \quad (7.10)$$

Güneş enerjisinden elde edilen güç (P_s), sıcaklık (T) ve ışımanın (r) bir fonksiyonudur. Ampirik saatlik bazda güneş enerjisi miktarının, günlük bazda güneş enerjisi miktarına oranı aşağıda verilen Eşitlik 7.11 ile hesaplanır.

$$\frac{G_h}{G_d} = \frac{\left(\frac{\pi}{24}\right) \cdot (\cos w - \cos w_s)}{\sin w_s - \left(\frac{2\pi w_s}{360}\right) \cdot (\cos w_s)} \quad (7.11)$$

Eşitlik 7.11'de belirtilen, G_h saatlik güneş ışıması miktarı (kWh/m^2), G_d günlük güneş ışıma miktarı (kWh/m^2), w güneşin saat açısı ($^\circ$ derece), w_s ise güneş doğuşundaki saat açısıdır ($^\circ$ derece). w , Güneşin yeryüzündeki bir noktaya göre yer değişimini simgeleyen açıdır ve aşağıda belirtilen Eşitlik 7.12 ile bulunabilir;

$$w = \left(\frac{360}{24}\right) \cdot (AST - 12) \quad (7.12)$$

Eşitlik 7.12'de belirtilen AST (Apparent Solar Time), gözlemlenen veya gerçek güneş zamanı olarak adlandırılmaktadır. AST aşağıda verilen Eşitlik 7.13 ile hesaplanır;

$$AST = LST + EoT + \left(4 \frac{\text{dakika}}{\text{derece}}\right) [(LSMT - LOD)] \quad (7.13)$$

Eşitlik 7.13'te belirtilen LST (Local Standart Time), yerel standart zamanı, LOD boylamı, $LSMT$ (Local Standart Meridian Time) yerel standart meridyen zamanını, EoT (Equation of Time) ise görülen ve ortalama güneş zamanı arasında oluşan farkı simgelemektedir. $LSMT$ ve EoT aşağıda verilen Eşitlik 7.14 ve Eşitlik 7.15 ile bulunur;

$$LSMT = 15^\circ. GMT \text{ deki zaman bölgesi} \quad (7.14)$$

$$EoT = 9,87. \sin(2B) - 7,53. \cos(B) - 1,5 . \sin (B) \quad (7.15)$$

Eşitlik 7.14'te belirtilen *GMT* (Greenwich Mean Time Zone), Greenwich şehrine göre düzenlenen zaman aralıklarını temsil etmektedir. *B* ise bir katsayıdır ve aşağıda Eşitlik 7.16'da belirtildiği gibi bulunur;

$$B = \frac{360^\circ}{365} \cdot (n - 81) \quad (7.16)$$

Eşitlik 7.16'da belirtilen *n*, takvim yılı içerisindeki güne denk gelen sayıyı temsil etmektedir. Örnek olarak 1 Ocak için *n* sayısı 1 iken, 1 Şubat tarihi için *n* sayısı 32 olmaktadır.

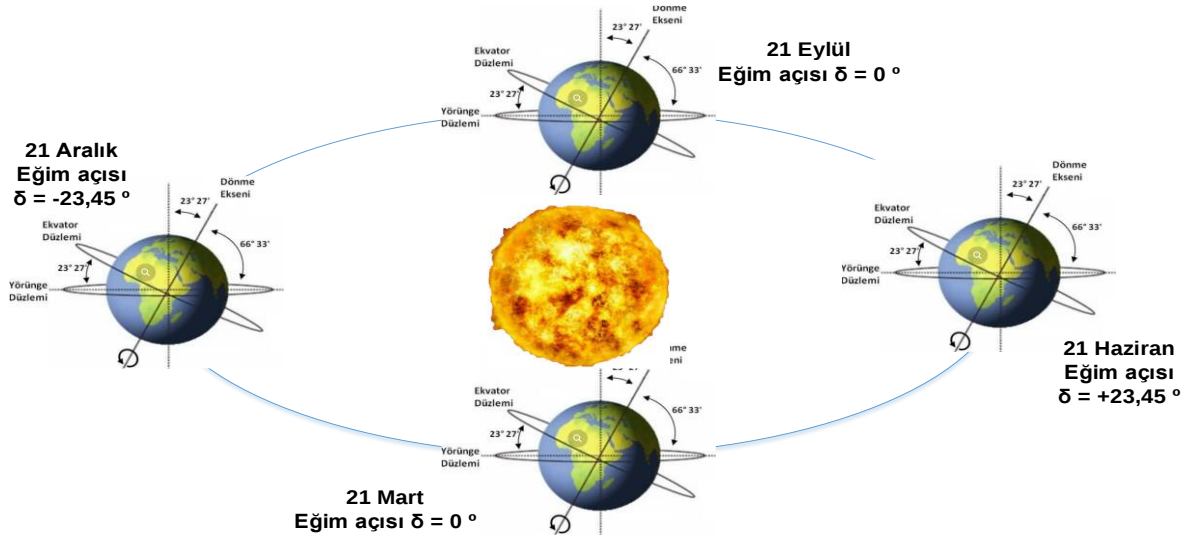
Eşitlik 7.11'de belirtilen w_s , Eşitlik 7.17 ile bulunur;

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (7.17)$$

Eşitlik 7.17'de belirtilen w_s , güneşin doğuş açısını temsil etmektedir. Bu eşitlikteki, ϕ enlem açısını ($^\circ$), δ ise eğimi ($^\circ$) temsil etmektedir. δ aşağıda verilen Eşitlik 7.18 ile hesaplanır.

$$\delta = 23,45 . \sin \left[\frac{360 (284 + n)}{365} \right] \quad (7.18)$$

δ açısı, $+23,45^\circ$ ile $-23,45^\circ$ arasında değişmektedir. Şekil 7.2., açının yıl içindeki değişimini göstermektedir;



Şekil 7.2. Eğim açısı ve yıl içinde değişimi [119]

Chandel ve Aggarwal [120] tarafından yapılan çalışmada, günlük ve saatlik Güneş ışıması arasındaki ilişki, aşağıda verilen Eşitlik 7.19'da verilmiştir;

$$r_t = \frac{G_h}{G_d} \quad (7.19)$$

Eşitlik 7.19'da belirtilen r_t terimi, saatlik ve günlük güneş ışıması arasındaki dönüşüm oranını temsil etmektedir. r_t oranı aşağıda verilen Eşitlik 7.20 ile elde edilir;

$$r_t = \frac{r_o \cdot \left[1 + q \cdot \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \cdot k \cdot A(w_s) \cdot r_o \right]}{\left[1 + q \cdot \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \cdot B(w_s) / A(w_s) \right]} \quad (7.20)$$

Eşitlik 7.20'de verilen r_o , Dünya dışında gerçekleşen saatlik güneş ışımasının, günlük güneş ışımasına oranıdır. Bu oran aşağıda verilen Eşitlik 7.21 ile hesaplanır. k , $A(w_s)$ ve $B(w_s)$ katsayıları Eşitlik 7.22, 7.23 ve 7.24'de verilmiştir.

$$r_o = (\cos w - \cos w_s) / k \cdot A(w_s) \quad (7.21)$$

$$k = \frac{24}{\pi} \quad (7.22)$$

$$A(w_s) = \sin w_s - w_s \cdot \cos w_s \quad (7.23)$$

$$B(w_s) = w_s \cdot (0,5 + \cos^2 w_s) - 0,75 \cdot \sin 2w_s \quad (7.24)$$

Eşitlik 7.20’de belirtilen a_2 ve a_1 katsayıları, ampirik katsayılar olup Eşitlik 7.25 ve 7.26 ile hesaplanır;

$$a_1 = 0,41341 \cdot K_t + 0,61197 \cdot K_t^2 - 0,01886 \cdot K_t \cdot S_0 + 0,00759 \cdot S_0 \quad (7.25)$$

$$a_2 = \text{Max} (0,054; 0,28116 + 2,2475 \cdot K_t - 1,76118 \cdot K_t^2 - 1,84535 \sin h_0 + 1,6811 \cdot \sin^3 h_0) \quad (7.26)$$

Eşitlik 7.25’de yer alan K_t , Dünya yüzeyinde ölçülen ısımanın, atmosferin en üst noktasında hesaplanan ışıma oranını temsil etmektedir. Çalışmada bu değer 0,61 olarak alınmıştır [123].

7.20 numaralı eşitlikte verilen q , ışın demetinin geliş açısıdır, h_0 atmosfer dışındaki güneş yüksekliğidir, S_0 , gündüz süresidir. Aşağıda ilgili parametreleri hesaplamak için ilgili Eşitlikler 7.27, 7.28 ve 7.29’da verilmiştir;

$$q = \cos \phi \cdot \cos \delta \quad (7.27)$$

$$\sin h_0 = \frac{q \cdot A(w_s)}{w_s} \quad (7.28)$$

$$S_0 = k \cdot w_s \quad (7.29)$$

Kullanılan istatistiki verilerin başında zaman serileri gelmektedir. Özellikle güneş ve rüzgar için yoğunlukla kullanılan bu modeller gerçekleşen veriler doğrultusunda yeni tahminler üretir. En çok kullanılan modellerden biri özbağlantı (AR-Autoregressive) modelidir. AR modeli Eşitlik 7.30’da verildiği gibi hesaplanır;

$$x_t = \sum_{i=1}^m \phi_i \cdot x_{t-i} + w_t = \phi_1 \cdot x_{t-1} + \phi_2 \cdot x_{t-2} + \dots + \phi_m \cdot x_{t-m} + w_t \quad (7.30)$$

7.30 numaralı eşitlikte verilen x_t zaman seri değerini, w_t gürültü miktarını, $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m)$ model katsayılarının vektörlerini, m ise pozitif tam sayıyı temsil etmektedir.

Diğer bir model hareketli ortalama (MA-Moving Average) modelidir. Bu modelde AR modelinin aksine bu modelde ağırlıklandırılmış toplam değerler kullanılarak zaman serileri oluşturulur. MA modeli Eşitlik 7.31’de verildiği gibi hesaplanır;

$$x_t = \sum_{j=0}^n \theta_j \cdot w_{t-j} = w_t + \theta_1 \cdot x_{t-1} + \theta_2 \cdot x_{t-2} + \dots + \theta_n \cdot x_{t-n} \quad (7.31)$$

Eşitlik 7.31’de verilen x_t zaman seri değerini, w_t gürültü miktarını, $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ model katsayılarının vektörlerini, n ise pozitif tam sayıyı temsil etmektedir. Burada $\theta_0 = 1$ olarak değer almaktadır.

Diğer bir model özbağılantılı hareketli ortalama (ARMA-Autoregressive Moving Average) modelidir. Bu model AR ve MA modellerinin bir arada kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Aşağıda verilen 7.32 numaralı Eşitlik ile hesaplanır;

$$x_t = \sum_{i=1}^m \phi_i \cdot x_{t-i} + \sum_{j=0}^n \theta_j \cdot w_{t-j} \quad (7.32)$$

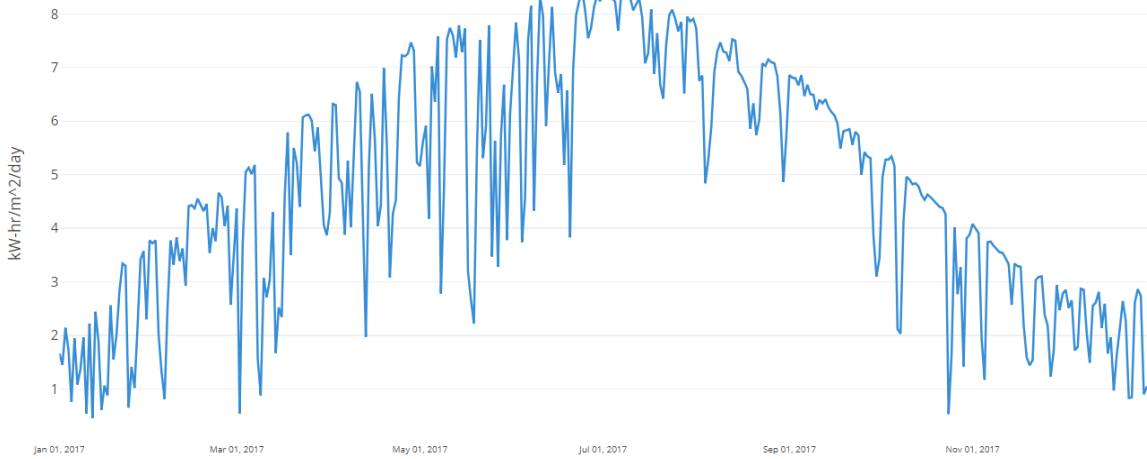
Eşitlik 7.32’de verilen x_t zaman seri değerini, w_t gürültü miktarını, $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ hareketli ortalama model katsayılarının vektörlerini, $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m)$ özbağılantılı model katsayılarının vektörlerini, m ve n ise pozitif tam sayıyı temsil etmektedir. Burada $\theta_0 = 1$ olarak değer almaktadır. Diğer bir model özbağılantılı ve dış değişkenli hareketli ortalama (ARMAX-Autoregressive Moving Average Model with Exogenous Variables) modelidir. Bu model AR ve MA modellerinin bir arada kullanılmasıyla, ayrıca dışarıdan değişkenler kullanılarak genel kapsamın genişletilmesiyle ortaya çıkmıştır. Aşağıda verilen 7.33 numaralı Eşitlik ile hesaplanır;

$$x_t = \sum_{i=1}^m \phi_i \cdot x_{t-i} + \sum_{j=0}^n \theta_j \cdot w_{t-j} + \sum_{k=1}^p \lambda_k \cdot e_{t-k} \quad (7.33)$$

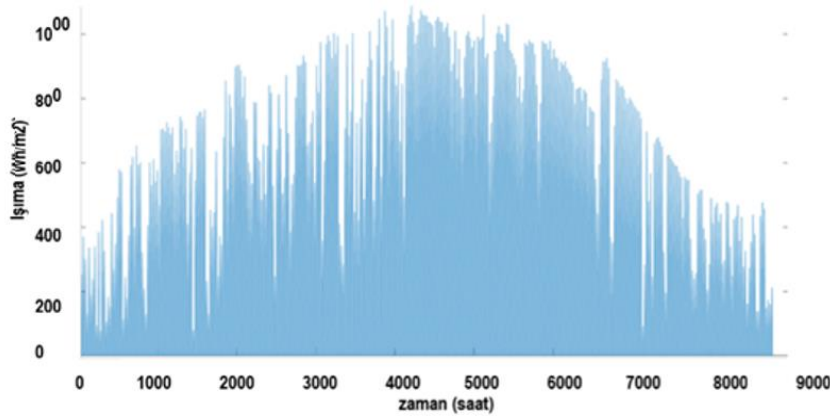
Eşitlik 7.33’de verilen x_t zaman seri değerini, w_t gürültü miktarını, $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ hareketli ortalama model katsayılarının vektörlerini, $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m)$ özbağılantılı model katsayılarının vektörlerini, $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ dış değişken katsayısını, m, n ve p ise pozitif tam sayıyı temsil etmektedir. Burada, $\theta_0 = 1$ olarak değer almaktadır. Diğer bir model özbağılantılı ve entegre hareketli ortalama (ARIMA-Autoregressive Integrated Moving Average) modelidir. Bu model AR ve MA modellerinin bir arada kullanılmasıyla, ayrıca durağan olmayan değişkenlerin değerlendirilmesiyle olmaktadır. Aşağıda verilen 7.34 numaralı Eşitlik ile hesaplanır;

$$x_t = \sum_{i=1}^m \phi_i \cdot S^d \cdot x_{t-i} + \sum_{j=0}^n \theta_j \cdot w_{t-j} \quad (7.34)$$

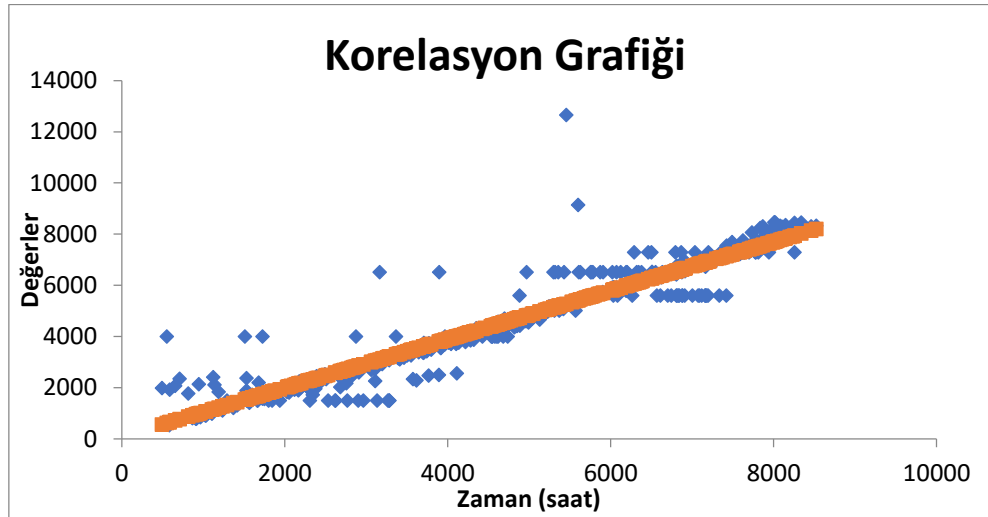
Eşitlik 7.34’de verilen x_t zaman seri değerini, w_t gürültü miktarını, $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ hareketli ortalama model katsayılarının vektörlerini, $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m)$ özbağılantılı model katsayılarının vektörlerini, m ve n ise pozitif tam sayıyı temsil etmektedir. Burada, $\theta_0 = 1$ olarak değer almaktadır. Burada $S=1-q-1$ ve $\phi_m(q)$ ifadeleri AR(m) operatörünün durağanlık ve çevirilebilirlik ifadeleridir.



Şekil 7.3. NASA ışıma verileri [247]



Şekil 7.4. Saatlik ışıma miktarı grafiği(8760 saat =24x365)



Şekil 7.5. Korelasyon grafiği

Verilen eşitliklerden elde edilen saatlik güneş ışıması ve ortam sıcaklığı karşısında panellerin verdiği tepkiler göz önünde bulundurularak, saatlik elde edilebilecek enerji üretimi hesaplanabilmektedir. Aşağıda hesaplanan güneş ışımaları ile beraber güneşten elde edilebilecek enerji miktarı Eşitlik 7.35’de verilmiştir;

$$P_s = \frac{G_h}{NG_h} \cdot D_p \cdot c \cdot s \quad (7.35)$$

Eşitlik 7.35’de belirtilen P_s , saatlik güneş enerjisi(kWh/m²), G_h saatlik güneş ışıması (kWh/m²), NG_h , panel teknik spesifikasyonlarında belirtilen nominal çalışma koşullarındaki ışıma miktarı (1 000 kWh/m²), D_p panelin normal ışıma altındaki gücünü (W), c panelin ortam sıcaklığında

meydana gelen değişikliklere göstermiş olduğu tepkiyi, s ise panel sayısını temsil etmektedir. Yıllık güneş enerji miktarı Eşitlik 7.36’da verilmiştir;

$$S_g = \sum_{n=1}^{365} \left(\sum_{s=1}^{24} (P_s) \right) \quad (7.36)$$

Eşitlik 7.36’da bulunan S_g , yıllık olarak güneş enerjinden kaynaklı üretilebilecek toplam enerji miktarını göstermektedir. Saatlik bazda elde edilen enerjilerin toplanmasıyla elde edilmektedir. (kWh).

Hidro enerji ise aşağıda verilen Eşitlik 37 ile hesaplanır;

$$N = \rho \cdot g \cdot \mu \cdot Q \cdot H \quad (7.37)$$

Eşitlik 7.37 içinde belirtilen birimler aşağıda açıklanmıştır;

N =Hidro güç(W),

ρ = su yoğunluğu (1 000 kg/m³),

g = yer çekimi ivmesi (9,81 m/s²),

μ = μ_{tur} . μ_{gen} . μ_{trafo} (türbin, jeneratör ve trafonun verim çarpımı),

Q = su debisi(m³/s),

H = yükseklik (m),

$$Joule = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}, \quad Joule = Watt \cdot saniye,$$

$$Hg = \sum_{n=1}^{365} \left(\sum_{n=1}^{24} (N) \right) \quad (7.38)$$

Eşitlik 7.38’de belirtilen Hg, yıllık hidro enerjiden kaynaklı üretim miktarıdır. (kWh) Saatlik bazdaki üretimlerin toplanmasıyla elde edilir. Eşitlik 7.39’da HES ve GES tesisinden elde edilebilecek gelir gösterilmiştir;

$$R = p. (Sg + Hg) \quad (7.39)$$

Eşitlik 7.39’daki R gelir (\$), p fiyat (\$/kWh), Sg yıllık güneş enerjiden kaynaklı üretim miktarı(kWh), Hg yıllık hidro enerjiden kaynaklı üretim miktarıdır (kWh). Eşitlik 7.40’da HES ve GES tesisinden elde edilebilecek maliyet verilmiştir;

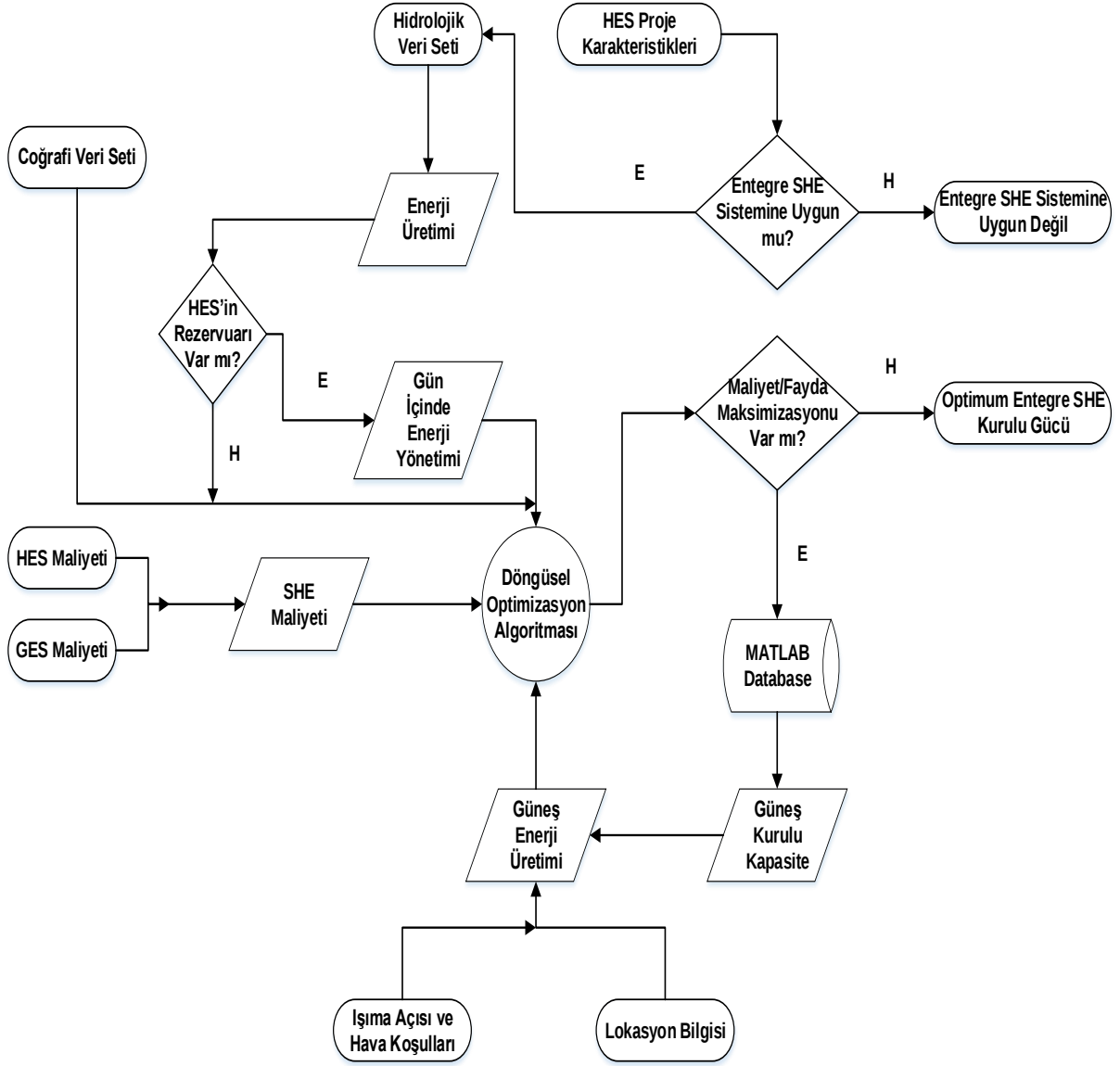
$$C = CS + CH \quad (7.40)$$

Eşitlik 7.40’daki C toplam yatırım maliyeti (\$), CS toplam solar enerji yatırım maliyeti (\$), CH toplam hidro enerji yatırım maliyetidir (\$). Verilen eşitlikler doğrultusunda GES tesisinin kurulu gücü Eşitlik 7.41 ile hesaplanır;

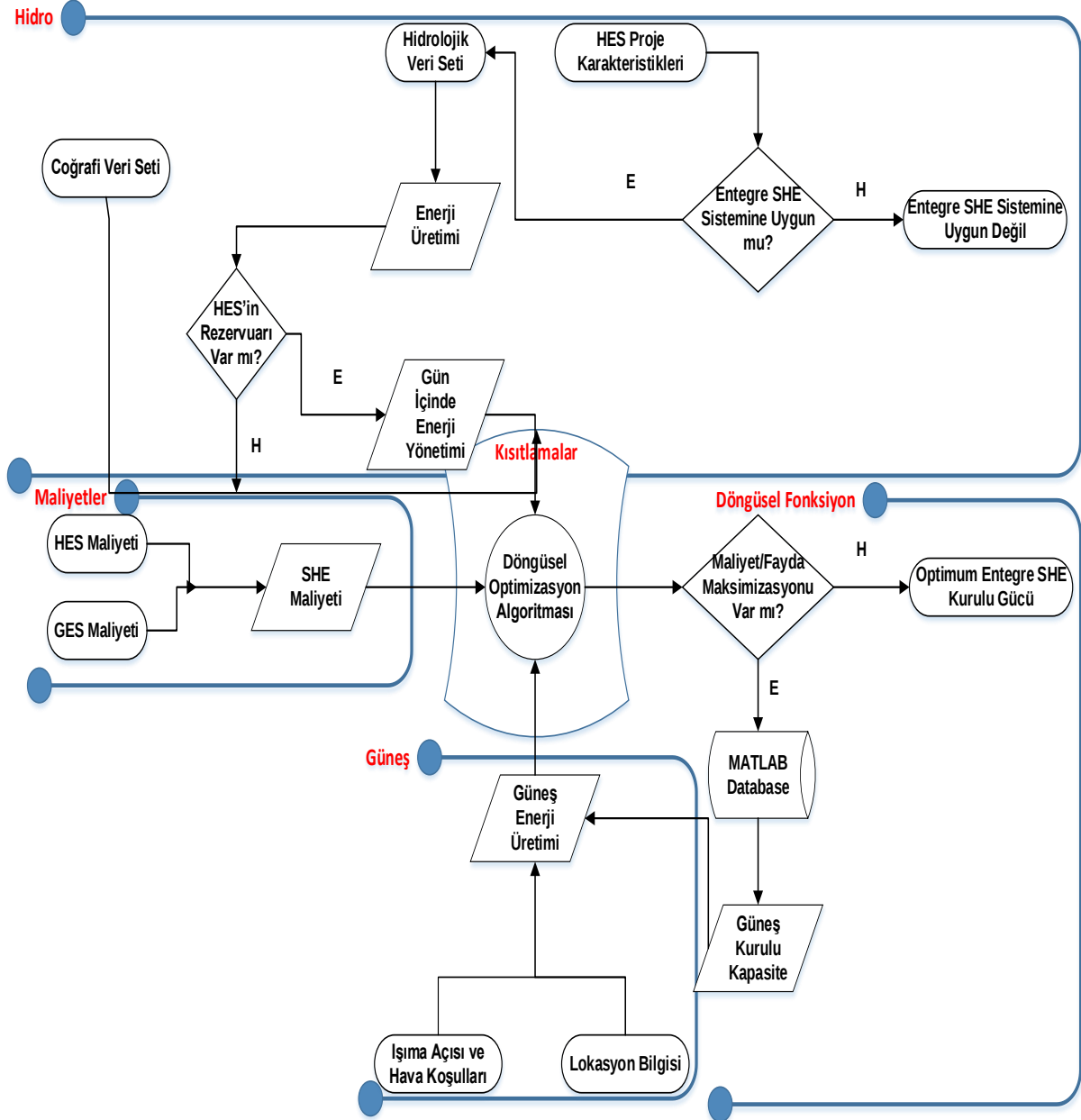
$$f_{optimum} = \max \left(\frac{R}{C} \right) \quad (7.41)$$

Eşitlik 7.41’de belirtilen $f_{optimum}$, gelir/maliyetin en yüksek olduğu nokta olarak tanımlanmıştır. Bu noktaya göre güneş enerjisi için kurulması gereken kurulu güç miktarı belirlenmektedir. $f_{optimum}$ gelirin maliyete oranının en yüksek olduğu nokta, R (USD) gelir, C (USD) maliyettir. Matematiksel modeli yapılan çalışma için aşağıda verilen algoritma ortaya çıkarılmıştır. Söz konusu matematiksel model önerisi fayda maliyet analizine dayanmaktadır. Fayda maliyet analizi Pareto prensiplerine dayanmaktadır. Vilfredo Frederico Damaso Pareto İtalyan iktisatçı ve sosyologdur. İktisat teorisine matematiksel analiz metotları uygulamıştır. Maliyet, üretim ve değer teorilerine yeni anlayışlar getirmiştir. Bu prensip zamanla diğer bilim adamlarının (Hicks-Kaldor vb.) da katkısıyla gelişmiştir. Bu analizde verileri sağlanan alternatif sonuçlar arasında

karşılaştırma yaparak en uygun sonuç veren çözüm bulunmaktadır. Şekil 7.6. içinde, önerilen algoritma detaylarıyla verilmiştir.



Şekil 7.6. GHE hibrit entegre yapısı için GES tesisinin en uygun kurulu gücünü belirleyen algoritma



Şekil 7.7. GHE hibrit entegre yapısı için GES tesisinin en uygun kurulu gücünü belirleyen algoritma

Önerilen Algoritmada 5 ana bölüm bulunmaktadır;

Kısıtlamalar

Entegre SHE sistemi oluştururken sistemin sınırlarını belirlemek gerekmektedir. En önemli sınırlar trafo kapasitesi ve solar enerji sistemlerinin yerleşebileceği fiziksel alan kapasitesidir. Ayrıca eğer sistem işleticisi/düzenleyicisi tarafından düzenlenen kısıtlar var ise dikkate

alınmalıdır. Tesisler, trafo kapasitesinin üstünde bir enerji üretimi gerçekleştiğinde, sistemin dengesini ve istikrarını bozmamak için bu trafo sınırları içerisinde üretim yapılması gerekmektedir. Şebekeye verilebilecek maksimum enerji miktarı bellidir ve toplam trafo kurulu gücünde ayrılan oran genellikle değişmez. Dolayısıyla entegre SHE sistemi tasarlanırken dikkate alınması gereken en önemli kısıtlardan biri şebekeye sağlanabilecek enerji düzeyi olarak ortaya çıkmaktadır. Güneş enerji sistemlerinin yerleşebileceği alanlar ise bazen kısıt oluşturabilmektedir. Entegre tesisin çalıştırılması planlanan HES tesisinin kanal uzunluğu, bu kanal üzerine yerleştirilebilecek maksimum panel sayısı, göl alanı ve göl alanı üzerine yerleştirilebilecek maksimum panel miktarı gibi sınırlamalar, fiziksel kısıtları oluşturabilmektedir. Bunun yanısıra istense de güneş panellerinin kurulmasına imkan vermeyen sahalar bulunmaktadır. Örnek olarak, iletim kanalı olarak tünel kullanılan HES tesisleri veya ışıma almasının veya kurulum yapılmasının imkansız olduğu sahalar verilebilir. Coğrafi alan ve projelerin uygulanabilirliği diğer kısıtları oluşturmaktadır. Türkiye’de uygun saha seçilimine yönelik bir algoritma hazırlanmış ve bu çalışma makale olarak sunulmuştur. “Compatible HEPP Selection Algorithm for SHE (Solar-Hydroelectric) Systems in TURKEY” isimli makale, International Symposium on Computer Science and Intelligent Controls (ISCSIC) kapsamında 20-22 Ekim 2017 tarihleri arasında Macaristan’ın başkenti Budapeşte’de sunulmuştur. IEEE Xplore kapsamına 19 Şubat 2018 tarihinde alınmış ve doi: 10.1109/ISCSIC.2017.20 olarak yayınlanmıştır. Makalede özetle, Türkiye’de nerelerde entegre bir SHE tesisi kurulabileceğine yönelik çalışmalar yapılmış, basit ama etkili bir algoritma ile çözüm üretilmiştir. Çalışma yapılırken Türkiye’nin sahip olduğu hidrolojik ve güneş enerji potansiyelleri, coğrafi konum, HES tesislerinin proje karakteristikleri, ayrı ayrı her projenin entegre sisteme olan uygunluğu göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma sonucunda ise, Türkiye’de bulunan HES tesislerinin yaklaşık yarısının entegre GHE sistem uygulamasına yatkın olduğunu, enerji üretim miktarında yönetilebilir bir artış sağlanabileceği, entegre tesis kullanımının maliyet ve kapasite kullanımlarında optimizasyon sağlayacağı tespit edilmiş ve ifade edilmiştir. Belirtilen çalışma sonraki bölümlerde vaka çalışması olarak açıklanmıştır.

Hidro enerji

GHE sistemi, hibrit bir enerji sistemidir. Güneş ve hidro yapılarının bir arada olduğu entegre sistemlerde hidro enerjinin bu yapıya uygun olması gerekmektedir. Baraj Hidro yapıları yüzen solar sistemleri enetegrasyonu kolay olduğundan tümünde uygulanabilmektedir. Nehir tipi

hidro enerji projelerinde ise solar entegrasyonu tüm projeler için mümkün olmayabilir. Bazı nehir tipleri tünel içerebilir veya yetersiz entegrasyon alanına sahip olabilir. İletim kanalları, regülatör veya yükleme havuzu alanları yeterli olan hidro enerji tipleri GHE tipi entegrasyona uygundur. Uygun olan hidro enerji tesislerinin debi bilgileri alınarak enerji üretim miktarları hesaplanmaktadır. Bir HES tesisinin ne kadar büyük rezervuar alanı varsa o kadar iyi bir şekilde enerji yönetimi yapmak uygun olabilir. Hibrit sistemlerde bileşenlerden birinin dengeli ve istikrarlı enerji üretimi sağlayabilmesi, sistemin güvenilirliği açısından çok önemlidir. Baraj veya regülatör göl alanı, yükleme havuzu alanı, kanal alanı veya depolama alanı sağlayabilen rezervuarlı HES tesisleri, güneşin anlık dalgalanmalarının yansımaları sonucu enerji üretim değişimlerini telafi edebilmektedir. HES tesisinin depolama alanının olması, güneş enerjisi potansiyelini değerlendirip birlikte enerji yönetimi yapılmasını sağlayabilmektedir. Örnek olarak, güneş enerjisinin aktif olduğu gündüz vakitlerinde HES tesisinin suları depolaması ve gece vakitlerinde güneş enerjisinden elektrik üretilemeyen zamanlarda HES tesisinin elektrik üretmesi hibrit enerji üretimi yönetimi sağlamaktadır. Önerilen SHE sisteminde belirleyici olan HES tesisidir. O yüzden HES tesisinden kaynaklı elektrik üretim potansiyeli detaylı incelenmektedir. İlk aşama su verilerinin sağlanması ve HES tesisinin potansiyelini yansıtacak nihai su verilerinin oluşturulmasıdır. Su verisi oluşturulurken sırasıyla;

- Regülatör yeri su girişlerini temsil eden ve mümkünse uzun yıllar çalışmış Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri
- Sağlıklı veri alınabilecek tesis yerine yakın AGİ bulunmuyorsa, aynı havzada bulunan başka bir AGİ istasyonu verileri ve hidrolojik drenaj bilgileri
- Su verilerini etkileyecek cansuyu akımları ve mansap su hakları hakkında bilgi
- Depolama alanı varsa kaç m³ hacme sahip olduğunun bilgisi
- HES tesisi havzasında bulunan ve ilerleyen yıllarda işletmeye geçmesi planlanan tesislerin projeksiyonu
- Tesisin bulunduğu bölgedeki meteorolojik veriler
- Tesisin bulunduğu bölgedeki yağış rejiminde yaşanan değişimler, yağış ve kuraklık eğilimleri hakkında bilgi
- Proje karakteristikleri hakkında bilgi
- Kullanılması planlanan türbin çeşidi ve özellikleri hakkında bilgi

Elde edilerek nihai su veri seti oluşturulur. Bu verilerin uzun yıllar boyunca elde edilen AGİ sonuçlarından oluşturulması, ileriye yönelik güvenli projeksiyon yapılmasını da sağlamaktadır. HES tesislerinin su kaynaklarının genelde cüzi bir kısmı yer altı su kaynaklarından büyük çoğunluğu ise yağışlardan karşılanmaktadır. Her sene aynı miktarda yağmur yağı olmamakla birlikte, yıl bazlı ve mevsimsel bazlı kuraklıklarda yaşanabilmektedir. Kar yağışları ve yavaş bir şekilde erimesi de nehir tipi HES tesisleri için önemli olup, bu tip tesisler aşırı yağışlar/feyezan/hızlı kar erimeleri vb. durumlarda etkili çalışamamakta, gelen su miktarını depolayamamaktadır. Bahsi geçen tüm bu hususlar değerlendirilerek ortalama bir su akım debisi (m^3/sn) belirlenerek HES tesisinin üretebileceği elektrik üretim miktarı hesaplanmaktadır. Tesislerin en değişken verisi su debisi olduğundan, tesis kurulu gücü de bu veriler ışığında şekillenmektedir. En optimum tasarım dahi yapılırsa, yağışlara olan aşırı bağımlılıktan ötürü her zaman sapmalar yaşanması mümkündür.

Güneş enerjisi

Güneş Enerjisi hesabı yapılırken GHE entegre sistemi oluşturacak proje özellikleri göz önünde bulundurarak hesaplama yapılmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılırken;

- Tesisin kurulacağı yerin koordinatları
- Tesis yerinin meteorolojik bilgileri
- Tesis yerinin coğrafi özellikleri
- Tesiste kullanılacak PV panel tipi ve kurulu gücü
- PV panelin ve eviricilerin(inverter) özellikleri
- Kayıplara yol açabilecek hususların tespiti dikkate alınır

Algoritmada hesaplanan üretim değerleri, hidro enerji üretim rakamlarıyla beraber değerlendirilmektedir.

Maliyetler

Güneş enerji tesislerinin maliyeti makine-elektronik aksam ağırlıklı olduğundan ötürü daha standart bir maliyet öngörüsü yapılabilmektedir. Genelde standart bir güneş enerji tesisi maliyetlerini;

- PV Panel
- İnverter
- Taşıyıcı Konstrüksiyon
- Zemin iyileştirme ve inşaat işleri
- Enerji Nakil Hattı, Trafo, SCADA sistemi vb. sistemlerden oluşmaktadır.

Algoritma içinde güneş enerjisi için Watt başına bir maliyet tanımlanmaktadır. Hidro enerji kısmının maliyeti ise keşif-metraj yöntemiyle belirlenmektedir. Hidro enerji yapılarının maliyetinde belirleyici etken inşaat kısmıdır. Coğrafya yapısı ve proje karakteristikleri inşaat maliyetlerini etkileyen ana unsurlardandır. O yüzden seçilen HES tesisinin detaylı olarak maliyetleri belirlendikten sonra veya zaten çalışan bir tesis ise gerçekleşen maliyetler göz önünde bulundurularak SHE sistem maliyeti belirlenir. HES tesisinin kurulu gücü belirlenirken fayda/maliyet analizi yapılmaktadır. Üzerine kurulduğu su kaynağından en fazla elektrik üretimi ve gelirini sağlayan yapı ile maliyetler karşılaştırılarak, kurulu güç miktarına karar verilir.

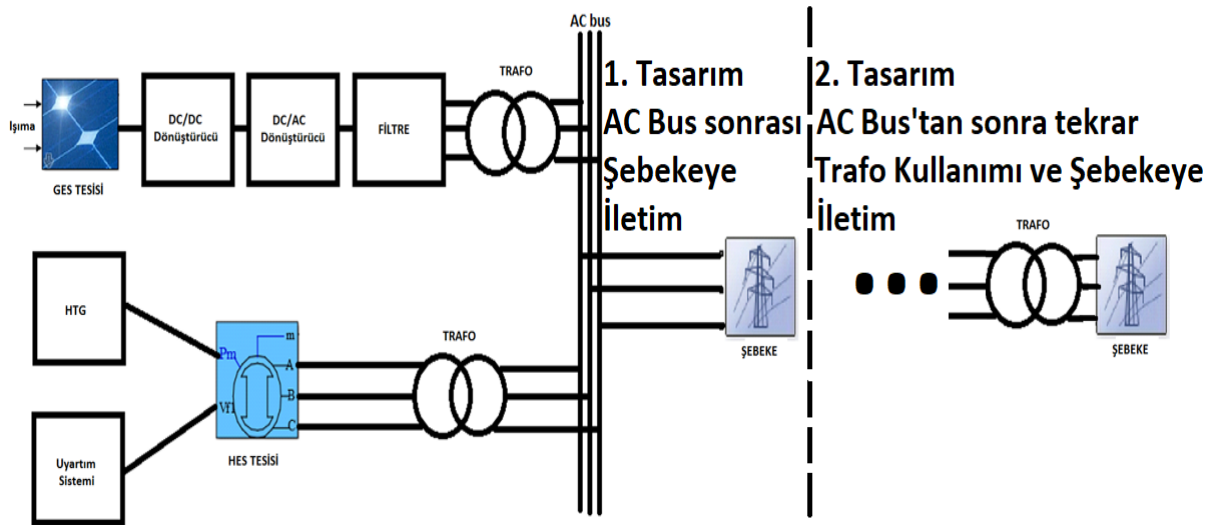
Döngü

Algoritmadaki döngü kısmında kısıtlar, hidro enerji üretim verileri, güneş enerji üretim verileri ve maliyetler bir arada değerlendirilir. Döngü MATLAB veri tabanı kullanılarak yapılmıştır. Entegre GHE sisteminde mevcut hidro enerji yapıları üstüne solar enerji sistemi yerleştirilerek oluşturulmaktadır. GHE sisteminde kullanılmasına karar verilen HES tesisinin su ve enerji verileri MATLAB veri tabanına tanımlanır. Eğer HES tesisinin depolama imkanı varsa, özellikle güneş enerjisinden elektrik elde etmenin pek de mümkün olmadığı zaman dilimlerinde üretim yaptırılır. Buradaki amaç olabildiğince kesintiye gitmeden en yüksek enerji üretiminin sağlanmasıdır. HES tesisinin kurgusu ve uzun yıllar ortalamasını yansıtan enerji üretim projeksiyonu tamamlandıktan sonra, MATLAB veri tabanına entegre SHE sisteminin kısıtları girilir. Bu kısıtlar bir kere tanımlandıktan sonra değiştirilmez. Döngüsel algoritmada değişen güneş enerji tesisinin kurulu kapasitesidir. Belirlenen adım büyüklüğüne göre maksimum optimizasyon karşılaştırması yapılır. Optimum fonksiyon, matematiksel modelleme kısmında da açıklandığı üzere gelirin maliyetle karşılaştırıldığında elde edilen en yüksek noktayı sağlayan fonksiyon olarak belirlenmiştir. En büyük etkiyi sağlayan adım güneş enerji tesisinin, dolayısıyla entegre SHE sisteminin optimum gücünü belirler. Böylece güneş ve hidrodan

oluşan bir hibrit enerji sisteminin modellenmesi tamamlanmış olur. Algoritma adımlarıyla birlikte elde edilen kurulu güç bilgileri üzerine MATLAB/Simulink kullanarak modellemeler ve karşılaştırmalar yapılmıştır. bu çalışmalar yapılırken birden çok vaka çalışması kurgulanmış gerçek değerlerle ve simülasyonlarla karşılaştırmalar yapılarak, önerilen sistemin güvenilirliği test edilmiştir. Daha sonra ise GES tesisinden elde edilebilecek enerji miktarını daha detaylı hesaplamak için Photovoltaic system (PVsyst) isimli program kullanılmıştır. PVsyst güneş enerji sistemlerinden elde edilebilecek enerji miktarını hesaplamada kullanılan en yaygın programlardandır. Program sayesinde koordinat ve kullanılacak malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra, güneş sisteminin bulunduğu alana ait uzun dönemli meteorolojik veriler (ışırma, rüzgar, güneş, nem vb.) sistemden çekilebilmekte, kayıp tanımlamaları ve belirsizlik analizi ile beraber, güneş enerji sisteminden elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanabilmektedir.

Tüm hesaplamalar MATLAB veri tabanına eklendikten sonra, döngü çalıştırılmış, değişik senaryolar için çalışmalar yapılmıştır. 2 temel senaryo üzerine çalışılmıştır;

- Birinci senaryoda GES ve HES tesislerinin ayrı ayrı trafoları bulunmakta ve şebekeye bağlanmadan önce tek bir AC bus altında birleşmektedir.
- İkinci senaryoda ise GES ve HES tesisinin her birinin kendine ait trafosu bulunmakla beraber, tek bir AC bus üzerinde birleşip tekrardan ayrı bir trafo vasıtasıyla şebekeye bağlanmaktadır.



Şekil 7.8. Örnek GHE sistem tasarımları

Çalışmalar kapsamında 6 makale hazırlanmış olup çeşitli ülkelerde yapılan konferanslarda sunulmuş, dergilere iletilmiştir.

- International Science and Technology Conference, 13-15 Temmuz 2016, Viyana-Avusturya, “A Case Study of SHE (Solar-Hydroelectric) in Turkey”
- International Symposium on Computer Science and Intelligent Controls, 2017, Budapeşte-Macaristan, “Compatible HEPP Selection Algorithm for SHE (Solar-Hydroelectric) Systems in Turkey”,doi: 10.1109/ISCSIC.2017.20
- International Conference on Control, Automation and Diagnosis, 2018, Marakeş-Fas, “Fresnel Lens-Focused Solar Panel: A New Approach for SHE(Solar-Hydroelectric)
- International Conference on Sensors, Systems, Signals and Advanced Technologies, 2018, Hamamat-Tunus, “Fresnel Lens Focused Solar Cell Performance Comparison for SHE (Solar-Hydroelectric) Systems”,
- Journal of Polytechnic, “The Selection of the Suitable Renewable Hybrid Pairs: A Case Study”, Erken Görünüm (planlanan yayım tarihi 31.03.2023), <https://doi.org/10.2339/politeknik.1097700>
- Journal of Polytechnic, “Reservoir Effect on the Hybrid Solar Hydro-Electric (SHE) System”, Erken Görünüm (planlanan yayım tarihi 31.03.2023), <https://doi.org/10.2339/politeknik.1074180>

8. VAKA ÇALIŞMALARI

Vaka Çalışması 1

Vaka çalışması için Denizli ili Acıpayam İlçesinde bulunan hidroelektrik tesisi ele alınmıştır. Tesisin kurulu gücü 3,065 MW'tır. Tesisin Google earth görüntüsü aşağıda verilmiştir.

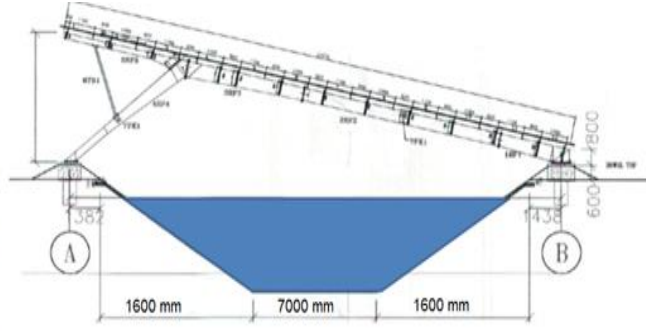


Resim 8.1. Vaka 1 google earth görüntüsü

Tesis, bir sulama regülatörünün mansabında bulunmaktadır. Sulama kanalının 7 500. metresinde yükleme havuzu bulunan tesis, yakaladığı düşü sayesinde elektrik üretimi sağlamaktadır. Sulama sezonu(Mayıs-Ekim) dışında elektrik üretimi yapabilen tesis, düşük kapasite kullanım oranıyla çalışmaktadır. Projedeki karakteristikleri ve kısıtlar, Çizelge 8.1. içinde verilmiştir;

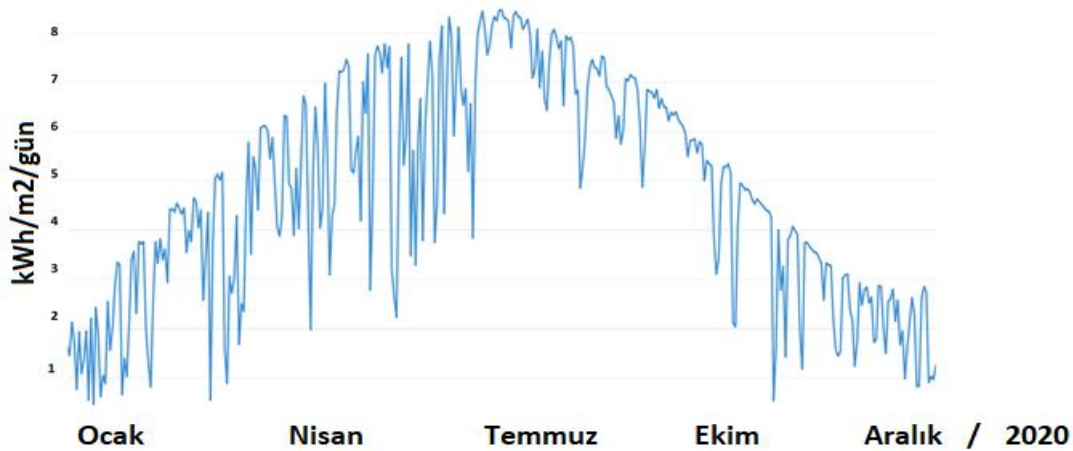
Çizelge 8.1. HES tesisi proje karakteristikleri

İli	Denizli
İlçesi	Acıpayam
Kurulu Gücü (MW)	3,065
Trafo Bağlantı Kısıtı (MW)	3,065
Proje Debisi (m ³ /s)	11,11
Trapez Kanal Uzunluğu (m)	7 500 (10,2 m genişlik)
Kanal Genişliği (m)	10,2
Proje Düşüsü (m)	23,62
Öngörülen Enerji Üretimi (kWh/yıl)	3 942 960
Kapasite Kullanım Oranı (%)	14,7
Proje Kısıtları	3,065 MW trafo kısıtı, 10 MW fiziksel kısıt



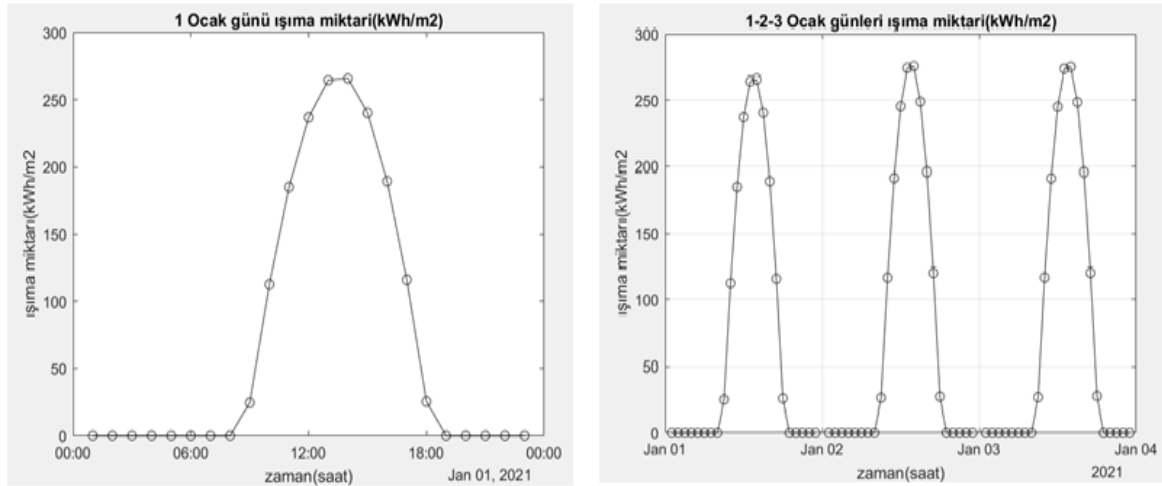
Şekil 8.1. HES tesisi kanal yapısının GHE sistemine entegrasyonu [248]

Hidro enerji tesisi üretim verileri tesisin gerçekleşen üretimlerinden alınmıştır. HES tesisi akım verileri uzun yıllar itibarıyla elde edilip, aylar bazında ortalama akım miktarı hesaplanmıştır. Güneş tesisinin enerjisi de hesaplanırken aynı şekilde aylık bazda ortalama sıcaklık ve ısıma bilgileri hesaplanarak modele eklenmiştir. Güneş modelinde First Solar marka ince film paneller tercih edilerek ilgili parametreler program içeriğine eklenmiştir. Elde edilen üretim önce DC/DC dönüştürücü, daha sonrada DC/AC inverter yardımıyla AC modunda sisteme dahil edilmiştir. Yükseltici trafolar sayesinde yükseltelen AC değerler, 25 kV şebekeye dahil edilmiştir. Güneş enerjisi modellemesi yapılırken hali hazırda tanımlı olan inverter ve panel parametrelerinden faydalanılmıştır. Elde edilen güneş enerji sistem verileri ve hazırlanan MATLAB Simulink gösterimi verilmiştir. Solar enerji tesisi üretim verileri hesaplamadan önce koordinat bazlı gerçekleşen ışımlar alınmıştır. Bu veriler NASA'dan sağlanmıştır [249]. Sağlanan veriler 2020 yılı için alınmıştır. Günlük ısıma miktarından saatlik ısıma miktarları tespit edilmiştir.



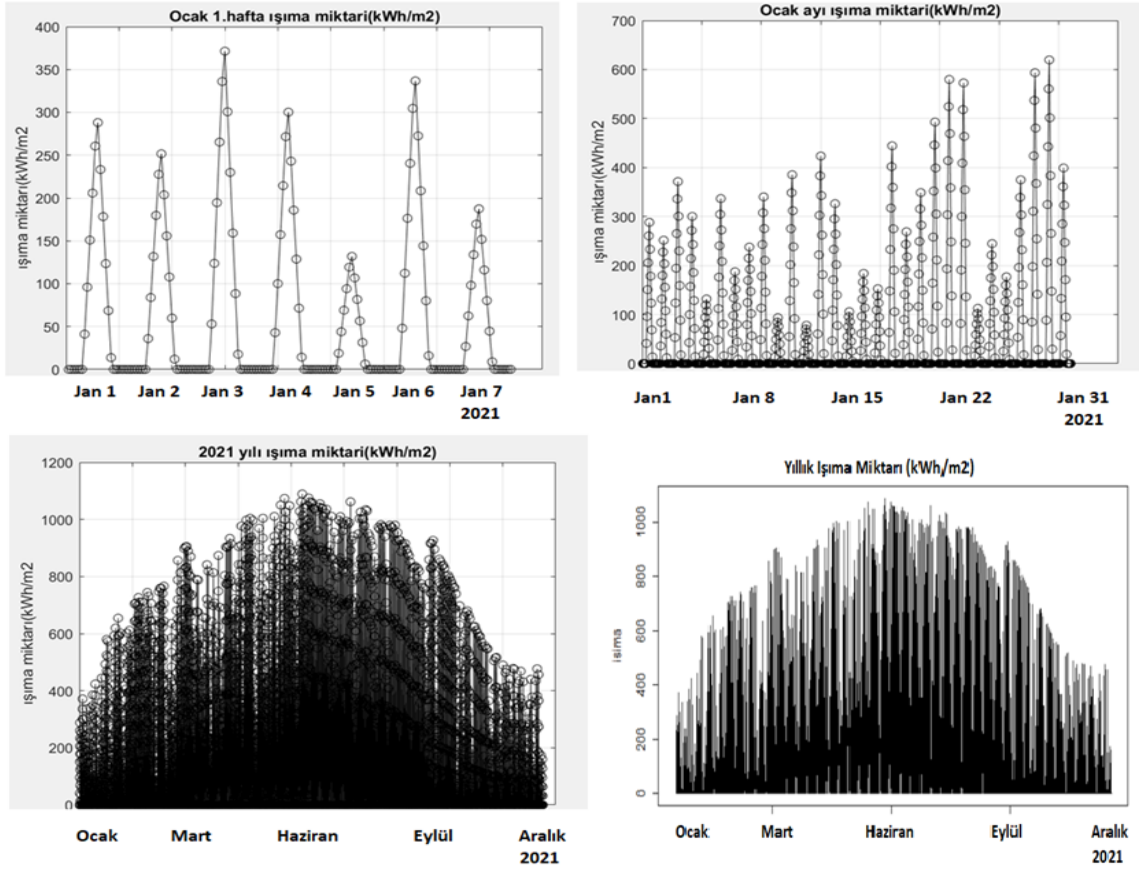
Şekil 8.2. Günlük ısıma miktarı [249]

İlk etapta güneş ışıma miktarını bulmak için literatürde en yaygın şekilde bulunan iki yöntem de kullanılmıştır. Birinci yöntem ampirik olarak ışıma miktarının tespitine yöneliktir. Ampirik yöntemde öncelikle ilgili meteoroloji istasyonlarından saatlik bazda veriler elde edilmektedir. Elde edilen veriler için güneş ışıma miktarının yapılacağı alana yönelik, ilgili enlem, boylam, güneş geliş açısı ve yıl içindeki değişimi, Dünya üzerindeki konumu, atmosferin en üst katmanındaki güneş ışıma miktarları ve düzeltme katsayıları dikkate alınır. Elde edilen öngörü sonuçları, gerçek verilerle karşılaştırılarak korelasyon olup olmadığı değerlendirilir. Literatür taraması yapılırken ortaya konan modeller tek tek denenmiş ve Denizli/Acıpayam için en uygun ışıma verilerini sağlayacak olan yöntem belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde Chandel ve Aggarwal, tarafından hazırlanan çalışma baz alınarak güneş ışıma miktarı öngörüsünde bulunulmuştur [120]. Günlük güneş ışıma miktarları rahatlıkla NASA'dan elde edilebilmektedir. Bu verileri saatlik bazda güneş ışıma miktarına çevirebilmek için Chandel ve Aggarwal tarafından önerilen katsayı değerleri kullanılmıştır. Çalışma yapılırken ilk etapta 24 saatlik veri seti oluşturulmuştur. 1 Ocak 2020 tarihini simgeleyen güneş ışıma miktarı aşağıda verilmiştir. Grafik MATLAB kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra Ocak ayının ilk 3 gününü simgeleyen güneş ışıma miktarı öngörüsünde bulunulmuştur.



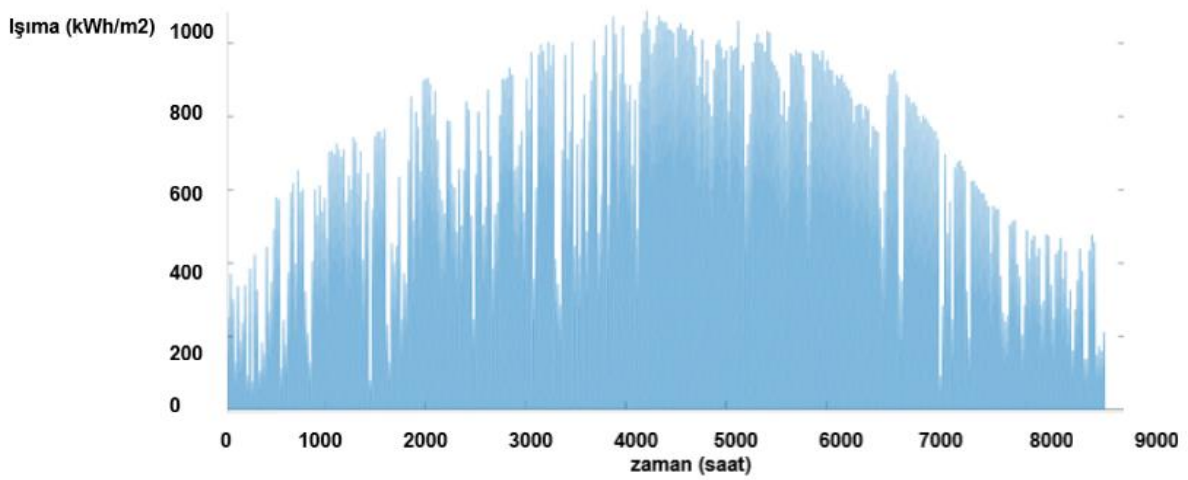
Şekil 8.3. Ocak ayı ilk üç gün için güneş ışıma miktarı tahmini

Yapılan öngörüler, her deneme de gerçek verilerle karşılaştırılarak sırasıyla haftalık, aylık ve yıllık veri seti oluşturulmuştur.



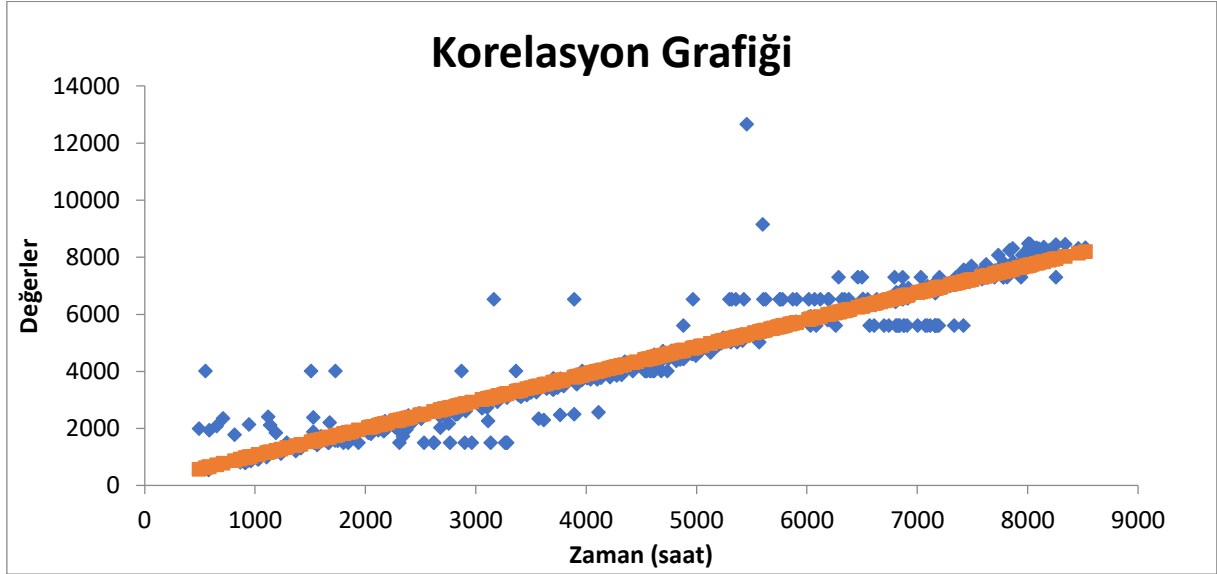
Şekil 8.4. Ocak ayı hafta/ay ve tüm yıl güneş ısıma tahmini

Orijinal 365 günlük NASA verisi, Şekil 8.5. içinde gösterilen saatlik bazda ısıma miktarına çevrilmiştir. Şekil 8.6.'da yapılan çalışmanın korelasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 8.5. Saatlik güneş ısıma miktarı tahmini

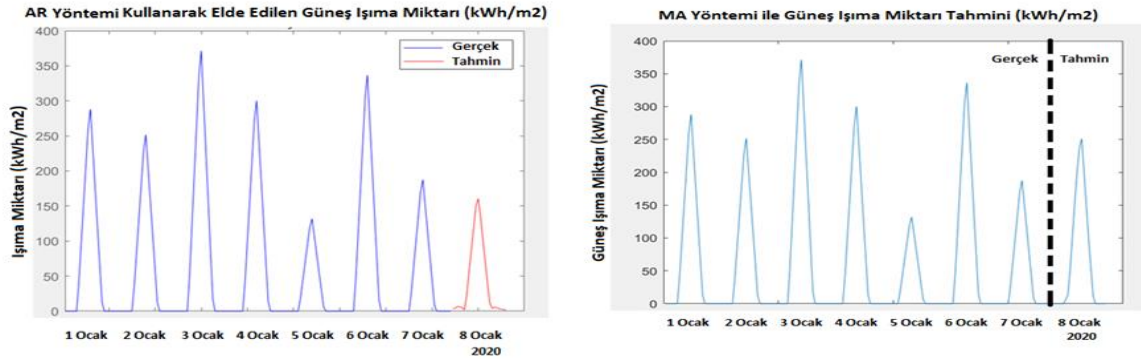
Tespit edilen saatlik ışıma miktarları sayesinde, panel verileri de kullanılarak üretilen solar enerji miktarı hesaplanabilmektedir. Modelin çalışmasını test etmek amacıyla 2 km mesafede bulunan bir solar enerji tesisinin gerçek verileri alınmış, aynı bölge için alınan günlük NASA verileri, yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak gerçek veriler ışığında saatlik bazda korelasyon kurulmuştur. Sonuçta elde edilen %86 oranında korelasyon katsayısı kabulün kullanılabilir olduğunu yönelik çok güçlü fikir vermektedir.



Şekil 8.6. Korelasyon grafiği

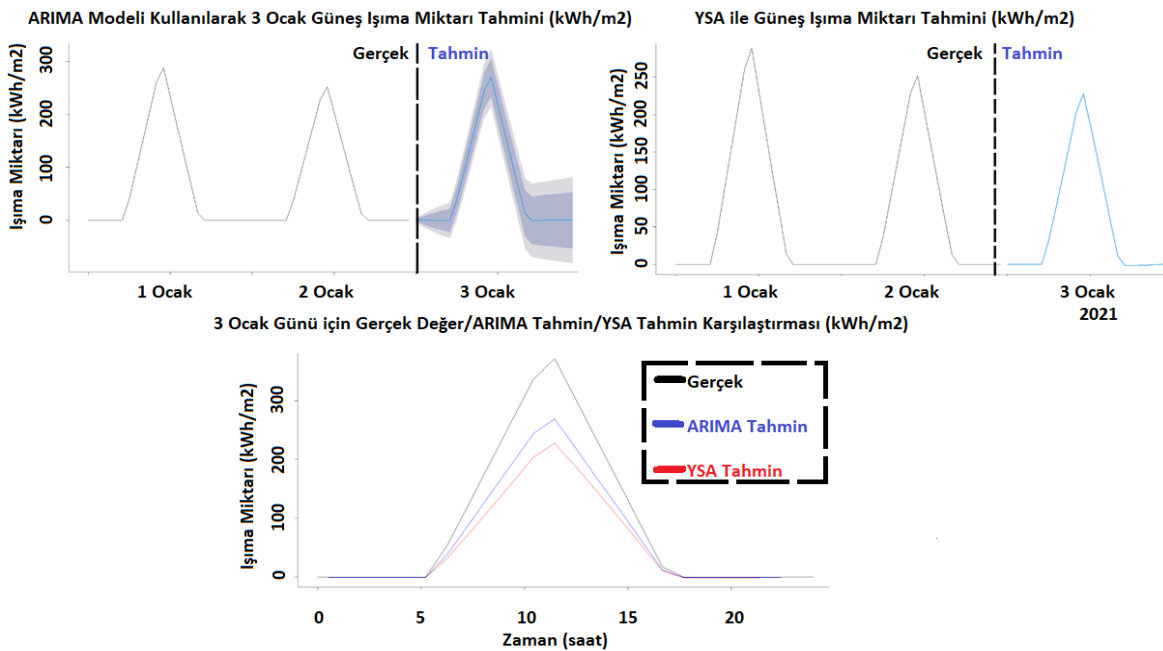
Güneş ışıma miktarı elde ederken kullanılan ikinci yöntem ise ekonometrik ve istatistikî yöntemleri barındıran yaklaşımlardır. Literatürde en yaygın kullanılan ekonometrik modeller, AR(Autoregressive), MA (Moving Average), ARMA (Autoregressive Moving Average), ARMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables), ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) modelleridir. Ayrıca yapay zeka unsuru olarak YSA (Yapay Sinir Ağları-NN-Neural Network) modeli de kullanılmıştır. Ekonometrik modeller, “R” modelleme programı ve MATLAB kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan modeller birbiriyle de karşılaştırarak en uygun olanı tercih edilmiştir.

İlk etapta ekonometrik modellerden AR ve MA modelleri için bir günlük tahmin öğorusünde bulunulmuştur. Ekonometrik modeller gerçek veri setinden beslenmektedir. Bir gün tahmin edebilmek için altı günlük gerçek veri seti kullanılmıştır. MATLAB programı kullanılmıştır.



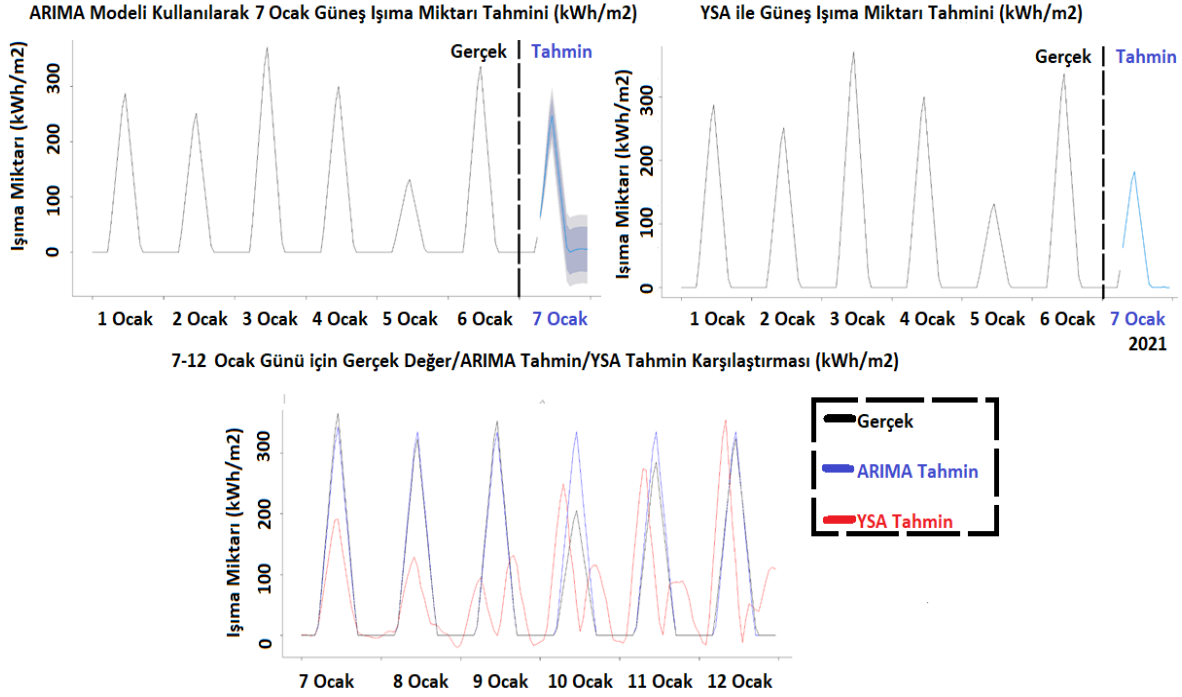
Şekil 8.7. AR ve MA modelleri kullanarak 1 günlük güneş ışıma miktarı tahmini

AR ve MA modelleri ile elde edilen tahminler, gerçek veriden çok farklı sonuçlar doğurmuştur. Daha gelişmiş model olan ARIMA ve YSA modellerinde ise sadece iki günlük veri seti kullanarak tahminde bulunulmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu modeller için daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlayan ekonometrik program olan “R” modelleme kullanılmıştır. İlk önce ARIMA modeli çalıştırılmıştır. Belirlenen adım sayısına göre en optimum çözümü veren tahmin miktarı ortaya çıkarılmıştır. Şekil 8.8. içinde mavi olarak gözüken çizim optimum ARIMA çizgisini vermektedir. Diğer gri alanlar ise alternatif ve duyarlılık çerçevesini yansıtmaktadır. YSA modelinde ise, aynı şekilde iki günlük gerçek verilerden yararlanarak 3.gün için öngöründe bulunulmuştur. Her iki model sonucunda elde edilen grafik gerçek değerle karşılaştırılmıştır. İlgili grafikler aşağıda verilmiştir.



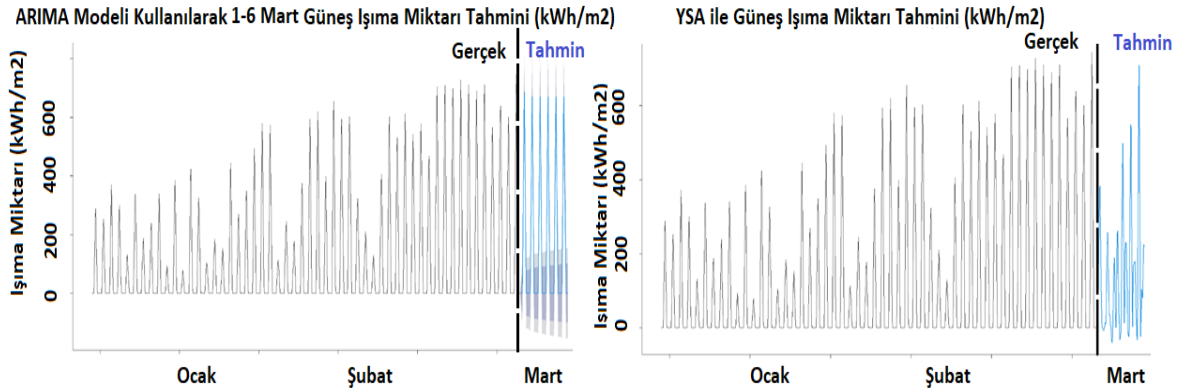
Şekil 8.8. ARIMA, YSA kullanarak güneş ışıma miktarı tahmini ve karşılaştırması

Daha sonra, 6 günlük veri kullanılarak 7.gün için güneş ışıma miktarı için tahminde bulunulmuştur. Yine ARIMA ve YSA modeller için “R” modelleme programıyla çalışma yapılmıştır. 1 günlük veri elde ediminden sonra, 6 günlük veri elde edimi ve tahminler yapılmıştır. Çalışma sonuçları ve gerçek durum karşılaştırmaları Şekil 8.9. içinde gösterilmiştir.



Şekil 8.9. ARIMA, YSA kullanarak güneş ışıma miktarı tahmini ve karşılaştırması

Son olarak yılın ilk 2 ayı olan Ocak ve Şubat aylarındaki gerçekleşmiş veriler kullanılarak, Mart ayının ilk 6 günü için güneş ışıma miktar öngörülerinde bulunulmuştur. Şekil 8.10. içinde, ilgili çalışmalar ve sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 8.10. ARIMA, YSA kullanarak güneş ışıma miktarı tahmini ve karşılaştırması

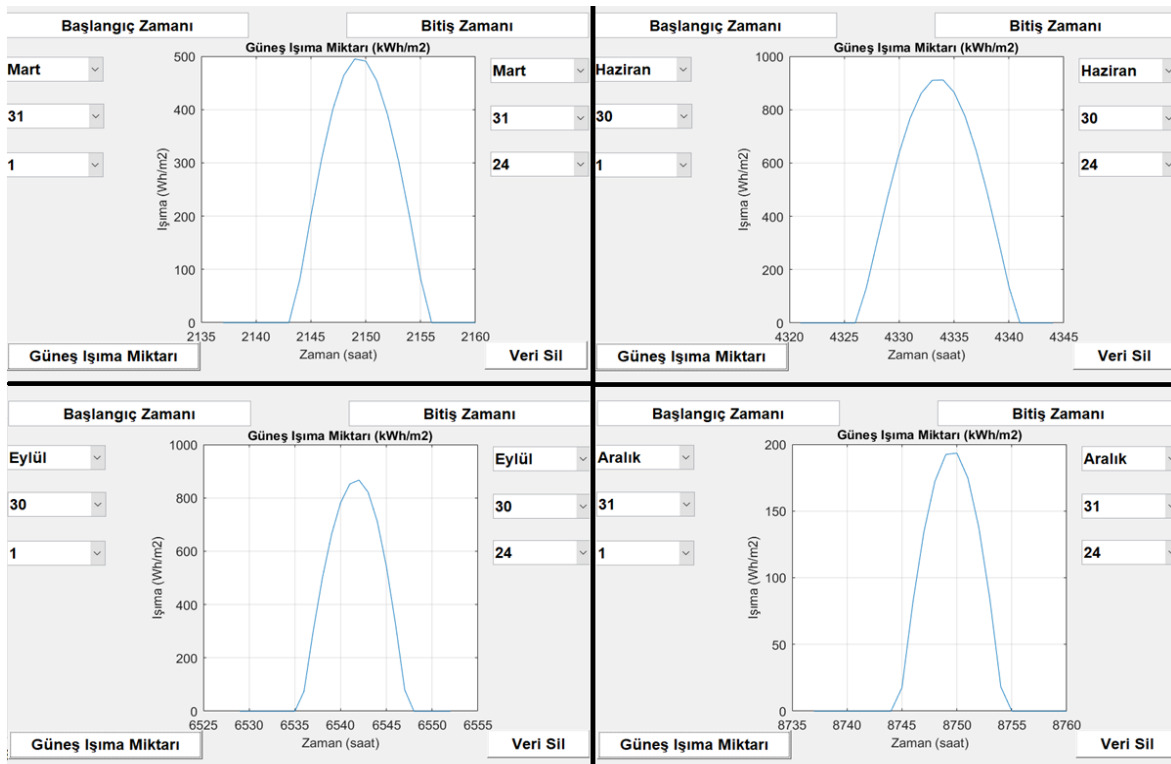
Ampirik model, yapay sinir ağı ve ekonometrik gelişmiş model olan ARIMA modelleriyle karşılaştırıldığında;

- Birebir saatlik güneş ışıma miktarına ihtiyaç duymaması, günlük verileri kullanarak saatlik bazda veri elde edilebiliyor olması
- Günlük bazda dünyanın herhangi bir noktasındaki güneş ışıma miktarını, kolayca açık kaynaklardan elde edilebiliyorken, koordinat bazlı saatlik güneş ışıma miktar verisine ulaşımın çok zor olması
- Gerçek değerlerle yüksek korelasyon sağlanması
- ARIMA ve YSA gibi uzun süreli veri girişine ihtiyaç duymaması
- ARIMA ve YSA gibi sadece kısa dönemli tahminlerde değil uzun dönemli tahminlerde de gerçeğe yakın öngörülerin elde ediliyor olması

Öne çıkan özelliklerinden dolayı, güneş ışıma miktarı öngörülerinde ampirik model kullanılmasına karar verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, MATLAB gui programı kullanarak gün, ay, yıl veya istenen herhangi bir zaman dilimindeki ışıma miktarını görüntüleyebilmek için arayüz oluşturulmuştur. Bu arayüz kapsamında yapılan çalışmalardan örnek teşkil etmesi açısından Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarından temsili bir gün seçilerek, Şekil 8.11. içinde gösterilmiştir. Yıl içindeki güneş ışıma miktarı değişimleri, başlangıç ve bitiş zamanları arayüzde belirlenerek, istenen ay, gün ve saat aralıklarında elde edilebilmektedir. Tasarlanan arayüz yardımıyla, belirlenen zaman dilimleri için analizler yapılabilmekte ve güneş ışıma miktarı değişimleri gözlenebilmektedir.

Işıma miktarı elde edildikten sonra önceki bölümlerde açıklanan matematiksel model ve algoritmaya uygun olarak güneşten elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. Güneş ışıma miktarı hesaplanmadan önce yine Denizli ili/Acıpayam ilçesinde bulunan bir GES tesisinin enerji üretim rakamlarıyla, önerilen yöntemle elde edilen enerji miktarı karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemi test etmek için mevcut GES tesisinde kullanılan panellerin teknik özellikleri baz alınmıştır. Mevcut GES tesisinde Yingli Solar marka 250 Watt gücünde polikristal PV paneller kullanılmaktadır. PV panellerin teknik özelliklerini içeren kılavuzlarında (datasheet) standart test (STC-Standard Test Condition) ve nominal çalışma güneş hücresi (NOCT-Nominal Operating Cell Temperature) koşullarındaki ölçüm sonuçları yer almaktadır. PV panellerden elde edilebilecek güç miktarı temel olarak, ışıma ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Teknik spesifikasyonlarda, bir birim sıcaklık değişimine karşı akım ve gerilimde meydana

gelen değişimler de yer almaktadır. Seçilen PV panelinin STC ve NOCT değerleri girildikten sonra, Acıpayam ilçesi için saatlik bazda meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak, akım ve gerilimin elde edeceği değerler tespit edilmiştir. Tespit edilen akım ve gerilim değerleri birbiri ile çarpılarak, güneş enerji sisteminden elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. Gerçekleşen üretimle karşılaştırılınca yaklaşık olarak %86 oranında yüksek bir bağlantı elde edilebildiğinden, diğer bölgelerde de söz konusu yaklaşımın kullanılabileceği kabul edilmiştir. Buna göre ilgili HES tesisleri sahasına yönelik güneş ışıma miktarı tespitinde yukarıda özet şekilde anlatılan yol kullanılarak hesaplama yapılmıştır.



Şekil 8.11. Farklı aylardaki bir günlük güneş ışıma miktarı öngörülürü

Nehir tipi HES tesisleri büyük oranda yağışlara bağımlıdır ve su depolama imkanı bulunmamaktadır. Bu bağımlılıktan ötürü her sene elde edilen enerji üretimlerinde ciddi farklılıklar meydana gelebilmektedir. Eğer ele alınan HES tesisi, uzun zamandır çalışıyorsa ortalama enerji üretim miktarı, gerçekleşen üretimlerin ortalaması olarak alınabilir. Ama ilk defa devreye girecek veya gerçekleşen üretim miktarları birkaç yıldan ibaret olan tesislerde regülatör alanlarında varsa akım gözlem istasyonları (AGİ) verileri, yoksa en yakın bölgede bulunan AGİ verileri, yağış drenaj alanları doğrultusunda regülatör bölgesine gelen su akımları hesaplanmalıdır. Ayrıca, bu tesisler uzun süre faaliyette kalması planlanarak inşa

edildiklerinden, can suyu miktarları, mansap su hakları ve membada yapılması planlanan içme ve sulama planlamaları hesaplara dahil edilmelidir. HES tesisinin proje karakteristikleri de göz önünde bulundurularak üretebileceği enerji miktarı hesaplanmaktadır. Proje karakteristiklerinin içine, tesisin su depolama hacmi, kullanılan elektromekanik ekipmanların güç eğrisi ve çalışma koşulları gibi parametreler dahil olmaktadır. Söz konusu tesis, sulama amaçlı yapılan bir regülatörden su akımlarını almaktadır. Regülatör, DSİ ve sulama birliği tarafından yönetilmekte olup, sulama dönemi dışındaki zamanlarda su tutmakta ve sulama dönemi için su biriktirmektedir. Dolayısıyla, HES tesisi sulama dönemi dışında, ilgili regülatörden savaklanan veya taşkın olarak adlandırılan regülatör kapasitesinin üstünde olan suları alarak üretim yapabilmektedir. Tesis, sulama dönemi olan Mayıs-Ekim aylarında kanaldan iletilen suyun debisinden yararlanamamaktadır. Bu noktada 7 500 metre uzunluğu bulunan kanal kapasitesi önem kazanmaktadır. Her ne kadar kanaldan temin edilen su, sadece taşkın döneminde aktif olsa da, proje debisi olan $11,11 \text{ m}^3/\text{sn}$ olduğu da düşünüldüğünde yaklaşık 85 bin m^3 kadarlık bir depolama hacmi söz konusu olmaktadır. Bu da HES tesisinin yaklaşık 2 saat boyunca tam kapasitede elektrik üretimi yapabileceği anlamına gelmektedir. Enerji yönetimi açısından bu depolama kapasiteleri çok önemlidir. HES ve GES tesislerinin üretim kapasiteleri üst üste bindiği zaman, yönetilebilir enerji depolama alanları, üretim projeksiyonlarına esneklik sağlayıp, optimum enerji üretimlerinde etkili olacaktır.

HES ve GES tesisleri birbirini tamamlayan enerji üretim profillerine sahiptir. İlkbahar aylarında yağışların fazla olması hidro elektrik tesislerinin üretim seviyelerini olumlu etkilerken, güneş enerjisinden elde edilecek enerji miktarını tam tersi şekilde etkilemektedir. Aynı şekilde, yaz aylarında güneş enerjisinden elde edilebilecek enerji miktarı yüksek seviyelere ulaşabiliyorken, hidro elektrik tesisleri genelde olumsuz etkilenmektedir. GES ve HES tesislerinin birbirini tamamlayan bu özelliği, GHE diye ifade edilen ve diğer hibrit yapılardan daha uyumlu bir enerji yönetimi sağlanmasına yol açmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji tesislerinin birbirinden çok farklı karakteristikleri bulunmaktadır. HES tesisleri ile hibrit bir yapı oluşturulmak istendiğinde, GES tesisleri dışında kalan yenilenebilir enerji tesislerinin doğal olarak daha düşük bir potansiyel barındırmaktadır. HES tesisleri ile birlikte aynı sahada kurulacak tesislerin GES tesisi olma sebebi olarak, her yerde güneş kaynağından yararlanabiliyor olması, kolay kurulum, kurulu kapasitede ihtiyaca göre dizayn edebilme esnekliği, düşük bakım onarım ve tabi ki GES ve HES tesislerinin birbirinin enerji açığını tamamlama kabiliyetleri gösterilebilir. Denizli ili Acıpayam ilçesinde bulunan bu HES tesisi için kanal üstü GES tesisi kurgulanarak

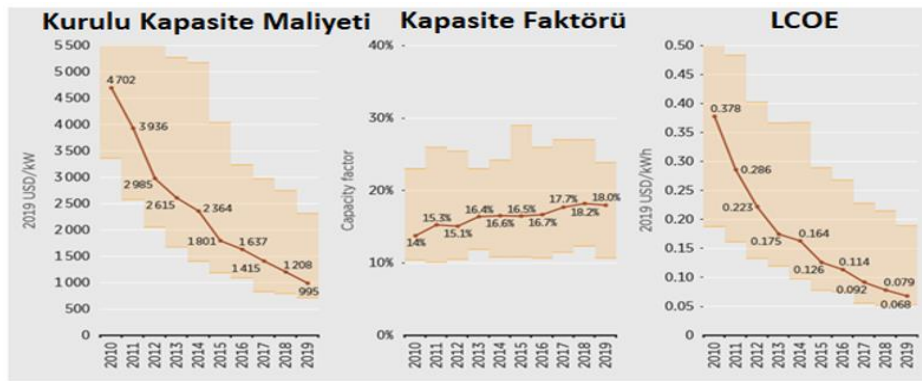
SHE yapısı tasarımı yapılmıştır. HES tesisi için enerji yönetimine yönelik 3 temel senaryo çalışılmıştır;

- Uzun yıllar ortalamasına göre
- HES tesisinin en yüksek kapasite ile ürettiği duruma göre
- Mevcut gerçekleşen son yıl üretimlerine göre

Çalışma sonucunda uzun yıllar su verisi ortalamasına göre GHE yapısı belirlemenin en optimum ve HES tesisi yapısına uygun yöntem olacağına karar verilmiştir. HES tesisinin en yüksek kapasite ile ürettiği veya mevcut yıldaki üretimle elde edilen elektrik enerjisi üretim miktarlarının çalışmada yer alması yanıltıcı olacaktır. En yüksek kapasite ile çalışma yapıldığında, her sene bu düzeyde bir üretim gerçekleşemeyeceğinden, kurulması planlanan GES tesisi, trafo kapasitesi aşılamayacağından atıl kalacaktır. Mevcut durum veya gerçekleşen 1 yıllık üretimler dikkate alındığında da yine büyük sapmalar olması mümkündür. Çünkü, HES tesislerinden enerji elde edilmesi büyük oranda meteorolojik verilere ve yağışlara bağlıdır. Yıldan yıla çok ciddi farklılıklar ortaya çıkabilir. Özellikle yağışlara bağımlılığın çok yüksek olduğu tesislerde yıldan yıla birbirinden çok farklı üretimler görülmesi oldukça olasıdır. Bütün bu gerekçelerden ötürü, SHE entegrasyon tesisi modellemesinde, HES tesislerinin uzun yıllar ortalaması baz alınarak, güneşten elde edilebilecek tesis yatırımı kurgulanmıştır. HES tesisinin enerji üretimi yukarıda belirtilen çerçevede tespit edildikten sonra, GES tesisi için temel kısıtlar dikkate alınarak döngü parametreleri belirlenmiştir.

HES tesisinin maliyeti bilinmektedir. Yaklaşık 4,6 milyon USD tutarında maliyetle inşa edilmiştir. Solar enerji tesisi içinde Watt başına bir maliyet kabul edilmiştir. Son yıllarda özellikle GES yatırım maliyetini etkileyen en önemli yatırım unsurları olan PV panel ve evirici (inverter) fiyatlarında çok ciddi düşmeler yaşanmıştır. Piyasa fiyatları irdelendiğinde, 2010 yılından 2019 yılı sonuna doğru ortalama güneş enerji santral kurulumu 4 702 000 USD/MW seviyelerinden 995 000 USD seviyelerine düşmüş, ayrıca yıldan yıla teknoloji, kalite ve verimlilik parametrelerinde ciddi iyileşmeler yaşanmıştır [250]. Aynı durum eviriciler içinde söz konusudur. GES tesislerinde yapılan yatırımların maliyetinin yaklaşık olarak %50 kadarlık kısmı PV panellerine aittir. Çalışmada IRENA tarafından hazırlanan 2019 yılı yenilenebilir enerji maliyetleri isimli çalışmadan yararlanılmıştır. IRENA, özellikle yenilenebilir enerji türünde oluşturulabilecek işbirlikleri, çalışma platformları, yenilenebilir enerji istatistikleri gibi

konularda yayınlar yapan uluslararası bir organizasyondur. Yayınlanan 2019 yılına ait raporda, maliyetlerde devam eden bir düşme trendi olduğundan, bu trend aynı oranda devam ettirilmiş, 2019 yılına ait olan 995 bin USD/MW tutarındaki GES tesisi yatırım maliyeti, güncel durumda MW başına 820 bin USD tutarında olacağı kabul edilmiştir. Şekil 8.12. içinde 2010-2019 yılları arasında, Dünya ölçeğinde gerçekleşen ortalama kurulu kapasite fiyatları, kapasite faktör oranları (kapasite kullanım oranları) ve LCOE (levelized cost of electricity) olarak geçen elektrik üretim birim maliyetleri verilmiştir [250].



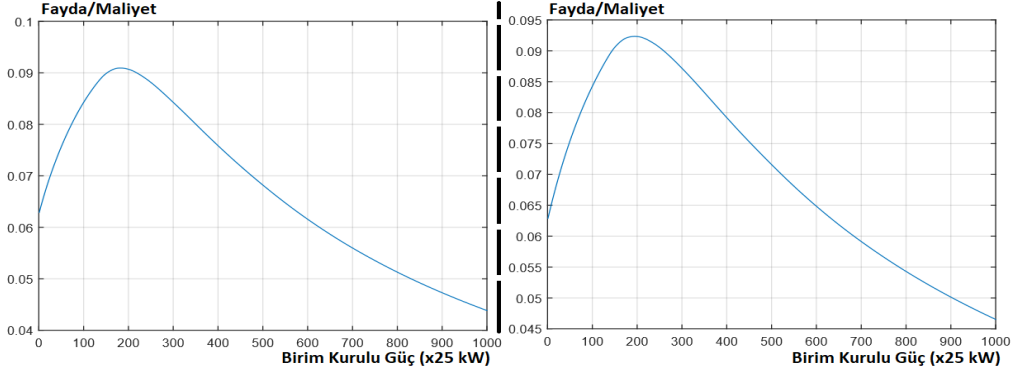
Şekil 8.12. Güneş enerji tesisleri kurulu kapasite maliyeti, kapasite faktörü, LCOE [250]

USD para birimi daha global bir hesap yapabilmek için kullanılmıştır. Panel olarak 250 Watt kapasiteli paneller kullanılmıştır. En fazla üretime karşılık maliyetin en düşük kaldığı nokta güneş ve hidrodan oluşan GHE enerji modellemesinin yapılabileceği en uygun noktayı göstermektedir. Ayrıca söz konusu tesis YEKDEM mekanizmasından faydalanan bir tesis olduğu için, kWh başına 7,3 USDcent tutarında elektrik satış fiyatı dikkate alınmıştır. MATLAB kullanılarak algoritma döngüsü çalıştırılmıştır. Su verileri için uzun dönemli olanlar seçilmiştir. Kendi içinde de 2 senaryo çalışılmıştır;

- Suyu depolayarak düzenli su verisi ile üretim
- Su depolanmadan düzensiz su verisi ile üretim

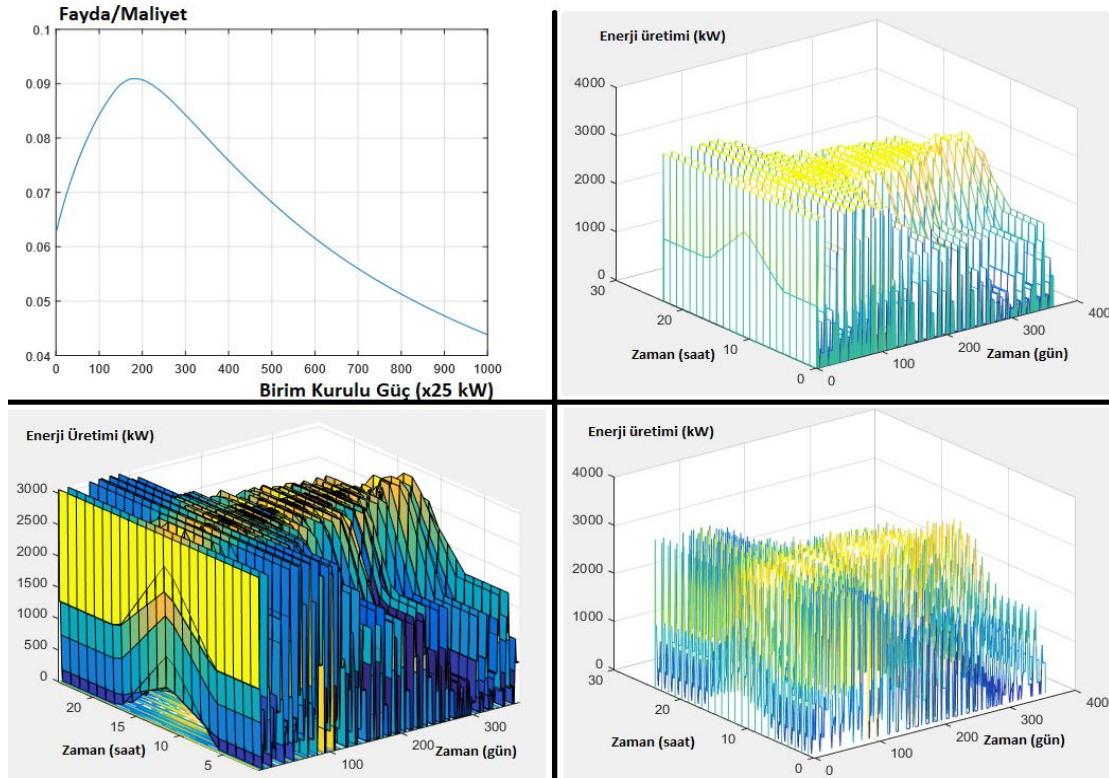
Kısıtlar da göz önünde bulundurulduğunda her bir adımı 25 kW kurulu panel gücüne denk gelen ve toplamda 1 000 adımda döngüsünü tamamlayan bir yapı tasarlanmıştır. HES için herhangi bir depolama imkanı bulunmadığı varsayılarak, gelen su verisinin kullanıldığı durumda 142.adım, mevcut durumda bulunan ve tam kapasitede 2 saat depolama imkanı veren senaryoda ise 175.adımın en uygulanabilir solar enerji tesisi büyüklüğünü verdiği tespit edilmiştir. Bu

sayede 3,065 MW HES tesisi üzerinde 4,875 MW solar enerji tesisi kurulabilmektedir. Aşağıda döngüyü sağlayan MATLAB grafiği verilmiştir.



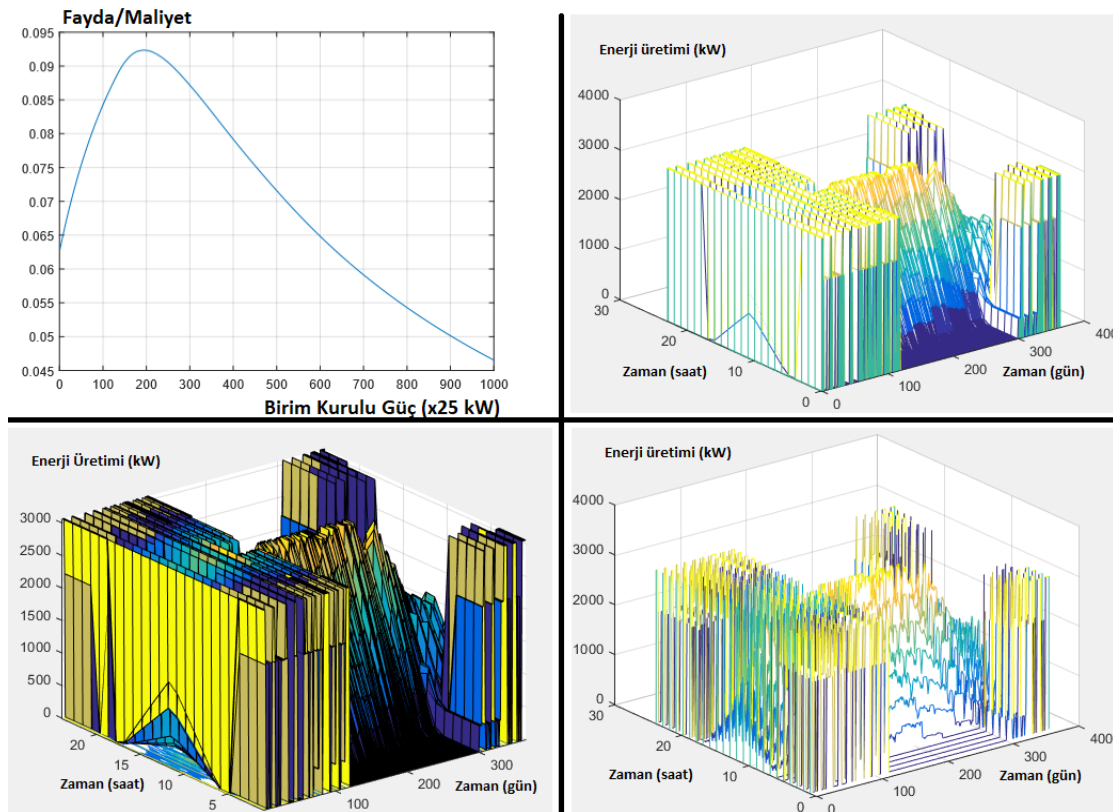
Şekil 8.13. GHE sistemi fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği

Su depolama imkanı bulunmayan vaka senaryosunda, döngünün 182.adımına göre HES tesisine entegre şekilde yaklaşık 4,55 MW kurulu gücünde GES tesisi kurularak, GHE hibrit enerji tesisi kurulumu mümkündür. Şekil 8.14. içinde, fayda/maliyet yaklaşımı ile elde edilen optimizasyon noktası grafiği ve bu yapı ile elde edilebilecek enerji üretimlerinin MATLAB program grafikleri verilmiştir.



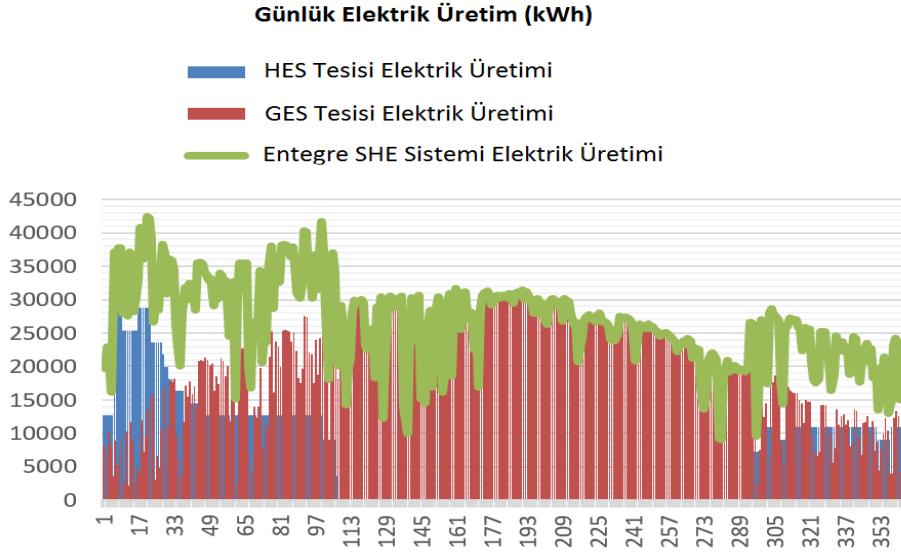
Şekil 8.14. Düzensiz su verilerine göre hesaplanan birim kurulu güç ve üretim grafikleri

Mevcut durumda ciddi büyüklükte bir sulama kanalı ve depolama alanı söz konusudur. Depolama alanının olması, Güneşten elde edilebilecek enerji miktarını artırıp, SHE hibrit entegrasyonundan maksimum seviyede fayda sağlanmasını kolaylaştıracaktır. Düzenli su verileri ele alınırken, olabildiğince güneşten enerji üretilebilen gündüz saatleri dışında, üretim yapmaya imkan sağlayan gece saatleri HES tesisi üretimi için seçilerek, hibrit yapının enerji üretim potansiyeli artırılmıştır. Bu esneklik olmadığı durumda, kurulacak olan yardımcı güneş tesisinin kapasitesi 4,55 MW olarak gerçekleşmektedir. Ama gelen suyu düzenli hale getirerek elde edilen enerji ile yaklaşık %7 daha fazla olacak şekilde 4,875 MW kurulu kapasitede yardımcı hibrit tesisi kurmak mümkün olmaktadır. Bu kapasite artışı da doğrudan üretilecek enerji miktarını artırmaktadır. Dolayısıyla bu vaka için düzenli depolama durumuna göre yapılan çalışma tercih edilmiştir. Düzensiz ve düzenli su verileri arasında nispeten az fark olması, HES tesisinin mevcut durumda düşük kapasite kullanım oranlarında çalışması gösterilebilir. Şekil 8.15. içinde, fayda/maliyet yaklaşımı ile elde edilen optimizasyon noktası grafiği ve bu yapı ile elde edilebilecek enerji üretimlerinin MATLAB programı sonuç grafikleri verilmiştir.



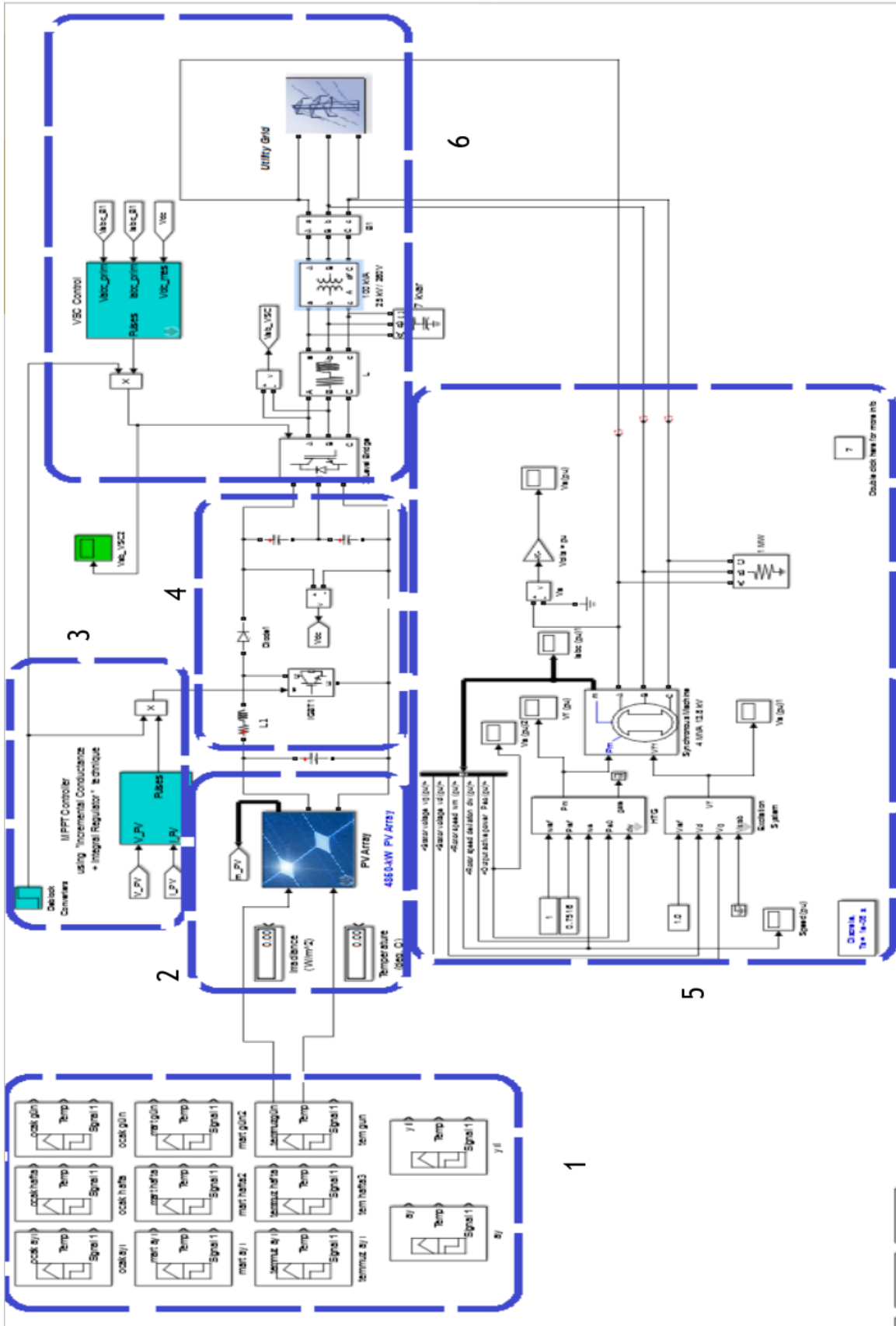
Şekil 8.15. Düzenli su verilerine göre hesaplanan birim kurulu güç ve üretim grafikleri

Mevcut HES tesisi uzun yıllar ortalamalar dikkate alındığında, %14,7 kapasite kullanım oranıyla çalışabiliyorken, modellenen SHE tesisi yıllık ortalama yaklaşık %43 kapasite kullanım oranını yakalamaktadır. Şekil 8.16. içinde, HES, GES ve GHE sisteminin günlük elektrik üretim miktarları verilmiştir.



Şekil 8.16. HES-GES-Entegre SHE sistemi yıl içinde günlük elektrik üretim miktarı

Sonuç olarak; daha önce hazırlanan algoritma kapsamında, mevcut çalışan veya yeni tasarlanacak HES tesisi üzerinde kurulacak GES tesisinin optimizasyonu MATLAB ile yapılabilmektedir. MATLAB programı içine yazılan döngüler sayesinde, algoritmada belirtilen ve matematiksel modeli çıkartılan uygulamalar değerlendirilebilmektedir. Yapılan vaka çalışmasında 3,065 MW kurulu güce sahip HES tesisi için 4,875 MW kurulu güce sahip GES tesisinin kurulmasının uygun olacağı ortaya çıkmıştır. Bu sonuçtan sonra MATLAB Simulink yardımıyla SHE hibrit sistemi tasarlanmıştır. Sistem Simulink üzerinde oluşturulmadan önce ana yapılar oluşturularak şablon çizilmiştir. Yapılan şablonda Hidroelektrik ve güneş enerji tesisleri AC baralar üzerinden birbiriyle bağlanarak entegrasyon sağlanmış ve şebekeye bağlanmıştır. Çalışma 4,875 MW güneş 3,065 MW hidroelektrik tesisi için yapılmıştır. Şekil 8.17. içinde, ana hatlarıyla sistem modeli verilmiştir. Bir (1) numaralı çerçevede ısıma ve sıcaklık verileri, iki (2) numaralı çerçevede güneş paneli verileri, üç (3) numaralı çerçevede MPPT (Maximum Power Point Tracking-Maksimum Güç Noktası Takibi) kontrolörü, dört (4) numaralı çerçevede DC/AC dönüştürücü (inverter), beş (5) numaralı çerçevede hidro verileri, altı (6) numaralı çerçevede ise şebeke verilmiştir.



Şekil 8.17. MATLAB Simulink GHE sistem tasarımı

Algoritma adımları kullanılarak, MATLAB veri tabanı ve döngüsel değerlendirme sonucunda entegre SHE tesisinin kurulu gücü tespit edilmektedir. Kurulu güç bulunduğundan sonra ise MATLAB Simulink kullanarak elde edilen kurulu güçteki GES ve HES tesisleri beraber modellenerek entegre SHE yapısı oluşturulur. Gerçek ışıma değerleri ve sıcaklıklar Ocak-Mart-Temmuz ayları için gün/hafta/ay şeklinde eklenmiştir. Ayrıca yıl içindeki ay ve gün ortalaması da çalışmalar için oluşturulmuştur. GES kurulu gücü belirlenirken mevcut HES tesisinin üzerine ne kadar büyüklükte bir GES tesisi kurulması gerektiğine yönelik çalışması yapılmıştır.

Modelde HES tesisini temsilen senkron model kullanılmıştır. Birbiriyle de uyumlu olması adına diğer parametreler, güneş enerjisi elektrik parametrelerine uygun olarak seçilmiştir. Çizelge 8.2. içinde önerilen HES tesisinin parametreleri tablo içinde verilmiştir. Söz konusu HES parametreleri MATLAB programı içindeki gömülü parametrelerdir. Modelleme yapılırken kurulu güç seçilmiş, diğer parametreler sistemden alınmıştır.

Çizelge 8.2. MATLAB HES model parametreleri

Nominal Güç (VA) / Gerilim (V)	3.065 / 25.000
Reaktanslar [X_d X_d' X_d'' X_q X_q' X_q'' X_l] (pu)	[1,305 0,296 0,252 0,474 0,243 0,18]
Zaman Sabitleri [T_d T_q' T_q'']	[1,01 0,053 0,1]
Stator rezistansı (pu)	2,8544e-3
Frekans (Hz)	50

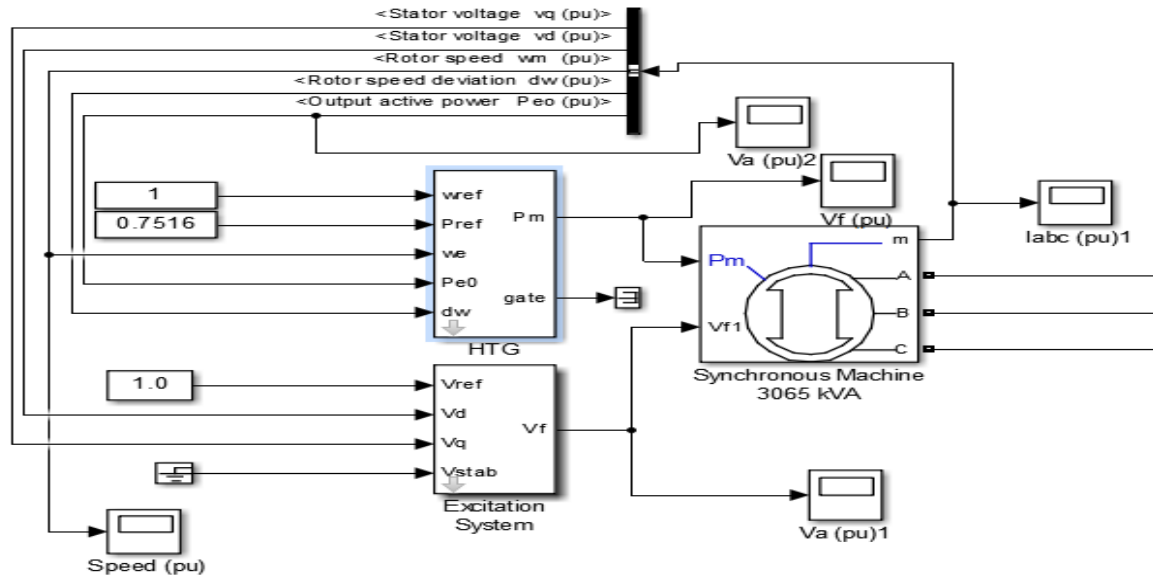
GHE enetegrasyonu içinde kullanılacak GES tesisi verileri belirlenirken, MATLAB programı içinde hali hazırda yer alan PV panelleri ve parametreleri dikkate alınmıştır. PV panel olarak SunPower markasının SPR-305-WHT modeli tercih edilmiştir. Tercih edilen modelin bazı teknik özellikleri Çizelge 8.3. içinde verilmiştir;

Çizelge 8.3. MATLAB Simulink GES model parametreleri

Marka	Sun Power	Maksimum Güçte Akım Imp (A)	5,58
Model	SPR-305-WHT	Voc'nin sıcaklık katsayısı (V/deg.C)	-0,177
Açık Devre Gerilimi Voc (V)	64,2	Isc'nin sıcaklık katsayısı (A/deg.C)	0,003516
Kısa Devre Akımı Isc (A)	5,96	Vmp'nin sıcaklık katsayısı (V/deg.C)	-0,186
Maksimum Güçte Gerilim Vmp (V)	54,7	Imp'nin sıcaklık katsayısı (A/deg.C)	-0,00212

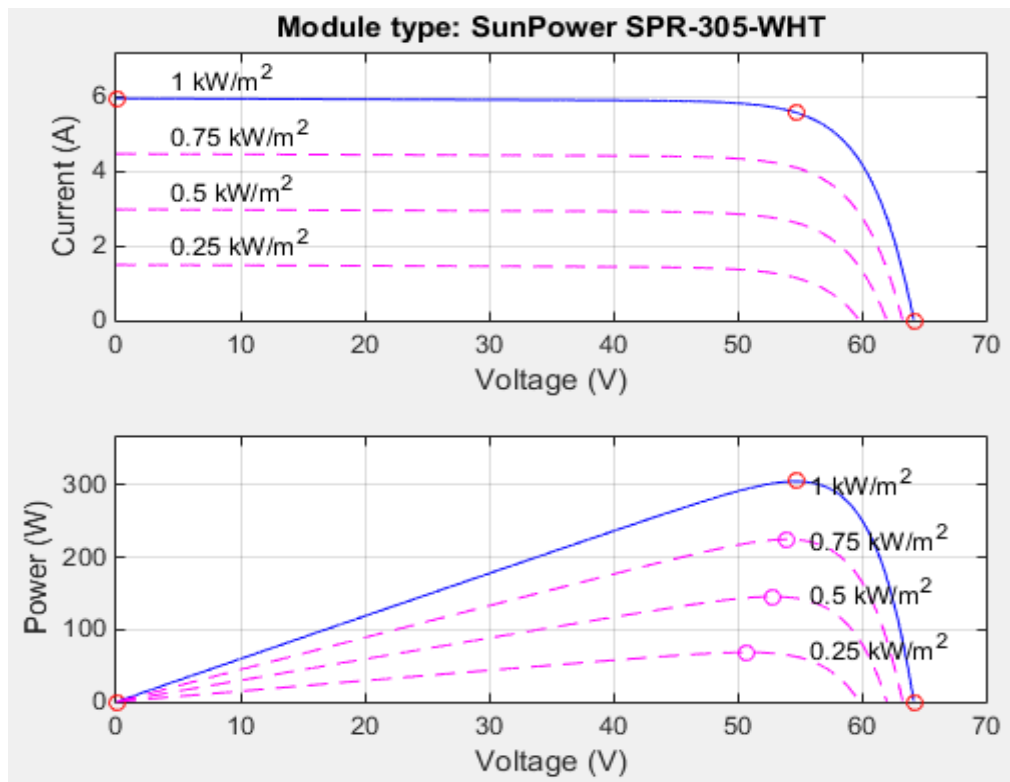
HES sistemi ana iki bölümden oluşmaktadır. İlk kısım hidro türbin jeneratör (HTG) diye adlandırılan kısım, ikincisi ise senkron makineye uyartım yapan (excitation system) kısımdır.

Bu model MATLAB Simulink içinde paket program dahilinde sunulmakta olup, alt sistem detayları aşağıda gösterilmiştir.



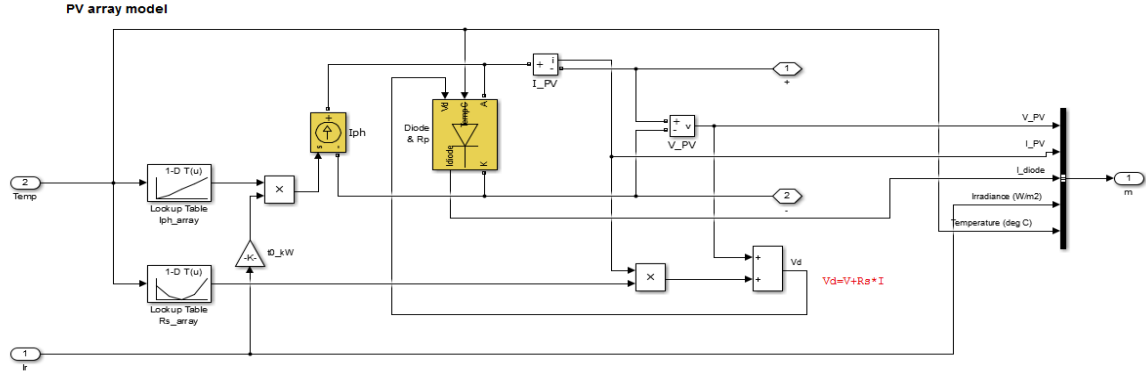
Şekil 8.18. MATLAB Simulink HES tesisi gösterimi

MATLAB programı içinde yer alan SunPower marka SPR-305-WHT model PV panelin akım-gerilim ve güç grafikleri aşağıda verilmiştir.



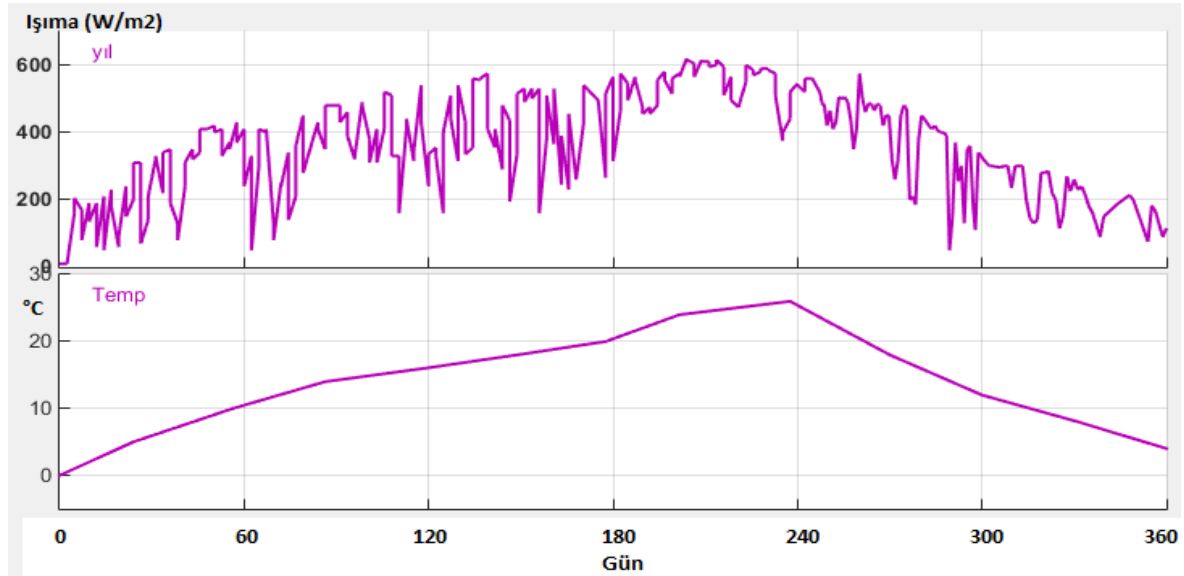
Şekil 8.19. MATLAB PV model güç, akım ve gerilim karakteristiği

MATLAB Simulink içinde söz konusu PV tesisin alt modeli paket program olarak sunulmuştur. Çizelge 8.3. içinde belirtilen parametreleri kapsayan paket program yapısı aşağıda verilmiştir.



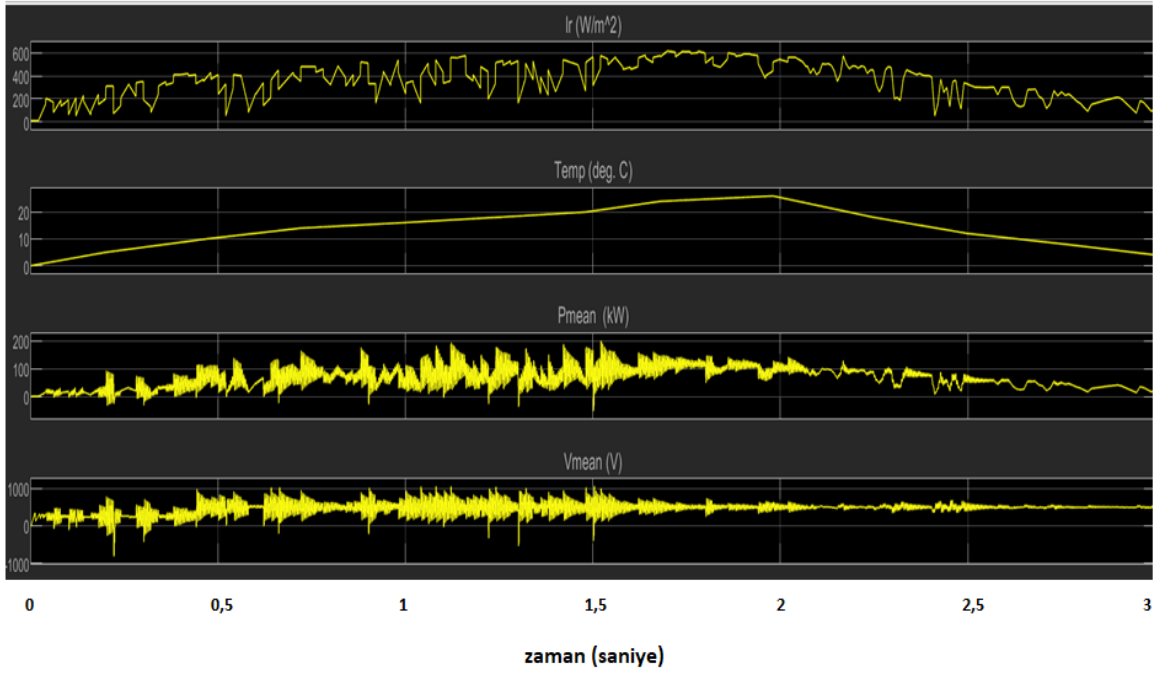
Şekil 8.20. MATLAB PV array model gösterimi

Şekil 8.20. içinde MATLAB Simulink alt model için belirlenen 1 ve 2 numaralı girişler, güneş ışıma miktarı ve sıcaklık verileri yıl bazında sağlanmıştır. Güneş ışıma miktarları daha önce anlatılan metodoloji ile ortalama sıcaklık ise meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Aşağıda ilgili verilerin giriş grafiği verilmiştir.



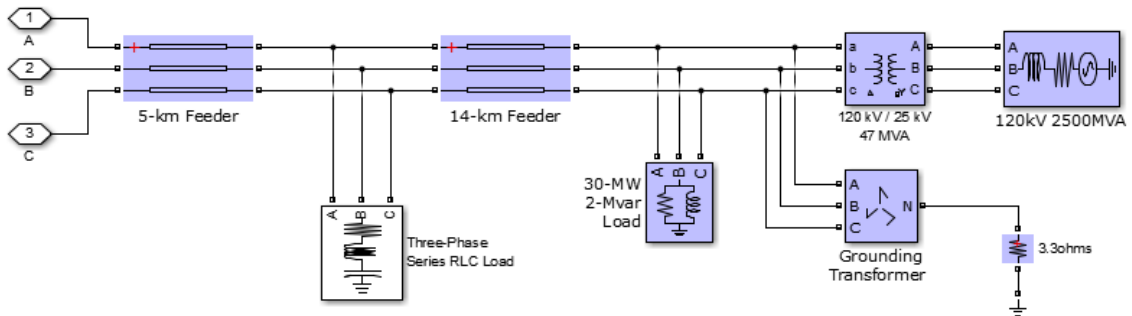
Şekil 8.21. MATLAB Simulink güneş ışıma ve sıcaklık giriş sinyalleri

MATLAB Simulink programı çalıştırıldıktan sonra elde edilen güç, gerilim ve yine giriş verileri Şekil 8.22. MATLAB grafiklerinde gösterilmiştir. Yapılan çalışmada veri sayısı ve yoğunluğunun fazla olması sebebiyle, bir yıl 3 saniye içinde gerçekleşiyormuş gibi temsili bir değerlendirme yapılmıştır.



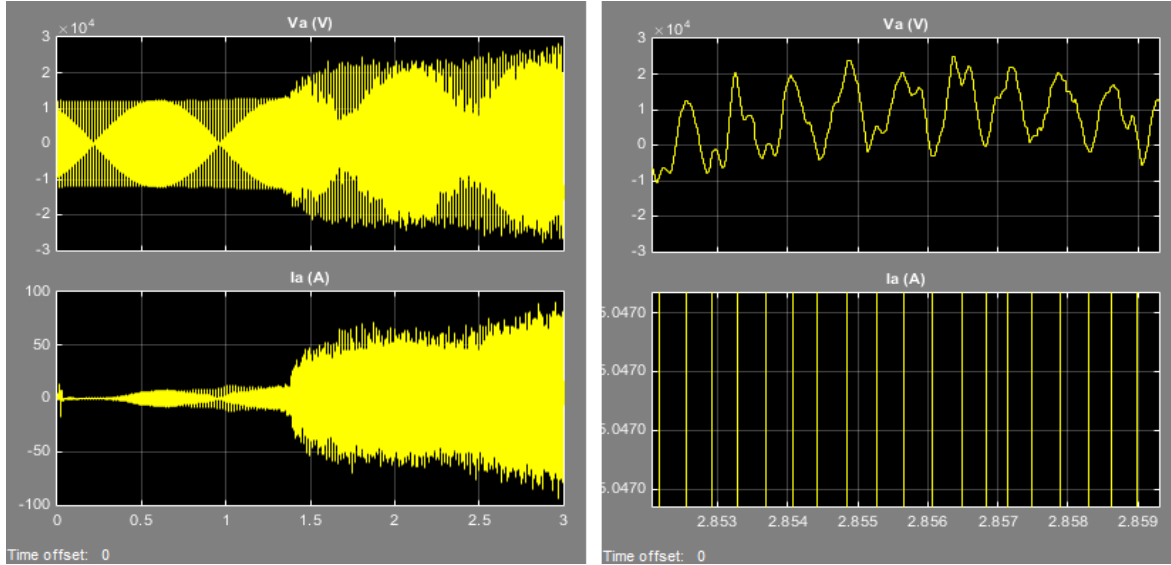
Şekil 8.22. Bir yıllık ışıma ve sıcaklık ortalaması değerleri (temsili 3 saniye)

PV dizilerinin çıktılarını optimize etmek için MPPT kullanılmıştır. Kullanılan model MATLAB Simulink içerisinde de kayıtlı olan 'Incremental Conductance + Integral Regulator' tekniğiyle yapılmıştır. Sistemde RL devresi ($R=0,005$ ohm ve $L=5000$ H) ve IGBT devresi kullanılmıştır. VSC konvertörü voltaj seviye dönüşümleri için kullanılmaktadır. VSC kontrol sisteminde 2 döngü kullanılmaktadır: birincisi harici bir bağlantıdır ve DC link voltajını ± 250 V seviyesine düzenler, döngü ise I_d ve I_q şebeke akımlarını düzenleyen döngüdür. Aktif ve reaktif akım- I_q 0(sıfır) olarak düzenlenmiştir. V_d ve V_q , PWM kullanılarak dönüşümlerini sağlar. Kontrol sistemi 100 mikrosaniye kullanılmaktadır. Kapasitör Bankası, VSC tarafından oluşan harmonikleri filtrelemek için kullanılmıştır. ENH yük ve üretimle de uyumlu olarak uzunluk seçilmiştir. Aşağıda MATLAB Simulink içinde gösterilen şebeke yapısının alt detayı sunulmuştur.



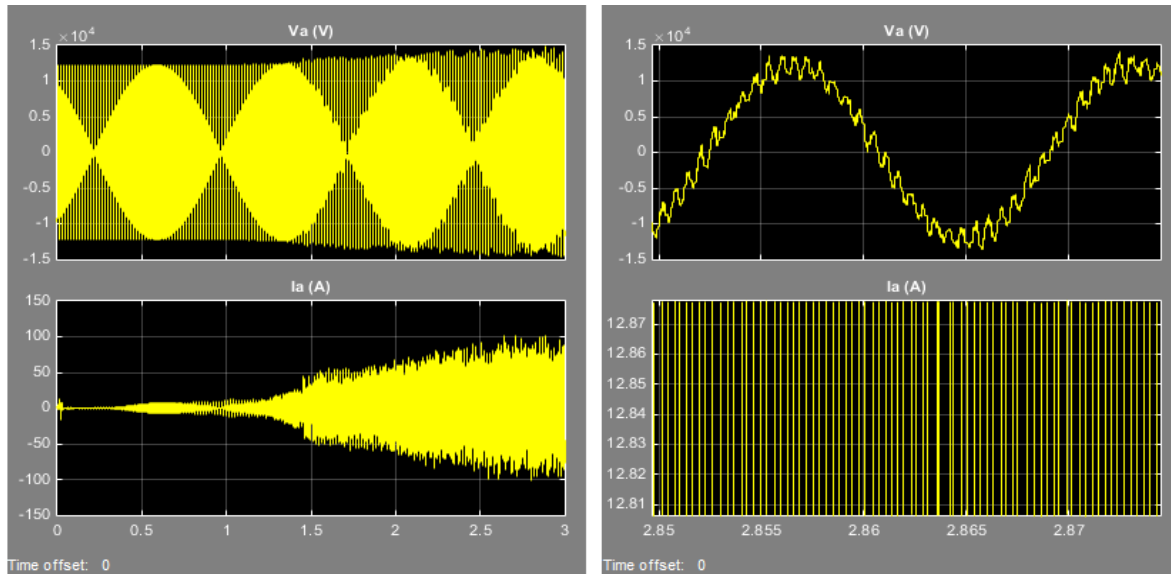
Şekil 8.23. MATLAB Simulink şebeke altyapı gösterimi

MATLAB Simulinkte hazır bulunan bu şebeke yapısı, önerilen sistemle kullanıldığında, elde edilen gerilim değerlerinde bozulmalar gerçekleşmektedir. 15 MVA, 1500 MVA ve 15 MW kullanıldığında elde edilen akım ve gerilim grafiği aşağıda verilmiştir;



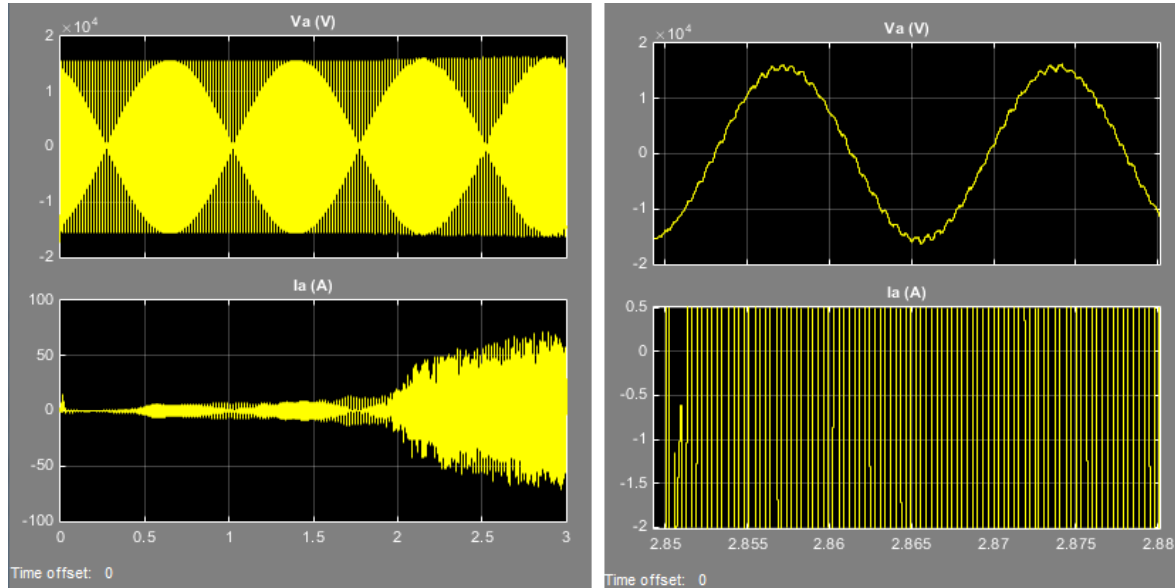
Şekil 8.24. MATLAB Simulink şebeke gerilim ve akım grafikleri

Şekilde özellikle 1,5 saniyeden sonra harmonik bozulmaların meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bu durumu düzeltmek için ilk etapta ENH ve fider bağlantı uzunlukları düşürülmüştür. İlgili uzunluklar 1 km ve 2 km olarak güncellendiklerinde aşağıda verilen akım-gerilim grafiği elde edilmiştir;



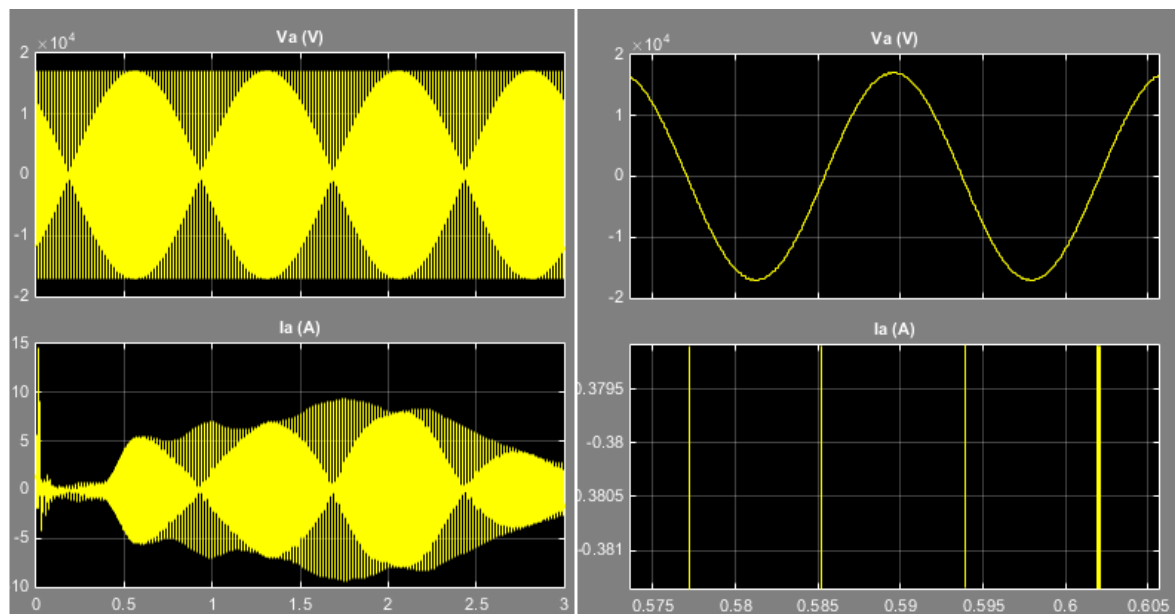
Şekil 8.25. MATLAB Simulink şebeke gerilim ve akım grafikleri

Önerilen çerçevede güçler 47 MVA, 30 MW ve 2500 MVA olarak uygulandığında Şekil 8.26. elde edilmektedir.



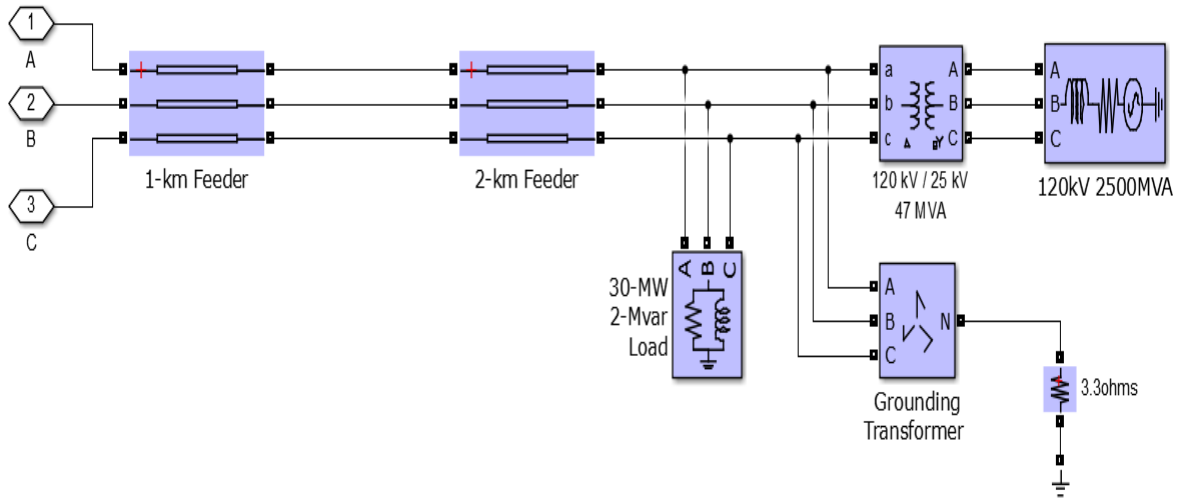
Şekil 8.26. MATLAB Simulink şebeke gerilim ve akım grafikleri

Son olarak RLC filtre de kaldırılmış olup Şekil 8.27’de verilen akım-gerilim grafiği elde edilmiştir. Buna göre harmonik bozulmaların olmadığı gerilim elde etmek mümkün olmuştur. MATLAB çalışmasında ayırık mod(discrete mode) kullanılmış olup, bir yıl süresi temsili olarak 3 saniye içerisine sığdırılmıştır.



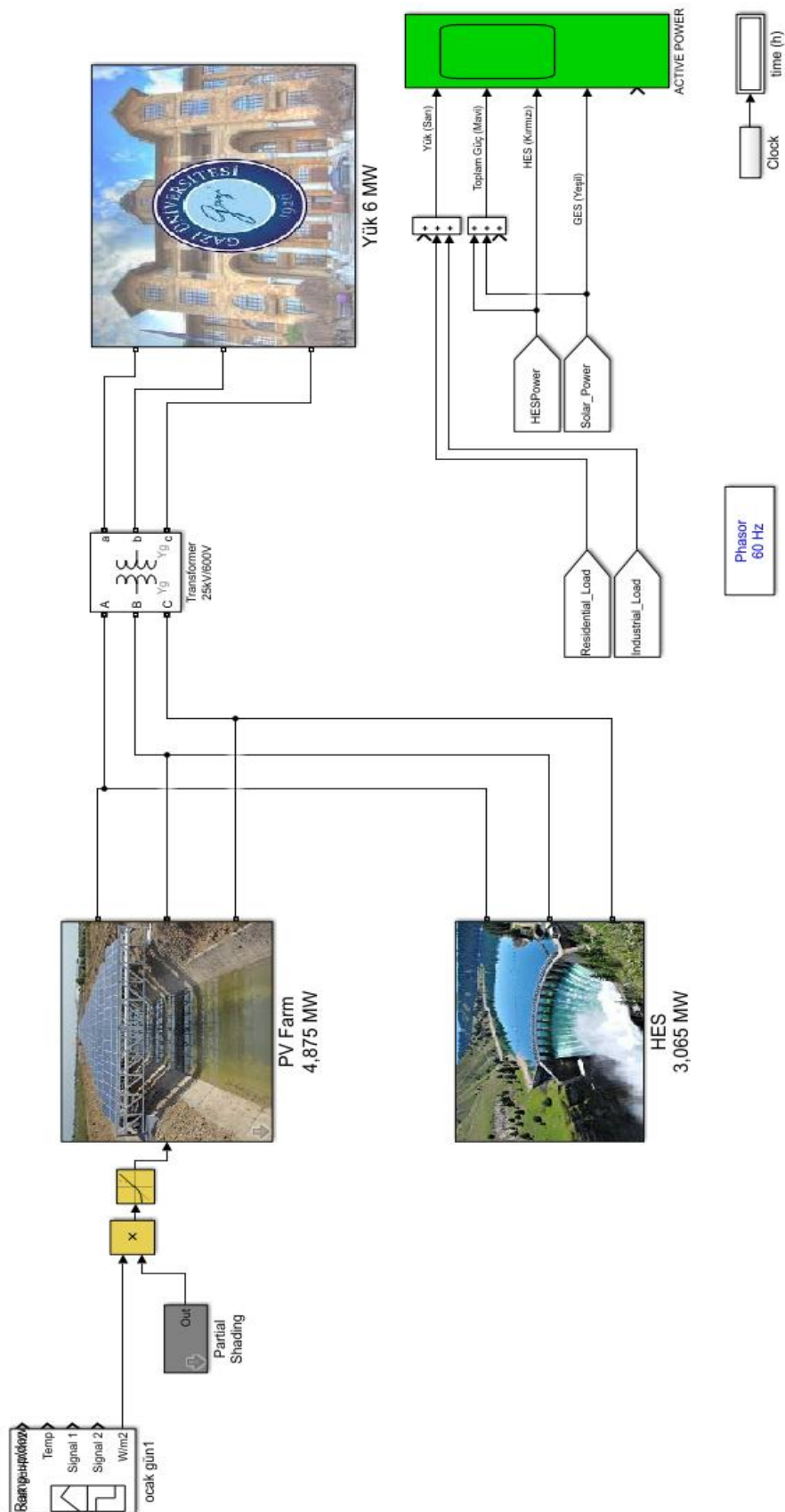
Şekil 8.27. Önerilen SHE sistemi ve V-I değerleri

Nihai kullanılan şebeke yapısı Şekil 8.28.'de sunulmuştur.



Şekil 8.28. Önerilen MATLAB Simulink şebeke gösterimi

Zaman kısıtını aşmak için fazör(phasor) mod ile de çalışma yapılmıştır. Fazör mod aynı anda daha fazla verinin bir arada değerlendirilmesine imkan sağlamaktadır. Şekil 8.29.'da önerilen fazör mod MATLAB Simulink modeli gösterilmiştir.

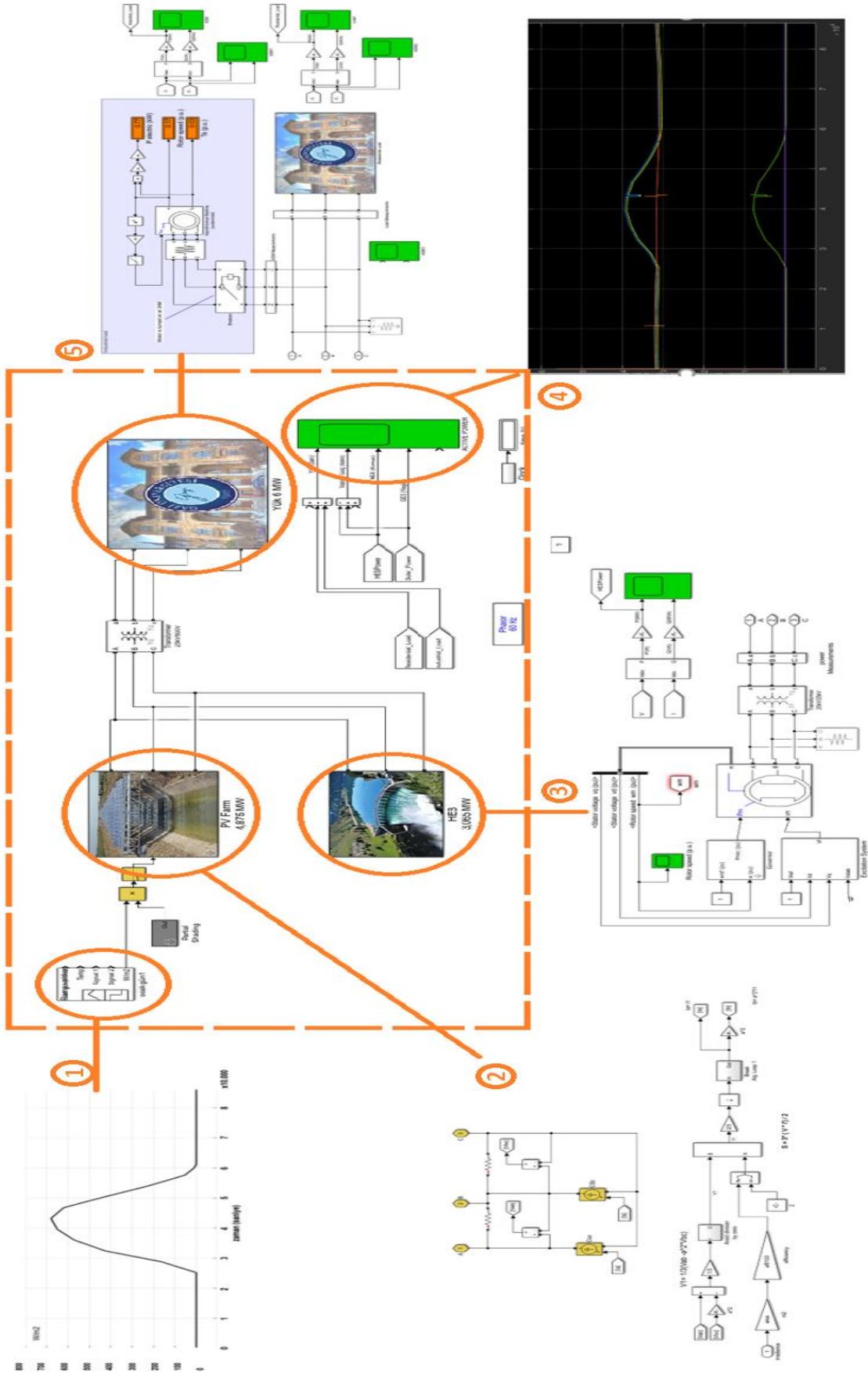


Şekil 8.29. MATLAB Simulink GHE sistem tasarımı (Fazör mod)

Tasarlanan mikro şebeke yapısı 2 temel unsurdan oluşmaktadır;

- Yenilenebilir Enerji Bloğu
- Mikro şebeke

Yenilenebilir enerji bloğu kaynak olarak güneş ve hidroelektrikten yararlanmaktadır. Güneş enerjisi santralinde üç faktör çok önemlidir. Bu tesisin kapladığı alan, kullanılan güneş enerjisi panellerinin verimliliği ve ısıma miktarıdır. Isıma miktarı 24 saat boyunca, her bir saniyeye karşılık gelen toplam 86 400 ısımadan oluşmaktadır. Sisteme enerji verilirken gündüz saatlerinde olabildiğince güneş enerjisinden yararlanarak, yük karşılanmaya çalışılmaktadır. Yük, konut yükü ve endüstriyel yükten oluşmaktadır ve senkron bir motordan meydana gelmektedir. Konut yükü önceden sisteme tanımlanmış olan ve belirli bir güç faktörüne sahip tüketim profilini takip etmektedir. Şekil 8.30. içinde bu tasarlanan çalışmanın her bir parçasının ayrıntılı gösterimi sunulmuştur. Fazör modu (Phasor mode), diğer mod gösterimleri olan ayrık (discrete) ve sürekli moda (continous) kıyasla daha çok veriyi daha kısa sürede analiz yapma imkanı sunmaktadır. Fazör mod (Phasor mode) daha büyük adımlarla analiz gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. MATLAB Simulinkte ayrık mod (discrete mode) kullanarak ayrıca SHE model simülasyonları da hazırlanmıştır. Bu hazırlıklarda fazör (phasor mode) içeriğindeki gibi gerçek zamanlı veri girişinden ziyade daha kısa zaman limitli (toplam 3 saniye) ama daha küçük adım aralıkları yer almıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerde de SHE sisteminin tamamlayıcı etkisi ve enerji üretimi üzerindeki verimliliği gözler önüne serilmektedir. Ayrıca bu sistem tasarımı enerji yönetim planlaması için altyapı imkanı vermektedir. Çalışmadaki alt detaylar, güneş ısıma miktarları, HES tesisinin çalışma altyapısı, GES tesisinin çalışma altyapısı, tüketim ve şebeke kısmının alt yapısı ile elde edilen güç ve tüketim dengesi olarak ifade edilebilir. Tüketimi karşılayacak bir üretim yapısı kurgulandığından değerler birbiriyle uyumlu şekilde hareket etmektedir. Aşağıda sunulan şekilde bir (1) numaralı çerçevede ısıma ve sıcaklık, iki (2) numaralı çerçevede güneş paneli verileri, üç (3) numaralı çerçevede hidro verileri, dört (4) numaralı çerçevede ölçüm ekranı, beş (5) numaralı çerçevede ise şebeke verileri verilmiştir.



Şekil 8.30. MATLAB Simulink GHE sistem tasarımı (Fazör mod)

MATLAB Simulink Fazör modda 1 günlük (toplam 86 400 veri) güneş ışıma miktarı çalıştırıldıktan sonra, saatlik (toplam 8 760 veri) bazda elde edilen güneş ışıma miktarı uygulanmıştır. Toplam 8 760 veriden oluşan ışıma dosyası, güneş enerjisi modeline bağlanarak, yıl boyu saatlik bazda sonuçlar elde edilmiştir.

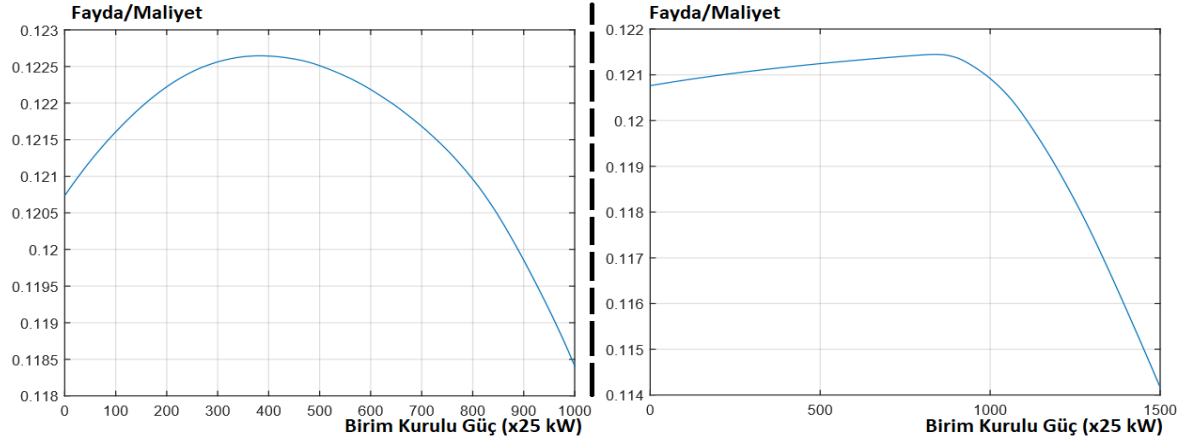
Vaka Çalışması 2

İki numaralı vaka çalışmasında, Tokat ili, Reşadiye ilçesinde bulunan 18,777 MW kurulu gücündeki bir HES tesisi ele alınmıştır. Söz konusu HES tesisinin yaklaşık olarak 1 100 000 m³ hacminde su depolama imkanı bulunmaktadır. Bu depolama alanı proje debisi 10 m³/s olan tesis için tam kapasitede yaklaşık 30 saat aktif hacim depolama sağlayabilmektedir. Önerilen algoritmalar göz önünde bulundurularak uzun yıllar debi değerleri dikkate alınmıştır. Bir önceki vaka çalışmasında mevcut HES tesisinin düşük kapasite kullanım oranı yüzünden, su verilerinin düzenli olup olmamasının etkisi görülememiştir. Bu vaka çalışmasında ise mevcut HES tesisinin %30'u aşan kapasite kullanım oranı olmasından ötürü, düzenli su verilerinin önemini ortaya koyması beklenmektedir. Mevcut HES tesisine ait proje karakteristikleri aşağıda verilmiştir;

Çizelge 8.4. HES tesisi proje karakteristikleri

İli	Tokat
İlçesi	Reşadiye
Kurulu Gücü (MW)	18,777
Trafo Bağlantı Kısıtı (MW)	18,777
Proje Debisi (m ³ /s)	10
Proje Düşüsü (m)	223,38
Öngörülen Enerji Üretimi (kWh/yıl)	52.937.283
Kapasite Kullanım Oranı (%)	32,2

Bir önceki vakada uygulanan tüm algoritma adımları, bu vaka içinde birebir uygulanmıştır. Bir önceki vakada ele alınan, maliyetler, elektrik satış fiyatları, güneş ışıma metodolojisi ve diğer tüm kabuller aynı şekilde bu vaka çalışmasında da aynı şekilde olacağı kabul edilmiştir. Depolamalı ve depolamasız enerji üretimine bağlı olarak bir önceki algoritma neticesinde düzensiz su verileri ile 383.adım, düzenli ve enerji yönetimi yapılmış enerji verileri ile ise 836.adım en uygun GHE entegrasyonunu sağlayan GES tesisi kurulu gücünü vermektedir. Şekil 8.31. içinde ilgili MATLAB çıktıları ve karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 8.31. GHE sistemi en uygun fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği

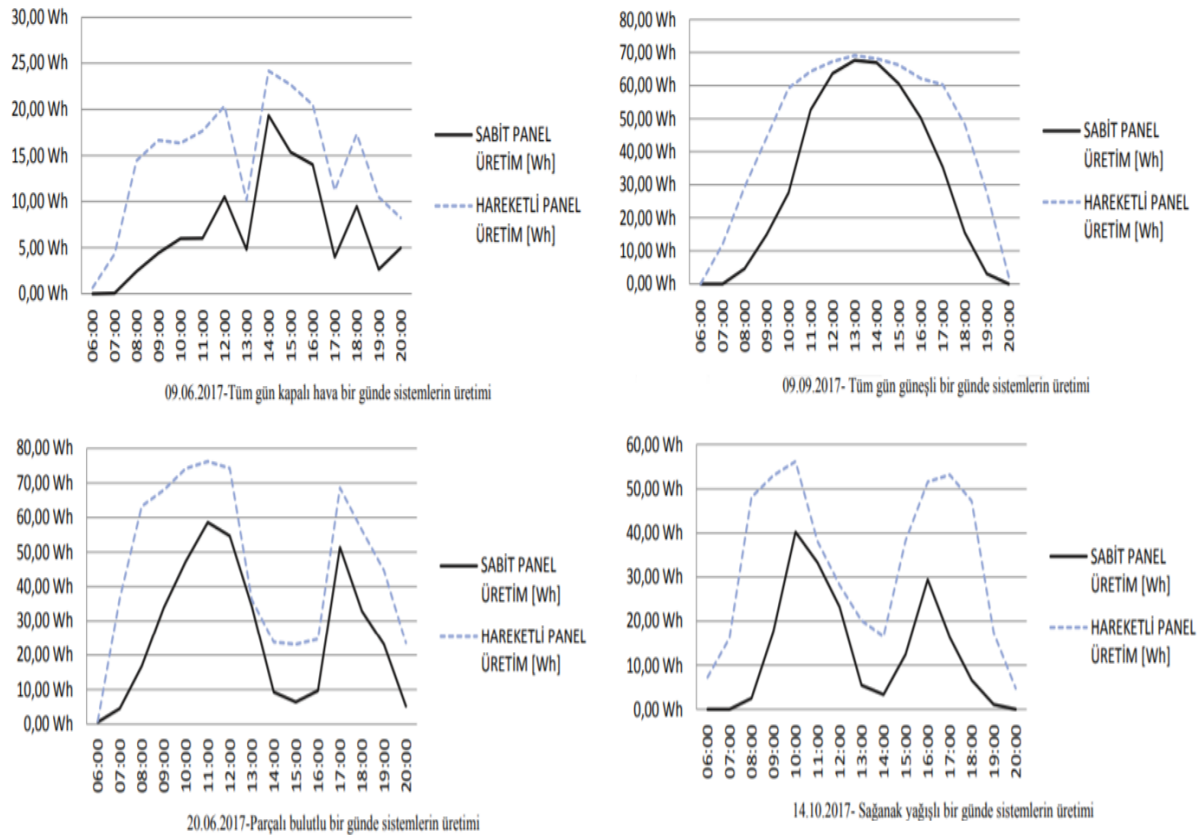
GHE tipi entegrasyonda, bir önceki vaka çalışmasında olduğu gibi kanal üstü, yükleme havuzu gibi yapılardan yararlanmaya ek olarak, göl alanı üzerinde de yüzer GES tesislerinin kurulması mümkündür. Yüzer santraller dubalar üstünde sabit bir açıyla yerleştirilmiş PV paneller olabileceği gibi, güneşi takip edebilen ve odaklayabilen yapılar şeklinde de olabilmektedir. Bu konuyla ilgili olarak yüzer PV panellerine yönelik araştırmalar yapılmıştır.



Resim 8.2. Vaka 2 google earth görüntüsü ve GHE entegre tesis uygun alanlar

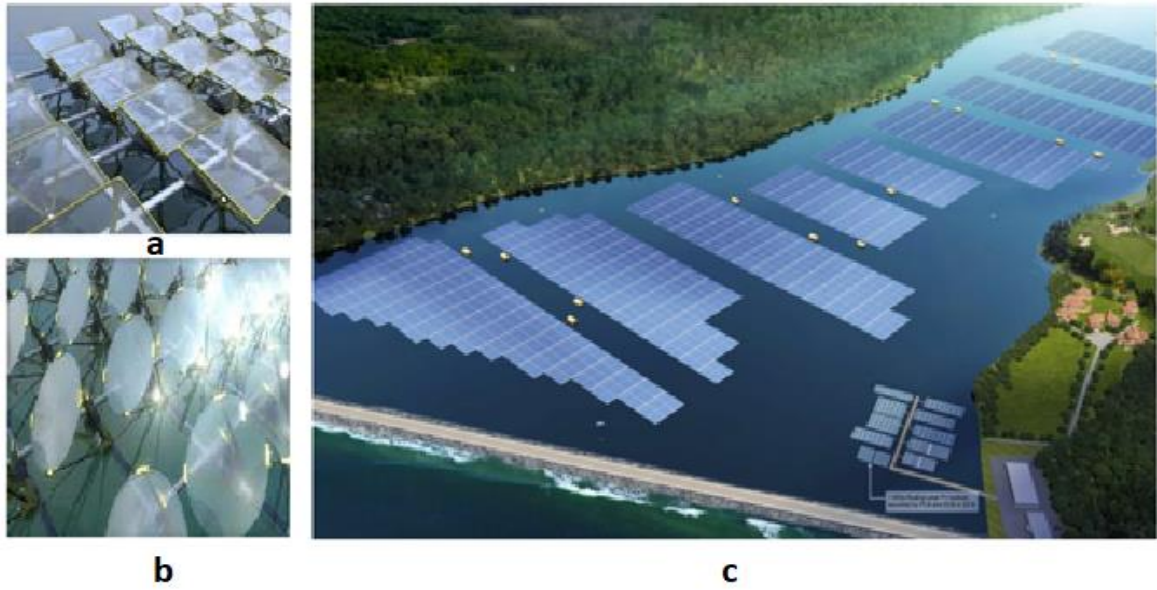
Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında “SHE (Solar-Hidroelektrik) Sistemine Uyumlu Fresnel Lens Odaklayıcı Panel Prototipi Tasarımı ve

Performans Karşılaştırması” isimli çalışma yapılmış ve 2018 yılında tamamlanmıştır. Bu konuyla ilgili bir makale hazırlanmış ve akademik bir konferansta sunumu gerçekleştirilmiştir. Özetle yapılan çalışma sonucunda PV panellerinin kolaylıkla su yüzeyinin üstünde de kullanılabileceği ve HES tesisi üretimine katkısının yüksek olacağı ortaya çıkmıştır. Regülatör ve baraj göl alanları özellikle su dalgalanmalarının az yaşanması sebebiyle yüzer santrallerin kurulumuna uygun alanlardır. Yukarıda verilen Resim 8.2 kapsamında vaka çalışmasına konu tesisin google earth görüntüsü ve yüzer GES santrali için uygun olan alanları gösterilmiştir. Göl alanlarının da sınırlı olabileceği durumlarda takip sistemleri iyi bir alternatif olmaktadır. Klasik sistemlerde genelde sabit sistem kullanılmakta, eğer takip sistemi kullanılacaksa da tek eksenli kullanılmaktadır. Ayrıca sistemlerin hiçbirinde güneş etkisi artırılmamaktadır. Odaklayıcı sistem sayesinde her zaman güneş takibi sağlanmakta ve güneş etkisini birkaç kat artırma şansı bulunmaktadır. Şekil 8.32. içinde Tırmıkçı tarafından yapılan deneysel sabit ve tek eksenli güneş takip sistemlerinin değişik hava koşullarındaki sistem üretim eğrileri verilmiştir [111].



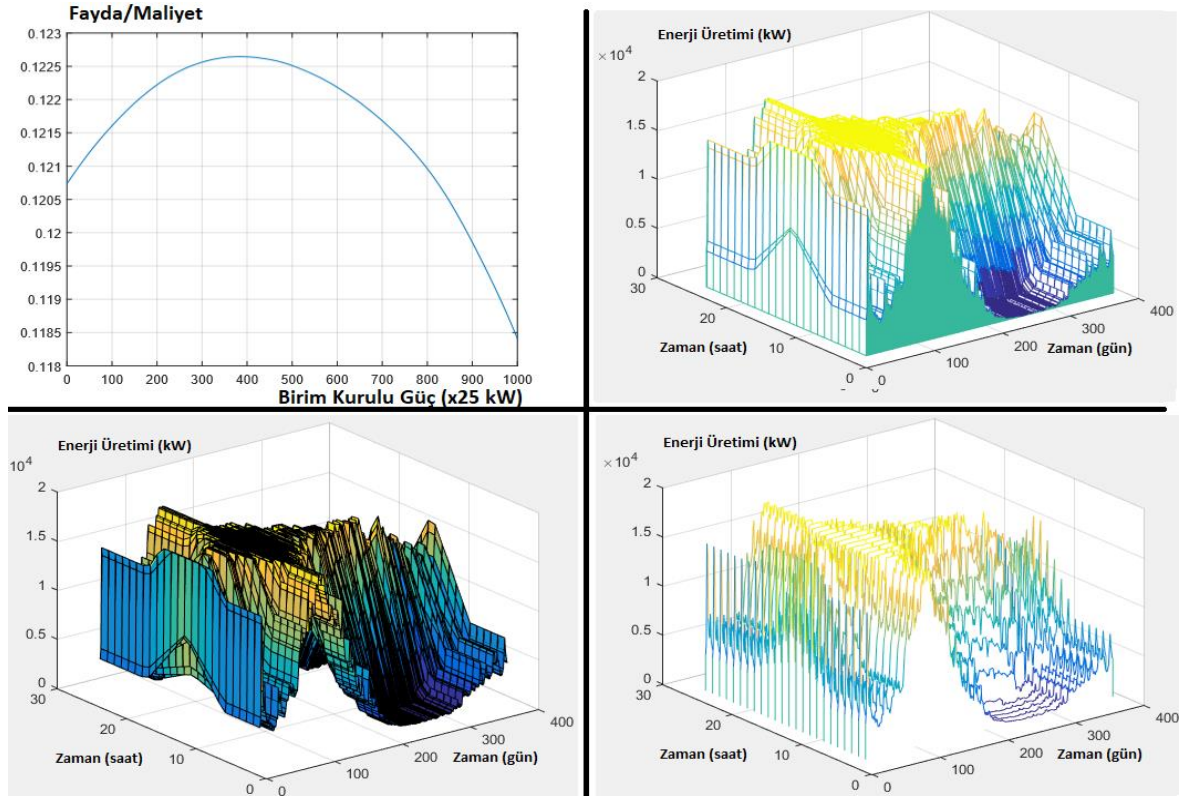
Şekil 8.32. Hava durumuna göre gerçek zamanlı sabit-hareketli güneş sisteminin üretim karşılaştırması [111]

Söz konusu Tirmıkçı tarafından yapılan çalışma ve ölçümlerde tüm gün güneşli olan zamanlarda klasik sabit sistemlere nazaran hareketli sistemlerde %10-20 aralığında daha fazla üretim, parçalı bulutlu veya yağışlı günlerde yapılan ölçümlerde ise klasik sabit sistemlere nazaran hareketli sistemlerde %20-40 aralığında daha fazla enerji üretilebileceği deneyimlenmiştir. Dünya’da da hızlı bir şekilde yüzer santrallere ilgi artmaktadır. Resim 8.3. içinde yeni nesil odaklayıcı ve hareketli sistem barındıran paneller ile klasik sabit sistem güneş paneli örnekleri gösterilmiştir.



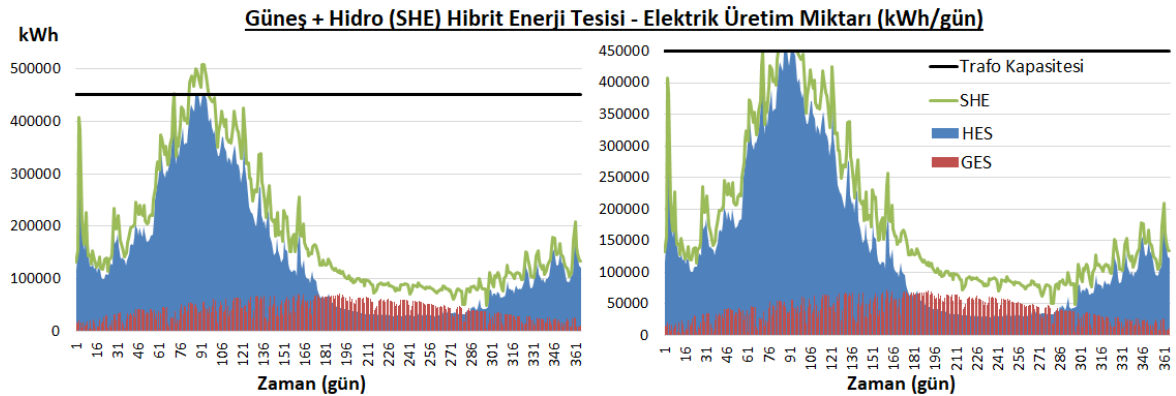
Resim 8.3. Odaklayıcı (a, b) yüzer güneş [254] ve klasik yüzer (c) güneş örnekleri [257]

Söz konusu HES tesisinin ciddi büyüklükte bir göl alanı bulunmaktadır. Bu alan depolama imkanı vermektedir. Resimde gösterilen odaklayıcı ve güneş takip sistemi barındıran güneş panelleri veya plastik dubalar üzerinde klasik güneş paneli kullanımı mümkündür. Yapılan çalışmada klasik ve sabit açılı güneş enerji panelleri kullanılacağı kabul edilmiştir. Mevcut HES tesisinin hem saha tipi hem de yüzer güneş enerji sistemleri için yeterli alanı bulunmaktadır. Depolama alanı olmadığı varsayımıyla yapılan çalışmada döngüde 383.adım ile 9,575 MW kurulu kapasitede SHE entegrasyonu için GES tesisi kurulabilmektedir. Şekil 8.33. içinde, algoritma sonucunda elde edilen en iyi kurulu güç noktası gösterilmiş ve enerji üretimlerinin olduğu grafikler verilmiştir.



Şekil 8.33. Düzensiz su verilerine göre hesaplanan kurulu güç ve üretim grafikleri

Mevcut HES tesisi, uzun yıllar ortalama su akım değerleri dikkate alındığında, 52 937 MWh elektrik enerjisi üretimi yapabileceği hesap edilmiştir. Bu üretimle beraber HES tesisinin kapasite kullanım oranı yaklaşık olarak %32,2 seviyelerinde olduğu belirlenmiştir. Su verileri, depolama esasına göre düzenlenmediğinde, uygulanabilecek GES tesisi kurulu gücü 9,575 MW olmaktadır. GES tesisinin bu kurulu güçte üretebileceği elektrik enerjisi üretim miktarı 14 922 MWh olarak hesaplanmıştır. Bu üretimle beraber GES tesisi kapasite kullanım oranı %17,8 olarak tespit edilmiştir.



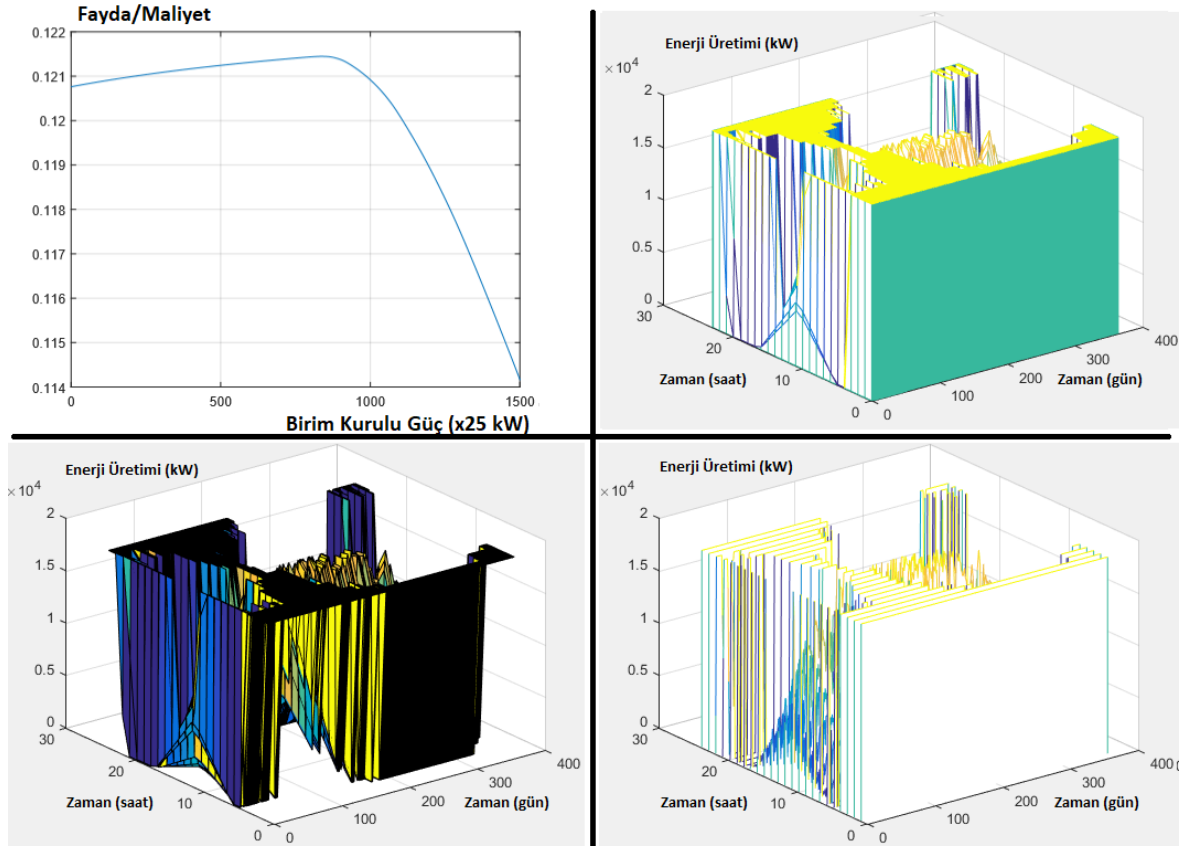
Şekil 8.34. HES, GES ve GHE sistemi elektrik üretim miktarı

Yukarıda HES, GES, Trafo kapasitesi ve önerilen GHE hibrit yapısının elektrik üretim karakteristiği verilmiştir. Yukarıda verilen grafik incelendiğinde, özellikle HES tesisinin yüksek kapasite kullanım oranları ile çalışmış olduğu ilkbahar ayları olan Mart, Nisan, Mayıs aylarında, trafo kapasitesinin aşılabildiği görülmüştür. Trafo kapasitesinin altında kalan GES tesisi elektrik üretim miktarı, 14 436 MWh olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda, yaklaşık olarak %3 (binde 3) kadar atıl elektrik üretim miktarı ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, su verilerinin düzenlenmediği ve gün içinde dağınık elektrik üretim miktarlarının olduğu senaryoda, GHE hibrit yapının toplam kurulu gücü 28,352 MW olmakta, bunun karşılığında toplam 67 373 MWh elektrik üretimi gerçekleştirebilmektedir. GHE entegre hibrit yapısıyla birlikte, tek başına %32,2 kapasite kullanım oranı olan mevcut HES tesisi, trafo bazındaki kapasite kullanım oranını yaklaşık olarak %41 seviyelerine kadar çıkarabilmektedir. Bu durum kendi içinde düşünüldüğünde, mevcut HES tesisi üretimlerinin ve bu tesisten alınan faydanın yaklaşık olarak %25 artması olarak değerlendirilmektedir.

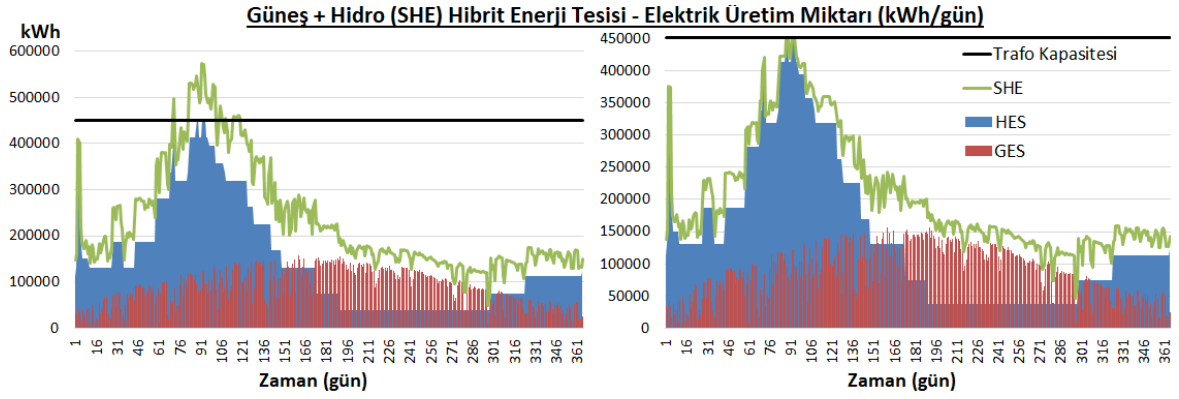
Mevcut durumda HES tesisi, su depolayabileceği yüksek bir göl hacmine sahiptir. Su verilerinin düzenlenmesi ile, gündüz saatlerinde güneş enerji sisteminden, gün ışığı olmayan zamanlarda ise hidroelektrik sistemden yararlanılarak enerji üretimi mümkündür. Ayrıca, göl alanı gibi su yüzeylerine güneş enerji sistemleri kurulabileceği gibi, inşai yapıların üzerine veya hidroelektrik enerji sistemi yapılarının yakınında bulunan uygun arazilere de güneş enerji sistem kurulumu yapılabilir.

Depolama yoluyla elde edilebilecek su verileri ile enerji yönetimini sağlanabileceği için, düzenli depolama durumu altında algoritma çalıştırıldığında, döngüde 836.adım ile 20,9 MW kurulu gücünde GES tesisi kurulması mümkün olmaktadır. Düzenli su verileri ile enerji yönetimi, düzensiz su verileri sonucundaki enerji üretimi karşılaştırıldığında, düzenli su verileri ile kazanılabilecek enerji miktarının çok daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Şekil 8.35. içinde, algoritma sonucunda elde edilen MATLAB optimizasyon noktası ve enerji üretimlerinin olduğu grafikler verilmiştir.



Şekil 8.35. Düzenli su verilerine göre hesaplanan kurulu güç ve üretim grafikleri

Mevcut HES tesisi, uzun yıllar ortalama su akım değerleri dikkate alındığında, diğer senaryoda da olduğu gibi 52 937 MWh elektrik enerjisi üretimi yapabileceği hesap edilmiştir. Su depolama ile su verilerin düzenlenmesi HES tesisinin elde edebileceği enerji miktarını artırmazken, enerji yönetimi ile entegre hibrit GHE tesisinin üretebileceği enerji miktarını etkilemektedir. Bu üretimle birlikte HES tesisinin kapasite kullanım oranı yaklaşık olarak %32,2 seviyelerinde gerçekleşmektedir. Su verileri, depolama esasına göre düzenlendiğinde, uygulanabilecek GES tesisi kurulu gücü 20,9 MW olmaktadır. GES tesisinin bu kurulu güçte üretebileceği elektrik enerjisi üretim miktarı 32 571 MWh olarak hesaplanmıştır. Bu üretimle birlikte GES tesisi kapasite kullanım oranı %17,8 olarak tespit edilmiştir. Aşağıda HES, GES, Trafo kapasitesi ve önerilen GHE hibrit yapısının elektrik üretim karakteristiği verilmiştir. Aşağıda verilen grafik incelendiğinde, özellikle HES tesisinin yüksek kapasite kullanım oranları ile çalışmış olduğu ilkbahar ayları olan Mart, Nisan, Mayıs aylarında, trafo kapasitesinin aşılabildiği görülmüştür. Trafo kapasitesinin altında kalan GES tesisi elektrik üretim miktarı, 22 359 MWh olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda, yaklaşık olarak %6,2 kadar atıl elektrik üretim miktarı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8.36. HES, GES ve GHE sistemi elektrik üretim miktarı

Sonuç olarak, su verilerinin düzenlendiği ve ağırlıklı olarak güneş enerjisinden yararlanmayacak gece saatlerinde mevcut HES tesisi üretiminin planlandığı senaryoda, GHE hibrit yapının toplam kurulu gücü 39,677 MW olmakta, bunun karşılığında toplam 75 296 MWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. GHE entegre hibrit yapısıyla birlikte şebekeye verilen elektrik miktarı kısıtından değerlendirildiğinde, tek başına %32,2 kapasite kullanım oranı olan mevcut HES tesisi, trafo kapasite kullanım oranını yaklaşık olarak %45,8 seviyelerine kadar çıkarabilmektedir. Mevcut HES tesisi üretimlerinin ve bu tesisten alınan faydanın düzenli su verisi ile düzensiz su verisi karşılaştırıldığında, yaklaşık olarak %42 arttığı değerlendirilmektedir. Ayrıca bu vakada, su verilerinin düzenlenmiş olması, dağınık durumda bulunan senaryoya göre kurulu gücün 2 kattan daha fazla olmasına ve enerji üretiminde de yaklaşık olarak %12 daha fazla üretim yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Vaka 1’den farklı olarak, Vaka 2’nin su depolama ile enerji yönetimini mümkün kılması ve yılın her dönemi mevcut HES tesisinin üretim yapması, bu vakadaki senaryolar arasındaki farkın daha büyük olmasına sebep olmuştur.

9. GÜNEŞ VE HİDROELEKTRİK HİBRİT YAPISI İLE DİĞER YENİLENEBİLİR HİBRİT ENERJİ ÇİFTLERİNİN POTANSİYEL KARŞILAŞTIRMASI

9.1. Nicel Ölçme ve Değerlendirme

Ülkemizde en yoğun kullanılan yenilenebilir enerji türleri, Dünya genelinde de olduğu üzere hidro, güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerjidir. Hidroelektrik enerji diğer enerji türlerine nispeten fiziksel olarak kontrol edilebilme yeteneğinden ötürü, hibrit enerjiye en uygun enerji türü olarak ön plana çıkmaktadır. Hibrit yapılar birçok şekilde oluşturulabilmekle birlikte, yapılan bu çalışmada özellikle entegre bir şekilde HES tesisi ile aynı yapıyı kullanan GES tesisinin hibrit olarak oluşturduğu, GHE tipi hibrit yapı ele alınmıştır. HES tesislerine yardımcı en uygun enerji tesisleri kararının tespiti yapılırken nelerin dikkate alınması gerektiği ve yine HES tesisine güneşten başka bir yenilenebilir enerji yardımcı tesis olarak kurulabilmesinin potansiyeli karşılaştırılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı bulunma potansiyeli için karşılaştırma yapılırken iki değerlendirme baz alınmıştır;

- Nicelik değerlendirme ile ölçülebilen ve referans verilebilen konu başlıkları değerlendirilmiştir
- Nitelik değerlendirme ile de yargısal olarak kolaylıkla karar verilebilecek konu başlıkları değerlendirilmiştir

Aşağıda belirtilen değerlendirme başlıkları ele alınmıştır;

Nicelik değerlendirme

- Kaynak potansiyeli ön araştırma maliyeti
- İlk yatırım maliyeti
- İşletme gideri maliyeti
- Çevre & Sosyal etkiler ve CO₂ azaltımı

Nicelik değerlendirmesinde, söz konusu başlıklar güneş, jeotermal, rüzgar ve biyokütle kaynağının potansiyel mevcudiyetine göre karşılaştırma yapabilmek için sınıflama ve

notlamaya tabi tutulmuştur. Her bir başlık diğer başlıklardan bağımsız olarak değerlendirilmiş ve buna göre notlanmıştır. Notlama yaparken nümerik olan verilerin hepsinin bireysel değerleri, diğer verilerle olan toplamına bölünerek ağırlıklı ortalaması yüz birim üzerinden nümerik not olarak elde edilmiştir. Konu başlıklarının ortalama değeri, yenilenebilir kaynak bazında uygulanabilir potansiyel sonucu olarak değerlendirilmiştir. Bazı durumlarda ağırlığın küçük olması, bazı durumlarda ise büyük olması olumlu olarak değerlendirilmiştir. Ağırlığın büyük olması, olumlu değerlendirilen durumlarda, konu başlığı için işlem sonucu çıkan yüzde değerinin aynı şekilde alınmasıyla, ağırlığın küçük olması, olumlu değerlendirilen durumlarda ise, konu başlığı için işlem sonucu çıkan yüzde değerinin tam tersinin alınmasıyla elde edilmiştir. 4 adet başlık için her biri yüzde olacak şekilde notlama tasarlanmıştır. En son alınan tüm notların ortalaması olan değer, yenilenebilir enerji tesisinin HES tesislerine yakın sahalarda veya entegre olarak bulunma potansiyelini barındıran değeri vermektedir.

$$\frac{g}{g+r+j+b} + \frac{r}{g+r+j+b} + \frac{j}{g+r+j+b} + \frac{b}{g+r+j+b} = 1 \quad (9.1)$$

$$BNx_i = \frac{x_i}{g_i + r_i + j_i + b_i} \quad (9.2)$$

$$x = g, r, j, b, \quad (9.3)$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad (9.4)$$

$$\overline{BNx} = \frac{\sum_{x=1}^{x=4} BNx}{4} \quad (9.5)$$

Eşitlik 9.1’de, değerlendirilen başlık altında, g , güneş enerjisi parametresini, r , rüzgar enerjisi parametresini, j , jeotermal enerji parametresini, b , biyokütle enerji parametresini temsil etmektedir. Eşitlik 9.2’de belirtilen BN , başlık notunu, x , değerlendirilmek istenen yenilenebilir enerji kaynağını, i , ise 1’den 4’e uygulanacak başlık konularını temsil etmektedir. Eşitlik 9.5’de belirtilen, $\overline{BNx}$, başlıklardan elde edilen notların aritmetik ortalamasını temsil etmektedir.

Kaynak potansiyeli ön araştırma maliyeti: Yenilenebilir enerji kaynakları birçok avantaja sahip olmakla birlikte, tüm kaynaklar her yerde ve her zaman ulaşılabilir durumda değildir.

Tüm kaynak potansiyeli ön araştırmalarında, fizibilite hazırlanması gerekmektedir. Bu fizibilitelerin içerikleri kullanılması planlanan kaynak türüne göre değişmekte ve birbirinden farklı araştırma maliyetleri çıkmaktadır. Güneş enerjisi, Dünya'nın her bölgesinde ulaşılabilen bir enerji türüdür. Günümüzde, herhangi bir koordinat noktası bazında güneş ışıma miktarı ve güneş üretim miktarlarına kolayca ulaşılabilir. PV panel ve inverter maliyetleri son yıllarda ciddi oranda düşmüştür ve bu ekipmanların dahil olduğu piyasa, hem birbirinden çok farklı ürünlerin olması hem de birbirinden çok farklı maliyetlerle seçenek sunulması sebebiyle tam rekabetçi bir piyasa olarak adlandırılabilir. Rüzgar enerji projelerinde ise ilk araştırma faaliyetleri ölçüm direklerinin kurulması ve en az 1 yıl boyunca elde edilen verilerin, haritaların üç boyutlu engel haritaları çıkarılarak ve yeni rüzgar veri seti oluşturularak türbinlerin yerleşim noktaları belirlenir. Son olarak rüzgar enerji analiz raporlarıyla bu çalışmalar tamamlanmış olur. Rüzgar enerjisinde ana ekipman olarak kullanılan türbin ve jeneratörleri için büyük ölçekte üretim yapan tedarikçiler bulunmakla birlikte, piyasada güneş enerjisi ekipmanları kadar çeşit ve seçenek sunan bir yapı bulunmamaktadır. Biyokütle enerjide ise hammadde olarak kullanılacak malzemenin yeri ve temini/nakliyesi, bu fizibilitelerin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca, genelde bu hammaddeler bir bedel karşılığı tedarik edildiği için ekonomik değerlendirme içeren bir fizibilite yapılması önem arz etmektedir. Biyokütle için kullanılacak ekipmanların imalatçısı oldukça kısıtlıdır. Jeotermal enerjide ise rezervuarın kaynağının yerinin ve parametrelerinin doğru tespiti, fizibilite aşamasındaki en önemli safhadır. Bu parametrelerin ve kaynak yerinin tespiti için sondaj kuyularının açılması dahil, jeofizik, jeokimyasal, sismik ve benzeri birçok test süreçlerini, kuyu/santral modellemelerini barındıran kapsamlı bir fizibilite aşaması bulunmaktadır. Dünyada jeotermal enerji santrali imalatçısı konumunda sayılı birkaç tedarikçi olup, fizibilite ve parametre teminlerinden sonra santrallerin teknik dizaynları da yine bu imalatçılar tarafından oluşturulmaktadır.

Fizibilite çalışmaları çoğu proje yönetim programlarında, toplam proje maliyetinin ortalama olarak %1,5-%2,5 aralığında olduğu belirtilmektedir. Bu başlık değerlendirilirken fizibilite ve ön araştırma maliyetleri, toplam proje yatırım bedelinin %2'si olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 9.1. Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım birim maliyetleri [250]

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Yatırım Maliyeti (USD/MW)	820 000	1 400 000	3 750 000	2 300 000

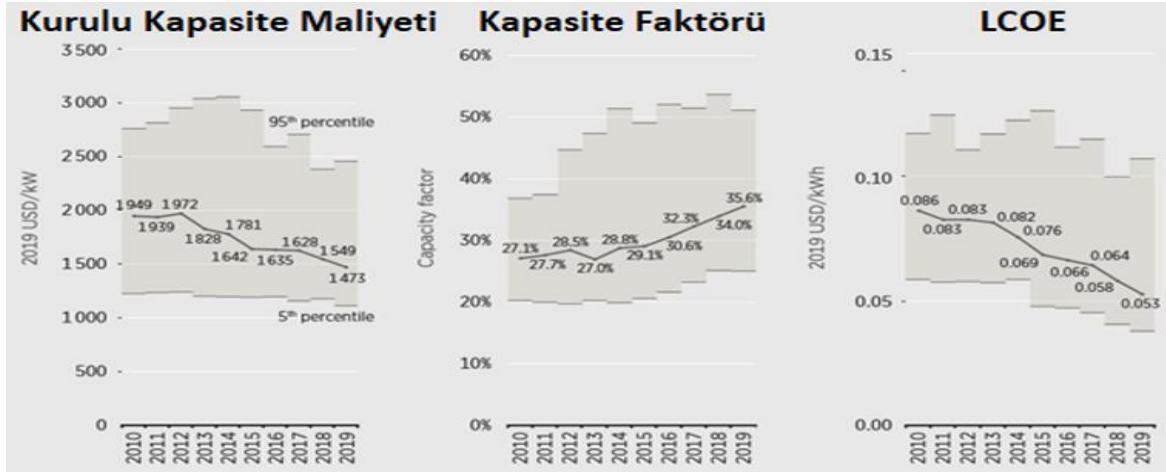
Söz konusu kabul edilen maliyetlerin %2'si kadar tutar kaynak ön araştırma bedeli olarak kabul edildiğinde, güneş enerjisi için 16,4 bin USD/MW, rüzgar enerjisi için 28 bin USD/MW, jeotermal enerjisi için 75 bin USD/MW, biyokütle enerji tesisi için ise yaklaşık 46 bin USD/MW olarak tutarlar araştırma maliyeti olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 9.2. içinde, özet şekilde birim MegaWatt başına olan ön araştırma maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 9.2. Yenilenebilir enerji kaynak araştırma birim maliyetleri ve değerlendirmesi

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kaynak Araştırma Maliyeti (USD/MW)	16 400	28 000	75 000	46 000
Başlık Notu (%)	45	28	10	17

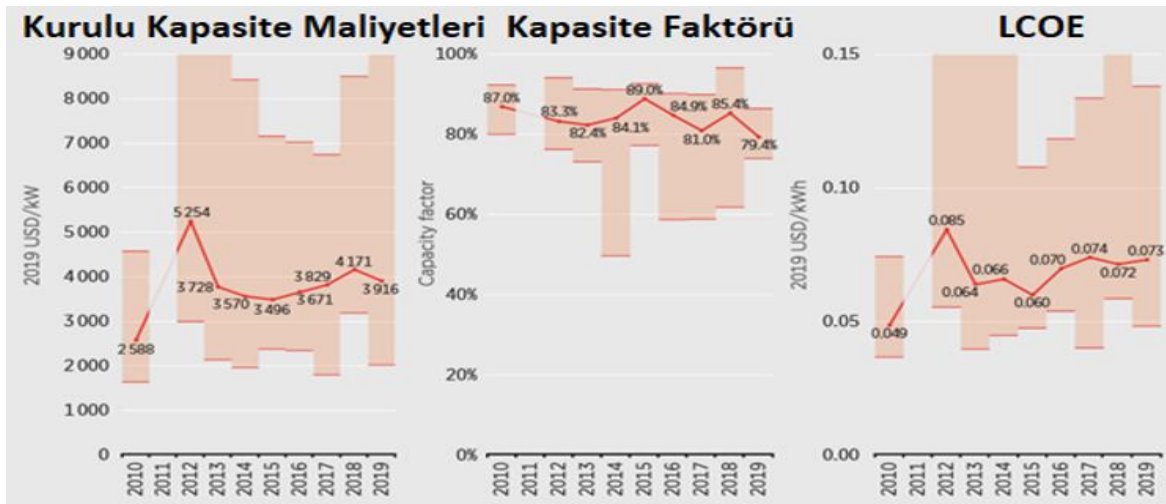
Bu başlıkta çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapılırken, maliyet ne kadar küçük olursa notlamaya katkısı o kadar büyük olacaktır şeklinde değerlendirilmiştir. Söz konusu yenilenebilir enerji kaynakları kendi aralarında değerlendirildikleri için, maliyetler kıyaslanarak sonuçlar alınmaktadır. En düşük maliyete sahip olan güneş en yüksek notlama oranına da sahip olacaktır. Dolayısıyla değerlendirme doğrusal olmadığından, düşükten yükseğe olan maliyetler, yüksekte düşüğe notlamalar ile temsil edilmiştir.

İlk yatırım maliyeti: Yenilenebilir enerji maliyetlerinde IRENA 2019 yılı yenilenebilir enerji maliyetleri raporundan faydalanılmıştır. Düşme trendi içerisinde olan yenilenebilir enerji kaynaklarında trend devam ettirilerek, herhangi bir trendi olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarında ise ortalama alınarak güncel maliyet değerleri tespit edilmiştir. Güneş enerjisi için güncel maliyet 820 bin USD/MW olarak tespit edilmiştir [250]. Rüzgar enerjisi için güncel maliyet 1,4 milyon USD/MW olarak kabul edilmiştir. 2019 yılında global ölçekte 1,473 milyon USD/MW olarak gerçekleşen Rüzgar enerji santrali maliyetleri düşme trendinin devam edeceği öngörüsüyle güncellenmiştir. Şekil 9.1. içinde, rüzgar enerjisi için global bazda 2010-2019 yılları arasında gerçekleşen ortalama kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE değerleri verilmiştir.



Şekil 9.1. Rüzgar enerji tesisleri kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE [250]

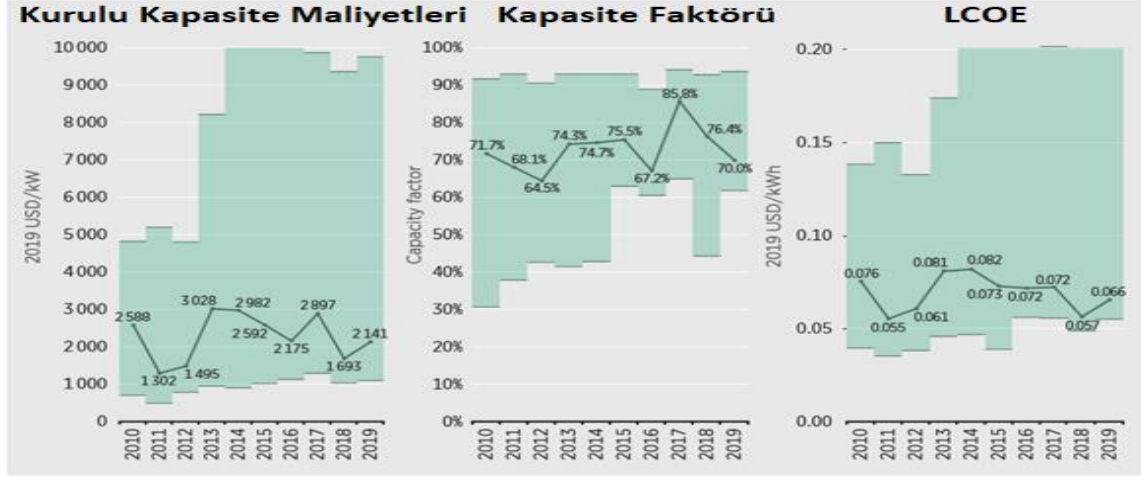
Jeotermal enerji tesisleri için Şekil 9.2. içinde, global bazda 2010-2019 yılları arasında gerçekleşen kurulu kapasite maliyetleri verilmiştir. 2011 yılında herhangi bir yatırım gerçekleşmemiş olup, 2010 ve 2012 yıllarında ise diğer yıllara nazaran uç maliyet gerçekleşmeleri yaşanmıştır. Dolayısıyla jeotermal enerji yatırım maliyeti geriye kalan 7 yılın ortalaması alınarak yaklaşık 3,75 milyon USD/MW tutarındaki maliyet kabul edilmiştir.



Şekil 9.2. Jeotermal enerji tesisleri kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE [250]

Biyokütle enerji tesislerine yönelik global bazda 2010-2019 yılları arasındaki gerçekleşen maliyetler Şekil 9.3. içinde verilmiştir. Yıllar arasında gerçekleşen maliyetler arasında bir bağlantı ve trend olmadığı için, 2010-2019 yılları arasında gerçekleşen maliyetlerin ortalaması alınarak, biyokütle enerji maliyeti olarak yaklaşık 2,3 milyon USD/MW maliyet

öngörülmüştür. Ayrıca, Çizelge 9.3. içinde, özet şekilde birim MegaWatt başına olan maliyetler verilmiştir.



Şekil 9.3. Biyokütle enerji tesisleri kurulu kapasite maliyetleri, kapasite faktörü ve LCOE [250]

Buna göre güneş enerjisinin ilk yatırım maliyeti 820 bin USD/MW, rüzgar enerjisi ilk yatırım maliyeti 1,4 milyon USD/MW, jeotermal enerjisi ilk yatırım maliyeti 3,75 milyon USD/MW, biyokütle enerji tesisinin ilk yatırım maliyeti ise 2,3 milyon USD/MW olarak kabul edilmiştir. Bu başlık Çizelge 9.3. içinde özetlenmiştir;

Çizelge 9.3. Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım birim maliyetleri [230] ve değerlendirme

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Yatırım Maliyeti (USD/MW)	820 000	1 400 000	3 750 000	2 300 000
Başlık Notu (%)	45	28	10	17

Bu başlıkta çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapılırken, maliyet ne kadar küçük olursa notlamaya katkısı o kadar büyük olacaktır şeklinde değerlendirilmiştir. Söz konusu yenilenebilir enerji kaynakları kendi aralarında değerlendirildikleri için, maliyetler kıyaslanarak sonuçlar alınmaktadır. En düşük maliyete sahip olan güneş en yüksek notlama oranına da sahip olacaktır. Dolayısıyla değerlendirme doğrusal olmadığından, düşükten yükseğe olan maliyetler, yüksekte düşüğe notlamalar ile temsil edilmiştir.

İşletme gideri maliyeti: Yenilenebilir enerji kaynakları türlerinin her birinin kendine has işletme gideri maliyetleri bulunmaktadır. İşletme giderleri, yenilenebilir enerji kaynağı bazında, IRENA, 2019 yılı raporu işletme gideri tutarları alınmıştır [250]. Biyokütle enerji

işletme giderleri rapor içinde %2-6 aralığında sabit gider olarak tanımlanmış, ayrıca değişken gider tanımlanmıştır. Değerlendirmede, yatırım maliyetinin %4'ü olarak alınmıştır.

Çizelge 9.4. Yenilenebilir enerji kaynakları birim işletme giderleri

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Birim Yıllık İşletme Gideri (USD/MW)	14 000	45 000	115 000	92 000
Başlık Notu (%)	43	35	5	17

Bu başlıkta çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapılırken, ne kadar küçük bir maliyet varsa o kadar makul bir değerlendirme olacaktır şeklinde notlamalar tasarlanmıştır. Söz konusu yenilenebilir enerji kaynakları kendi aralarında değerlendirildikleri için, birbirlerine olan kıyaslama sonuçları alınmaktadır. En düşük maliyete sahip olan güneş en yüksek orana sahip olmaktadır. Dolayısıyla değerlendirme doğrusal olmadığından, düşükten yükseğe olan maliyetler, yüksekten düşüğe notlama ile temsil edilmiştir.

Çevresel&Sosyal etkiler ve CO₂ emisyon azaltımı: mevcut durum dışında yapılan tüm uygulamaların ister istemez doğa, çevre ve sosyal hayat üzerinde bir etkisi olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı, genelde düşük çevre ve sosyal etkisi olan projeler olarak değerlendirilmektedir [251]. Bu başlık değerlendirilirken yenilenebilir enerji kaynakları bazında, CO₂ emisyon azaltım katsayıları dikkate alınmıştır. Her ülkenin kendi elektrik tüketim ve üretim dinamikleri farklı olduğundan, CO₂ emisyon azaltım miktarları birbirinden farklıdır ve yıldan yıla değişmektedir. Bu başlık atında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan 2018 yılı CO₂ emisyon azaltım katsayıları kullanılmıştır [252]. Buna göre rüzgar ve güneş enerji kaynaklarında CO₂ azaltım katsayısı 0,6198 (tCO₂/MWh), diğer yenilenebilir enerji kaynakları için ise 0,5403(tCO₂/MWh) olarak alınmıştır.

Çizelge 9.5. Yenilenebilir enerji kaynakları birim CO₂ emisyon azaltımları ve değerlendirme

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Birim CO ₂ emisyon azaltımı (tCO ₂ /MWh),	0,6198	0,6198	0,5403	0,5403
Başlık Notu (%)	27	27	23	23

Bu başlıkta çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapılırken, ne kadar küçük bir oran çıkarsa maliyet daha makul olacaktır şeklinde değerlendirilmiştir. Söz konusu yenilenebilir enerji kaynakları kendi aralarında değerlendirildikleri için, birbirlerine olan kıyaslama sonuçları

alınmaktadır. En düşük maliyete sahip olan güneş en düşük orana da sahip olacaktır. Dolayısıyla değerlendirme doğrusal olmadığından, düşükten yükseğe olan maliyetler, yüksekten düşüğe oranlar ile temsil edilmiştir.

Çizelge 9.6. GHE entegrasyon yapısının diğer yenilenebilir enerji türleriyle karşılaştırması

HES Tesisine Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyon Uyumluluğu				
Karşılaştırma/Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kaynak potansiyeli ön araştırma maliyeti	45	28	10	17
İlk yatırım maliyeti	45	28	10	17
İşletme gideri maliyeti	43	35	5	17
Çevre & Sosyal etkiler ve CO ₂ emisyon azaltımı	27	27	23	23
Potansiyel değerlendirmesi (not)	40	29	12	19

Potansiyel değerlendirme için incelenen başlıklar neticesinde, güneş enerjisinin en yüksek potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Güneşten sonra ise sırayla rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerji gelmektedir. Mevcut hidroelektrik santralleri ile oluşturulacak hibrit çifti için güneş enerjisinin, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha uygun olduğu gözlemlenmektedir.

9.2. Nitel Ölçme ve Değerlendirme

Nitelik değerlendirme

- Aynı veya yakın sahaları kullanım kabiliyeti
- Aynı inşai yapıyı kullanabilme kabiliyeti
- Aynı elektrik altyapısını kullanabilme kabiliyeti
- Kurulu kapasite esnekliği
- Enerji yönetimi kabiliyeti
- Enerji üretim dönemi kısıtı

Değerlendirmeler yapılırken üç temel derecelendirme notu verilmiştir. Bunlar;

- Düşük
- Orta
- Yüksek

Bu kısımda belirtilen derecelendirme, söz konusu soru başlığının yenilenebilir enerji kaynağı bakımından öngörülen potansiyeli kapsamında yargısal değerlendirmesini içermektedir.

Aynı veya yakın sahaları kullanım kabiliyeti: Hidroelektrik enerji santralinin kurulması için su kaynağının olması ve yeteri kadar düşünün sağlanabilmesi gerekmektedir. Bir önceki değerlendirme kriteri olan başlıkta yenilenebilir enerji kaynaklarının ön araştırma maliyetleri ele alınmış olup, yapılan bu çalışmalar sonucunda enerji tesislerinin kurulup kurulmaması konularında karar verilmektedir. Yenilenebilir enerji tesislerinin birbirinden çok farklı karakteristikleri olup, bulunduğu alanlar da birbirinden farklı yerlerde olabilmektedir. İstisnasız her yerde ulaşım imkanı bulunan tek yenilenebilir enerji kaynağı, güneş enerji tesisi olup, diğer yenilenebilir enerji tesislerinin hidroelektrik enerji tesisleri yakınında bulunma ihtimali düşük olarak değerlendirilmektedir. Bu başlık için yapılan derecelendirme;

- Güneş enerji tesisi yüksek
- Rüzgar enerji tesisi düşük
- Biyokütle enerji tesisi düşük
- Jeotermal enerji tesisi de düşük etkili potansiyel olarak değerlendirilmiştir.

Aynı inşai yapıyı kullanabilme kabiliyeti: Hidroelektrik enerji tesisinin sahip olduğu regülatör göl alanı, baraj gövdesi, kanal ve yükleme havuzu gibi yapılar üstünde de şu an için sadece güneş enerji tesislerinin kurulum mümkün gözükmektedir. Bu başlık için yapılan derecelendirme;

- Güneş enerji tesisi yüksek
- Rüzgar enerji tesisi düşük
- Biyokütle enerji tesisi düşük
- Jeotermal enerji tesisi de düşük etkili potansiyel olarak değerlendirilmiştir.

Aynı elektrik altyapısını kullanabilme kabiliyeti: Tüm yenilenebilir enerji tesislerinin, hidroelektrik enerji tesisinin elektrik altyapısını, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra rahatlıkla kullanabileceği değerlendirilmiştir. Bu başlık için yapılan derecelendirme;

- Güneş enerji tesisi yüksek
- Rüzgar enerji tesisi yüksek
- Biyokütle enerji tesisi yüksek
- Jeotermal enerji tesisi de yüksek etkili potansiyel olarak değerlendirilmiştir.

Kurulu kapasite esnekliği: Yenilenebilir enerji tesisleri, hidroelektrik enerji tesisine yardımcı hibrit yapı oluşturması amacıyla değerlendirilmektedir. Aynı trafo bağlantısı ve kapasitesi kullanılacağından, söz konusu yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumunda, yenilenebilir enerji kaynağının varlığı ile birlikte, ulaşılabilir kurulu güç/kapasitede önemli rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarında, güneş enerji kaynağı dışında Watt seviyelerinde imal edilebilen ticari bir elektromekanik ekipman bulunmamaktadır. Ağırlıklı olarak belli bir ölçekte fabrikasyon tarzında ekipman imalatı yapılmaktadır. Örneğin rüzgar enerji santrallerinde kullanılan fabrikasyon elektromekanikler ticari olarak minimum 500 kW gücünde bulunabilmekte, imalatçılar genelde daha yüksek ölçeklerde türbin üretimi yapmaktadırlar. Daha düşük ölçekte türbin imalatı mümkün olmakla birlikte bu durum fabrikasyonun dışına çıkarak maliyetlerin artmasına yol açmaktadır. Standardın dışına çıkıldıkça, ölçek ekonomisi etkisiyle türbin tutarları artmaktadır. Aynı durum jeotermal ve biyokütle enerji tesisleri için de geçerlidir. Güneş enerji tesisleri ise istenen büyüklüğü sağlayacak şekilde dizayn edilerek kurulu kapasite sağlanması mümkün olabilmektedir. Bu başlık için yapılan derecelendirme;

- Güneş enerji tesisi yüksek
- Rüzgar enerji tesisi düşük
- Biyokütle enerji tesisi düşük
- Jeotermal enerji tesisi de düşük etkili potansiyel olarak değerlendirilmiştir.

Enerji Yönetimi kabiliyeti: Hidroelektrik enerji tesisleri ağırlıklı olarak su miktarlarının kısıtlı olduğu yaz aylarında nispeten daha düşük enerji üretimi yapmakta, ilkbahar aylarında ise daha fazla enerji üretimi yapabilmektedirler. Diğer yenilenebilir enerji tesislerinin de kendine has üretim dönemleri ve karakteristikleri bulunmaktadır. Jeotermal enerji tesisleri de hidroelektrik enerji tesislerine paralel olarak, soğutma ihtiyaçlarının yüksek olduğu yaz aylarında nispeten daha düşük enerji üretimi yapmaktadırlar. Ayrıca trafo kapasitesinin bir kısıt olduğu entegre hibrit yapılarında, jeotermal enerji kaynakları, yüksek kapasite kullanım

oranları ile çalıştığından atıl üretimler yaşanabilmesi söz konusu olabilecektir. Rüzgar enerji tesisleri kısa sürelerde çok farklı frekansta çalışma kapasitesine sahip yenilenebilir enerji türlerinden biridir. Bu durum, enerji yönetimini karmaşık ve zor bir hale dönüştürebilmektedir. Biyokütle enerji tesisleri, tedarik edilen hammaddeye göre enerji üretimi yapabildiğinden diğer gereksinimlerden bağımsız olarak, hibrit yapılarda en fazla enerji yönetim kabiliyeti olan tesis olarak değerlendirilmektedir. Güneş enerji tesisleri ise doğal yapıları sebebiyle, hidroelektrik enerji tesislerinin aksine yaz aylarında daha fazla enerji üretim imkanı olup, yağışlı dönemlerde üretim miktarları düşmektedir. Ayrıca, eğer hibrit yapı içinde kullanılacak hidroelektrik enerji tesisinin yeterli derecede su depolama imkanı bulunuyorsa, gündüz saatlerinde güneş enerjisinden, gece saatlerinde ise hidroelektrik enerjisinden üretim yapma imkanı bulunmaktadır. Bu başlık için değerlendirme yapılırken HES tesisi ile ortaya koyabileceği enerji yönetimi için yapılan derecelendirme;

- Güneş enerji tesisi orta
- Rüzgar enerji tesisi düşük
- Biyokütle enerji tesisi yüksek
- Jeotermal enerji tesisi de orta etkili potansiyel olarak değerlendirilmiştir.

Enerji üretim dönemi kısıtı: Yenilenebilir enerji tesislerinin üretim periyodu kısıtlaması değerlendirilmiştir. Sadece ticari güneş enerji tesislerinin, şu an için pahalı kabul edilebilecek batarya veya depolama sınırlamalarından ötürü, gündüz üretim kısıtı bulunmaktadır. Dolayısıyla güneş enerjisi bu başlık altında düşük olarak derecelendirilmiştir. Bu başlık için yapılan derecelendirme;

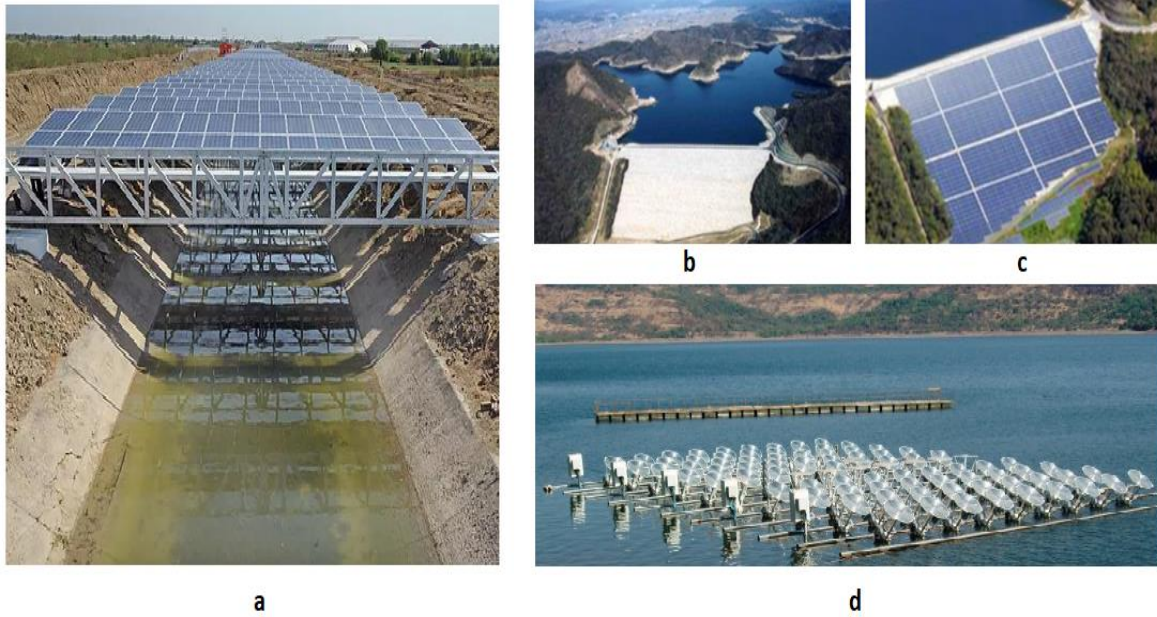
- Güneş enerji tesisi düşük
- Rüzgar enerji tesisi yüksek
- Biyokütle enerji tesisi yüksek
- Jeotermal enerji tesisi de yüksek etkili potansiyel olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar doğrultusunda oluşturulan özet Çizelge 9.7. içinde verilmiştir.

Çizelge 9.7. GHE entegrasyon yapısının diğer yenilenebilir enerji türleriyle karşılaştırması

HES Tesisine Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyon Uyumluluğu				
Karşılaştırma/Yenilenebilir Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Aynı saha veya yakın araziyi kullanabilme	yüksek	düşük	düşük	düşük
Aynı inşai yapıyı kullanabilme	yüksek	düşük	düşük	düşük
Aynı elektrik altyapısını kullanabilme yeteneği	yüksek	yüksek	yüksek	yüksek
Kurulu kapasite esnekliği	yüksek	düşük	düşük	düşük
Enerji yönetimi kabiliyeti	orta	düşük	orta	yüksek
Enerji üretim dönemi kısıtı	düşük	yüksek	yüksek	yüksek

Nehir tipi ve baraj tipi hidroelektrik santrallerine en uygun potansiyel hibrit enerji kaynağı güneş enerji kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır. Dünyada ve ülkemizde özellikle son yıllarda HES tesisleri ile birlikte uyumlu çalışan GHE enerji sistemlerine ilgi artmıştır. Resim 9.1. içinde birbirinden farklı kullanım alanlarıyla GHE entegre sistem örnekleri verilmiştir. Nehir tipi santralleri üzerine (kanal, yükleme havuzu veya rezervuar alanının üzerine yüzer şekilde) güneş paneli kurmak mümkündür. Güneş ve hidroelektrik aynı taşıyıcı yapılar üzerinde inşa edilebilir.



Resim 9.1. Kanal üstü (a) güneş [253] baraj gövde yüzeyi güneş (b, c) [101] ve göl alanı (d) yüzer güneş tesis örnekleri [254]

9.3. Vaka Çalışması ve Performans Karşılaştırma

Performans karşılaştırması için 2 numaralı vaka çalışmasına konu olan HES tesisi değerlendirilmiştir. Sırasıyla bu hidroelektrik tesisi ile hibrit yapı oluşturabilecek diğer

yenilenebilir enerji kaynaklarına ait parametreler girilerek, performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Mevcut HES tesisinin enerji yönetimi 2 senaryo ile incelenmiştir;

- Düzensiz su verileri ile yapılan enerji üretimine göre
- Düzenli ve depolamalı su verileri ile yapılan enerji üretimine göre

Yenilenebilir enerji kaynaklarını aynı standartta değerlendirebilmek için hepsinin enerji karakteristiğine göre kabuller yapılmıştır. Güneş enerjisi için baz alınan yaklaşımlar, diğer yenilenebilir enerji türlerinin genel özellikleri ve ortalamalarına göre uyarlanmıştır. Birincil enerji kaynağı hidroelektrik tesisi olarak kurgulanmış ve bu tesisle hibrit yapı oluşturabilecek diğer yenilenebilir enerji tesisleri yardımcı tesis olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada söz konusu çalışılan sahada, yardımcı olarak adlandırılan diğer yenilenebilir enerji kaynak türlerinin doğal olarak bulunduğu varsayılmıştır. Algoritma genel kabulleri Çizelge 9.8. içinde verilmiştir.

Çizelge 9.8. Senaryolar ve HES tesisi proje karakteristikleri

1.Senaryo	Düzensiz su verileri ile hibrit yapı karşılaştırması
2.Senaryo	Düzenli su verileri ile hibrit yapı karşılaştırması
Trafo Bağlantı Kısıtı (MW)	18,777
Döngü Sayısı (adet)	1.000-1.500 aralığında
HES Kapasite (MW)	18,777
Yardımcı Tesis Kapasite (MW)	Sınır yok
Enerji Üretim Satış Fiyatı (USD/MWh)	73
HES Yatırım Maliyeti (milyon USD)	32
TL/USD parite	8

Performans karşılaştırması için diğer yenilenebilir enerji tesisleri için kabul edilen genel varsayımlar aşağıda sıralanmıştır;

- Mevcut HES tesisi sahasında doğal olarak tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunduğu
- Hibrit yapıyı oluşturacak yenilenebilir enerji tesislerinin kullanacağı arazi ve alanlarda bir kısıtlama olmadığı
- Hibrit yapıyı oluşturacak yenilenebilir enerji tesislerinin kurulu kapasite varsayımlarında bir kısıtlama olmadığı
- Şebekeye verilebilecek enerji miktarının trafo bağlantı kapasitesi ile sınırlı olduğu

- Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim modellenmesi yapılırken, güneş enerjisi gibi gündüz saatlerinde üretim yaptığı kabulü
- Yardımcı kurulacak yenilenebilir enerji türleri için birim yatırım maliyeti, kapasite kullanım oranı, işletme gideri, bakım onarım maliyeti, üretim miktarı verilmiştir [250]. IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporunda, güneş enerji tesisleri için yıllık işletme gideri 9,5-18,3 USD/kW, rüzgar enerji tesisleri ise 33-56 USD/kW aralığında değiştiği belirtilmiştir. Güneş enerji tesisi için yaklaşık ortalama 14 USD/kW, rüzgar enerji tesisi için ise 45 USD/kW birim işletme maliyeti olarak kabul edilmiştir. Raporda jeotermal enerji tesisleri için yaklaşık ortalama 115 USD/kW maliyet öngörülmüştür. Biyokütle tesisleri için ise sabit işletme giderinin, toplam yatırım maliyetinin %2-6 aralığında olduğu, değişken giderin ise 0,005 USD/kWh olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada biyokütle enerji tesisleri için toplam yatırım maliyetinin %4'ü sabit işletme gideri, 0,005 USD/kWh ise değişken işletme gideri olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, hidroelektrik enerji tesisleri için sabit işletme gideri toplam yatırım maliyetinin %0,06'sı kadar olduğu ve değişken işletme giderinin ise 0,003 USD/kWh olduğu raporda belirtilmiştir. Çizelge 9.9. içinde söz konusu kabul yatırım maliyetleri ve diğer parametreler gösterilmiştir [15,250].

Çizelge 9.9. Yenilenebilir enerji kaynakları proje karakteristikleri

Değerlendirme / Yenilenebilir Enerji Kaynak	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Yatırım Maliyeti (USD/MW)	820 000	1 400 000	3 750 000	2 300 000
Ekonomik Ömrü (yıl)	25	25	25	25
Kapasite Kullanım Oranı (%)	16,9	32,4	61,4	50,3

Daha önce GHE tesisini oluşturmak için GES tesislerinin en uygun kurulu gücü belirlemekte kullanılan algoritma, HES tesisine hibrit yapıda yardımcı olacak diğer yenilenebilir enerji tesislerinin kurulu kapasitelerinin tespitinde kullanılmıştır.

1.senaryo kapsamında, düzensiz su verileri barındıran HES tesisine yardımcı yenilenebilir enerji tesisleri için uygulanan algoritma ve çalıştırılan program sonucunda;

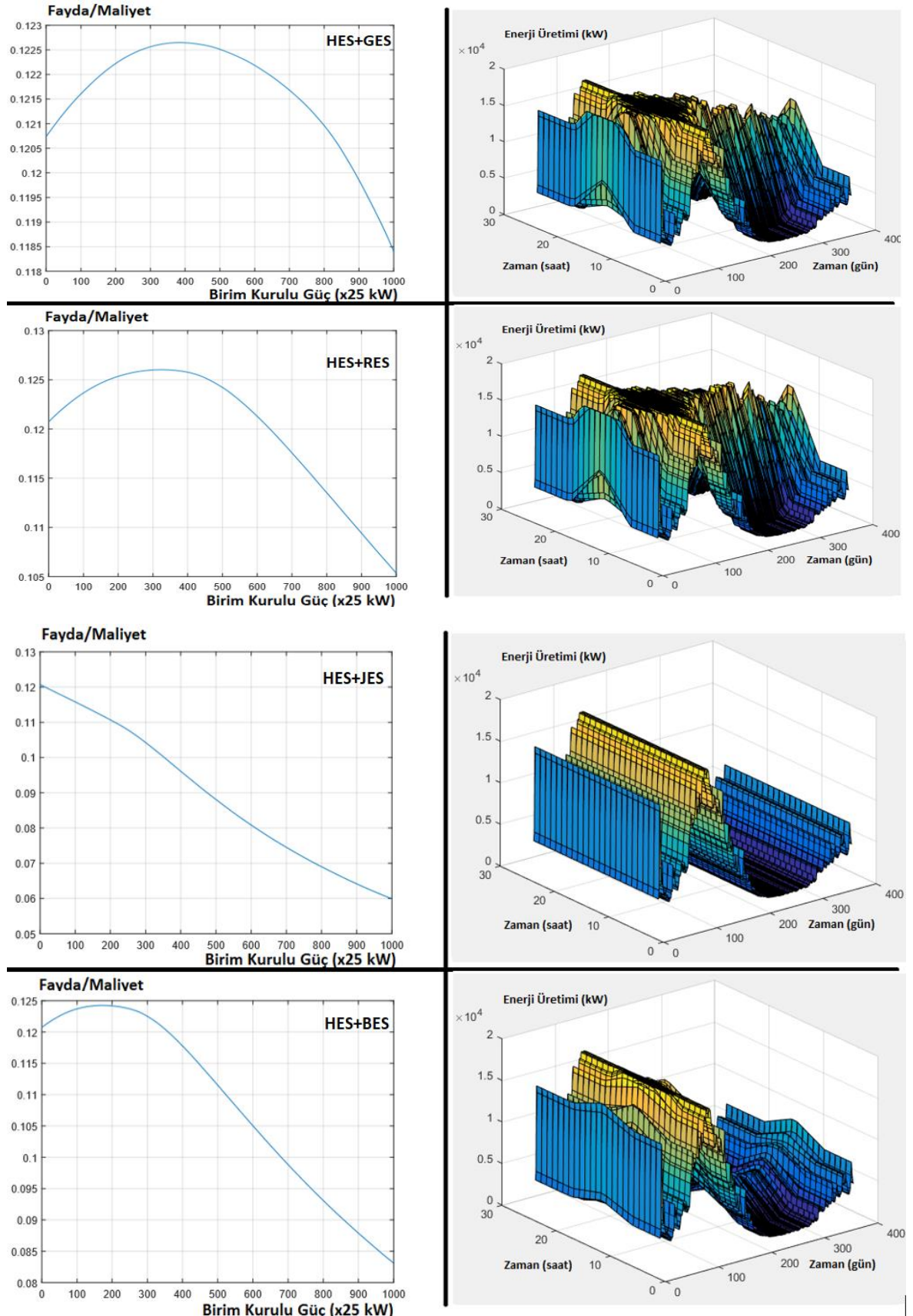
- GES tesisi 383.adım ile 9,575 MW kurulu gücünde
- RES tesisi 323.adım ile 8,075 MW kurulu gücünde
- JES tesisi için anlamlı bir sonuç çıkmamıştır

- BES tesisi 171.adım ile 4,275 MW kurulu gücünde en uygun sonuçlar elde edilmiştir.

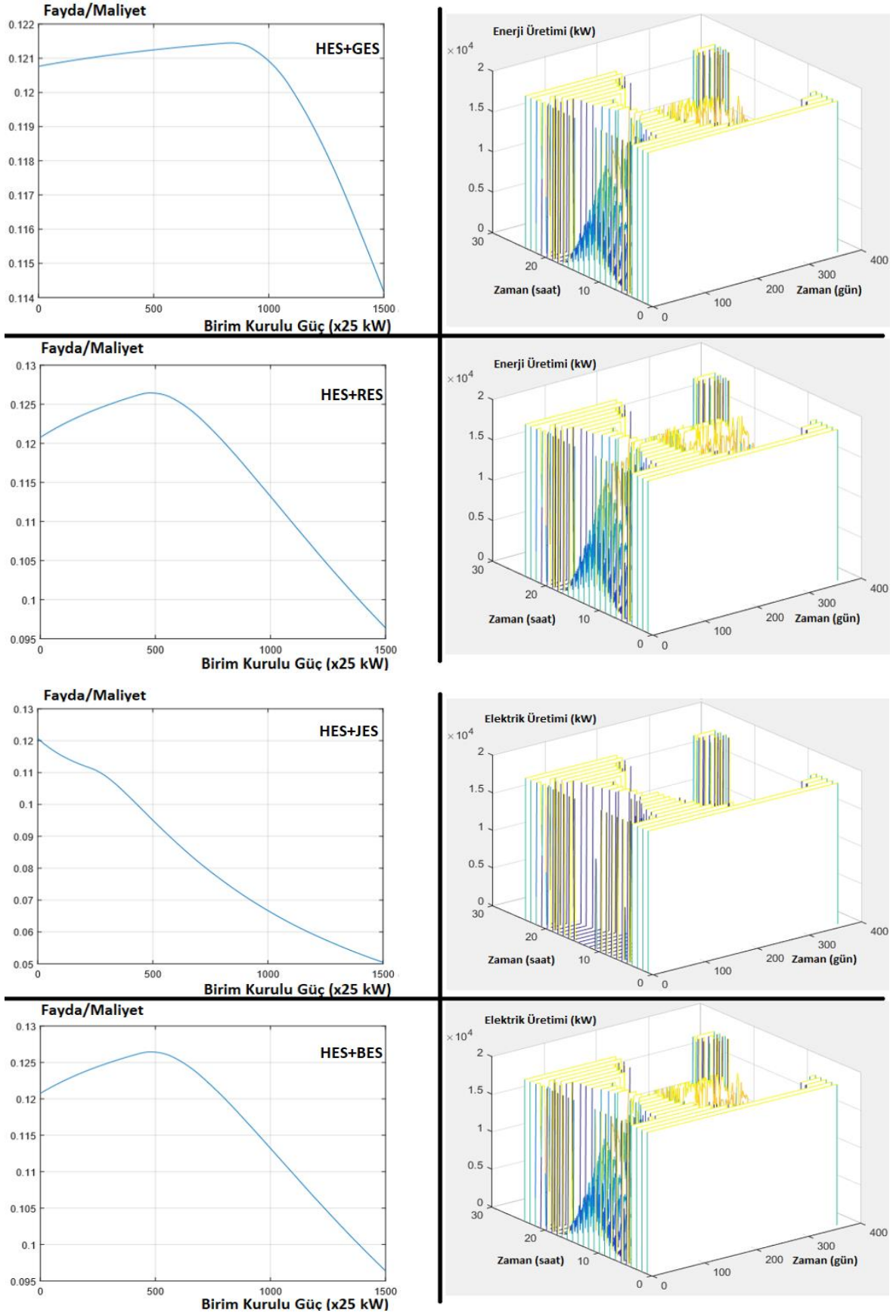
2.senaryo kapsamında ise, HES tesisinin su verileri hacim depolama sayesinde düzenlenmiş olup, yardımcı yenilenebilir enerji tesisleri için uygulanan algoritma ve çalıştırılan program sonucunda;

- GES tesisi 836.adım ile 20,9 MW kurulu gücünde
- RES tesisi 476.adım ile 11,9 MW kurulu gücünde
- JES tesisi için anlamlı bir sonuç alınamamıştır
- BES tesisi 297.adım ile 7,425 MW kurulu gücünde en uygun sonuçlar elde edilmiştir.

1 ve 2 numaralı senaryolar birbiriyle karşılaştırıldığında, HES tesisinin su verilerini yönetilebilir şekilde düzenlemenin en çok GES tesislerinin performansına katkısı olduğu ortaya çıkmaktadır. Su verileri düzenlendiğinde, hibrit yapıya yardımcı GES tesislerinin yapılabilir kurulu kapasitesi, eski durumuna göre iki katından daha fazla artmaktadır. Hibrit yapıya yardımcı RES tesislerinde kurulu kapasite yaklaşık %47 oranında artmaktayken, BES tesislerinde ise bu oran yaklaşık olarak %74 seviyelerinde gerçekleşmektedir. Hibrit yapıya yardımcı JES tesisinde, 1 ve 2 numaralı senaryo kapsamında anlamlı bir sonuç alınamamıştır. En yüksek fayda/maliyet oranı 1.adımda yakalanmış olup, kurulu güç miktarı artmasıyla birlikte üretim de artmasına rağmen, yatırım maliyet artış hızının daha fazla olmasından ötürü, diğer adımlarda düşme trendi yaşanmıştır. Bunun sebebi diğer yenilenebilir enerji tesislerine nazaran yüksek kapasite kullanım oranında çalışan JES tesislerinin, yüksek maliyetinden ötürü optimal olmamasıdır. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları için eşit şart ve standartlar uygulanmıştır. Buna göre MATLAB program sonucunda elde edilen kurulu güç optimizasyonu ve enerji üretim grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.4. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği



Şekil 9.5. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği

1 ve 2 numaralı senaryolar sonucunda elde edilen yenilenebilir enerji kurulu güç optimizasyonları, uygulanabilir kapasiteleri yansıtmaktadır. Enerji üretim miktarları ile kurulu güçler arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Hibrit sistemin enerji çıktısı, trafo/şebeke bağlantısı kapasitesi ile sınırlandırılmıştır. Mevcut hibrit yapı ile bu kapasitenin çok üstünde enerji üretebilmek mümkün iken, şebekeye sınırlar çerçevesinde, elektrik verilebilmektedir. Bu durum kurulu gücün yanında, üretilebilir enerji miktarı veya yenilenebilir hibrit enerji maliyeti gibi başka konuların irdelenmesi gerekliliğine de yol açmaktadır.

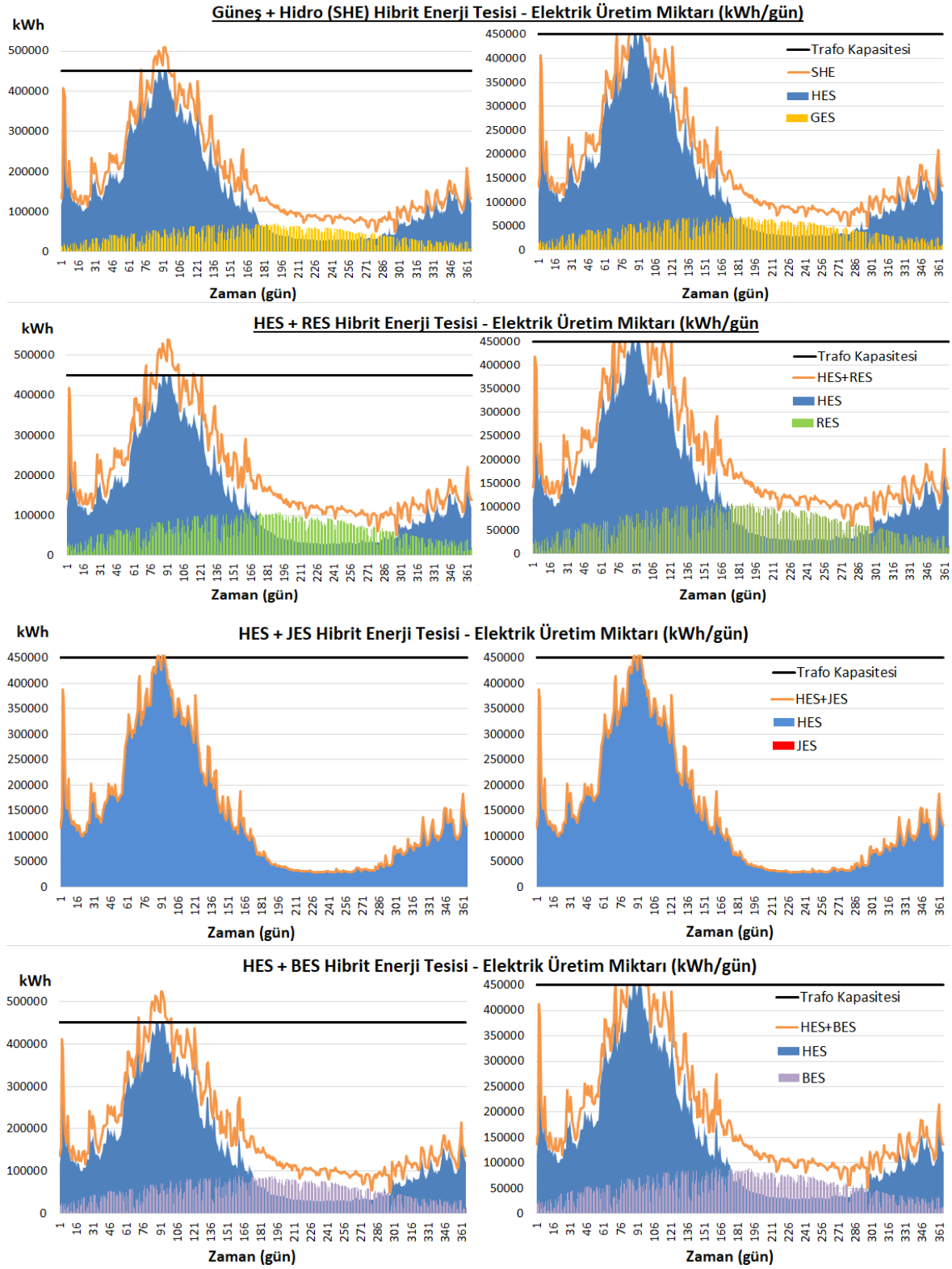
1 numaralı senaryo kapsamında, hibrit yapı tarafından elde edilebilecek enerji miktarında;

- GES tesisleri yapısı içinde yaklaşık olarak % 0,30
- RES tesisleri yapısı içinde yaklaşık olarak % 0,59
- BES tesisleri yapısı içinde ise yaklaşık olarak % 0,42 seviyelerinde kapasite sınırlarının üstünde atıl üretim gerçekleşmektedir.

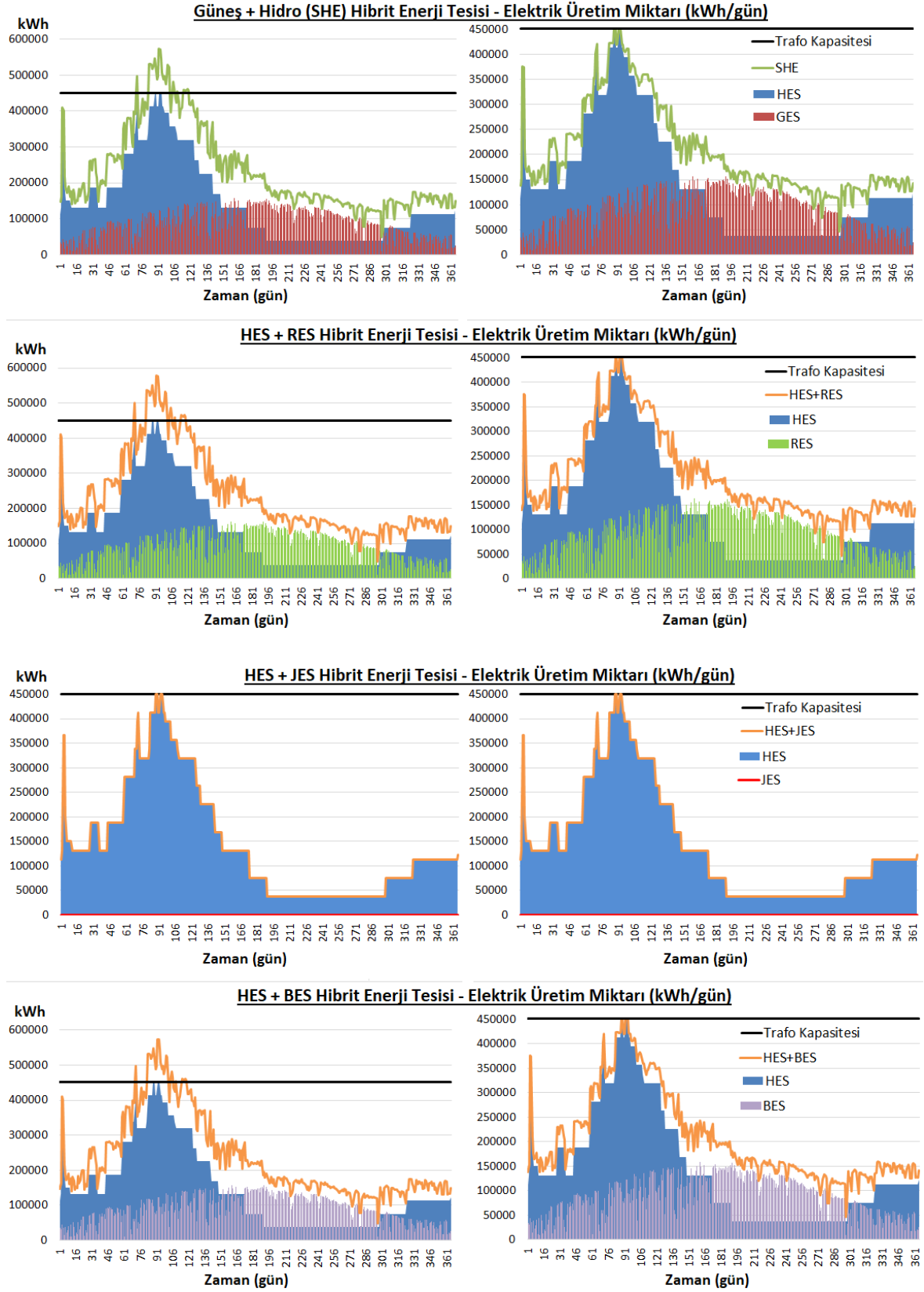
Her ne kadar en yüksek kurulu kapasite miktarı GES tesislerine ait olsa da, enerji üretim miktarında kapasite kullanım oranları, etkili olduğundan bu sonuçlar elde edilmiştir. 2 numaralı senaryo kapsamında, hibrit yapı tarafından elde edilebilecek enerji miktarında ise;

- GES tesisleri yapısı içinde yaklaşık olarak % 6,20
- RES tesisleri yapısı içinde yaklaşık olarak % 6,43
- BES tesisleri yapısı içinde ise yaklaşık olarak % 6,23 seviyelerinde kapasite sınırlarının üstünde atıl üretim gerçekleşmektedir.

2 numaralı senaryoda da, JES tesisi için anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. GES tesislerindeki kurulu güç artış oranı, RES ve BES tesislerine nazaran oldukça yüksek olmasına rağmen, trafo/şebeke kapasite sınırını aşan elektrik üretim miktarı ve oranı daha düşük gerçekleşmiştir. RES tesisinde ise BES tesisine nazaran trafo/şebeke, kapasite fazlası üretim gerçekleşmiştir. Aşağıda sunulan grafiklerde, 1 ve 2 numaralı senaryolar için, yenilenebilir hibrit enerji türleri bazında üretilebilecek enerji miktarları ve trafo/şebeke kapasitesinin altında/üstünde kalan miktarlar gösterilmiştir.



Şekil 9.6. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktarı grafiği



Şekil 9.7. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktar grafiği

MATLAB programı ve algoritma çalıştırılarak, yenilenebilir hibrit enerji yapılarının kurulu kapasite ve elektrik üretim miktarları anlamında sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçların özetlendiği tablo aşağıda verilmiştir. 1 numaralı senaryoya göre sonuçlar;

Çizelge 9.10. Yenilenebilir enerji kaynakları özet sonuçlar

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Hidro	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kurulu Güç (kW)	18 777	9 575	8 075	-	4 275
Üretilebilir Enerji Miktarı (MWh)	52 937	14 922	22 906	-	18 826
Kullanılabilir Enerji Miktarı (MWh)	52 937	14 436	21 940	-	18 138
Atıl Enerji Miktarı (MWh)	-	486	966	-	688

Çizelge 9.11. Yenilenebilir hibrit çiftleri özet sonuçlar

Değerlendirme / Hibrit Yapı	Güneş-Hidro (GHE)	RES+HES	JES+HES	BES+HES
Kurulu Güç (kW)	28 352	26 852	18 777	23 052
Kapasite Sınırı (kW)	18 777	18 777	18 777	18 777
Kapasite Kullanım Oranı (%)	41	45,5	32,2	43,2
Enerji Üretim Miktarı (MWh)	67 373	74 877	52 937	71 075

2 numaralı senaryoya göre sonuçlar;

Çizelge 9.12. Yenilenebilir enerji kaynakları özet sonuçlar

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Hidro	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kurulu Güç (kW)	18 777	20 900	11 900	-	7 425
Üretilebilir Enerji Miktarı (MWh)	52 937	32 571	33 757	-	32 698
Kullanılabilir Enerji Miktarı (MWh)	52 937	22 359	23 173	-	22 446
Atıl Enerji Miktarı (MWh)	-	10 212	10 584	-	10 252

Çizelge 9.13. Yenilenebilir hibrit çiftleri özet sonuçlar

Değerlendirme / Hibrit Yapı	Güneş-Hidro (GHE)	RES+HES	JES+HES	BES+HES
Kurulu Güç (kW)	39 677	30 677	18 777	26 202
Kapasite Sınırı (kW)	18 777	18 777	18 777	18 777
Kapasite Kullanım Oranı (%)	45,8	46,3	32,2	45,8
Enerji Üretim Miktarı (MWh)	75 296	76 110	52 937	75 383

Hibrit yenilenebilir enerji kaynaklarının, performanslarını karşılaştırırken, ayrıca teknik, ekonomik ve mali yönden de analiz etmek gerekmektedir. Bir proje hayata geçirilme kararı alınırken, en yaygın kullanılan kıstaslardan biri de yatırımın geri dönüş süresi, yani kendini geri ödeme süresidir. Geri ödeme sürelerine göre hibrit yapılar karşılaştırılarak, kaynağın

mevcut sahada bulunma potansiyelinden bağımsız olarak değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme için yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır;

- Tesislerin ekonomik ömürleri 25 yıl alınmıştır
- Performans karşılaştırması yatırım geri ödeme süresi ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti - levelized cost of energy / LCOE - üzerinden yapılmıştır
- Algoritmadan elde edilen enerji üretim miktarları kullanılmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplarında yatırımın 1 yılda tamamlanacağı ve bir sonraki yıl kabuller doğrultusunda işletmeye geçeceği kabul edilmiştir
- Geri ödeme süresi hesaplamalarındaki iskonto oranı %10 olarak alınmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamaları çok kabaca yapılmış, KDV, vergi, idame yatırım ve amortisman gibi konular hesaplamaya yansıtılmamıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamalarında sadece gelir ve gider farkı dikkate alınmıştır
- Hibrit yapının tüm maliyeti ve sadece yardımcı tesis maliyeti dikkate alınarak 2 farklı senaryo da çalışılmıştır
- Elektrik satış fiyatı 73 USD/MWh alınmıştır
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme gider kabulleri için IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporu baz alınmıştır. Güneş enerji tesisi için yaklaşık ortalama 14 USD/kW, rüzgar enerji tesisi için ise 45 USD/kW birim işletme maliyeti olarak kabul edilmiştir. Raporda jeotermal enerji tesisleri için yaklaşık ortalama 115 USD/kW maliyet öngörülmüştür. Biyokütle enerji tesisleri için toplam yatırım maliyetinin %4'ü sabit işletme gideri, 0,005 USD/kWh ise değişken işletme gideri olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, hidroelektrik enerji tesisleri için sabit işletme gideri toplam yatırım maliyetinin %0,06'sı kadar olduğu ve değişken işletme giderinin ise 0,003 USD/kWh olduğu kabul edilmiştir.

Her iki senaryo ve alternatif çalışmasında da, yenilenebilir enerji kaynağının mevcut sahalardaki bulunma potansiyelinden bağımsız olarak, performans karşılaştırması yapılmıştır. Performans karşılaştırma ölçütü olarak yatırımın geri dönüş süresi ve LCOE seçilmiştir. İskonto edilmiş geri ödeme süresi ve LCOE yenilenebilir enerji kaynaklarının performans karşılaştırmasında en yaygın kullanılan parametrelerdendir [255, 256]. Yatırım geri ödeme süresi Eşitlik 9.6 içinde verildiği gibi hesaplanabilir;

$$\sum_{n=1}^{DPP} \frac{CF_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (9.6)$$

DPP, iskonto edilmiş geri ödeme (discounted payback time) süresidir. Net bugünkü değerin sıfıra eşit olduğu zaman, iskonto edilmiş geri ödeme süresi olarak tanımlanır. Eşitlikte verilen CF_n , n. yıldaki nakit akımı, n yılı, r ise iskonto oranını temsil etmektedir. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) ise Eşitlik 9.7 içinde verildiği gibi hesaplanır;

$$LCOE = \frac{(I_o \times GKO) + My + Vy}{8760 \times Pt \times KF} + (FxH) \quad (9.7)$$

$$GKO = \frac{D \times (1 + D)^N}{(1 + D)^N - 1} \quad (9.8)$$

$LCOE$, seviyelendirilmiş enerji maliyetini temsil etmektedir. Eşitlik 50'de bulunan I_o , ilk yatırım maliyetini (USD), GKO , sermaye geri kazanım oranını, D , iskonto oranını, N , santralin ekonomik ömrünü (yıl), My , yıllık sabit giderleri (USD), Vy , yıllık değişken giderleri (USD), 8 760 bir yıl içindeki zamanı (saat), Pt , santral gücünü (kW), KF , kapasite faktörünü (kapasite kullanım oranı), F , yakıt maliyetini (USD/BTU), H ise ısı katsayısını (BTU/kWh) temsil etmektedir. Yenilenebilir enerji için formülün (FxH) , kısmı herhangi bir hammadde bedeli olmadığı için sıfır kabul edilmektedir. 1 numaralı senaryo için kabul edilen maliyetler ve kriterler Çizelge 9.14 içinde özetlenmiştir;

Çizelge 9.14. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Hidro	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kurulu Güç (kW)	18 777	9 575	8 075	-	4 275
Yatırım Maliyeti (milyon USD/MW)	1,7	0,82	1,4	3,75	2,3
Yatırım Maliyeti (milyon USD)	32	7,85	11,31	-	9,83
Elektrik Üretim Miktarı (MWh)	52 937	14 922	22 906	-	18 826
Kullanılabilir Üretim Miktarı (MWh)	52 937	14 436	21 940	-	18 138
İşletme Geliri Birim Fiyat (USD/MWh)	73	73	73	73	73
Yıllık İşletme Gideri (bin USD)	178	134	363,4	-	483,9

Çizelge 9.15. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları

Değerlendirme / Hibrit Yapı	GHE	RES+HES	JES+HES	BES+HES
Yıllık Gelir (bin USD)	4 918	5 466	-	5 188
Yıllık Gider (bin USD)	312	541	-	662
Yıllık Nakit Farkı (bin USD)	4 606	4 925	-	4 526
Geri Ödeme Süresi (yıl)	1,96	2,75	-	2,58
LCOE (USD/kWh)	0,0697	0,0709	-	0,0741

2 numaralı senaryo için kabul edilen maliyetler ve kriterler Çizelge 9.16 ve Çizelge 9.17 içinde özetlenmiştir;

Çizelge 9.16. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri

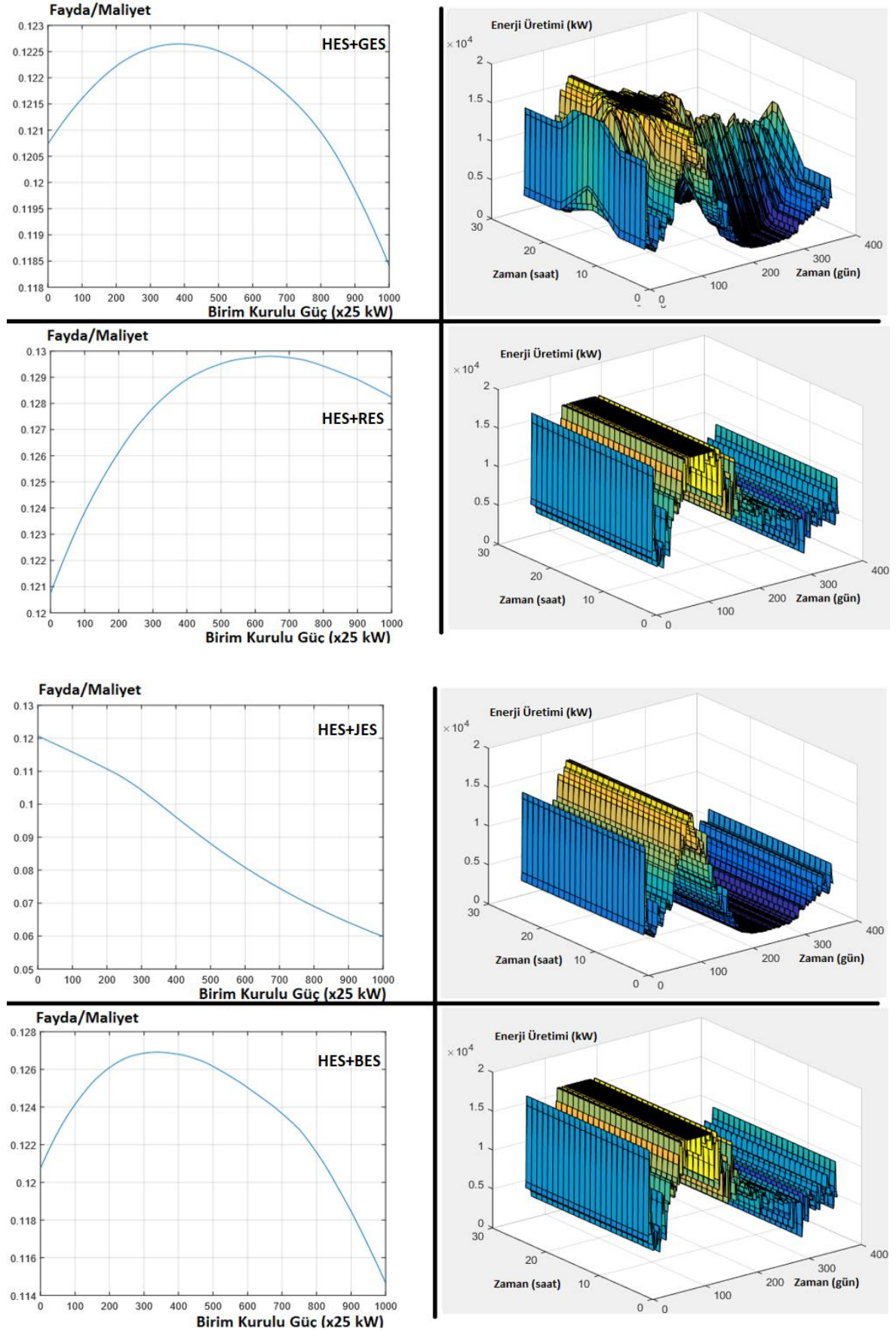
Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Hidro	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kurulu Güç (kW)	18 777	20 900	11 900	-	7 425
Yatırım Maliyeti (milyon USD/MW)	1,7	0,82	1,4	3,75	2,3
Yatırım Maliyeti (milyon USD)	32	17,14	16,66	-	17,08
Elektrik Üretim Miktarı (MWh)	52 937	32 571	33 757	-	32 698
Kullanılabilir Üretim Miktarı (MWh)	52 937	22 359	23 173	-	22 446
İşletme Geliri Birim Fiyat (USD/MWh)	73	73	73	73	73
Yıllık İşletme Gideri (bin USD)	178	292,6	535,5	-	795,4

Çizelge 9.17. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları

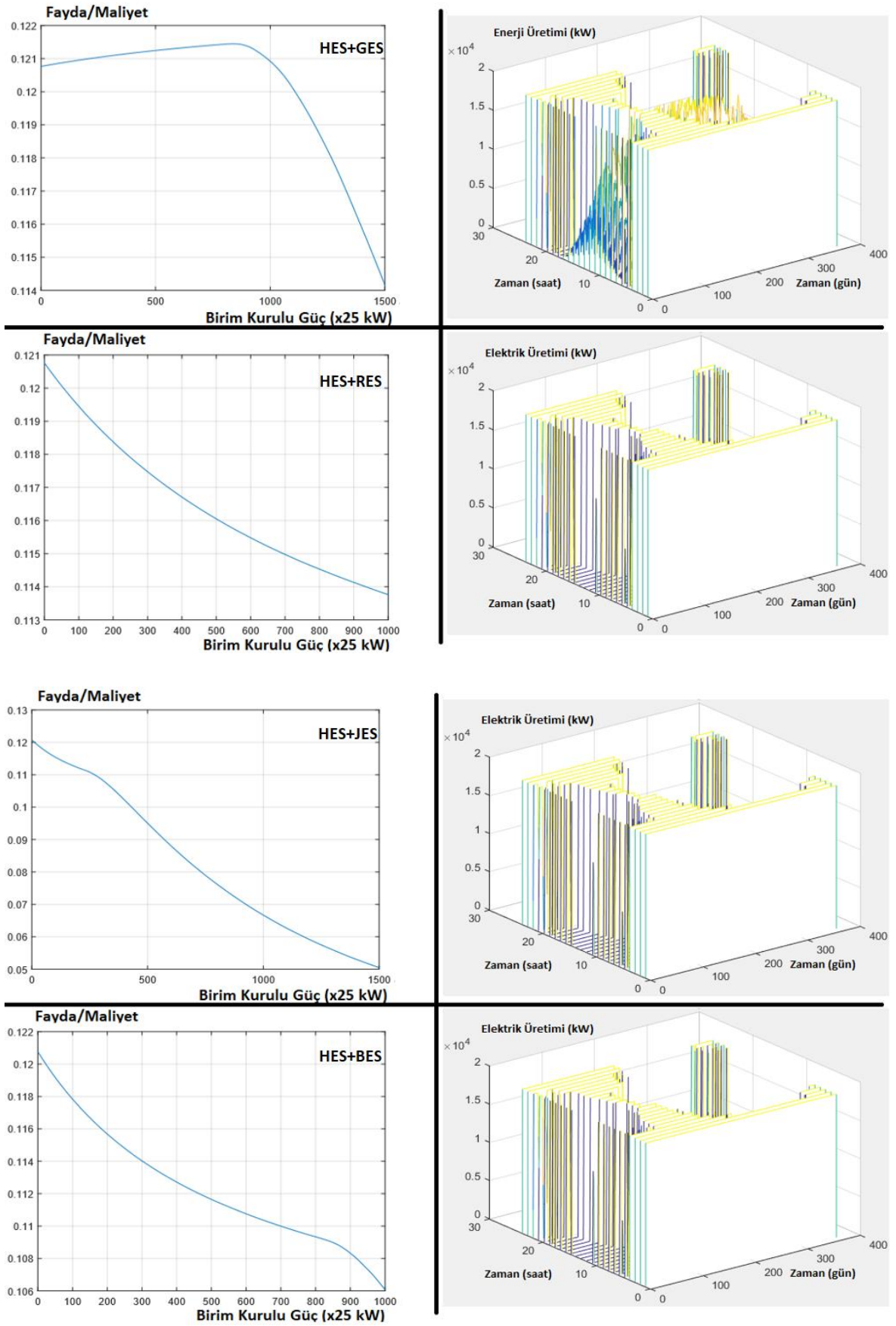
Değerlendirme / Hibrit Yapı	GHE	RES+HES	JES+HES	BES+HES
Yıllık Gelir (bin USD)	5 497	5 556	-	5 503
Yıllık Gider (bin USD)	471	714	-	973
Yıllık Nakit Farkı (bin USD)	5 026	4 842	-	4 530
Geri Ödeme Süresi (yıl)	4,38	4,44	-	4,96
LCOE (USD/kWh)	0,0780	0,0797	-	0,0845

Her iki senaryoda da, güneş enerji tesisini barındıran, GHE entegre hibrit yapısı, diğer hibrit yenilenebilir enerji çiftlerinden daha anlamlı çıkarak, teknik ve ekonomik performans karşılaştırmasında öne çıkmıştır. 1. Senaryo olan düzensiz su verileri ile yapılan hibrit yapı çalışmasında, 1,96 yıl geri ödeme süresi ve 0,0697 USD/kWh birim üretim başına maliyet olarak adlandırılan LCOE değeri ile GHE sisteminde en makul sonuç alınmıştır. GHE entegre hibrit yapısından sonra, geri ödeme süresinde HES+BES hibrit çifti, LCOE değerinde ise HES+RES hibrit çifti gelmektedir. HES+JES kurgusu bu çalışma için anlamsız çıkmıştır. 2. Senaryo olan düzenli su verileri ile yapılan hibrit yapı çalışmasında, 4,38 yıl geri ödeme süresi ve 0,0780 USD/kWh birim üretim başına maliyet olarak adlandırılan LCOE değeri ile GHE sisteminde en makul sonuç alınmıştır. GHE entegre hibrit yapısından

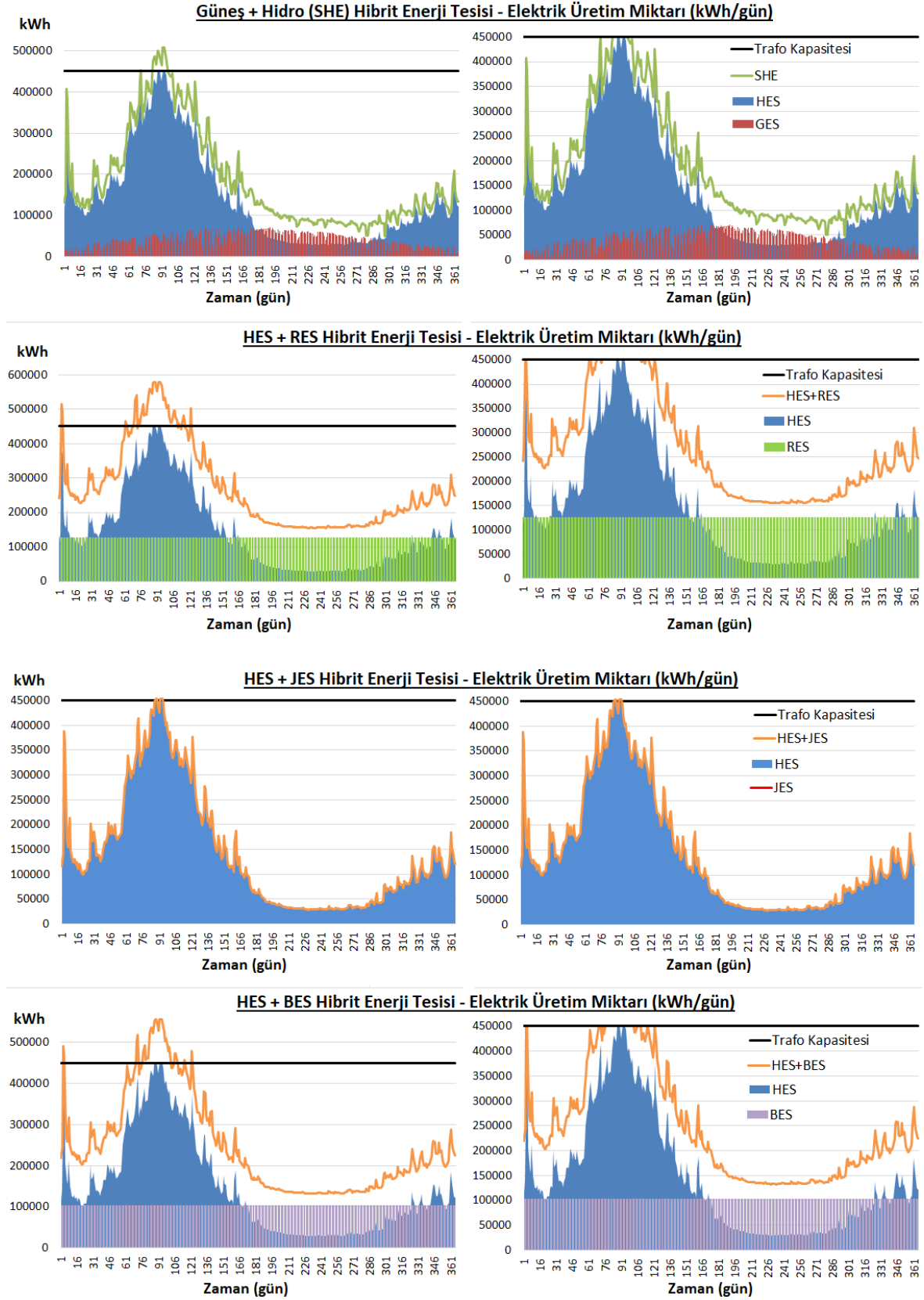
sonra, geri ödeme süresi ve LCOE değerinde, HES+RES hibrit çifti, son olarak ise HES+BES hibrit çifti gelmektedir. HES+JES kurgusu bu çalışma için anlamsız çıkmıştır. Bu çalışmada, güneş dışındaki yenilenebilir enerji karakteristiği, güneş enerjisi gibi alınmıştır. Aslında, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim profilleri birbirine benzememektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını, güneş enerjisi üretim karakteristiğine benzetmek, diğer kaynakların lehine sonuç vermektedir. Buna rağmen güneş enerjisi, diğer kaynaklardan daha iyi performans göstermiştir. Diğer yenilenebilir enerji tesislerinin, günün her saati enerji üretebilme kabiliyetine sahiptir. Gündüz saatlerinde ve yaz aylarında üretim karakteristikleri artmamaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim karakteristiği yılın her dönemi için aynı olduğu kabul edilerek çalışıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 9.8., Şekil 9.9., Şekil 9.10. ile Şekil 9.11. içinde verilmiştir.



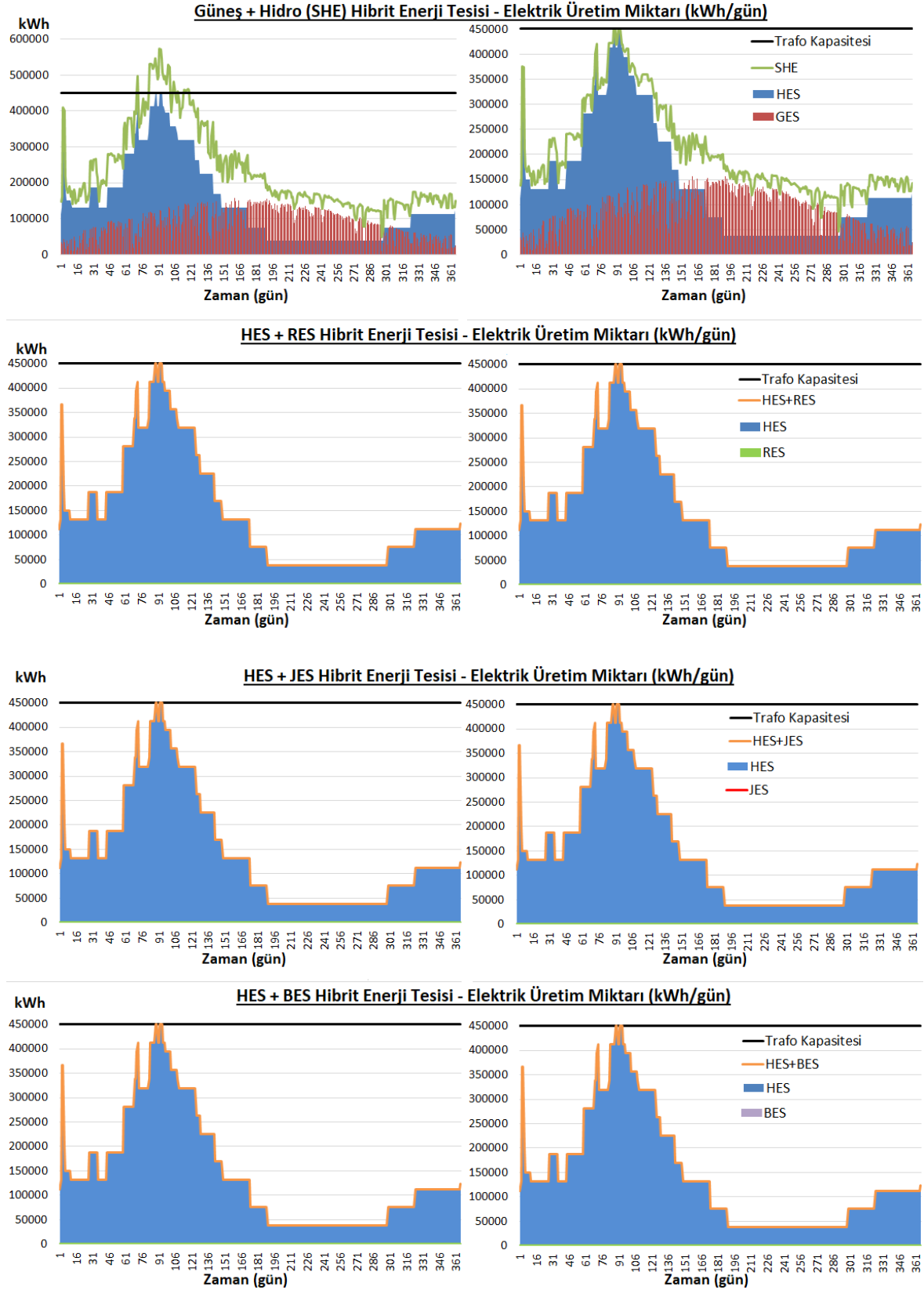
Şekil 9.8. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği



Şekil 9.9. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları fayda/maliyet oranı-birim kurulu güç grafiği



Şekil 9.10. Düzensiz su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktar grafiği



Şekil 9.11. Düzenli su verileri için elde edilen yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretim miktarı grafiği

MATLAB programı ve algoritma çalıştırılarak, yenilenebilir hibrit enerji yapılarının kurulu kapasite ve elektrik üretim miktarları anlamında sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçların özetlendiği tablo aşağıda verilmiştir. 1 numaralı senaryoya göre sonuçlar;

Çizelge 9.18. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Hidro	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kurulu Güç (kW)	18 777	9 575	16 225	-	8 575
Üretilen Enerji Miktarı (MWh)	52 937	14 922	46 051	-	37 784
Kullanılabilir Enerji Miktarı (MWh)	52 937	14 436	43 160	-	35 868
Atıl Enerji Miktarı (MWh)	-	486	2 891	-	1 916

Çizelge 9.19. Yenilenebilir hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları

Değerlendirme / Hibrit Yapı	Güneş-Hidro (GHE)	RES+HES	JES+HES	BES+HES
Kurulu Güç (kW)	28 352	26 852	18 777	23 052
Kapasite Sınırı (kW)	18 777	18 777	18 777	18 777
Kapasite Kullanım Oranı (%)	41	58,4	32,2	53,9
Enerji Üretim Miktarı (MWh)	67 373	96 097	52 937	88 805

1 numaralı senaryo için kabul edilen maliyetler ve kriterler Çizelge 9.20. ile Çizelge 9.21. içinde özetlenmiştir;

Çizelge 9.20. Yenilenebilir enerji performans karşılaştırma parametreleri

Değerlendirme / Yenilenebilir Kaynak	Hidro	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle
Kurulu Güç (kW)	18 777	9 575	16 225	-	8 575
Yatırım Maliyeti (milyon USD/MW)	1,7	0,82	1,4	3,75	2,3
Yatırım Maliyeti (milyon USD)	32	7,85	22 715	-	19 723
Elektrik Üretim Miktarı (MWh)	52 937	14 922	46 051	-	37 784
Kullanılabilir Üretim Miktarı (MWh)	52 937	14 436	43 160	-	35 868
İşletme Geliri Birim Fiyat (USD/MWh)	73	73	73	73	73
Yıllık İşletme Gideri (bin USD)	178	134	730	-	968

Çizelge 9.21. Yenilenebilir Hibrit çiftleri karşılaştırma sonuçları

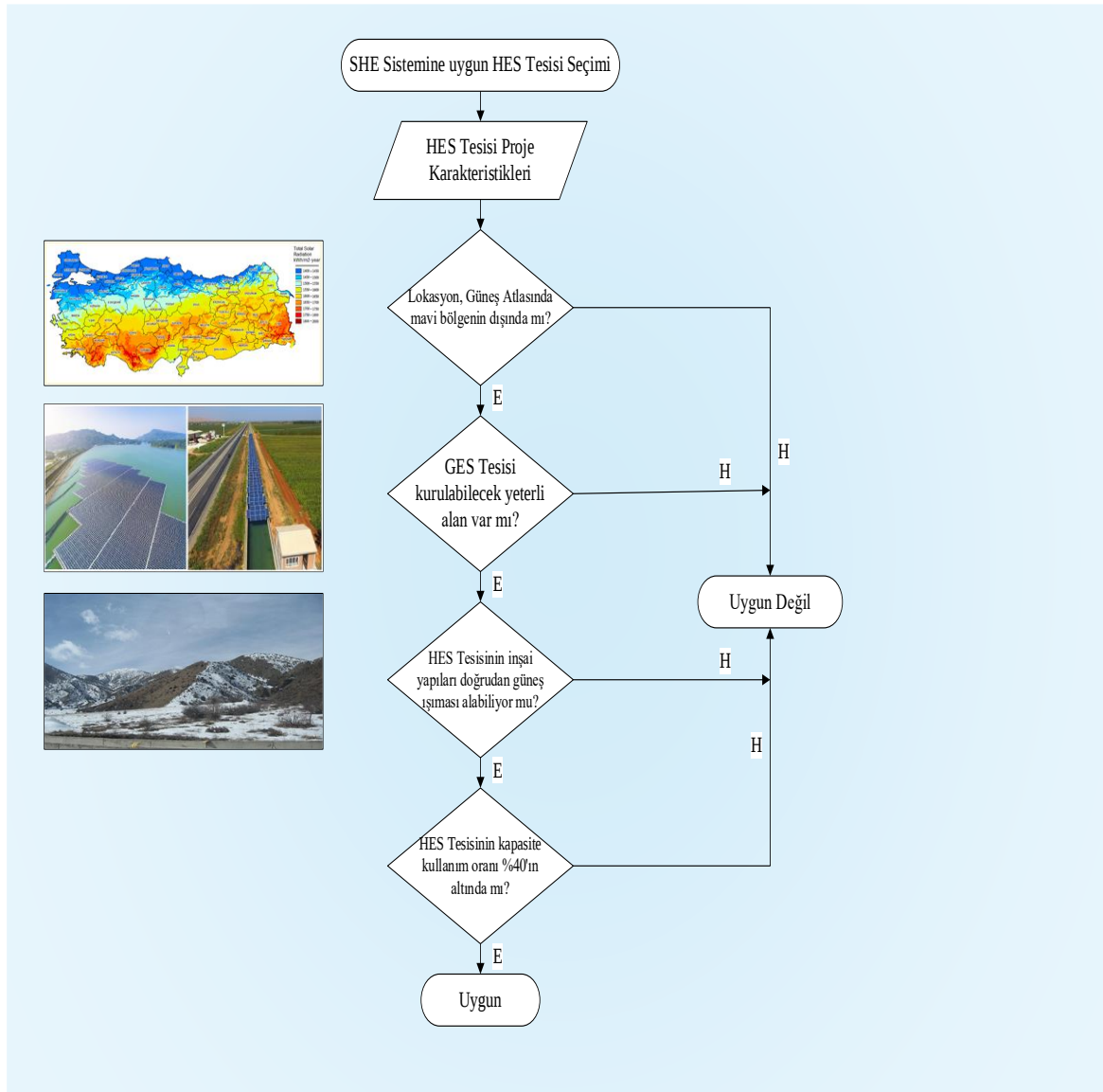
Değerlendirme / Hibrit Yapı	GHE	RES+HES	JES+HES	BES+HES
Yıllık Gelir (bin USD)	4 918	7 015	-	6 483
Yıllık Gider (bin USD)	312	908	-	1 146
Yıllık Nakit Farkı (bin USD)	4 606	6 107	-	5 337
Geri Ödeme Süresi (yıl)	1,96	4,89	-	4,85
Seviye. Enerji Maliyeti-LCOE (USD/kWh)	0,0697	0,0721	-	0,0770

Güneş enerjisi üretim profili gündüz saatleri ve mevsimsellik barındırmakta iken, diğer yenilenebilir enerji tesisleri için böyle bir kurgu yapılmamıştır. Bu durumda yukarıda verilen sonuçlar elde edilmiştir. Mevcut HES tesisine hibrit olarak entegre olabilecek yenilenebilir enerji kaynağı analizleri yapılmıştır. Tüm senaryolarda, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji tesisleri için en uygun hibrit eşleşmesi olarak ortaya çıkmıştır. Güneş enerji tesisini barındıran, SHE entegre hibrit yapısı, diğer hibrit yenilenebilir enerji çiftlerinden daha anlamlı çıkarak, teknik ve ekonomik performans karşılaştırmasında öne çıkmıştır. 1. Senaryo olan düzensiz su verileri ile yapılan hibrit yapı çalışmasında, 1,96 yıl geri ödeme süresi ve 0,0697 USD/kWh birim üretim başına maliyet olarak adlandırılan LCOE değeri ile SHE sisteminde en makul sonuç alınmıştır. SHE entegre hibrit yapısından sonra, geri ödeme süresi ve LCOE değerinde, HES+RES hibrit çifti, değerlere göre son olarak HES+BES tesisi gelmektedir. HES+JES kurgusu bu çalışma için anlamsız çıkmıştır. 2. Senaryo olan düzenli su verileri ile yapılan hibrit yapı çalışmasında, 4,38 yıl geri ödeme süresi ve 0,0780 USD/kWh birim üretim başına maliyet olarak adlandırılan LCOE değeri ile GHE sisteminde en makul sonuç alınmıştır. Diğer yenilenebilir enerji çiftleri için bu çalışma anlamsız çıkmış, diğer yenilenebilir hibrit yapılarının teknik ve ekonomik olarak kurulmaması gerektiği görülmüştür. Bunun sebebi, her ne kadar güneş enerji tesisinin gündüz saatlerinde enerji üretim yapabilmesi bir dezavantaj olarak gözüksede, hidroelektrik enerji tesisleri ile birlikte kullanıldığında, hidroelektrik enerjisini gece veya güneş enerjisinin az üretebileceği saatlere yönlendirilerek enerji yönetimi yapılabilir. Diğer yenilenebilir enerji tesislerinde bu yönetimi yapabilmek zordur. Örneğin, rüzgar enerjisi çok değişken bir enerji üretim karakteristiğine sahiptir. Gündüz veya gece herhangi bir saatte üretim yapmaya başlayabilir ve durabilir. Hatta peşpeşe iki dakika arasında bile birçok farklı üretimler gerçekleştirilebilir. Biyokütle ve jeotermal tesisleri ise ilk yatırım maliyeti ve sonradan işletme giderleri çok yüksek olduğu için başka bir yenilenebilir enerji tesisi ile hibrit çalışmalarının teknik ve ekonomik analizlerde uygun çıkma ihtimali azdır. İlk yapılan hibrit çalışmalarında ağırlıklı rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte oluşturacağı hibrit tesisler üzerinde araştırmalar yapılmış, ama ikisinin de birbirinden farklı ve değişken üretim profilleri, en uygun kurulu güç tahminini yapmakta zorlamıştır. Sonraki dönemlerde yapılan araştırmalarda, dağıtık enerji sistemleri üzerinde durulmuş, rüzgar veya güneş enerji tesisleri, dizel veya benzeri güvenilir enerji tesisleri ile oluşturacakları hibrit yapı üzerinden değerlendirilmiştir. Bu noktada hidroelektrik enerji tesisi, güneş enerjisinin güvenilir enerji eşi olmakta, GHE entegre hibrit enerji tesisleri optimum yenilenebilir enerji çifti olarak ortaya çıkmaktadır.

GHE entegre hibrit enerji tesisleri, hidroelektrik ve güneş enerji sistemlerinin aynı elektrik altyapısını kullandığı ve enerji yönetiminin sağlandığı tesislerdir. Buna rağmen her hidroelektirik tesisinde entegre GHE sistemi uygulamak mümkün olmayabilir. Bunun temel sebeplerini trafo kapasiteleri, coğrafi koşullar, fiziki şartlar ve benzeri kısıtlar yüzünden, GHE entegre hibrit enerji sistemi kurulumunun ekonomik olmamasından kaynaklanmaktadır. SHE entegre hibrit enerji sistemine en uygun hidroelektirik tesisin tespitine yönelik basit ama etkili bir algoritma geliştirilmiş, vaka çalışması olarak da Türkiye seçilmiştir. Hangi hidroelektrik enerji sistemleri üzerinde SHE entegre hibrit yapılabileceği veya mevcut kaynakları en uygun hidroelektrik enerji sistemine kullanılabileceğine yönelik pratik bir karar mekanizma algoritması kurulmuştur. Türkiye hidroelektrik ve güneş enerjisi bakımından yüksek potansiyele sahip bir ülkedir. Daha önce bahsi geçen sebeplerden ötürü tüm tesisler üzerinde böyle bir entegre yapı kurmak mümkün veya ekonomik olmayabilir. Bir sonraki bölümde hızlı ve güvenilir bir şekilde hibrit yapıya uygun tesislerin tespitine yönelik çalışma verilmiştir.

10.GHE (SHE) HİBRİT SİSTEMİNE UYGUN HİDROELEKTRİK TESİSİ SEÇİM ALGORİTMASI:TÜRKİYE ÖRNEĞİ

GHE (SHE-Solar Hidroelektrik) entegre yenilenebilir hibrit sistemlerini tüm hidroelektrik santrallerine uygulamak mümkün olmayabilir. Bunun başlıca sebebi olarak coğrafi ve fiziksel koşullar sıralanabilir. SHE hibrit sistem kurulumu için hangi hidroelektrik tesislerine öncelik verilmeli? veya değerlendirilen tesislerden hangisi seçilmeli? sorularına cevap bulabilmek için Türkiye’de bulunan tesis özellikleri göz önünde bulundurularak, hızlı ve doğru karar almada yardımcı bir algoritma tasarlanmıştır. Şekil 10.1. içinde tasarlanan algoritma verilmiştir.



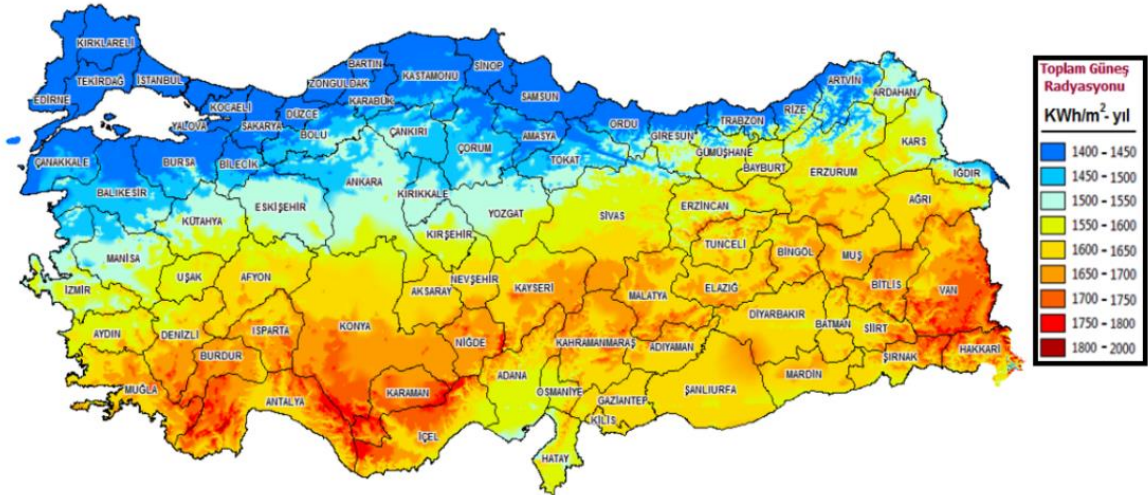
Şekil 10.1. GHE sistemine uygun HES tesis seçim algoritması

Algoritma temel olarak 4 karar sorusu içermektedir. Bunlar;

- Güneş ışıma bölgesi içinde yer alan bölge
- GES tesisi kurulumu için yeteri fiziksel alanın bulunması
- Kurulan hibrit entegre tesisi PV panellerinin doğrudan güneş ışıması alması
- Mevcut HES tesisinin %40 kapasite kullanım oranı ile üretim yapması

Belirtilen başlıklar detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır;

Güneş Işıma Bölgesi: Türkiye için yapılan vaka çalışmasında, T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmi web sitesinden elde edilen güneş atlası haritası kullanılmıştır. Harita 10.1. içinde ilgili atlas verilmiştir [44]. Algoritmada karar verici sorular içerisinde yer alan güneş ışıma bölgesi, SHE hibrit entegre sistemine uygulanabilirliğin mümkün olup olmaması veya ekonomik uygunluğun tespitine yardımcı olmaktadır. Güneş atlasında da görüldüğü üzere mavi renkten-kırmızıya doğru gittikçe m^2 başına düşen güneş ışıma miktarı artmaktadır. Hızlı karar verme mekanizması için, ışıma miktarının az olduğu mavi bölgede bulunan hidroelektrik enerji tesisleri, SHE hibrit entegre yapısına uygun değil/ekonomik değil olarak değerlendirilerek algoritmada ilerlenmektedir.



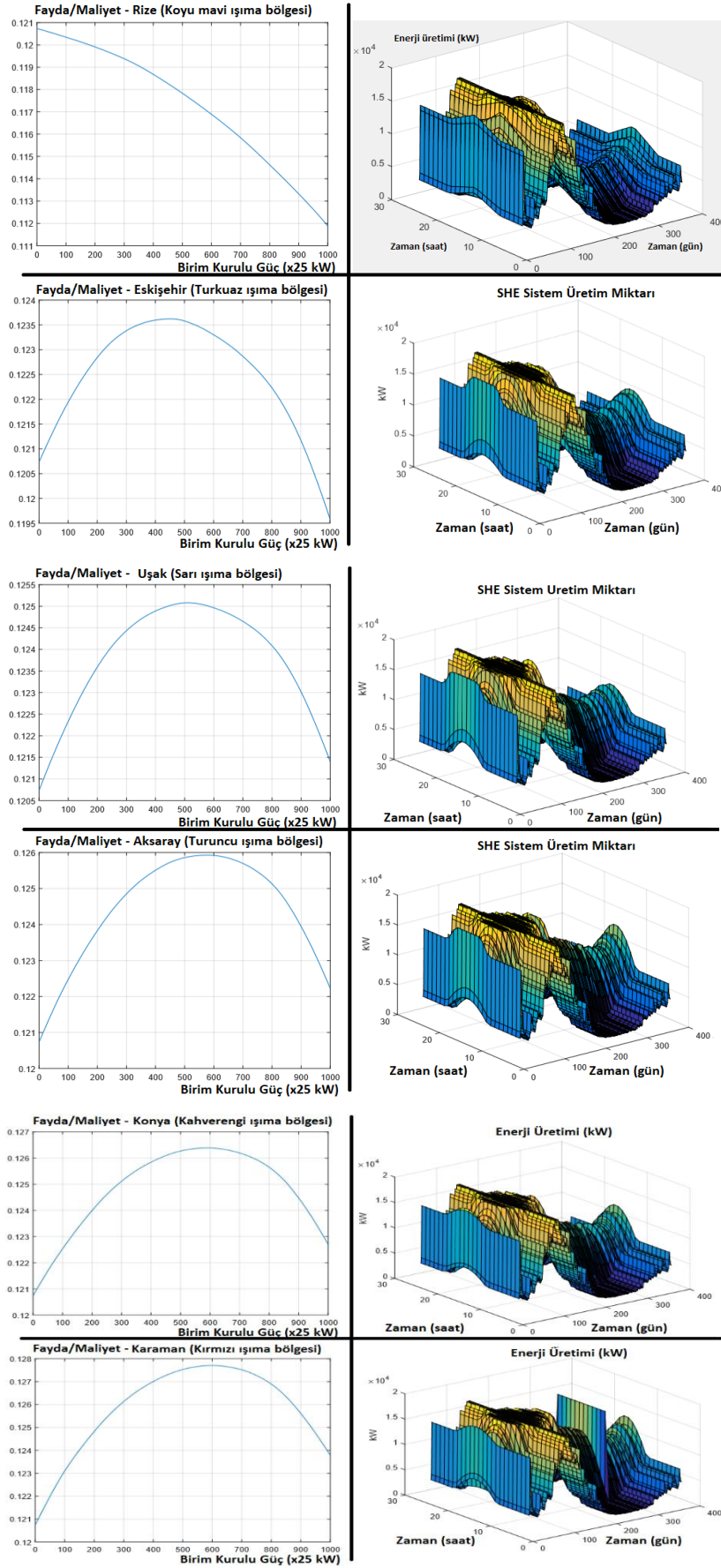
Harita 10.1. Türkiye güneş enerji atlası [44,258]

Uygun veya ekonomik kurulumun olduğu hidroelektrik enerji tesislerinin tespitine yönelik oluşturulan algoritmada karar verici soru olarak seçilen güneş ışıma bölge ayrımı

parametresi, daha önce tanımlanan SHE entegre hibrit enerji tesisleri kurulu güç optimizasyonu algoritmasına uygulanarak, bu karar verici sorunun sağlanması yapılmıştır. Bu çalışma yapılırken, güneş atlasında bulunan renklere göre temsili şehirler seçilmiş, her seçilen şehirde aynı proje karakteristiğine sahip bir hidroelektrik tesisinin (temsili olarak Tokat'ta bulunan hidroelektrik enerji tesisi seçilmiştir) varlığı kabul edilerek, en uygun kurulu güç çalışması yapılmıştır. Seçilen güneş atlası bölgesi ve şehirler aşağıda belirtilmiştir;

- Koyu mavi ışıma bölgesi – Rize
- Turkuaz ışıma bölgesi – Eskişehir
- Sarı ışıma bölgesi – Uşak
- Turuncu ışıma bölgesi – Aksaray
- Kahverengi ışıma bölgesi – Konya
- Kırmızı ışıma bölgesi – Karaman

En uygun kurulu güç çalışma sonuç grafikleri Şekil 10.2. içinde verilmiştir;



Şekil 10.2. Işıma bölgesi temelli en uygun kurulu güç tespiti çalışması

Yapılan çalışma sonucunda koyu mavi çalışma bölgesi olan Rize’de, anlamlı bir kurulu güç sonucu elde edilememiştir. Turkuaz ışıma bölgesi olan Eskişehir’de, 450. Adım ($450 \times 25 \text{ kW} = 11\,250 \text{ kW}$), sarı ışıma bölgesi olan Uşak’ta, 511. Adım ($511 \times 25 \text{ kW} = 12\,775 \text{ kW}$), turuncu ışıma bölgesi olan Aksaray’da, 573. Adım ($573 \times 25 \text{ kW} = 14\,325 \text{ kW}$), kahverengi ışıma bölgesi olan Konya’da, 589. Adım ($589 \times 25 \text{ kW} = 14\,725 \text{ kW}$), kırmızı ışıma bölgesi olan Karaman’da, 598. Adım ($598 \times 25 \text{ kW} = 14\,950 \text{ kW}$) optimum kurulu güç noktasını vermiştir. Söz konusu durumun özeti aşağıda verilen çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 10.1. Işıma bölgesine göre performans karşılaştırma

Değerlendirme	Rize	Eskişehir	Uşak	Aksaray	Konya	Karaman
Kurulu Güç (kW)	-	11 250	12 775	14 325	14	14 950
Elektrik Üretim Miktarı (MWh)	-	67 617	74 392	77 450	78	80 373
Kullanılabilir Üretim Miktarı (MWh)	-	66 790	72 778	75 464	76	77 425

Söz konusu çalışma sonucunda güneş ışıma miktarı yoğunluğu arttıkça, daha yüksek kurulu güçlerde entegre sistem kurulabileceği ortaya çıkmıştır. Koyu mavi olarak belirlenen bölgenin, SHE hibrit entegre enerji sistemine uygun bir yapıya imkan vermediği/ekonomik olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla karar verici soru seti içinde yer alan “Güneş atlası içinde mavi bölgenin dışında mı?” sorusu, SHE hibrit entegre sistemi uygulanmak istenen hidroelektrik enerji tesislerinin tespitinde belirleyici rol oynamaktadır. Çok fazla detay bir değerlendirme içerisine girmeden, bu basit soruyla karar vermek mümkün olabilmektedir. Hidroelektrik enerji santralinin üzerine, güneş ışıma bölgelerinden bağımsız olarak SHE hibrit entegre yapılarının kurulması planlansaydı, nasıl bir sonuç elde edilirdi? Sorusunun cevabı içinde ayrıca bir çalışma yapılmış, diğer tüm parametrelerin aynı veya benzer olduğu durumda, nispeten güneş ışıma miktarı artan bölgelerin ekonomik yapılabilirliğinin daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Değerlendirme için yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır;

- Tesislerin ekonomik ömürleri 25 yıl alınmıştır
- Performans karşılaştırması yatırım geri ödeme süresi ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized cost of energy -LCOE) üzerinden yapılmıştır
- Algoritmadan elde edilen enerji üretim miktarları kullanılmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplarında yatırımın 1 yılda tamamlanacağı ve bir sonraki yıl kabuller doğrultusunda işletmeye geçeceği kabul edilmiştir
- Geri ödeme süresi hesaplamalarındaki iskonto oranı %10 olarak alınmıştır

- Geri ödeme süresi hesaplamaları çok kabaca yapılmış, KDV, vergi, idame yatırım ve amortisman gibi konular hesaplama yansıtılmamıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamalarında sadece gelir ve gider farkı dikkate alınmıştır
- Elektrik satış fiyatı 73 USD/MWh alınmıştır
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme gider kabulleri için IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporu baz alınmıştır.

Çizelge 10.2. içinde söz konusu durumu yansıtan çalışmanın özeti verilmiştir.

Çizelge 10.2. Aynı kurulu güç değeri için ışıma bölgesine göre performans karşılaştırma

Değerlendirme	Rize	Eskişehir	Uşak	Aksaray	Konya	Karaman
Kurulu Güç (kW)	-	11 250	11 250	11 250	11 250	11 250
Yatırım Maliyeti (milyon USD)	-	9,225	9,225	9,225	9,225	9,225
Elektrik Üretim Miktarı (MWh)	-	67 617	71 830	72 189	72 350	73 583
Kullanılabilir Üretim Miktarı	-	66 790	70 600	71 000	71 207	71 895
Yıllık Gelir (bin USD)	-	4 875	5 154	5 183	5 198	5 248
Yıllık Gider (bin USD)	-	335	335	335	335	335
Yıllık Nakit Farkı (bin USD)	-	4 540	4 819	4 848	4 863	4 913
Geri Ödeme Süresi (yıl)	-	2,47	2,29	2,26	2,25	2,23
Seviyelendirilmiş Enerji -LCOE	-	1,52	1,44	1,43	1,43	1,42

Özet çalışmadan da görüleceği üzere, güneş ışıma miktarı arttıkça, SHE entegre hibrit enerji tesis yatırımlarını gerçekleştirmenin ekonomik yapılabilirliği de artmaktadır. Çalışma neticesinde, aynı büyüklükteki güneş enerjisi kurulu gücünün hangi bölgede kurulmasının daha uygun olacağı yönünde bir karar için, çok fazla bir detay çalışma yapmadan ve hızlı bir şekilde, güneş ışıma miktarının fazla olduğu bölgenin tercih edilebileceği söylenebilir.

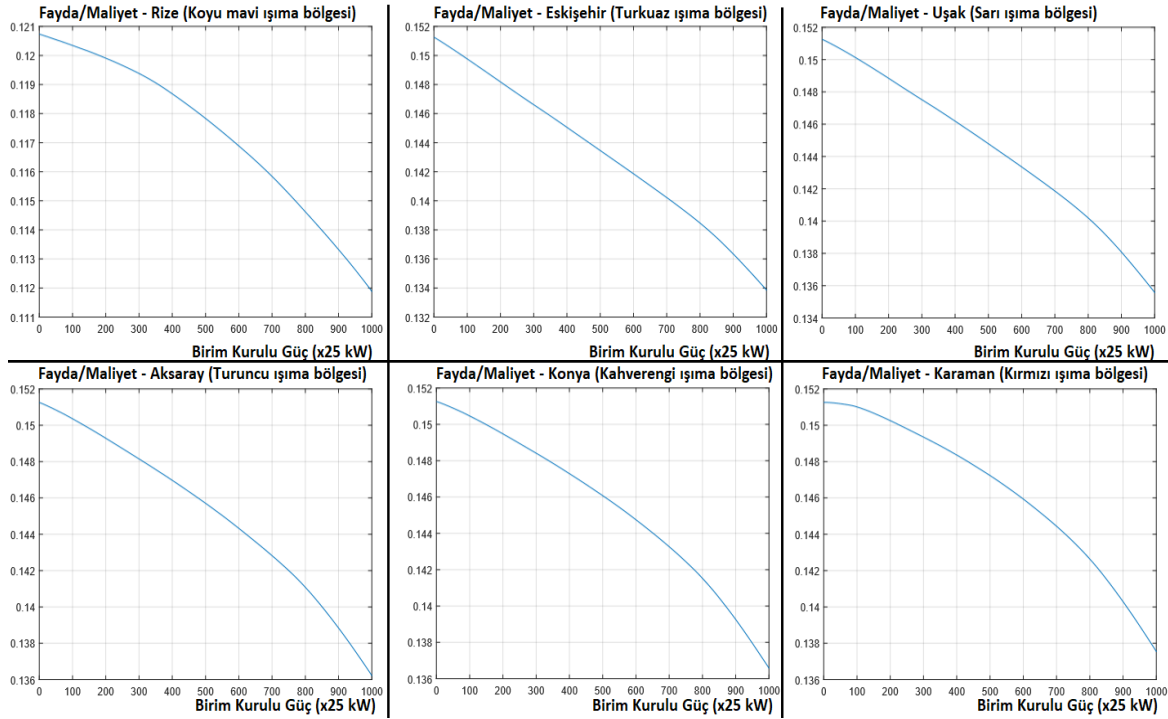
Yeterli fiziksel alan: Nehir tipi hidroelektrik enerji tesisleri genel olarak regülatör, iletim kanalı, yükleme havuzu ve santral binalarından oluşmaktadır. Bu inşai yapıların üzerinde veya yakın/uygun bölgelerde GES tesisi kurulumu mümkün olduğundan, SHE hibrit entegre yapısı oluşturulabilir. Fakat, her zaman böyle bir GES tesisi kurulum imkanı bulunmayabilir. Buna örnek olarak tünelli yapılara sahip veya coğrafi açıdan GES kurulumunun çok zor olduğu/ekonomik olmadığı bölgelerde bulunan hidroelektrik enerji santralleri gösterilebilir. Dolayısıyla, hızlı karar alma açısından “GES tesisi kurulabilecek yeterli alan var mı?” sorusu, SHE hibrit entegre sistemi uygulanmak istenen hidroelektrik enerji

tesislerinin tespitinde belirleyici rol oynamaktadır. Çok fazla detay bir değerlendirme içerisine girmeden, bu basit soruyla karar vermek mümkün olabilmektedir.

PV panellerin doğrudan güneş ışıma alması: PV paneller gölgelemeden etkilenen yapılardır. Güneş ışınlarının herhangi bir engele takılmadan panellere ulaşması önemlidir. Hidroelektrik santrallerinin herhangi bir fiziki alan yetersizliği problemleri olmasa da, güneş ışımasını doğrudan alabilecek konumları olmayabilir. Vaka çalışması Türkiye için yapıldığından, bu konu Türkiye özelinde örneklenerek anlatılmıştır. Türkiye coğrafi olarak yoğun dağlık alanlara sahiptir. Türkiye ortalama rakımı 1 035 m olup, dağlar doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır [259]. Hidroelektrik enerji üretiminin elde edilebilmesi için en önemli iki faktör su potansiyeli ve yüksekliktir. Dolayısıyla, Türkiye hidroelektrik enerji kurulumu için potansiyeli yüksek bir ülke olarak değerlendirilmektedir. IHA 2019 yılı raporunda Türkiye Dünya’da dokuzuncu, Avrupa’da ise ikinci en yüksek hidroelektrik kurulu kapasitesine sahip ülkedir [25]. Dağların genel olarak doğu – batı doğrultusunda uzanmasından ötürü, hidroelektirk enerji santrallerinin iletim kanal yapıları dağların sağ veya sol sahillerinde inşa edilebilmektedir. İletim kanallarının üzerine GES tesisi kurulup, SHE entegre yapısı oluşturulması durumunda, iletim kanalının inşa edildiği cepheye göre, PV panellerinin doğrudan güneş ışımasını alabileceği güneye bakan cephe veya kısmen gölgede kalabileceği kuzeye bakan cephede yer alma ihtimali bulunmaktadır. Gölgeleme etkisinin PV panel üretimini olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla, hızlı karar alma açısından “Hidroelektrik enerji tesisinin inşai yapıları doğrudan güneş ışıması alabiliyor mu?” sorusu, SHE hibrit entegre sistemi uygulanmak istenen hidroelektirk enerji tesislerinin tespitinde belirleyici rol oynamaktadır. Çok fazla detay bir değerlendirme içerisine girmeden, bu basit soruyla karar vermek mümkün olabilmektedir.

Kapasite kullanım oranı: Mevcut hidroelektrik enerji santrallerinin kapasite kullanım oranları, üzerlerine kurulması planlanan SHE hibrit entegre yapıların kapasitesini belirleyen çalışmayı doğrudan etkilemektedir. Bunun temel sebebi, üretilen enerjinin şebekeye verilirken belli bir trafo kapasitesi ile sınırlanmasıdır. Bu durum, mevcut hidroelektrik enerji santralının yapmış olduğu üretim performansının, güneş enerjisinden elde edilecek enerji üretimini sınırlamasına yol açabilme ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Yatırım maliyeti değişmemesine rağmen, üretilen enerji miktarının sınırlanması, SHE hibrit entegre sisteminin güneş yatırım kısmını ekonomik olarak yapılabilirliğini etkilemektedir. Oluşturulan algoritmada, hidroelektrik enerji santralinin %40 kapasite kullanım oranı

üzerinde veya altında çalışması karar verici bir soru olarak yansıtılmıştır. Bu oran belirlenirken ilkbahar aylarında yüksek ve yaz aylarında ise düşük yağışların gerçekleştiği, Türkiye'nin tipik bir yağış rejimini yansıttığı düşünülen hidroelektrik santral verileri (Vaka 2 çalışmasında verileri kullanılan ve Tokat'ta yer alan mevcut HES tesisi baz alınmıştır) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mevcut hidroelektrik enerji santralinin uzun yıl ortalama kapasite kullanım oranı %32,2 olarak hesaplanmıştır. Hidroelektrik enerji santralinin saatlik bazda üretimler birbirinden bağımsız olarak %5'lik adımlarla artırılarak (ilk adım %32,2, ikinci adım %35 alınarak artırılmıştır), optimizasyon algoritması çalıştırılmıştır. Daha önce bahsedilen farklı ısıma bölgelerinde, kademe kademe ilgili artışlar uygulandığında, en son %40 kapasite kullanım oranının tüm bölgelerde SHE hibrit entegre sisteminin kurulumuna imkan vermeyen son kapasite kullanım oranı olduğu ortaya çıkmıştır. Daha önce yapılan vaka 2 çalışmasında da %32,2 olarak ele alınan hidroelektrik enerji santralinin, SHE entegre yapısına dönüşmesi ile birlikte toplam %41 oranında kapasite kullanım oranlarına ulaştığı gözlenmiştir. Ele alınan hidroelektrik enerji santrallerinin verilerine göre sınır olarak kabul edilen %40 oranı değişebilmekle birlikte, hızlı karar alma sürecinde detay çalışma yapmadan güvenli sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, hızlı karar alma açısından “HES tesisi kapasite kullanım oranı %40'ın altında mı?” sorusu, SHE hibrit entegre sistemi uygulanmak istenen hidroelektirk enerji tesislerinin tespitinde belirleyici rol oynamaktadır. Çok fazla detay bir değerlendirme içerisine girmeden, bu basit soruyla karar vermek mümkün olabilmektedir. Ayrıca Şekil 10.3. içinde, mevcut hidroelektrik enerji santral verilerinin, farklı ısıma bölgelerinde %40 olarak ele alındığında, SHE hibrit entegre tesisi kurulumu için anlamlı sonuçlar elde edilemediği gösterilmiştir.



Şekil 10.3. Hidro enerjinin kapasite kullanım oranı %40 olduğunda güneş ışıma bölgesi temelli kurulu güç tahminleri

Sonuç olarak algoritmada önerilen karar verici soruların, hızlı ve basit bir şekilde, SHE hibrit yapılması kararı alınmasında veya alternatif yatırımlar içinde seçim yapılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir. Tüm sorulara verilen cevabın evet olması durumunda, SHE hibrit entegre sistemine en uygun hidroelektrik enerji santralının tespit edilebileceği düşünülmektedir. Tasarlanan algortima çerçevesinde, Türkiye'nin mevcut hidroelektirik enerji santrallerinin ne kadarlık bir kısmına SHE hibrit entegre yapısının uygulanabileceği hususunda bir çalışma yapılmıştır. Çalışma yaparken ele alınan kabuller aşağıda listelenmiştir;

- Eylül 2021 TEİAŞ kurulu güç raporunda belirtilen işletmedeki hidroelektrik enerji santralleri ele alınmıştır [12]
- Düşük ışıma bölgelerinde bulunan tesisler değerlendirme dışı bırakılmıştır (Artvin, Trabzon, Rize, Giresun, Samsun, Sinop, Kastamonu, Bartın, Zonguldak, İstanbul, Bursa, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ)
- Barajlı tüm santrallerin üzerine SHE hibrit entegre yapısına uygun güneş enerji sistemleri kurulabileceği kabul edilmiştir

- Kurulabilecek yasal hibrit kaynak gücün sınırı tespit edilirken, 17 Nisan 2021 tarihli 31457 numaralı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren mevzuat çerçevesinde değerlendirme yapılmıştır [260]
- Bu mevzuata göre 50 MW altındaki hidroelektrik santrallerine ana kaynağın ünite gücü kadar, 50 MW üstündeki tesislere de toplamda 100 MW sınırını aşmayacak ve 50 MW üstündeki kalan gücün yarısı kurulabilecek şekilde çalışma kurgulanmıştır
- Nehir tipi santrallerin yarısının sağ diğer yarısının ise sol sahilden iletim kanalı olacağı, dolayısıyla en az yarısının üzerine güneş enerji tesisi kurulamayacağı kabul edilmiştir
- Hidroelektrik enerji santrallerin kapasite kullanımı % olarak alındığından, tüm hidroelektrik enerji santrallerinin karar sorularından olan kapasite kullanım oranından etkilenmeyeceği kabul edilmiştir

Çalışmanın özeti Çizelge 10.3. ile Çizelge 10.4. içinde verilmiştir.

Çizelge 10.3. Türkiye'nin hidroelektrik tesis bilgileri

	Toplam	Mavi Bölge	GeriyeKalan Barajlı HES	Geriye Kalan Nehir Tipi HES	SHE Sistemine Uygun Nehir Tipi HES
Kurulu Güç (MW)	31 447	7 003	20 768	3 676	1 838
Adet	685	242	108	335	168

Çizelge 10.4. Türkiye entegre GHE tesis potansiyeli

	Baraj HES Üzerine Kurulabilecek GES	Nehir Tipi HES Tesisi Üzerine Kurulabilecek GES	Toplam
Kurulu Güç (MW)	7 751	1 838	9 589
Adet	108	168	276

Resim 10.1., Türkiye'nin ilk ve 2021 yıl sonu itibariyle tek yenilenebilir hibrit (hidroelektrik+güneş) enerji tesisi olan Aşağı Kaleköy hibrit enerji tesisini göstermektedir [261].



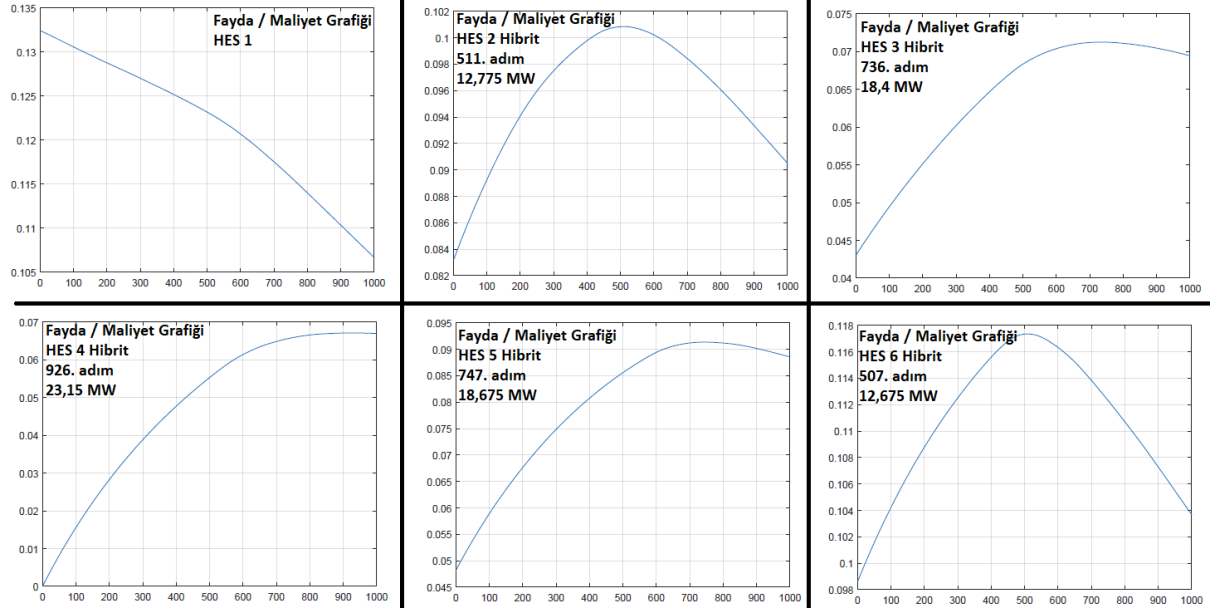
Resim 10.1. Türkiye'nin ilk yenilenebilir hibrit (hidroelektrik+güneş) enerji tesisi [261]

Çalışma sonucunda, Türkiye'de mevcut durumdaki 276 hidroelektrik enerji santrali için, toplam kurulu gücü 9 589 MW olacak şekilde güneş enerji santrali kurulumunun gerçekleştirilebileceği ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında Türkiye'de, SHE hibrit entegre sistemin kullanılabilceği birçok sulama kanal yapısı da bulunmaktadır. Örneğin değerlendirildiği takdirde, Temmuz 2020 yılında tamamlanan Mardin-Ceylanpınar sulama kanalı 221 km uzunluk ve ortalama 20 m genişlik ile kanalın üstüne yaklaşık olarak 1 000 MW kurulu kapasitede güneş enerji santrali kurma imkanı olabilmektedir. Resim 10.2. içinde, GHE potansiyel uygulamalarında yer alabilecek Mardin-Ceylanpınar sulama kanalına ait görseller verilmiştir.

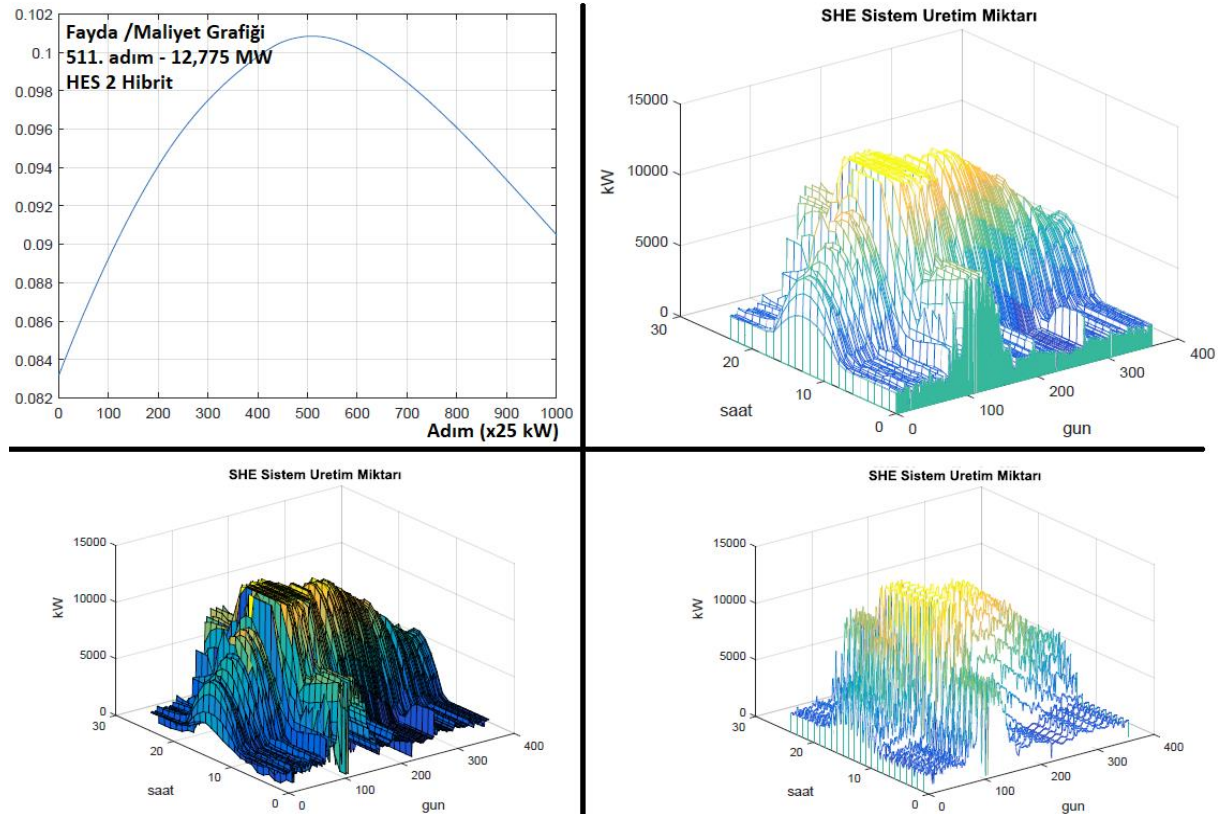


Resim 10.2. Mardin-Ceylanpınar sulama kanalı [262]

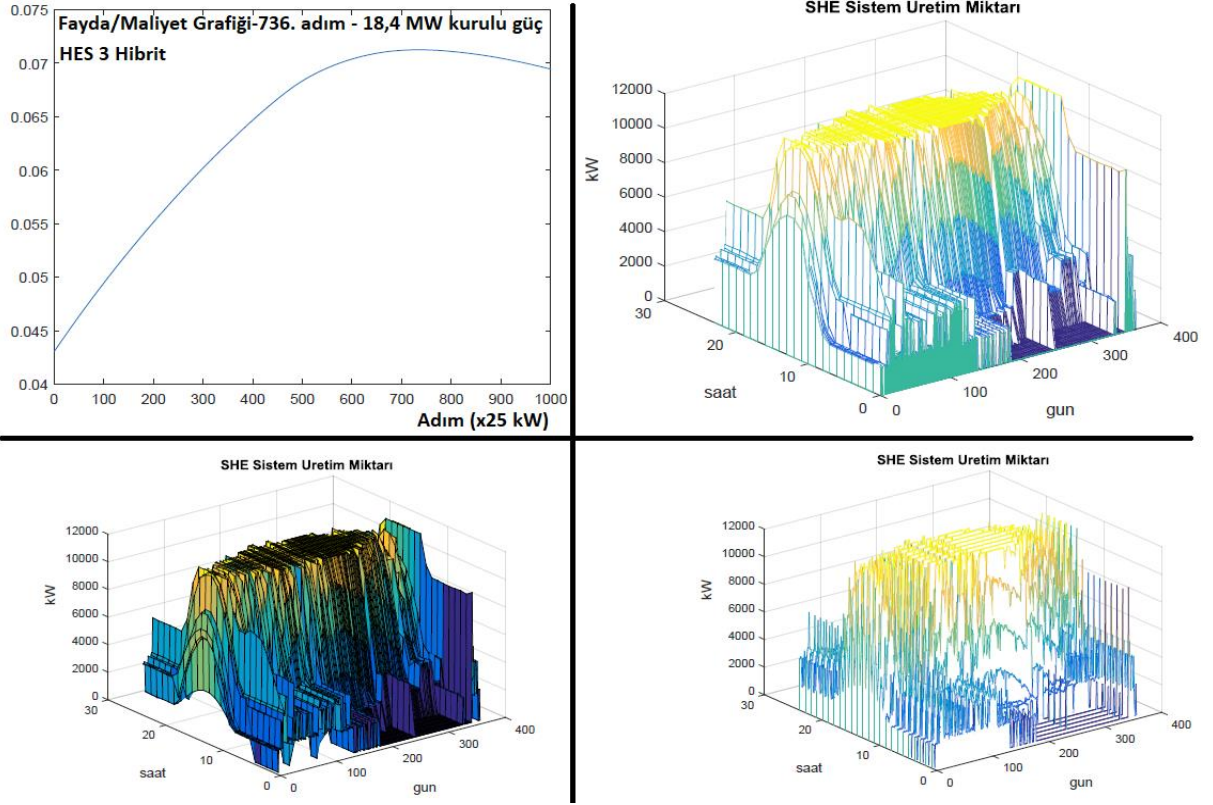
Kurulu güç optimizasyon sonuçları, Şekil 10.5., Şekil 10.6., Şekil 10.7., Şekil 10.8., Şekil 10.9. ile Şekil 10.10. içinde verilmiştir;



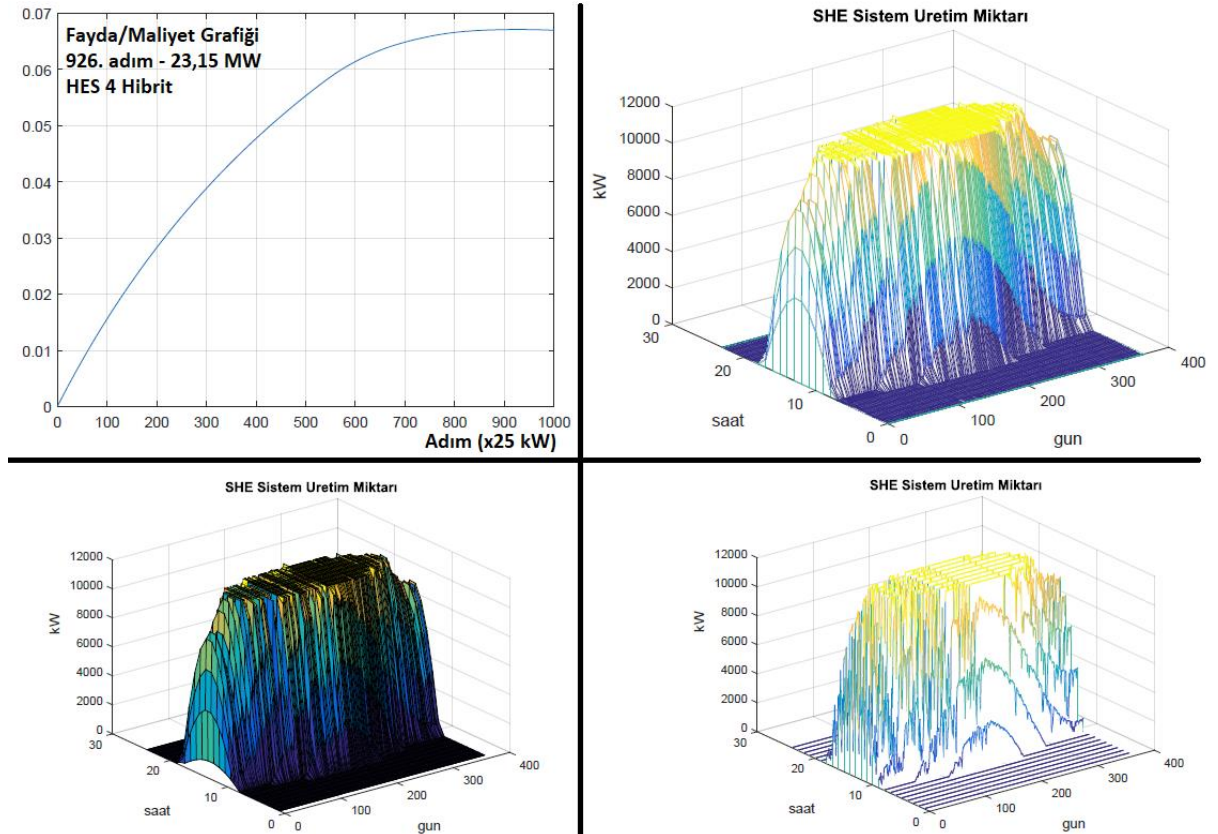
Şekil 10.5. Seçilen HES tesislerinin fayda/maliyet oran grafikleri



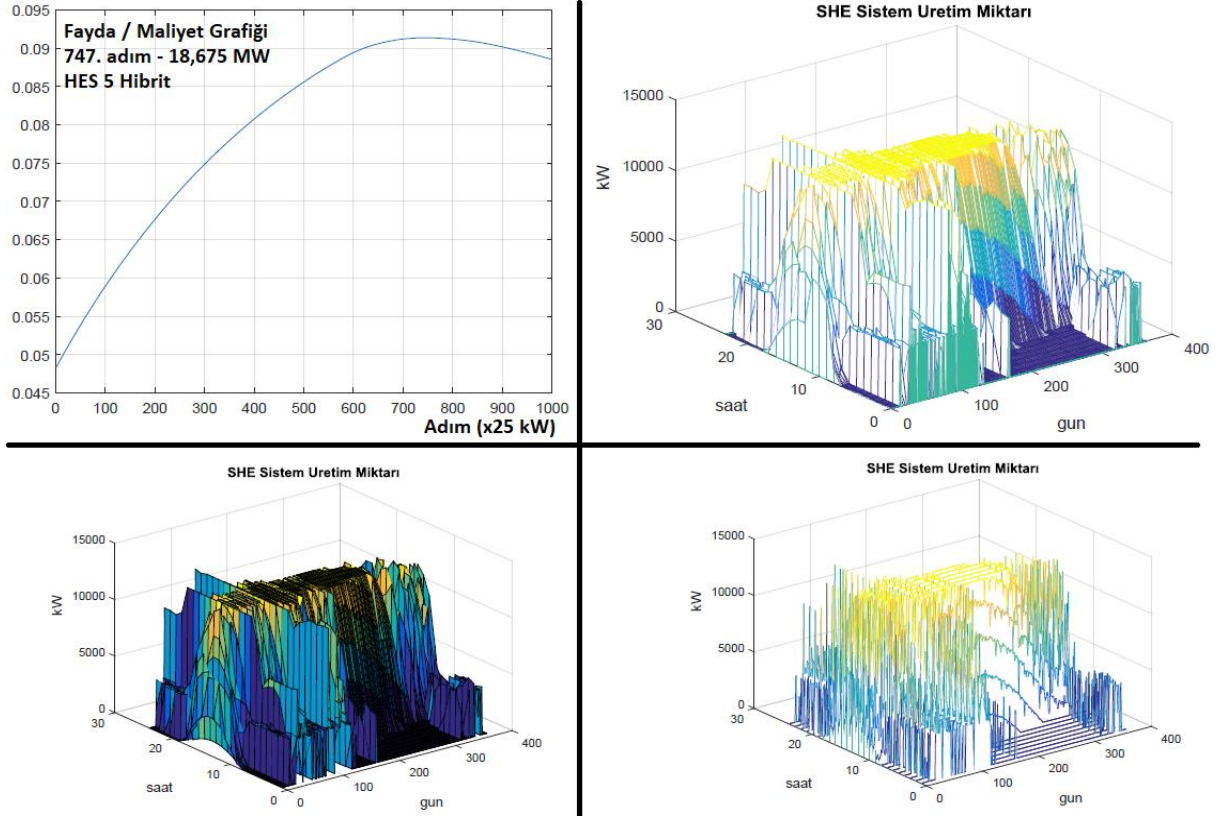
Şekil 10.6. HES 2 Hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği



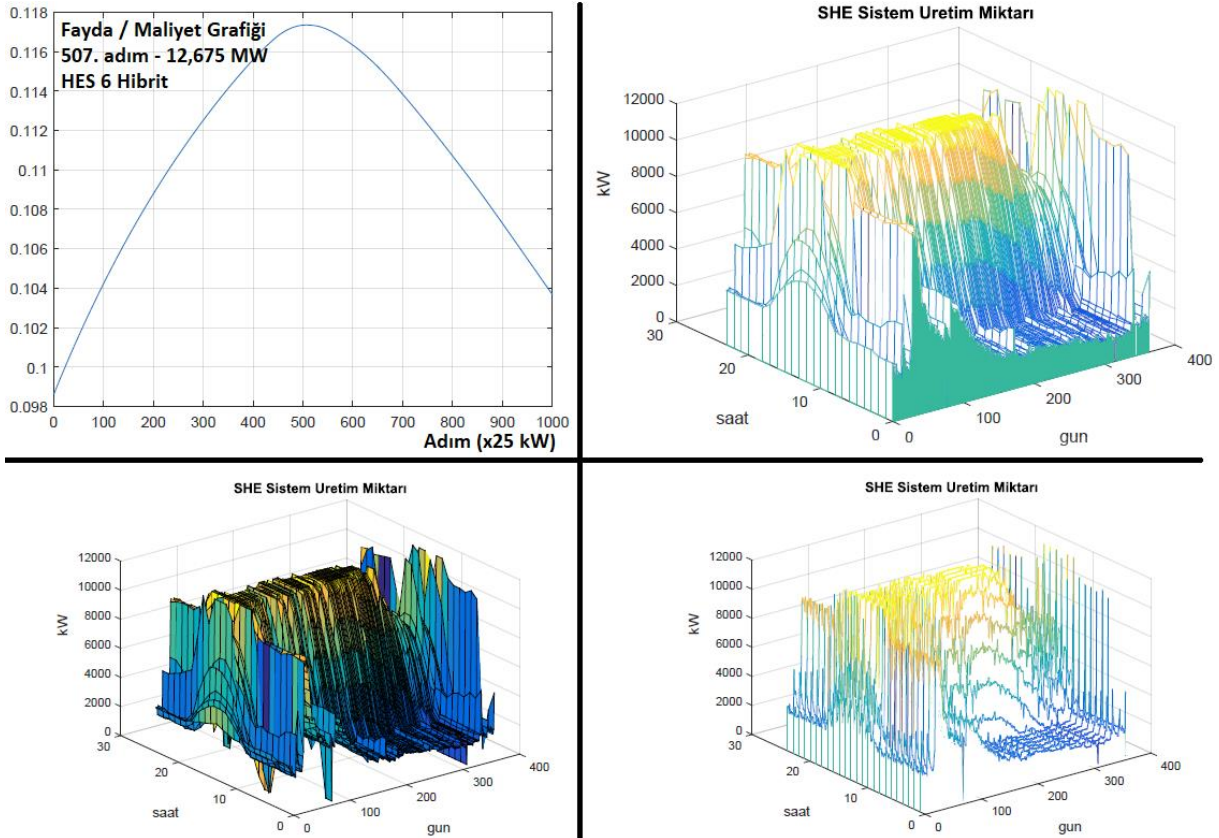
Şekil 10.7. HES 3 Hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği



Şekil 10.8. HES 4 hibrit ges enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği



Şekil 10.9. HES 5 hibrit ges enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği



Şekil 10.10. HES 6 Hibrit GES enerji üretimleri ve fayda/maliyet oran grafiği

Söz konusu çalışma sonucunda güneş ışıma miktarı ve mevcut HES tesisinin kapasite kullanım oranının, hibrit yapı içerisinde kullanılacak olan GES tesisi kurulu güç büyüklüğünü doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir.

Değerlendirme için yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır;

- Tesislerin ekonomik ömürleri 25 yıl alınmıştır
- Performans karşılaştırması yatırım geri ödeme süresi ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized cost of energy -LCOE) üzerinden yapılmıştır
- HES tesislerinin yatırım maliyeti 18 milyon USD olarak kabul edilmiştir
- Algoritmadan elde edilen enerji üretim miktarları kullanılmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplarında yatırımın 1 yılda tamamlanacağı ve bir sonraki yıl kabuller doğrultusunda işletmeye geçeceği kabul edilmiştir
- Geri ödeme süresi hesaplamalarındaki iskonto oranı %10 olarak alınmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamaları çok kabaca yapılmış, KDV, vergi, idame yatırım ve amortisman gibi konular hesaplama ya yansıtılmamıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamalarında sadece gelir ve gider farkı dikkate alınmıştır
- Elektrik satış fiyatı 73 USD/MWh alınmıştır
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme gider kabulleri için 2019 IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporu baz alınmıştır.

Çizelge 10.6. içinde söz konusu durumu yansıtan çalışmanın özeti verilmiştir.

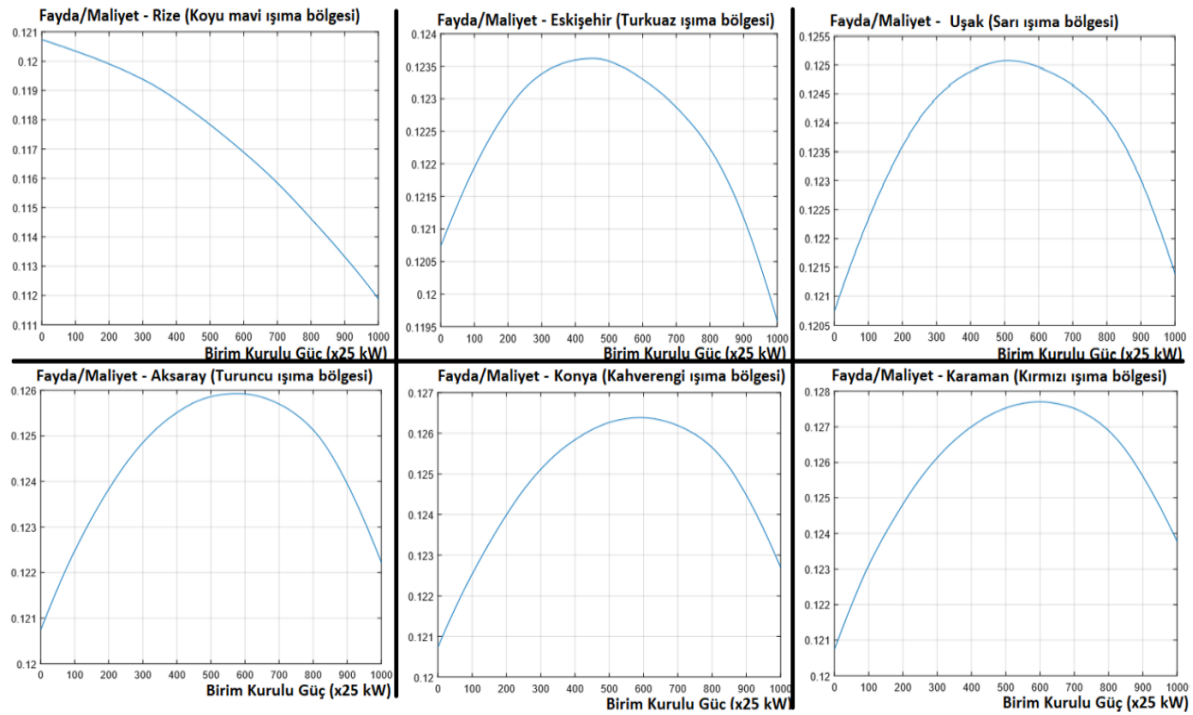
Çizelge 10.6. Işıma bölgesine göre ekonomik değerlendirme tablosu

Değerlendirme	HES1	HES2	HES3	HES4	HES5	HES6
HES Kurulu Güç (kW)	12 000	11 000	12 000	12 000	13 000	12 000
GES Kurulu Güç (kW)	-	12 775	18 400	23 150	18 675	12 675
GES Ya. Maliyeti (mil. USD)	-	10,476	15,088	18,983	15,314	10,394
HES Üretim (MWh)	32 658	20 443	18 865	13 442	11 911	24 311
Kapasite Kullanım Oranı (%)	31,07	21,22	17,95	12,79	10,46	23,13
Hibrit SHE Üretim (MWh)	-	39 336	45 958	43 657	41 687	45 644
Optimize GES Üretim(MWh)		18 893	27 093	30 215	23 012	21 333
Atıl GES Üretim(MWh)		269	967	5 668	6 401	215
Kapasite Kullanım Oranı (%)	-	40,82	43,72	41,53	36,61	43,42
Hibrit GES Katkı Oranı(%)		19,6	25,77	28,74	26,15	20,29
GES Yıl. Gelir (milyon USD)	-	1,38	1,98	2,20	1,68	1,56
GES Yıllık Gider (bin USD)	-	178,85	257,6	324,1	261,45	177,45

Çizelge 10.6. (Devam) Işıma bölgesine göre ekonomik değerlendirme tablosu

Yıllık Brüt N. Farkı (m USD)	-	1,20	1,72	1,88	1,42	1,38
Geri Öd. Sü. (yıl - nominal)	-	8,73	8,77	10,09	10,78	7,53
LCOE (USD/kWh)	-	0,0316	0,0318	0,0358	0,0380	0,0278

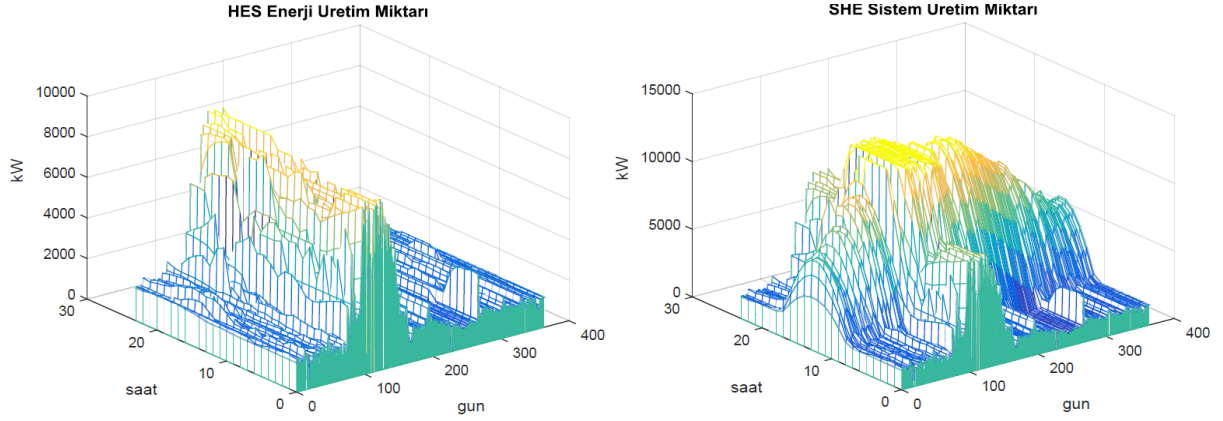
Bir önceki yapılan vaka çalışmasında aynı HES tesisinin enerji üretim miktarı baz alınarak farklı bölgelerde ne büyüklükte bir entegre yenilenebilir hibrit enerji tesisi kurulabileceği üzerine çalışılmıştı. Çıkan sonuçlara göre ışıma miktarının kademe kademe arttığı mavi bölgeden kırmızı bölgeye doğru giderken, kurulması planlanan hibrit tesislerin daha büyük kurulu güçlerde optimizasyona imkan verdiği gözlenmiştir.



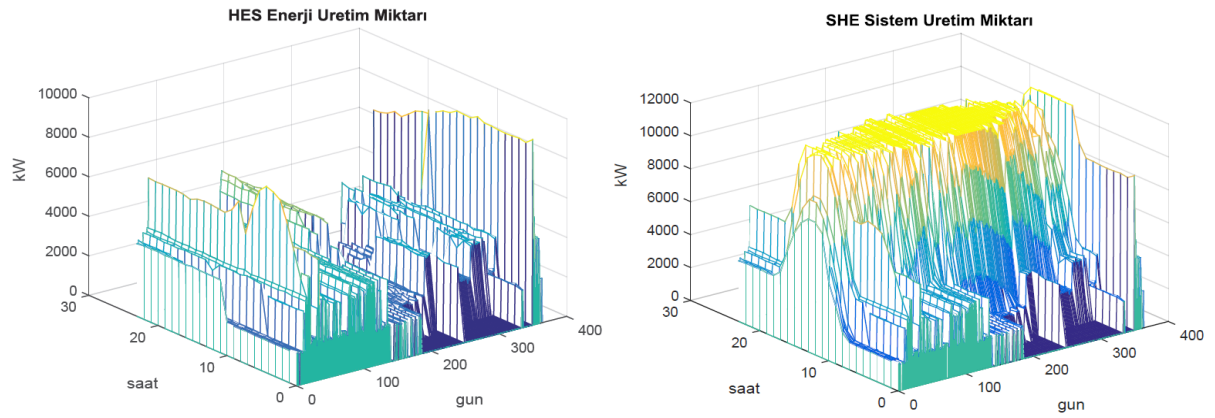
Şekil 10.11. Işıma bölgesine göre hazırlanan hibrit GES fayda/maliyet oran grafiği

Yukarıda yapılan çalışma sonucunda ise birbirinden farklı HES tesisleri baz alındığında ışıma bölgesinin yanısıra, mevcut HES tesisinin üretim profili, kapasite kullanım oranı, üretim periyodu dağılımı gibi konularında önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Fayda/Maliyet noktası en yüksek olan hibrit tesisin en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. Bu oran ne kadar yüksekse hibrit yapının geri dönüş süresi ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) gibi finansal/ekonomik yapılabilirlik değerleri o derece yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla her poje kendi üretim profili çerçevesinde değerlendirilmelidir. HES tesislerinin üretimleri ve hibrit

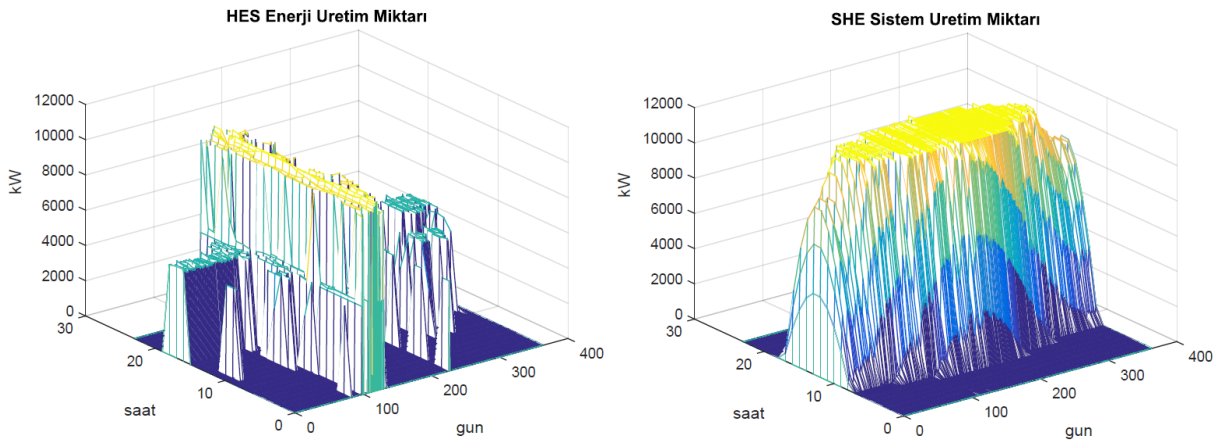
enerji olduktan sonra elde edebilecekleri üretimler karşılaştırmalı olarak Şekil 10.12., Şekil 10.13., Şekil 10.14., Şekil 10.15. ve Şekil 10.16. içinde verilmiştir.



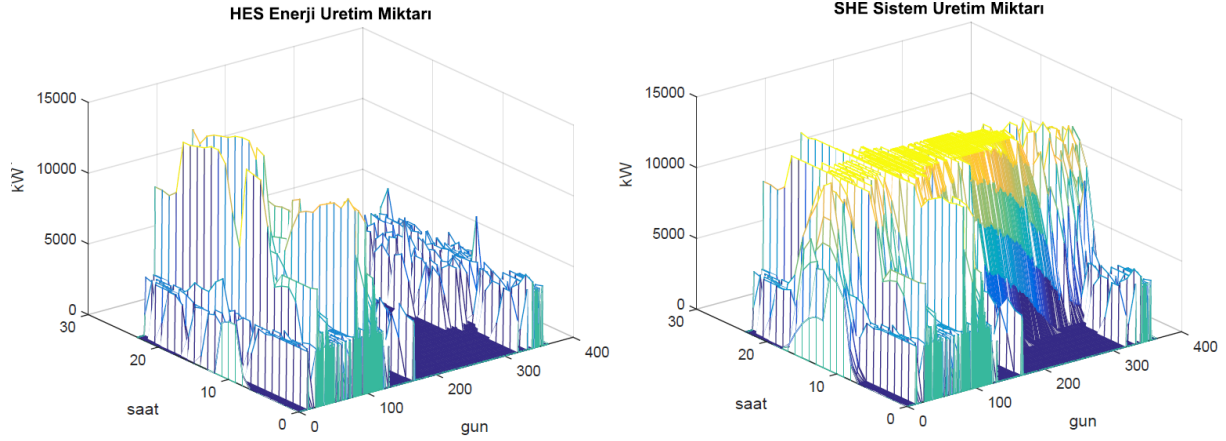
Şekil 10.12. HES 2 / Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri



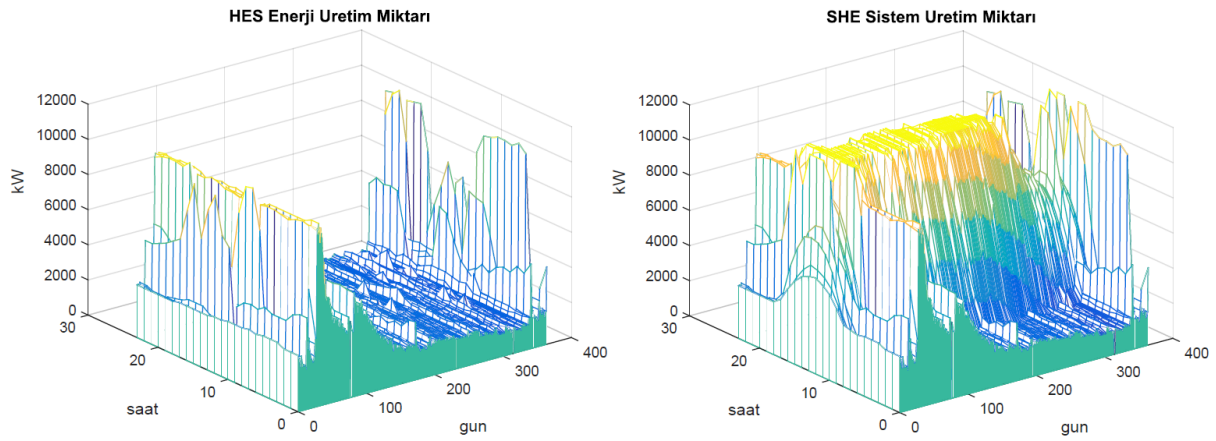
Şekil 10.13. HES 3 / Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri



Şekil 10.14. HES 4 / Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri



Şekil 10.15. HES 5 / Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri



Şekil 10.16. HES 6 / Hibrit karşılaştırmalı enerji üretimleri

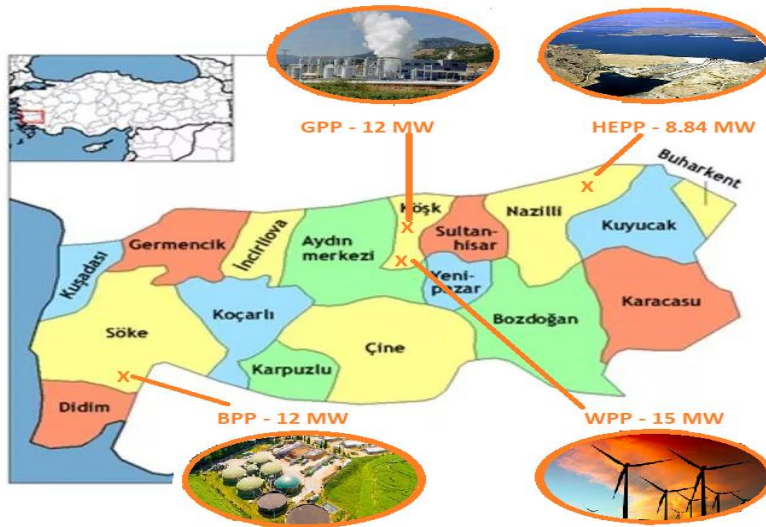
10.2. Farklı Yenilenebilir Enerji Kaynakları için Hibrit Yapı Performans Karşılaştırmaları

Farklı yenilenebilir enerji tesislerinin hibrit yapı altında birbiri ile uyumu ve performansları üzerine çalışma yapılmıştır. Bu amaçla Aydın ilinde bulunan hidroelektrik, jeotermal, rüzgar ve biyokütle tesisleri seçilmiştir. Seçilen yenilenebilir enerji tesislerine yönelik tesis karakteristikleri Çizelge 10.7. içinde verilmiştir.

Çizelge 10.7. Seçilen yenilenebilir enerji tesis proje karakteristikleri

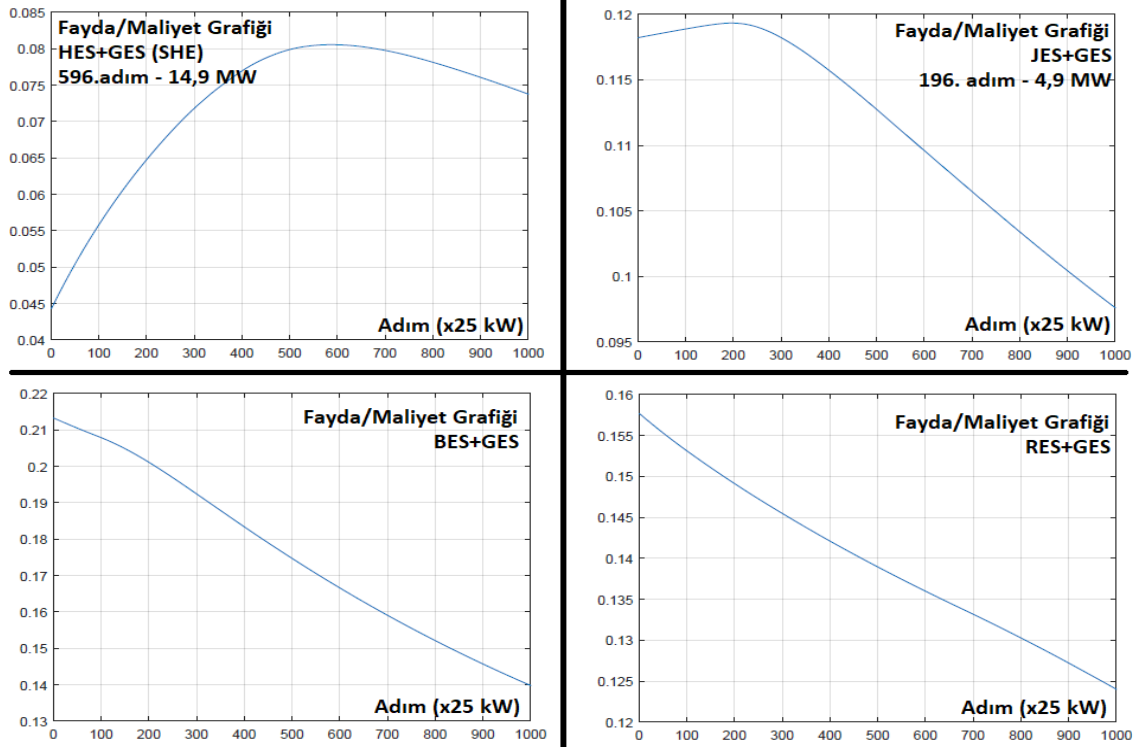
	HES	JES	RES	BES
Kurulu Güç (MW)	8,84	12	15	12
Enerji Üretim Miktarı (MWh)	8.385	66.295	43.897	81.865
Kapasite Kullanım Oranı (%)	10,83	63,07	33,40	77,88

Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından çeşitli kaynaklara aynı anda ulaşılabilen bir ülke olup, tek bir il sınırları içerisinde bulunan yenilenebilir enerji çeşitliliği buna iyi bir örnek teşkil etmektedir. Seçilen tesislerin kurulu güçlerinin birbirine yakın büyüklükte olmasına özen gösterilmiştir. Seçilen tesislerin 2021 yılı gerçekleşen enerji üretim miktarları EPIAŞ şeffaflık platformundan elde edilmiştir.



Şekil 10.17. Aydın il sınırları içerisinde seçilen yenilenebilir enerji tesisleri

Hibrit çifti olarak güneş enerjisi seçilmiştir. Güneş enerjisinin seçilme sebebi, bulunduğu yerden bağımsız olarak ulaşılabilir olmasıdır. Hidro enerji su kaynağına, jeotermal enerji akışkan, basınç ve/veya sıcaklığa, rüzgar enerjisi rüzgara ve biyokütle enerji ise yakıt olarak kullanabileceği hammaddeye/sürdürülebilir hammadde tedarikğine ihtiyaç duymaktadır. Bu gereksinimler sadece bu şartları sağlayabilen özel bölgelerde bulunmaktadır. Oysa ki güneş enerjisi Dünya'nın her bölgesinde rahatlıkla ulaşılabilen bir enerji türüdür. Tasarlanan algoritma sonucunda, sadece HES ve JES tesisleri hibrit yapıya uygun olarak değerlendirilmiştir. Algoritma sonucunda göre HES için 596.adım, JES için ise 196.adım optimal adım olarak ortaya çıkmıştır. Buna göre HES+GES (SHE) kapsamında ilave 14,9 MW GES (596.adım*25 kW) ve JES+GES kapsamında ise 4,9 MW GES (196.adım*25 kW) kurulumu mümkün olabilmektedir. RES ve BES tesislerinin GES ile sağlıklı bir hibrit yapı oluşturmamasının temel sebebi olarak, GES tesisinin etkin üretim yaptığı gündüz zaman diliminde, bu yenilenebilir enerji tesislerinin yüksek kapasite kullanım oranıyla çalışmaları ve yine bu zaman dilimi içerisindeki üretim dalgalanmaları gösterilebilir. Şekil 10.18.'de yenilenebilir enerji kaynaklarının GES tesisleri ile birlikte değerlendirilecek hibrit yapıya yönelik fayda/maliyet grafikleri verilmiştir.



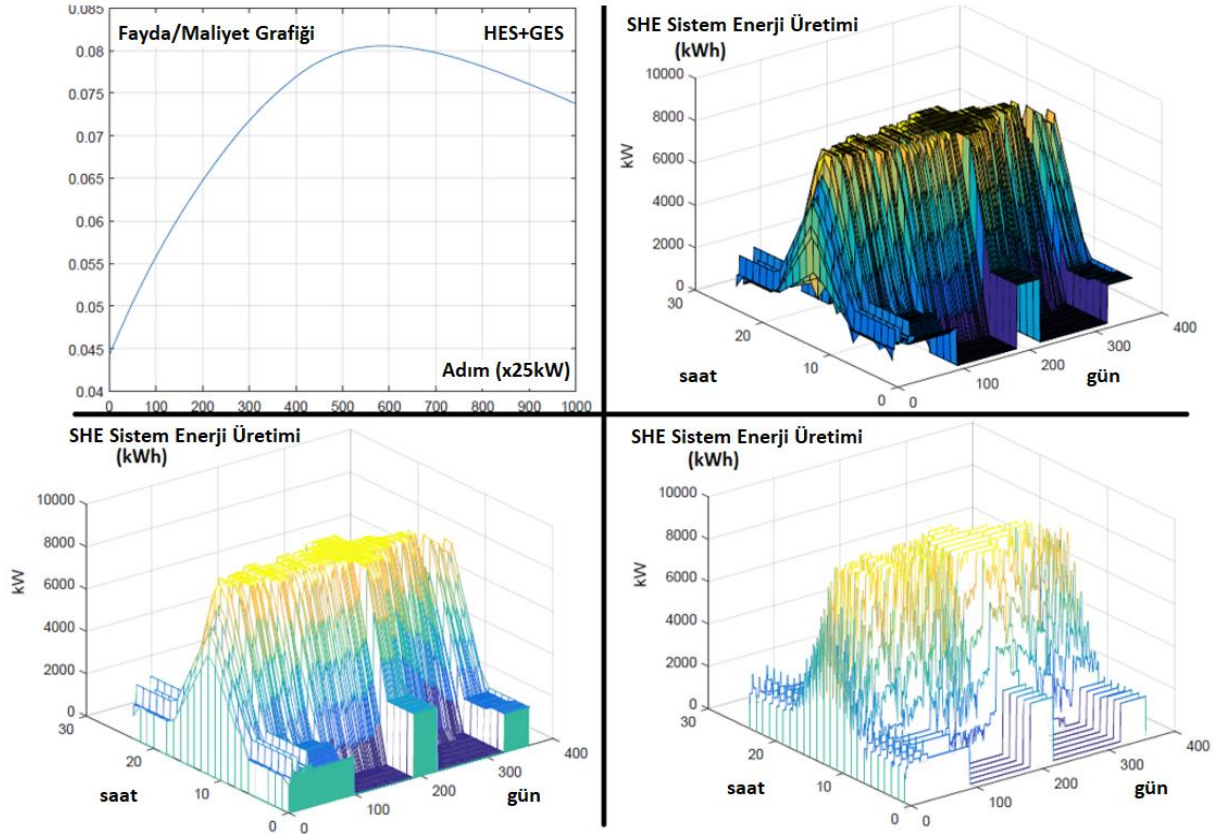
Şekil 10.18. Seçilen yenilenebilir enerji tesislerinin fayda /maliyet oran grafikleri

Elde edilen sonuçlara göre hazırlanan sonuçlar Çizelge 10.8. içinde verilmiştir. Buna göre HES tesisinin %10,83 dolaylarında olan kapasite kullanım oranı, hibrit GES tesisi ile birlikte %36,86 seviyesine, JES tesisinin ise %63,07 kapasite kullanım oranından %70 seviyesine çıkmaktadır.

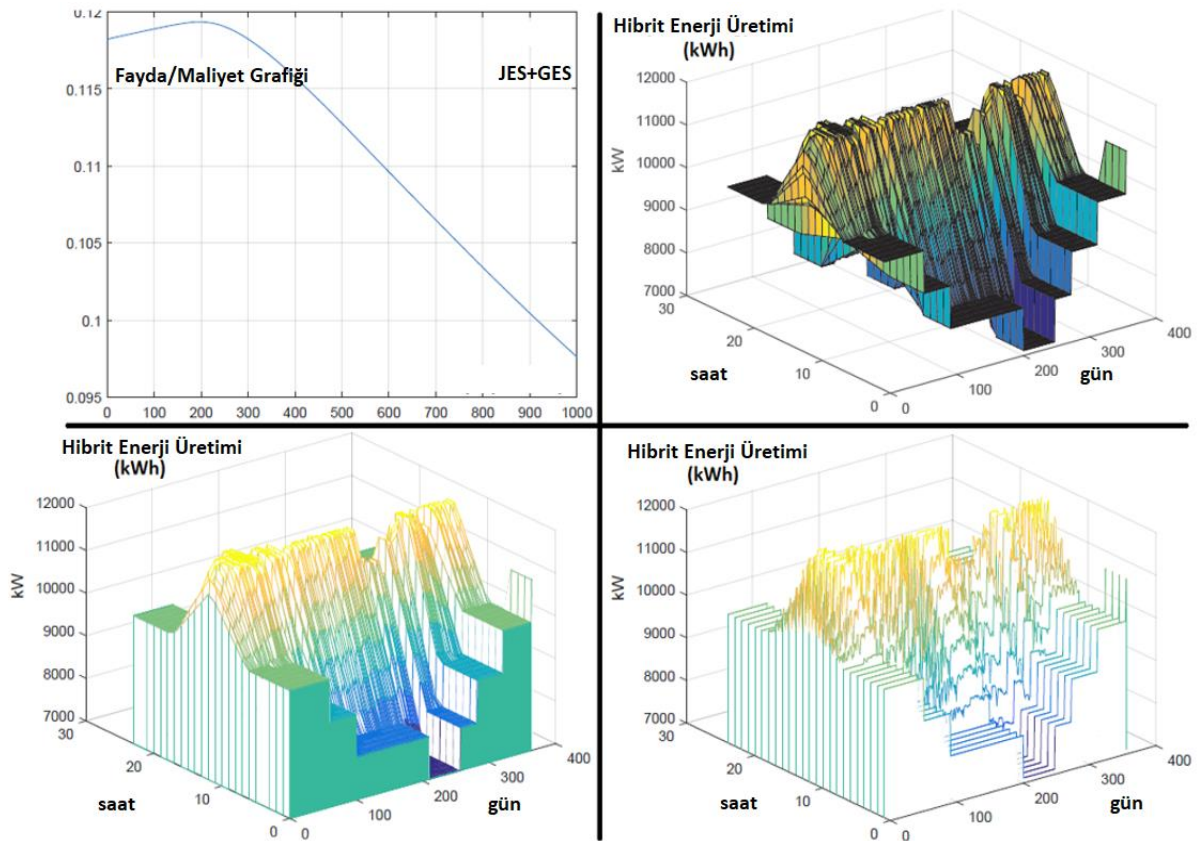
Çizelge 10.8. Hibrit yapı proje karakteristikleri

	SHE	JES+GES	RES+GES	BES+GES
Hibrit GES Kurulu Güç (MW)	14,9	4,9	-	-
Hibrit Elektrik Üretimi (MWh)	28 543	73 645	-	-
Yenilenebilir En. Kap. Faktörü (%)	10,83	63,07	33,40	77,88
Hibrit Enerji Kapasite Faktörü (%)	36,86	70,00	-	-

Şekil 10.19. ve Şekil 10.20. grafiklerinde, JES ve HES tesisleri için ayrı ayrı hibrit fayda/maliyet grafiği ve enerji üretim miktarları verilmiştir.



Şekil 10.19. HES+GES (SHE) tesisi fayda/maliyet oran grafiği ve enerji üretimi



Şekil 10.20. JES+GES tesisi fayda/maliyet oran grafiği ve enerji üretimi

Tasarlanan algoritma seçilen yenilenebilir enerji tesislerine uygulanmıştır. Değerlendirme için yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır;

- RES, GES, BES tesislerin ekonomik ömürleri 25 yıl, JES tesislerin ekonomik ömürleri 20 yıl, HES tesislerin ekonomik ömürleri 50 yıl alınmıştır. Performans karşılaştırması yatırım geri ödeme süresi ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized cost of energy - LCOE) üzerinden yapılmıştır
- Algoritmadan elde edilen enerji üretim miktarları kullanılmıştır. Geri ödeme süresi hesaplarında yatırımın 1 yılda tamamlanacağı ve bir sonraki yıl kabuller doğrultusunda işletmeye geçeceği kabul edilmiştir. Geri ödeme süresi hesaplamalarındaki iskonto oranı %10 olarak alınmış olup, Geri ödeme süresi hesaplamaları çok kabaca yapılmış, KDV, vergi, idame yatırım ve amortisman gibi konular hesaplama yansıtılmamıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamalarında sadece gelir ve gider farkı dikkate alınmıştır
- Elektrik satış fiyatı 73 USD/MWh alınmıştır
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme gider kabulleri için 2019 IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporu baz alınmıştır. IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporunda, güneş enerji tesisleri için yıllık işletme gideri 9,5-18,3 USD/kW, rüzgar enerji tesisleri ise 33-56 USD/kW aralığında değiştiği belirtilmiştir. Güneş enerji tesisi için yaklaşık ortalama 14 USD/kW, rüzgar enerji tesisi için ise 45 USD/kW birim işletme maliyeti olarak kabul edilmiştir. Raporda jeotermal enerji tesisleri için yaklaşık ortalama 115 USD/kW maliyet öngörülmüştür. Biyokütle tesisleri için ise sabit işletme giderinin, toplam yatırım maliyetinin %2-6 aralığında olduğu, değişken giderin ise 0,005 USD/kWh olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada biyokütle enerji tesisleri için toplam yatırım maliyetinin %4'ü sabit işletme gideri, 0,005 USD/kWh ise değişken işletme gideri olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, hidroelektrik enerji tesisleri için sabit işletme gideri toplam yatırım maliyetinin %0,06'sı kadar olduğu ve değişken işletme giderinin ise 0,003 USD/kWh olduğu raporda belirtilmiştir.

Çizelge 10.9.'da hibrit yapıların performans karşılaştırmaları verilmiştir;

Çizelge 10.9. Hibrit yapıların performans karşılaştırmaları

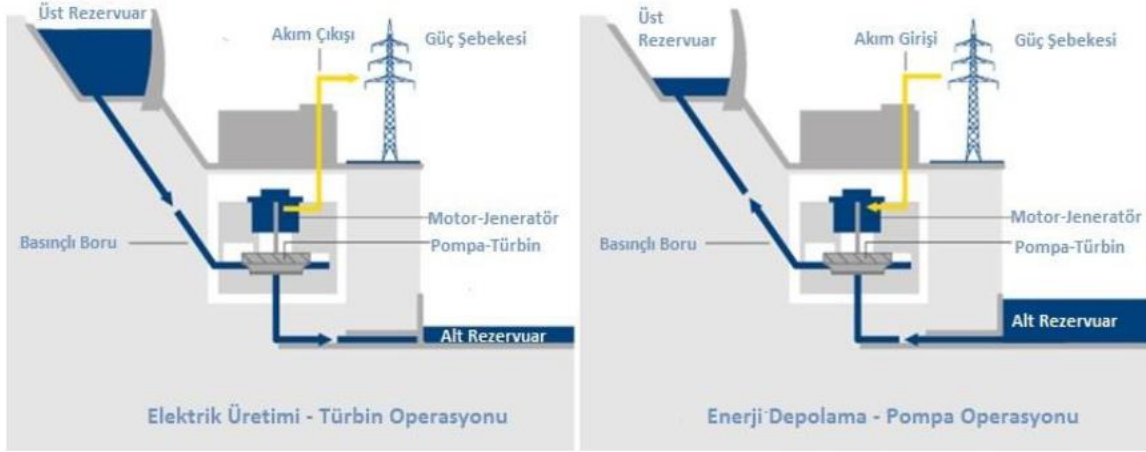
Değerlendirme	HES+GES	JES+GES	RES+GES	BES+GES
Yenilenebilir Kurulu Güç (kW)	8 400	12 000	15 000	12 000
GES Kurulu Güç (kW)	14 900	4 900	-	-
GES Ya. Maliyeti (mil. USD)	12,22	4,02	-	-
Yenilenebilir Üretim (MWh)	8 385	66 295	43 897	81 865
Yenilenebilir Kapasite Faktörü (%)	10,83	63,07	33,40	77,88
Hibrit Üretim (MWh)	28 543	73 645	-	-
Optimize GES Üretim(MWh)	20 158	7 350	-	-
Atıl GES Üretim(MWh)	2 565	123	-	-
Hibrit Kapasite Kullanım Oranı (%)	36,86	70,00	-	-
Hibrit GES Katkı Oranı(%)	26,03	6,93	-	-
GES Yıllık Gelir (milyon USD)	1,472	0,537	-	-
GES Yıllık Gider (milyon USD)	0,209	0,069	-	-
Yıllık Brüt N. Farkı (milyon USD)	1,263	0,468	-	-
Geri Öd. Sü. (yıl - nominal)	9,68	8,59	-	-
LCOE (USD/kWh)	0,035	0,031	-	-

Yapılan çalışma sonucunda birbirinden farklı profildeki yenilenebilir enerji kaynakları içinde, JES ve HES tesislerinin GES tesisleri ile uyumlu hibrit yapı oluşturabilme yetkinliği olduğu ortaya çıkmıştır. HES ve JES tesislerinin özellikle yaz aylarında nispeten daha düşük enerji üretimi (ortam sıcaklıklarının artmasıyla jeotermal enerji üretimindeki azalış ve hidroda da yaz aylarındaki kuraklık/yağış miktarlarındaki azalma kaynaklı) yapıyor olması ve ısıma zaman dilimindeki üretim miktarları bu sonuca varılmasında etkili olmuştur. JES ve HES tesislerini birbiri ile kıyaslamak, kurulu güç ve enerji üretim miktarları farklılığından dolayı anlamlı bir sonuca götürmemektedir. Bu iki yenilenebilir enerjinin rüzgar ve biyokütleyle göre hibrit uygulamalarına daha yatkın olduğu öngörülmektedir.

10.3.Pompaj Depolama Hidroelektrik Vaka Çalışması

Pompaj depolamalı HES (PHES) tesisleri, sulama dönemlerinde ilave hacim yaratmak için veya fazladan elektrik üretimleri için kullanılan bir hidroelektrik enerji tesis türüdür. Bu tip tesislerdeki temel yaklaşım kot olarak daha düşük seviyelerde bulunan rezervuarı, daha yüksek kotlara pompalamak, sonrasında ihtiyaç duyulması halinde tekrar aşağıda bulunan rezervuara bu su hacmini iletmektir. Ağırlıklı olarak elektrik birim fiyatlarının düşük olduğu gece dönemlerinde yüksekte bulunan rezervuara pompalanan su miktarı, puant döneminde yüksek elektrik birim fiyatlarıyla tekrardan aşağıda bulunan rezervuara iletilerek ticari

kazanç elde edilmektedir. Şekil 10.21.'de tipik bir pompaj depolamalı HES tesis gösterimi verilmiştir [264].



Şekil 10.21. Tipik pompajlı enerji depolama/üretim operasyonları gösterimi [264]

Akışkanı daha yüksek bir kota pompalayabilmek için gerekli olan pompa gücü hesabı Eşitlik 10.1'de verilmiştir;

$$P = \frac{Q.H.\rho}{367.\eta h} . ef \quad (10.1)$$

Bu formülde verilen P , pompa miline aktarılan gücü (kW), Q , birim zamanda iletilen sıvı hacim (m^3/h), H , pompanın basma yüksekliğidir, pompanın girişi ile çıkışı arasındaki fark olarak alınır (m), ρ , pompadan geçen akışkan yoğunluğu (kg/m^3), 367 dönüşüm sabiti, ηh , hidrolik verimi (%-akışkana iletilen mil gücü), ef , emniyet faktörünü temsil etmektedir. ηh , verimi %40-80 arasında bir değer olabilmektedir. Emniyet faktörleri de güce göre değişik oranlarda uygulanabilmektedir.

$P \leq 1,5kW$ mil gücü %15 (emniyet katsayısı 1,15)

$P \leq 15kW$ mil gücüne kadar %10 (emniyet katsayısı 1,10)

$P > 15 kW$ mil gücü %5 (emniyet katsayısı 1,05) kullanılır.

Pompaj Depolamalı HES tesisleri son yıllarda Dünya'nın birçok bölgesinde kurulmaya başlamıştır. 2019 yılı İHA raporuna göre Dünya üzerinde toplam kurulu güç yaklaşık olarak 160 GW seviyelerine ulaşmıştır [25]. Türkiye'de pompaj depolamalı HES yapılmasına yönelik uzun zamandır fizibilite çalışmaları üzerine değerlendirmeler yapılmakta olup, henüz çalışan bir tesis bulunmamaktadır. 12 Şubat 2020 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan mevzuat çerçevesinde pompaj depolamalı HES için ilk adım atılmıştır. 2020-2032 yılları arasında tamamlanması planlanan Gökçekaya PHES toplam 1 400 MW kurulu güce sahip olacaktır ve yürürlüğe giren mevzuata göre Türk-Japon iş birliği ile 6,3 milyar TL bedelle tamamlanması planlanmaktadır. Tokyo Electric Power Company (TEPCO) uzmanlarında yer aldığı, 2 Şubat 2010 tarihinde çalışmaların başlayıp, 2011 yılı Şubat ayı itibariyle tamamlanan "Türkiye PİK Talebinin Karşıllanması için Optimal Güç Üretimi Projesi" kapsamında başka projelerde geliştirilmiştir [265]. Çizelge 10.10'da pompaj depolamalı HES tesislerine yönelik özet tablo verilmiştir.

Çizelge 10.10. Türkiye'de yapılması planlanan PHES tesisleri [265]

Tesis Adı	Kurulu Güç (MW)	İli	Türü	Proje Debisi (m ³ /s)	Düşü (m)
İznik I	1 500	Bursa	Yeni Yatırım	687	255
Gökçekaya	1 400	Eskişehir	Baraja Entegre	193	962
Sarıyar	1 000	Ankara	Baraja Entegre	270	434
Bayramhacılı	1 000	Kayseri	Baraja Entegre	720	161
Hasan Uğurlu	1 000	Samsun	Baraja Entegre	204	570
Adıgüzel	1 000	Denizli	Baraja Entegre	484	242
Burdur	1 000	Burdur	Yeni Yatırım	316	370
Eğridir	1 000	Isparta	Yeni Yatırım	175	672
Kargı	1 000	Ankara	Baraja Entegre	238	496
Karacaören II	1 000	Burdur	Baraja Entegre	190	615
Yalova	500	Yalova	Yeni Yatırım	147	400
Yamula	500	Kayseri	Baraja Entegre	228	260
Oymapınar	500	Antalya	Baraja Entegre	156	372
Aslantaş	500	Osmaniye	Baraja Entegre	379	254
İznik II	500	Bursa	Yeni Yatırım	221	263
Demirköprü	300	Manisa	Baraja Entegre	166	213
Toplam	13 700				

Pompaj depolamalı HES tesisleri diğer depolama sistemlerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Batarya teknolojisinin halen daha pahalı maliyetlerle kurulması ve yıllık İşletme giderinin/yenileme malikyetlerinin/batarya ekonomik ömürlerinin beklentileri sağlamaması üzerine fiziksel depolama yöntemi olan pompaj depolamaya yönlendirmiştir. Çizelge 10.11.'de diğer depolama ve pompaj depolama HES tesislerinin maliyet karşılaştırmalı özeti verilmiştir.

Çizelge 10.11. 2020 yılı depolama teknoloji maliyetleri [266]

2020 yılı Maliyetler	PHES	Li-Ion	Lead	Vanad.	CAES*	Hidrojen
Ortalama Kurulu Güç Maliyeti (USD/kW)	2 202	3 565	3 558	3 994	1 089	3 117
Ortalama Enerji Üretim Yatırım Maliyeti (USD/kWh)	220	356	356	399	109	312
Ortalama Enerji Üretim Sabit Gider Maliyeti (USD/kWh/yıl)	30	8,82	12,04	11,3	8,74	28,5
Efektif Yatırım Maliyeti (USD/kW)*80 yıl ömür %6 isk.	2 910	10 570	11 720	16 170	3 110	8 890

*Compressed Air Energy Storage-CAES

Gökçekaya Barajının gerçekleşen verileri kullanılarak daha önceden tasarlanan algoritma uygulanmıştır. Yapılan çalışmada EPIAŞ şeffaflık platformundan 2021 yılı enerji üretim verileri elde edildikten sonra, algoritma sayesinde hibrit yapı olarak ne kadar büyüklükte bir GES tesisi kurulumunun optimal olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca pompaj depolamalı HES, hibrit yapı ile desteklenen pompaj depolamalı HES ve sadece hibrit yapı olmasının mevcut Gökçekaya Barajının enerji üretimine etkisi ortaya konulmuştur. Tasarlanan algoritma seçilen Gökçekaya HES tesisine uygulanmıştır. Değerlendirme için yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır;

- GES tesisinin ekonomik ömrü 25 yıl alınmıştır
- Gökçekaya Barajının 2021 yılı gerçekleşen elektrik üretim miktarları EPIAŞ şeffaflık platformundan alınmıştır
- Gökçekaya Barajının üzerine kurulacak pompaj depolamalı HES'in kurulu gücü belirlenirken saatlik bazda en fazla geçen debi miktarı alınmıştır
- Çalışmada 3 senaryo analiz edilerek performans karşılaştırması yapılmıştır

- Birinci senaryoda, PHES çalışması kurgulunurken gece saatlerinde daha yüksek kota pompalama yapılarak düşük enerji birim fiyatları kullanılacağı, puant zaman diliminde de yüksek enerji birim fiyatları ile enerji üretimi yapılacağı öngörülmüştür
- İkinci senaryoda, Hibrit GES kapsamında yapılan tesis ile gün içinde yüksek kota pompalama yapılacağı, puant zaman diliminde de yüksek enerji birim fiyatları ile enerji üretimi yapılacağı kurgulanmıştır
- Üçüncü senaryoda ise PHES kurulumu yapılmadan sadece hibrit GES incelenmiştir
- PHES kurulu güç maliyeti 2021 yılı Pumped Storage Hydropower Forum raporu baz alınmıştır (2 202 USD/MW) [266].
- Performans karşılaştırması yatırım geri ödeme süresi ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized cost of energy -LCOE) üzerinden yapılmıştır
- Algoritmadan elde edilen enerji üretim miktarları kullanılmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplarında yatırımın 1 yılda tamamlanacağı ve bir sonraki yıl kabuller doğrultusunda işletmeye geçeceği kabul edilmiştir
- Geri ödeme süresi hesaplamalarındaki iskonto oranı %10 olarak alınmıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamaları çok kabaca yapılmış, KDV, vergi, idame yatırım ve amortisman gibi konular hesaplamaya yansıtılmamıştır
- Geri ödeme süresi hesaplamalarında sadece gelir ve gider farkı dikkate alınmıştır
- Elektrik satış fiyatlarında 1.4.2022 tarihinden itibaren 3 ay geçerli olan gece, gündüz ve puant enerji birim fiyatları baz alınmıştır. İlgili fiyatlar Çizelge 10.12.'de verilmiştir [267].

Çizelge 10.12. Enerji birim satış fiyatları [266]

	Gündüz	Puant	Gece
Enerji Birim fiyatı (kr/kWh)	212,7006	327,7742	119,8248

- 1 USD, 15 TL olarak alınmıştır
- GES yatırım maliyeti için 2019 IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporu baz alınmıştır.
- Tasarlanan algoritma 25 000 döngü ile çalıştırılmıştır, her bir adım büyüklüğü 25 kW olarak alınmıştır
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme gider kabulleri için 2019 IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri raporu baz alınmıştır. IRENA yenilenebilir enerji maliyetleri

raporunda, güneş enerji tesisleri için yıllık işletme gideri 9,5-18,3 USD/kW, aralığında değiştiği belirtilmiştir. Güneş enerji tesisi için yaklaşık ortalama 14 USD/ kW birim işletme maliyeti olarak kabul edilmiştir. Hidroelektrik enerji tesisleri için sabit işletme gideri toplam yatırım maliyetinin %0,06'sı kadar olduğu ve değişken işletme giderinin ise 0,003 USD/kWh olduğu raporda belirtilmiştir. PHES içinde elektrik tüketim gideri hariç aynı rakamlar işletme gideri olarak kabul edilmiştir [250].

Çizelge 10.13. Pompaj depolamalı HES/ Hibrit GES senaryo karşılaştırmaları

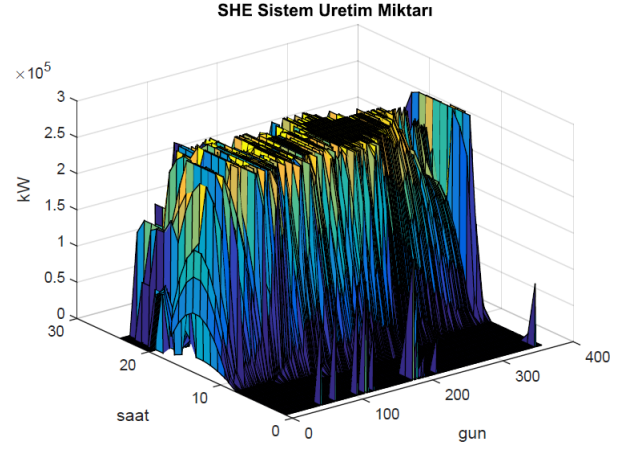
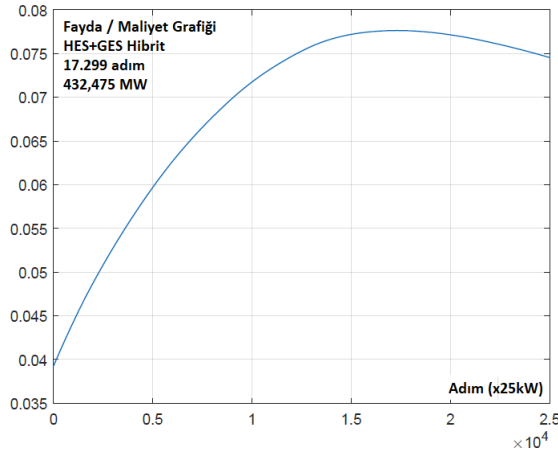
Değerlendirme	PHES	PHES+Hibrit	Sadece Hibrit
Gökçekaya HES Kurulu Güç (MW)	278,4	278,4	278,4
Gökçekaya HES Enerji Üretim	215	215 000	215 000
PHES Kurulu Güç (MW)	225	225	-
PHES için Gerekli Enerji (MWh)	398	398 000	-
PHES Enerji Üretimi (MWh)	215	215 000	-
PHES Yatırım Maliyeti (milyon)	495,45	495,45	-
GES Kurulu Güç (MW)	-	432,475	432,475
Hibrit Kurulu Güç (MW)	225	657,475	432,475
GES Üretim (MWh)	-	693 595	693 595
Toplam Üretim (MWh)	430	725 595	908 595
Net Hibrit Üretim(MWh)	215	510 595	693 695
Hibrit GES Yatırım Maliyeti (m)	-	354,63	354,63
Yıllık Gelir (milyon TL)	704,7	1 333,4	1 475,5
Yıllık Gelir (milyon USD)-Puant,	46,98	88,90	98,37
Enerji Tüketim Gideri (milyon TL)	476,90	-	-
Enerji Tüketim Gideri (milyon USD)	31,79	-	-
PHES Yıllık İşletme Gideri (m USD)	1,875	1,875	-
Hibrit Yıllık İşletme Gideri (m USD)	-	6,055	6,055
Yıllık Brüt N. Farkı (milyon USD)	13,315	80,97	92,315
Geri Öd. Sü. (yıl - nominal)	37,21	10,50	5,37
LCOE (USD/kWh)	0,249	0,082	0,029
Yıllık Gelir (m USD)-73 USD/MWh	15,695	37,273	50,640
Hibrit Yıllık İşletme Gideri (m USD)	-	6,055	6,055
Yıllık Brüt N. Farkı (milyon USD)	-	29,343	44,585
Geri Öd. Sü. (yıl - nominal)	-	28,97	7,95

Gökçekaya Barajı ve HES tesisi 2021 yılı gerçekleşen enerji üretim miktarı yaklaşık 215 milyon kWh'tır. Pompaj depolamalı HES tesisi kurgulanırken üretilen elektriğe karşılık gelen debinin, 115 m daha yüksek bir kota pompalanması planlanmıştır. Bu sayede pompaj depolamalı HES, mevcut Gökçekaya HES ile aynı düşüye sahip olduğundan benzer üretim profiline sahip olarak 215 milyon kWh üretebilecektir. Gökçekaya HES'in debisini pompalayabilmek için asgari 225 MW kurulu güçte pompaya ihtiyaç duyulacağı

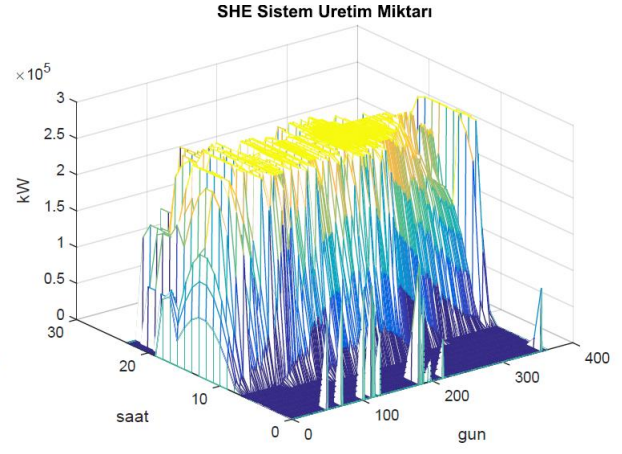
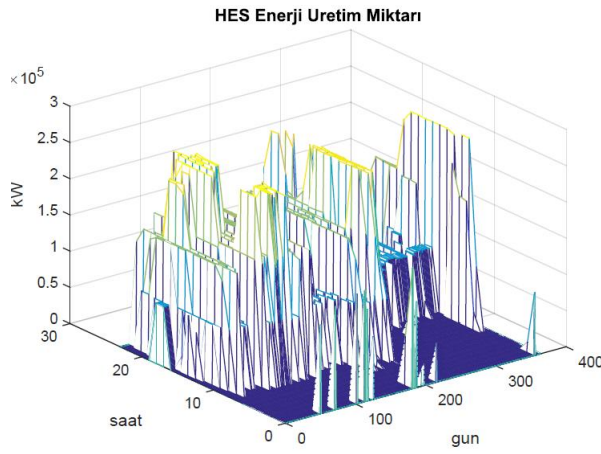
hesaplanmıştır. 2021 yılı için yapılan hesaplamalarda Gökçekaya HES'in rezervuarını 115 m daha yüksek bir kota taşıyabilmek için yaklaşık 398 milyon kWh enerji tüketimine ihtiyaç duyacağı ortaya çıkmıştır.

Ekonomik değerlendirme yaparken ihtiyaç duyulan enerji tüketiminin nispeten düşük olan gece dönemi enerji birim fiyatlarıyla karşılanacağı öngörülmüş olup, enerji satışlarında ise yüksek enerji birim fiyatı olan puant döneminde satılacağı kurgulanmıştır. Birinci senaryoda sadece PHES değerlendirilmiş olup, ekonomik analizi yapıldığında yatırımın kendini 37,21 yıl gibi bir sürede geri ödediği tespit edilmiştir. İkinci senaryoda, pompaj depolamalı HES tesisine ek olarak tasarlanan algoritma ile mevcut Gökçekaya Barajı ve HES tesisine hibrit olarak kurulabilecek GES tesis büyüklüğü optimize edilmiştir. Buna göre 432,475 MW (17 299. Adım x 25 kW) kurulu güçte GES tesisinin kurulabileceği ortaya çıkmıştır. Hibrit GES yapısının da katkısıyla pompaj depolamalı HES tesisini de içerecek şekilde değerlendirme yapıldığında, ikinci senaryonun yatırımı 10,5 yılda kendini geri ödediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada pompaj depolamalı HES tesisinin ihtiyaç duyduğu enerji miktarının GES tesisi tarafından karşılandığı, artan enerji üretiminin ise gündüz tarife döneminden satıldığı kurgulanmıştır.

Üçüncü senaryoda ise pompaj depolamalı HES tesisi olmadan sadece Hibrit GES tesisi kurulum yatırımının sonuçları irdelenmiştir. Optimizasyonda çıkan 432,475 MW kurulu gücündeki GES tesisinden elde edilen tüm enerjinin piyasaya gündüz tarife bedelinden şebekeye verildiği kurgulanmıştır. Bu durumda sadece GES tesisi için yatırım yapılmakta ve üretilen enerjinin nominal olarak bu yatırımı 5,37 yılda ödeyebildiği değerlendirilmektedir. Baz alınan satışa esas enerji birim fiyatları, EPDK tarafından ilan edilen ve 01.04.2022 tarihinden itibaren 3 ay geçerli olan birim fiyatlardır. Son aylarda yaşanan enerji maliyetlerindeki artışlar birim fiyatlara yansımıştır.



Şekil 10.22. Hibrit GES fayda / maliyet oran grafiği ve enerji üretimi



Şekil 10.23. Gökçekaya HES ve hibrit GHE sistem enerji üretim karşılaştırması

Daha muhafazakar bir yaklaşımla eski YEKDEM fiyatı olan 73 USD/MWh ile de bu üç senaryo incelenmiştir. İnceleme sonucunda, birinci senaryo olan pompaj depolamalı HES tesis kurulumu anlamsız çıkmış olup, ikinci senaryo olan hibrit bir GES tesisi ile bu pompaj depolamalı HES desteklendiğinde geri ödeme süresinin 28,97 yıl olacağı, üçüncü senaryo olan sadece hibrit GES kurulumunda ise geri ödeme süresinin 7,95 yıl olacağı sonucuna varılmıştır. Şekil 10.23’de en uygun fayda/maliyet noktası, SHE system enerji miktarı ve mevcut HES/SHE sistemi karşılaştırması verilmiştir.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir özelliklerine karşın gün içi üretim dalgalanmaları ve kapasite kullanım oranlarındaki düşük oranlar hibrit enerji kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Güneş-Hidroelektrik(GHE - SHE) güneş ve hidroelektrik enerjisinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan bir hibrit enerji türüdür. Bu doktora tez çalışmasında, GHE hibrit yapısının modellenmesi, birlikte oluşturulan sistem için enerji yönetimi ve farklı hibrit yapılar kullanılmasıdaki performans karşılaştırmaları verilmiştir. Modelleme için MATLAB ve MATLAB Simulink kullanılmıştır. Mevcut çalışan ve yapılması planlanan nehir tipi hidroelektrik santraller için vaka çalışması yapılmış ve GHE entegre sistem simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar online PVGIS ve PVsyst programıyla doğrulanmıştır. Bu çalışmada tasarlanan algoritma sayesinde, hibrit enerji içerisinde yer alacak güneş enerji santrallerinin kurulu kapasitesinin tespiti yapılmıştır.

Nehir tipi Hidroelektrik Enerji Santrali (HES) tesislerinin ilkbahar aylarında yüksek, diğer zamanlarda ise düşük üretim yapması, hidroelektrik tesislerine ayrılan trafo kapasitelerinin verimsiz ve etkisiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu tarz kısıtlar hibrit enerjiyi kaçınılmaz hale getirmektedir. Güneş enerjisi, yağışlara bağımlı olan hidroelektrik tesislerinin aksine yağmurlu zamanlarda az, yaz aylarında ise çok üretim yapabilmektedir. Çalışma zamanlarındaki farklılıklardan ötürü üretimlerinin birbirine zıt olması, güneş ve hidroelektrik tesislerin birbirini tamamlamasına ve daha etkin bir enerji yönetiminin ortaya çıkmasına imkân vermektedir. Yapılan vaka çalışmalarında tasarlanan yapı ile birlikte hidroelektrik santrallerin kapasite kullanım oranlarına ciddi katkı sağlandığı doğrulanmıştır.

Bu tezin dört ana özgün gerekçesi bulunmaktadır;

- Enerji üretim verimliliğini arttırmak,
- Şebeke kapasite kullanım verimliliğini artırmak
- GHE sistemi için en uygun güneş enerji kurulu gücünü tespit etmek
- Önerilen sistemin diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile performans karşılaştırmasını yapmak

Güneş enerjisi sisteminin ana parçaları olan paneller sıcaklıktan olumsuz etkilenmektedir. Rüzgarlı alanlarda kullanılan veya vantilatör/havalandırma kullanılan güneş sistemlerinin performansında artış gözlenmiştir. Aynı şekilde, su kanalı üzerine kurulacak bir sistemden de performans artışı beklenmektedir. Bu doktora tez çalışması kapsamında, GHE hibrit yapısına uygun olarak kullanılabilecek en uygun güneş enerji tesisinin kurulu güç tespiti çalışması yapılmıştır. İlk etapta sistem parametreleri belirlenmiş, matematiksel model geliştirilmiş ve sistem dengesini sağlayacak algoritma oluşturulmuştur. Matematiksel model içinde en önemli parametrelerden biri güneş ışımasıdır. Uydular sayesinde günlük güneş ışıma miktarı, Dünya'nın herhangi bir noktası için kolaylıkla elde edilebilmektedir. Fakat çalışmanın amacına ulaşması için saatlik bazda güneş ışıma miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için literatür taranmış ve en yaygın olarak kullanılan iki model olan, ampirik model ile ekonometrik modeller üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Ekonometrik modelin çalıştırılabilmesi için uzun dönem veriye ihtiyaç duyması, bu verilerin de saatlik bazda olması ve en son gerçek değerlerle yapılan korelasyon çalışmasında, ampirik modelin çok altında sonuçlar elde edilmesinden ötürü, güneş ışıma miktarı belirlenirken ampirik model tercih edilmiştir. Ampirik model sonucunda elde edilen güneş ışıması ve üretimler, gerçek ışıma ve üretimler ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan ampirik model ile günlük güneş ışıması saatlik olarak tahmin edilmiş olup, bu tahminlerin gerçek değerler ile karşılaştırıldığında 0,86 korelasyon katsayısı gibi yüksek düzeyde bağlantı sonucunun ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Önerilen algoritma kapsamındaki tüm parametreler temin edilerek vaka çalışmaları yapılmıştır. MATLAB programı kullanılarak, GHE entegre yapısı için en uygun kurulu kapasiteyi veren yapı tasarlanmıştır. Algoritma çerçevesinde öngörülen alan, trafo kapasitesi ve benzeri kısıtlar tanımlanmış, GES ve HES tesisi üretim miktarları ile maliyetleri hesaplanmış, minimum 1 000 döngü (her bir adım/döngü 25 kW) olacak şekilde belirlenen matematiksel model ve fonksiyon çalıştırılmıştır. Algoritma çerçevesinde iki ana senaryo üzerinde durulmuştur. Bunlar;

- Mevcut HES tesisinin su depolama imkanı olmadan düzensiz su verileri ile üretim yapması
- Mevcut HES tesisinin su depolama imkanı olup, su verilerini düzenleyerek üretim yapabilmesi

Yapılan vaka çalışmalarında, ilk değerlendirilen 3,065 MW kurulu gücündeki HES tesisinde, su depolama imkanı olmadan sadece yağış rejimi dikkate alındığında kurulabilir hibrit GES tesisi kurulu kapasitesi 4,550 MW olarak tespit edilmiştir. Mevcut HES tesisinin regülatör ve sulama kanalı içinde yaklaşık 85 bin m³ rezervuar hacmi bulunmaktadır. Bu hacim HES tesisinin gelen su akımlarını iki saat boyunca depolamasına imkan vermektedir. Diğer senaryo olan su depolama ile enerji yönetimi sağlanabilmektedir. Bu senaryoda da 3,065 MW kurulu gücündeki HES tesisinde, su depolama imkanı sayesinde hibrit GES tesisi kurulu kapasitesi 4,875 MW olarak tespit edilmiştir. Mevcut durumda ortalama % 14,7 kapasite kullanım oranı ile çalışan HES tesisi, yardımcı hibrit GES tesisi sayesinde depolamasız ve düzensiz su verileri içeren ilk senaryoda % 40, depolamalı ve düzenli su verileri içeren ikinci senaryoda ise yaklaşık % 43 kapasite kullanım oranlarına ulaşabilmektedir. Suyun fiziksel olarak depolanabilmesi, hibrit tesis için enerji yönetimi kabiliyeti sağlayabilmektedir. Yapılan vaka çalışması için iki senaryo arasında ciddi bir fark olmamasının sebebi olarak mevcut HES tesisinin Nisan-Ekim arası olan sulama döneminde üretim yapamaması ve geriye kalan dönemde de sınırlı su alması sebebiyle senaryoların üretim profillerinin benzemesi olarak değerlendirilmiştir. Durumu netleştirmek için ikinci bir vaka çalışması yapılmıştır. Seçilen ikinci HES tesisinin sulama veya içme suyuna bağımlılığı olmamasına dikkat edilmiştir. Seçilen HES tesisi 18,777 MW kurulu gücüne sahip olup, ilk senaryoda yardımcı hibrit GES tesisinin kurulu gücü 9,575 MW, ikinci senaryoda ise 20,900 MW olarak tespit edilmiştir. Sulama veya içme suyuna bağımlılığı olmayan tipik bir nehir tipi santrali olan bu tesiste, düzenli su depolama ve enerji yönetimi kabiliyeti sayesinde, yardımcı GES tesisinin kurulu güç uygunluğunun iki kattan daha fazla arttığı gözlenmiştir. Mevcut durumda % 32,2 kapasite kullanım oranı olan bu HES tesisinin kapasite kullanım oranı ilk senaryo için % 41, ikinci senaryo için ise % 45,8 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerji sistemi, şu an için yaygın olan ticari uygulamalarında, gündüz saatlerinde üretim yapmaktadır. Su verilerinin düzenlenmesi imkanı olan HES tesislerinde, HES tesisi potansiyel enerji üretimleri, GES tesisinin aktif olmadığı gece saatlerine veya daha az aktif olduğu diğer gündüz saatlerine kaydırılarak, GES tesisinin enerji üretiminden maksimum fayda sağlanması mümkün olabilmektedir. Her iki vaka çalışması sonucunda da, düzenli su verileri ile GES tesisi optimizasyonu yapıldığında, daha yüksek kurulu güçte enerji tesisi kurulmasına imkan verdiği ortaya çıkmıştır.

Algoritma sonucunda elde edilen kurulu güç optimizasyon değerine göre yine MATLAB Simulink kullanılarak GHE entegre yenilenebilir hibrit enerji sistemi modellenmiştir.

MATLAB Simulink içinde bulunan hazır PV modül ve HES tesisi için senkron makine parametreleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen yapının sorunsuz çalıştığı teyit edilmiştir. Simulink çalışmaları iki senaryo üzerinden yapılmıştır. Birinci senaryoda ayrık (discrete) mod, ikincisinde ise fazör (phasor) mod kullanılmıştır. Ayrık mod, çok fazla verinin aynı anda alınıp çalışmasına imkan vermemesi yüzünden, gerçek veriler temsili süreler karşılığında çalıştırılmıştır. 8 760 saatten oluşan bir yıllık veri, 3 saniye içinde temsili olarak gösterilmiş ve simülasyon sonuçları alınmıştır. Fazör mod ise gerçek veriler ile çalışma yapabilmeye imkanı sağlamaktadır. Fazör modda, 86 400 saniye bazında veriden oluşan bir günlük verileri barındıran vaka ve 8 760 saatlik bazda yıllık verileri barındıran vaka için program çalıştırılmış ve başarılı simülasyon sonuçları alınmıştır.

HES tesisleri için en uygun olan yenilenebilir hibrit kaynaklar arasında performans karşılaştırması yapılmadan önce, mevcut HES tesisi için bu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilecekleri üzerine belirlenen başlıklar çerçevesinde, potansiyelleri tespit edilmiştir. Özellikle Dünya'nın her yerinde ulaşılabilir olan güneş enerjisi, incelenen başlıkların değerlendirilmesi sonucunda, HES tesislerine entegre bir hibrit yapısı içinde, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha yüksek potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Mevcut HES tesislerine entegre hibrit tesisler tasarlanırken aynı proje sahasında kullanım, aynı alt-üst yapı kullanımı, düşük yatırım/işletme maliyeti, esnek kurulu güç imkanı ve uyumlu/tamamlayıcı enerji üretim profilleri, güneş enerjisi kullanmanın öne çıkan özelliklerindendir.

HES tesisine entegre yenilenebilir enerji kaynakları performans karşılaştırmasında, sadece teknik veriler değil, sıkça yenilenebilir enerji karşılaştırma ve karar verme sürecinde kullanılan ekonomik değerlendirmelerden, yatırım geri ödeme süresi ile seviyelendirilmiş enerji maliyetleri (LCOE) hesaplamaları da yapılmıştır. Güneş ışıma bölgesine göre seçilen altı farklı ildeki tesis için aynı HES verileri alınarak güneş ışımasının süreci nasıl etkilediğine yönelik vaka çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucunda Türkiye'de güneş ışımasının en düşük olduğu bölgede (1 400 -1 450 kWh/m²-yıl) bulunan HES tesisleri için bir hibrit yapı kurulması anlamlı çıkmamıştır. Artan ışıma miktarı oranı ile birlikte kurulabilecek kapasite ve üretim miktarının da arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, güneş ışıma artışı ile birlikte projelerin nominal geri ödeme sürelerinin 2,47 yıldan 2,23 yıla, LCOE değerlerinin ise 1,52 USD/kWh seviyesinden 1,42 USD/kWh seviyesine düştüğü gözlenmiştir. Güneş ışımadan bağımsız olarak mevcut HES tesislerinin kapasite kullanım

oranı üzerinde vaka çalışması yapılmıştır. Kapasite kullanım oranının, üretim profilini ve kurulu güç optimizasyonunu etkileyen en önemli unsur olduğu ortaya çıkmıştır. Kapasite kullanım oranlarının hangi noktaya kadar entegre hibrit GHE tesislerine izin verdiği üzerine vaka çalışması yapılmıştır. Güneş ışıması birbirinden farklı bölgeler seçilerek, mevcut HES tesisinin kapasite kullanım oranları % 5'er adımlarla artırılarak hangi kapasite kullanım oranında entegre hibrit yapının anlamsız kalacağı nokta tespit edilmiştir. Buna göre güneş ışıma bölgesinden bağımsız olarak, kapasite kullanım oranı % 40'ın üzerinde olan hidroelektrik tesislerde entegre hibrit bir yapı ekonomik olarak anlamsız çıkmıştır. Çalışma yaparken mevcut piyasa koşulları göz önüne alınmış olup, ilerleyen dönemlerde teknoloji kaynaklı yatırım maliyetlerinin düşmesi, enerji üretim verimliliğinin artması veya elektrik birim satış fiyatlarının artması durumunda belirlenen kapasite kullanım oranında değişiklik gözlenebilir. Yapılan tüm vaka çalışmaları sonucunda, HES tesisleri ile hibrit yapı oluşturulmak istendiğinde, güneş enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik açıdan daha anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Türkiye'nin hibrit HES+GES tesis potansiyeli üzerine çalışılmış, mevcut HES tesislerinin üzerine entegre bir şekilde hibrit GES kurabilmek için basit ama etkili bir karar alma diyagramı oluşturulmuştur. Bu diyagramda karar verici olarak tesisin bulunduğu alanın güneş ışıma miktarı, GES tesisi kurulabilecek fiziksel alan mevcudiyeti, güneş ışımasının doğrudan alınabilmesi ve kapasite kullanım oranının % 40 üzerinde olup olmaması değerlendirilmektedir. Söz konusu diyagram yardımıyla Türkiye'nin potansiyel entegre hibrit GHE tesis kurulu gücü tespit edilmiştir. Buna göre mevcut hidroelektrik santralleri için, Türkiye'nin toplam 9 589 MW kurulu gücünde uygulanabilir potansiyel entegre hibrit GHE tesisi olduğu öngörülmüştür. Sadece hidroelektrik santralleri değil, sulama kanalları, göl alanları ve benzeri alanlarda uygulanabilme imkanı da düşünüldüğünde, öngörülen bu potansiyelin daha da artabileceği değerlendirilmektedir.

Henüz ülkemizde pompaj depolamalı HES tesisi bulunmamakla birlikte, pompaj depolamalı HES özelinde de vaka çalışmaları yapılmıştır. Tesis olarak ülkemizin strateji planlarına da giren Gökçekaya Barajı ele alınmıştır. Mevcut piyasa koşullarını yansıtan üç senaryo değerlendirilmiştir. Bu senaryolar, sadece pompaj depolamalı HES tesisinin yer aldığı, pompaj depolamalı HES ve hibrit güneş enerjisinin birarada yer aldığı ile sadece hibrit güneş enerjisinin yer aldığı senaryolardır. Uygulanan algoritma sonucunda 278 MW kurulu gücündeki Gökçekaya Barajı ve HES tesisine entegre olarak 432,475 MW kurulu gücünde

yardımcı hibrit güneş enerji santrali kurulabileceği hesaplanmıştır. Vaka çalışması sonucunda ise sadece pompaj depolamalı HES tesisinin yer aldığı senaryonun nominal olarak kendini 37,21 yılda geri ödediği, pompaj depolamalı HES ve hibrit güneş santralinin birarada yer aldığı senaryoda nominal olarak 10,50 yılda geri ödediği, sadece güneş enerjisi olan senaryoda nominal olarak 5,37 yılda kendini geri ödediği tespit edilmiştir. Sadece pompaj depolamalı HES tesisi senaryosunda LCOE değeri 0,249 USD/kWh, pompaj depolamalı HES ve hibrit güneş enerjisinin bir arada bulunduğu senaryoda LCOE değeri 0,082 USD/kWh, sadece güneş enerjisinin yer aldığı senaryoda ise LCOE değeri 0,029 USD/kWh olarak bulunmuştur. Dünyamızın son birkaç yılda yüzleştiği COVID-19 pandemisi ile halen devam eden Rusya-Ukrayna savaşının tedarik süreçlerini ve enerji arz güvenliğini derinden etkilediği gözlenmiştir. Bunun yanısıra küresel ısınma ve iklim krizlerinin ileride artacağı beklentisi ülkeleri enerji-tarım-gıda-su arz güvenlikleri konularında stratejik kararlar almasını zorunlu hale getirmektedir. Dolayısıyla, su ihtiyacını ve su arz güvenliğinde etkili olan pompaj depolamalı HES tesislerinin hayata geçirilmesi önem arz etmekte olup, bu kapsamda yapılan tüm değerlendirmelerde hibrit enerji katkısının ekonomik olarak en uygulanabilir yöntemi sunduğu gözlemlenmiştir.

Önerilen SHE entegre hibrit sistemi, HES tesislerinin yağışlı dönemlerde daha çok üretim yapabilmesi ve genelde yaz aylarında düşük üretim yapması yüzünden, bu üretim profilinin tam aksine çalışan, yağışlı zamanlarda daha az ve yaz aylarında daha yüksek üretim potansiyeli bulunan GES tesisleri ile doğal olarak eşleşmektedir. Güneş enerji sistemlerinin yıllar geçtikçe, yatırım maliyetlerinin düşmesi, enerji üretimindeki kapasite kullanım oranının artması ve düşük işletme maliyetleri ile her yerde kolaylıkla ulaşılabilir olması, diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkmasına sebep olmaktadır. Hidroelektrik enerji tesisleri ise hali hazırda Dünya üzerinde en yaygın kullanılan ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük kullanım payına sahip olan kaynaktır. Önerilen GHE entegre hibrit yapısı ile sistemin yıllık kapasite kullanımı, daha verimli hale gelmektedir. Ayrıca mevcut elektrik ve inşai alt yapılarının kullanılması sistem yatırımlarını oldukça düşürmektedir. Yapılan çalışma sonucunda da, güneş ve hidroelektrik oluşan bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin (GHE), diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha yüksek potansiyeli ve performansı olduğunu ortaya koymuştur. Önerilen sistem enerji yönetimine maksimum düzeyde imkan sağlamaktadır. Tasarlanan algoritma ile birlikte en uygun entegre hibrit kurulu gücünü tespit ederek, atıl yatırımların ve kapasite kullanımlarının önüne geçilmesi hedeflenmiş, enerji ve sistem verimliliğinin hayata geçirilmesi planlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Peters, F. E. (1967). *Greek philosophical terms: a historical lexicon* (Birinci Baskı). New York: New York University Press, 49-70.
2. İnternet: U.S. Energy Information Administration. (2019). EIA Web: <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
3. İnternet: U.S. Energy Information Administration. (2019). EIA Web: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
4. İnternet: U.S. Energy Information Administration. (2019). EIA Web: <https://www.eia.gov/petroleum/supply/monthly/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
5. İnternet: U.S. Energy Information Administration. (2019). EIA Web: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
6. İnternet: U.S. Energy Information Administration. (2019). EIA Web: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydrocarbon-gas-liquids/uses-of-hydrocarbon-gas-liquids.php>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
7. İnternet: U.S. Energy Information Administration. (2019). EIA Web: <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
8. İnternet: BP Statistical Review of World. (2020). BP Web: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
9. İnternet: BP Energy Outlook 2019 Edition. (2020). BP Web: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
10. İnternet: BP Energy Outlook 2020 Edition. (2021). BP Web: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
11. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2020). Elektrik piyasası 2020 yılı piyasa gelişim raporu. Ankara: EPDK, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 16-87.
12. İnternet: Kurulu Güç Raporları. (2023). TEİAŞ. Web: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>. Son Erişim Tarihi: 21.01.2023.
13. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ). (2019). *10 yıllık talep tahminleri raporu (2019-2028)*. Ankara: TEİAŞ Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı, 7-22.

14. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ). (2018). *Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyon raporu (2018-2022)*. Ankara: TEİAŞ Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Daire Başkanlığı, 7-30.
15. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ). (2019). *Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyon raporu (2019-2023)*. TEİAŞ Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Daire Başkanlığı, 7-40.
16. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2019). *Drought impact and vulnerability assessment: available approaches and policy recommendations*. UNCCD, 1-3.
17. World Wide Fund for Nature (WWF). (2019). *Drought Risk, The Global Thirst for Water in the Era of Climate Crisis*. Germany, Berlin: WWF, 9-34.
18. İnternet: Annual Global Reports. (2019). NOAA. Web: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
19. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). *Türkiye meteorolojik parametrelerinin istatistiksel analizi (1970-2019)*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı, Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü, 2-3.
20. T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017). *Türkiye çölleşme modeli: teknik özet*. Ankara: T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erezyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, 7-17.
21. İnternet: Water Risk Atlas. (2021). WRI. Web: <https://www.wri.org/aqueduct>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
22. Fasol K. H. (2002). A short history of hydropower control. *IEEE Control Systems Magazine*, 22(4), 68-76
23. Poncelet H. J. V. and Geniewesens C. D. (1826). Abhandlung über senkrechte unterschlächtige Räder mit krummen Schaufeln nebst Erfahrungen über die mechanischen Wirkungen dieser Räder. *Dinglers Polytechnisches Journal*, 19(7), 417-482
24. Library of Congress (LOC). (2009). *The World's first hydroelectric power plant*. Washington DC: Library of Congress, 5-35.
25. International Hydropower Association. (2019). *Hydropower Status Report, Sector Trends and Insights*. Paris: International Hydropower Association, 4-40.
26. İnternet: News. (2022). Greendiary. Web: <https://greendiary.com/7-largest-dams-world.html>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
27. İnternet: Duyurular. (2021). DSİ. Web: <https://enerji.dsi.gov.tr/Duyuru/Detay/928>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
28. İnternet: Duyurular. (2021). DSİ. Web: <https://enerji.dsi.gov.tr/Duyuru/Detay/842>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.

29. Paish O. (2002). Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (2), 537-556
30. İnternet: Datasheets. (2021). Voith. Web: https://voith.com/corpen/Kaplan_Turbine.pdf. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
31. İnternet: Datasheets. (2021). Voith. Web: http://voith.com/caen/Voith_Francis_turbines.pdf. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
32. İnternet: Datasheets. (2021). Voith. Web: https://www.voith.com/caen/Voith_Pelton_turbines.pdf. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
33. Schreck H. (1981). *Socrates has designed the first solar house*. *Wissenschaftsmagazin*, 1 (1), 52-59
34. McVeigh J. C. (1983). *Sun Power: An introduction to the applications of solar energy* (İkinci Baskı). Oxford: Pergamon Press, 1-13
35. Fthenakis V. and Lynn P. A. (2018). *Electricity from sunlight: photovoltaic-systems integration and sustainability* (İkinci Baskı). West Sussex: Wiley&Sons Ltd Press, 7-15
36. Peters I. M. (2009). *Photonic concepts for solar cells*. Doktora Tezi, Albert Ludwig University Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Münih.
37. Voudoukis N. F. (2018). Photovoltaic technology and innovative solar cells. *European Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2 (1), 1-7
38. Ding K., Zhang J., Bian X. and Xu J. (2014). A simplified model for photovoltaic modules based on improved translation equations. *Solar Energy*, 101, 40-52
39. İnternet: Photovoltaic Research. (2022). NREL. Web: <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20200406.pdf>. Son Erişim Tarihi: 21.01.2023.
40. İnternet: Transparent Solar Technology. (2022). Michigan State University. Web: <https://msutoday.msu.edu/news/2017/transparent-solar-technology-represents-wave-of-the-future/>. Son Erişim Tarihi: 21.01.2023.
41. İnternet: Transparent Solar Technology. (2022). Michigan State University. Web: <https://solarmagazine.com/solar-panels/transparent-solar-panels/> Photo: Richard Lunt / Michigan State University. Son Erişim Tarihi: 21.01.2023.
42. İnternet: Energy Sector Management Assistance Program. (2022). ESMAP. Web: <https://www.esmap.org/node/71062>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
43. İnternet: Renewables 2019 Report. (2020). IEA. Web: <https://www.iea.org/renewables2019/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
44. İnternet: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. (2023). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Web: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>. Son Erişim Tarihi: 21.01.2023.

45. Rath A. K., Sahoo A. K. and Mohanty A. S. (2013). Modelling and simulation of pv/hydro hybrid system using p-q theory. *International Journal Of Engineering Sciences Research-IJESR*, 4, 971-977
46. Yibo W., Honghua X. (2013). Research and practice of designing hydro/photovoltaic hybrid power system in microgrid. *Engineering Sciences*, 11(13), 80-96
47. Bhandari B., Poudel S. R., Lee K. T. and Ahn S. H. (2014). Mathematical Modeling of Hybrid Renewable Energy System: A Review on Small Hydro-Solar-Wind Power Generation. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(2), 157-173
48. Nazir R., Laksono H. D., Walidi E. P., Ekaputra E., Coveria P. (2014). Renewable Energy Sources Optimization: A Micro-Grid Model Design. *Energy Procedia*, 52, 316 – 327
49. Meshram S., Agnihotri G. and Gupta S. (2013). Modeling of Grid Connected DC Linked Pv/Hydro Hybrid System. *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)*, 2(3), 13-27
50. Margeta J. and Glasnovic Z. (2011). Exploitation of temporary water flow by hybrid PV-hydroelectric plant. *Renewable Energy*, 36, 2268-2277
51. Meshram S., Agnihotri G. and Gupta S. (2013). Performance Analysis of Grid Integrated Hydro and Solar Based Hybrid Systems. Hindawi Publishing Corporation Advances in Power Electronics, 2013(697049), 1-7
52. Rao P. V. V. R., Prasanna B. K., Palleswari Y. T. R. (2014). Modeling and simulation of utility interfaced PV/Hydro hybrid electric power system. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering*, 8(8), 1280-1285
53. Margeta J., Glasnovic Z. (2012). Theoretical settings of photovoltaic-hydro energy system for sustainable energy production. *Solar Energy*, 86, 972–982
54. Kittner N., Gheewala S. H., Kammen D. M. (2016). Energy return on investment (EROI) of mini-hydro and solar PV systems designed for a mini-grid. *Renewable Energy*, 99, 410-419
55. François B., Borga M., Creutin J. D., Hingray B., Raynaud D., Sauterleute J. F. (2016). Complementarity between solar and hydro power: Sensitivity study to climate characteristics in Northern-Italy. *Renewable Energy*, 86, 543-553
56. Marquez J. L., Molina M. G., Pacas J. M. (2010). Dynamic modeling, simulation and control design of an advanced micro-hydro power plant for distributed generation applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 5772-5777
57. Jordehi A. R. (2016). Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 354–371
58. Li L. F., Qiu J. (2016). Multi-objective optimization for integrated hydro–photovoltaic power System. *Applied Energy*, 167, 377–384

59. Kota V. R., Bhukya M. N. (2017). A novel linear tangents based P & O scheme for MPPT of a PV system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 257–267
60. Kenfack J., Neirac F. P., Tatietse T. T., Mayer D., Fogue M., Lejeune A. (2009). Microhydro-PV-hybrid system: Sizing a small hydro-PV-hybrid system for rural electrification in developing countries. *Renewable Energy*, 34, 2259–2263
61. Fang W., Huang Q., Huang S., Yang J., Meng E., Li Y. (2017). Optimal sizing of utility-scale photovoltaic power generation complementarily operating with hydropower: A case study of the world's largest hydro-photovoltaic plant. *Energy Conversion and Management*, 136, 161–172
62. Bayrak G., Cebeci M. (2014). Grid connected fuel cell and PV hybrid power generating system design with MATLAB Simulink. *International journal of hydrogen energy*, 39, 8803–8812
63. Margeta J., Glasnovic Z. (2010). Feasibility of the green energy production by hybrid solar + hydro power system in Europe and similar climate areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1580–1590
64. Glasnovic Z., Rogosic M., Margeta J. (2011). A model for optimal sizing of solar thermal hydroelectric power plant. *Solar Energy*, 85, 794–807
65. Krismadinataa, Nasrudin, Abd Rahima, Pinga H. W., Selvaraja J. (2013). Photovoltaic module modeling using Simulink/MATLAB. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 537 – 546
66. Beluco A., Souza P. K., Krenzinger A. (2012). A method to evaluate the effect of complementarity in time between hydro and solar energy on the performance of hybrid hydro PV generating plants. *Renewable Energy*, 45, 24–30
67. Kougias I., Szabo S., Ferrario F. M., Huld T., Bodis K. (2016). A methodology for optimization of the complementarity between small-hydropower plants and solar PV systems. *Renewable Energy*, 87, 1023–1030
68. Chin C. S., Babu A., McBride W. (2011). Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink. *Renewable Energy*, 36, 3075–3090
69. Beluco A., Souza P. K., Krenzinger A. (2008). A dimensionless index evaluating the time complementarity between solar and hydraulic energies. *Renewable Energy*, 33, 2157–2165
70. Akikur R. K., Saidur R., Ping H. W., Ullah K. R. (2013). Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 738–752
71. Glasnovic Z., Margeta J. (2009). The features of sustainable solar hydroelectric power plant. *Renewable Energy*, 34, 1742–1751

72. Meshram S., Agnihotri G. and Sushma Gupta. (2013). Power management strategy for active power sharing in hydro/PV/battery hybrid energy system. *Hindawi Publishing Corporation Chinese Journal of Engineering*, 2013(723860), 1-7
73. Kusakana K., Munda J. L., Jimoh A. A. (2009). Feasibility study of a hybrid PV-Micro Hydro system for rural electrification. *IEEE AFRICON 2009*, 1-5
74. Lal D. K., Dash B. B. and Akella A. K. (2011). Optimization of PV/wind/micro-hydro/diesel hybrid power system in HOMER for the study area. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 3(3), 307-325
75. Sirasani K., Kamdi S. Y. (2013). Solar, wind, hydro hybrid energy system simulation. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(6), 500-503
76. Muhida R., Mostava A., Sujatmiko W., Park M., Matsuura K. (2001). The 10 years operation of a PV-micro-hydro hybrid system in Taratak, Indonesia. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 67, 621-627
77. Arith F., Anis S., Idris I. M., Yunus M. M. (2013). PV-mini-hydro-diesel hybrid system in a village. *International Journal of Engineering & Computer Science IJECS-IJENS*, 13(2), 1-7
78. Dumitru C. D., Gligor A. (2010). Modeling and simulation of renewable hybrid power system using MATLAB/Simulink environment. *Scientific Bulletin of the „Petru Maior” University of Târgu Mureș*, 7 (2), 5-9
79. Iemsomboon P., Pati T. and Bhummikittipich K. (2013). Performance study of micro hydro turbine and PV for electricity generator, case study: Bunnasopit school, Nan province, Thailand. *Energy Procedia*, 34, 235–242
80. Khayyatadeh M., Kazemzadeh R. (2017). Sub-synchronous resonance damping using high penetration PV plant. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 84, 431–444
81. Kusakana K. (2016). Optimal scheduling for distributed hybrid system with pumped hydro Storage. *Energy Conversion and Management*, 111, 253–260
82. Petrakopoulou F. (2016). On the economics of stand-alone renewable hybrid power plants in remote regions. *Energy Conversion and Management*, 118, 63–74
83. Gavhane S., Shingare S. (2016). Liquid solar array. *International Journal of Advance Research and Inovative Ideas in Education (IJARIIE)*, 2(5), 558-562
84. Ming B., Liu P., Cheng L., Zhou Y., Wang X. (2018). Optimal daily generation scheduling of large hydro-photovoltaic hybrid power plants. *Energy Conversion and Management*, 171, 528-540
85. Apichonnabutr W., Tiwary A. (2018). Trade-offs between economic and environmental performance of an autonomous hybrid energy system using micro hydro. *Applied Energy*, 226, 891-904

86. Priyadarshanee L. (2012). *Modeling and control of hybrid AC/DC microgrid*. Yüksek Lisans Tezi, National Institute of Technology, Department of Electrical Engineering, Rourkela, India.
87. Sattouf M. (2014). Simulation model of hydro power plant using MATLAB/Simulink. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(1), 295-301
88. Sumathi V., Jayapragash R., Bakshi A., Akella P. K. (2017). Solar Tracking Methods to Maximize PV System Output – A Review of the Methods Adopted in Recent Decade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 130-138
89. Garcia J. L., Jurado F., Ramirez L. M. F., Sainz H. S. (2018). Optimal hydrokinetic turbine location and techno-economic analysis of a hybrid system based on photovoltaic/hydrokinetic/hydrogen/battery. *Energy*, 159, 611-620
90. Kumar D., Sarkar S. (2016). A review on the technology, performance, design optimization, reliability, techno-economics and environmental impacts of hydrokinetic energy conversion systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 796-813
91. Sahu A., Yadav N., Sudhakar K. (2016). Floating photovoltaic power plant: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815-824
92. Bahaidarah H., Subhan A., Gandhidasan P., Rehman S. (2013). Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, 59, 445-453
93. Xu R., Ni K., Hu Y., Si J., Wen H., Yu D. (2017). Analysis of the optimum tilt angle for a soiled PV panel. *Energy Conversion and Management*, 148, 100-109
94. Gisbert C. F., Gozalvez J. J. F., Santafe M. R., Gisbert P. F., Romero F. J. S., Soler J. B. T. (2013). A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. *Renewable Energy*, 60, 63-70
95. Silverio N. M., Barros R. M., Filho G. L. T., Santafe M. R., Santos I. F. S., Valerio V. E. M. (2018). Use of floating PV plants for coordinated operation with hydropower plants: case study of the hydroelectric plants of the Sao Francisco river basin. *Energy Conversion and Management*, 171, 339-349
96. Shabani M., Mahmoudimehr J. (2018). Techno-economic role of PV tracking technology in a hybrid PV-hydroelectric standalone power system. *Applied Energy*, 212, 84-108
97. Bagher A. M., Vahid M. M. A., Mohsen M. (2015). Types of solar cells and application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94-113
98. Mahmoudimehr J., Shabani M. (2018). Optimal design of hybrid photovoltaic-hydroelectric standalone energy system for North and South of Iran. *Renewable Energy*, 115, 238-251

99. Jurasz J., Mikulik J., Krzywda M., Ciapala B., Janowski M. (2018). Integrating a wind- and solar- powered hybrid to the power system by coupling it with a hydroelectric power station with pumping installation. *Energy*, 144, 549-563
100. Jurasz J. (2017). Modelling and forecasting energy flow between national power grid and a solar-wind-pumped hydroelectricity (PV-WT-PSH) energy source. *Energy Conversion and Management*, 136, 382-394
101. Kougias I., Bodis K., Waldau A. J., Ferrario F. M. and Szabo S. (2016). Exploiting existing dams for solar PV system installations. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 24, 229-239
102. Beluco A., Souza P. K., Krenzinger A. (2012). A method to evaluate the effect of complementarity in time between hydro and solar energy on the performance of hybrid hydro PV generating plants. *Renewable Energy*, 45, 24-30
103. Ding K., Zhang J., Bian X., Xu J. (2014). A simplified model for photovoltaic modules based on improved translation equations. *Solar Energy*, 101, 40-52
104. Santafe M. R., Gisbert P. S. F., Romero F. J. S, Soler J. B. T., Gozálvez J. J. F., Gisbert C. M. F. (2014). Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. *Journal of Clean Production*, 66, 568-570
105. Liu L., Wang Q., Lin H., Li H., Sun Q., Wennersten R. (2017). Power generation efficiency and prospects of floating photovoltaic systems. *Energy Procedia*, 105, 1136-1142
106. François B., Hingray B., Raynaud D., Borga M., Creutin J. D. (2016). Increasing climate-related-energy penetration by integrating run-of-the river hydropower to wind/solar mix. *Renewable Energy*, 87, 686-696
107. Notton G., Mistrushi D., Stoyanov L., Berberi P. (2017). Operation of a photovoltaic-wind plant with a hydro pumping-storage for electricity peak shaving in an island context. *Solar Energy*, 157, 20-34
108. Zohbi G. A., Hendrick P., Renier C., Boulliard P. (2016). The Contribution of wind-hydro pumped storage systems in Lebanon's electricity demand. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 6996-7004
109. Taboada M. E., Caceres L., Graber T. A., Galleguillos H. R., Cabeza L. F., Rojas R. (2017). Solar Water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modelling. *Renewable Energy*, 105, 601-615
110. Mustafa R. J., Gomaa M. R., Al-Dhaifallah M. and Rezk H. (2020). Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic system. *Sustainability*, 12(608), 1-17
111. Tırmıkçı C. A. (2018). *İki Eksen Güneş İzleyen Hareketli Güneş Sistemi ve En Uygun Yıllık Eğim Açısı ile Konumlandırılmış Sabit Güneş Sisteminin Gerçek Zaman Karşılaştırması*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya.

112. Şişman N. (2018). *Türkiye'nin 2023 Yılında Toplam Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama İçin Optimum Güneş Enerjisi Seçeneğinin Araştırılması*. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Eskişehir.
113. Demirtaş M. (2008). *Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Elektrik Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
114. Çoban V. (2018). *Modeling Turkey's Solar Energy Potential Under Different Conditions*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
115. Jacovides C. P., Tymvios F. S., Assimakopoulos A. D., Kaltsounides N. A (2006). Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation. *Renewable Energy*, 2006, 2492-2504
116. İqbal M. (1979). Correlation of average diffuse and beam radiation with hours of bright sunshine. *Solar Energy*, 23, 169-173
117. Alsafadi M., Filik Ü. B. (2020). *Hourly global solar radiation estimation based on machine learning methods in Eskişehir*. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology, 21(2), 294-313
118. Serttaş F. (2015). *Güneş Işınım Tahminine Örüntü Tarama Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon
119. Maleki S. A. M., Hizam H., Gomes C. (2017). Estimation of hourly, Daily and monthly global solar radiation on inclined surfaces: Models re-visited. *Energies*, 10(134), 1-28
120. Chandel S. S., Aggarwal R. K. (2011). Estimation of hourly solar radiation on horizontal and inclined surfaces in western himalayas. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2(1), 45-55
121. Khatib T., Elmenreich W. (2015). A model for hourly solar radiation data generation from Daily solar radiation data using a generalized regression artificial neural network. *International journal of photoenergy*, 2015 (968024), 1-13
122. Berrizbeitia S. E., Gago E. J., Muneer T. (2020). Empirical Models for the estimation of solar sky-diffuse radiation. A review and experimental analysis. *Energies*, 13(701), 1-23
123. Gueymard C. (2000). Prediction and performance assessment of mean hourly global radiation. *Solar Energy*, 68(3), 285-303
124. Al-Rawahi N. Z., Zurigat Y. H., Al-Azri N. A. (2011). Prediction of hourly solar radiation on horizontal and inclined surfaces for Muscat/Oman. *The Journal of Engineering Research*, 8(2), 19-31

125. Ishola K. A., Fealy R., Mills G., Fealy R., Green S., Azucena Jimenez-Casteneda & Oluwafemi E. Adeyeri (2018). Developing regional calibration coefficients for estimation of hourly global solar radiation in Ireland. *International Journal of Sustainable Energy*, 38(3), 1-15
126. Hussein T. A. T. (2012). Estimation of hourly global solar radiation in Egypt using mathematical model. *International Journal Latest Trends Agriculture Food Science*, 2(2), 74-82
127. Huang J., Korolkiewicz M., Agrawal M., Boland J. (2013). Forecasting solar radiation on an hourly time scale using a coupled autoregressive and dynamical system (CARDS) model. *Solar Energy*, 87, 136-149
128. Mbaye A., Ndiaye M. L., Ndione D. M., Sylla1 M., Aidara M. C., Diaw M., Traoré V., Ndiaye A. and Ndiaye P. A. S. (2019). ARMA model for short-term forecasting of solar potential: application to a horizontal surface on Dakar site. *Materials and Devices*, 4(1), 1103
129. Adejumo A. O. and Suleiman E. A. (2017). Application of ARMA-GARCH models on solar radiation for south southern region of Nigeria. *Journal of Informatics and Mathematical Science*, 9(2), 405–416
130. Ghofrani M. and Alolayan M. (2018). Time series and renewable energy forecasting. *Time Series Analysis and Application*, Chapter 6, 77-92
131. Hejase H. A. N. and Assi A. H. (2012). Time series regression model for prediction of mean daily global solar radiation in Al-Ain, UAE. *International Scholarly Research Network ISRN Renewable Energy*, 2012(412471), 1-11
132. Prajapati S. K. and Sahay K. B. (2016). A survey paper on solar irradiance forecasting method. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5(3), 536-541
133. Huang R., Huang T., Gad R. (2012). Solar generation prediction using the ARMA model in a laboratory-level micro-grid. *Smart Grid Communications*, 2012(13400427), 1-6
134. Ferrari S., Lazzaroni M., Piuri V., Cristaldi L. and Faifer M. (2013). Statistical models approach for solar radiation prediction. *2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2013(13662865), 1-6
135. Acland F. M., Lauret P., Gómez A. and Alonso-Suárez R. (2019). Analysis of ARMA Solar Forecasting Models Using Ground Measurements and Satellite Image. *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2019(19321971), 1-7
136. Çolak I., Yesilbudak M., Genc N., Bayindir R. (2015). Multi-Period Prediction of Solar Radiation Using ARMA and ARIMA Models. *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications*, 2015(15824197), 1045-1049
137. Diagne H. M., David M., Lauret P., Boland J., Schmutz N. (2013). Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 65-76

138. Alsharif M. H., Younes M. K. and Kim J. (2019). Time series ARIMA model for prediction of daily and monthly average global solar radiation: the case study of Seoul, South Korea. *Symmetry*, 11(240), 1-17
139. Goswami A., Sadhu P., Goswami U., Sadhu P. K. (2019). Floating solar power plant for sustainable development: A techno-economic analysis. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(6), e13268
140. Mittal D., Saxena B. K., Rao K. V. S. (2017). Floating solar photovoltaic systems: An overview and their feasibility at Kota in Rajasthan. *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, 2017(17303139)
141. Sahu A., Yadav N., Sudhakar K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815-824
142. Lee N., Grunwald U., Rosenlieb E., Mirletz H., Aznar A., Spencer R., Cox S. (2020). Hybrid floating photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assesment of technical potential. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427
143. Fereshtehpour M., Sabbaghian R. J., Farrokhi A., Jovein E. B., Sarindizaj E. E. (2021). Evaluation of factors governing the use of floating solar system: A study on Iran's important water infrastructures. *Renewable Energy*, 171, 1171-1187
144. Kumar M., Chandel S. S., Kumar A. (2020). Performance analysis of a 10 MWp utility scale-grid connected canal-top photovoltaic power plant under Indian climatic conditions. *Energy*, 204 (117903)
145. Kapoor M. and Garg R. D. (2021). Solar potential assessment over canal-top using geospatial techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(14)
146. Kumar M. and Kumar A. (2019). Experimental validation of performance and degradation study of canal-top photovoltaic system. *Applied Energy*, 243, 102-118
147. Kumar M. and Kumar A. (2019). Performance assessment of different photovoltaic technologies for canal-top and reservoir applications in subtropical humid climate. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 9(3), 722-732
148. Javaid F. and Islam Z. (2020). Proposed location and proposal for canal top solar PV plant. *2020 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE)*, 2020(20279210)
149. Sharma P., Muni B., Sen D. (2015). Design parameters of 10 kW floating solar power plant. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, *National Conference on Renewable Energy and Environment (NCREE-2015)*, 2(1), 85-89
150. Farfan J. and Breyer C. (2018). Combining floating solar photovoltaic power plants and hydropower reservoirs: A virtual battery of great global potential. *Energy Procedia*, 155, 403-411

151. Sanchez R. G., Kougias I., Girona M. M., Fahl F., Waldau A. J. (2021). Assessment of floating solar photovoltaics potential in existing hydropower reservoirs in Africa. *Renewable Energy*, 169, 687-699
152. Patil(Desai) S. S., Wagh M. M., Shinde N. N. (2017). A review on floating solar photovoltaic power plants. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8, 789-794
153. Rahman W., Mahmud S., Ahmed R., Rahman S., Arif Z. (2017). Solar lanes and floating solar pv: new possibilities for source of energy generation in Bangladesh. *International conference on innovations in power and advanced computing technologies (i-PACT2017)*, 2017, 1-6
154. Sahu A. K. and Sudhakar K. (2019). Effect of UV exposure on bimodal HDPE floats for floating solar application. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1), 147-156
155. Jamalludin M. A. S., Sukki F. M., Abu-Bakar S. H., Ramlee F., Munir A. B., Bani N. A., Muhtazaruddin M. N., Mas'ud A. A., Alfredo J., Rey A., Ayub A. S., Sellami N. (2019). *Potential of floating solar technology in Malaysia*. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 10, 1638-1644
156. Golroodbari S. Z. M., Vaartjes D. F., Meit J. B. L., van Hoeken A. P., Eberveld M., Jonker H., van Sark W. G. J. H. M. (2021). Pooling the cable: A techno-economic feasibility study of integrating offshore floating photovoltaic solar technology within an offshore wind park. *Solar Energy*, 219, 65-74
157. Solomin E., Sirotkin E., Cuce E., Selvanathan S. P. and Kumarasamy S. (2021). Hybrid floating solar plant designs: a review. *Energies*, 14(2751), 1-25
158. Gull H. R. M. S., Arshad N. (2019). Integrating floating solar PV with hydroelectric power plant: analysis of Ghazi Barotha Reservoir in Pakistan. *Energy Procedia*, 158, 816-821
159. Singh A. K., Boruah D., Sehgal L. and Prasath R. A. (2016). Feasibility study of a grid-tied 2 MW floating solar PV power station and e-transportation facility using 'SketchUp Pro' for the proposed smart city of Pondicherry in India. *Journal of Smart Cities*, 2, 49-59
160. Rauf H., Gull M. S., Arshad N. (2020). Complementing hydroelectric power with floating solar PV for daytime peak electricity demand. *Renewable Energy*, 162, 1227-1242
161. Gamarra C., Ronk J. J. (2019). Floating solar: an emerging opportunity at the energy water nexus. *Texas Water Journal*, 10, 32-45
162. Bakar M. S. A. and Nandong J. (2019). Technoeconomic analysis of floating solar field for 1 GWh of electricity generation. *Materials Science and Engineering*, 495, 1-17

163. Maues J. A. (2019). Floating solar PV-Hydroelectric power plants in Brazil: Energy storage solution with great application potential. *International Journal of Energy Production & Management*, 4, 40-52
164. Elshafei M., Ibrahim A., Helmy A., Abdallah M., Eldeib A., Badawy M. and AbdelRazek S. (2021). Study of massive floating solar panels over lake Nasser. *Journal of Energy*, 2021, 1-17
165. Lopez M., Rodriguez N. and Iglesias G. (2020). Combined floating offshore wind and solar PV. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(576), 1-20
166. Nebey A. H., Taye B. Z. and Workineh T. G. (2020). GIS-based irrigation dams potential assessment of floating solar PV system. *Journal of Energy*, 2020, 1-10
167. Sharma A. K., Kothari D. P. (2016). Uninterrupted green power using floating solar PV with pumped hydro energy storage & hydroelectric in India. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 3, 94-99
168. Jamil N. A. A., Jumaat S. A., Salimin S., Abdullah M. N., Nor A. F. M. (2020). Performance enhancement of solar powered floating photovoltaic system using arduino approach. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 11, 651-657
169. Vivas F. J., De las Heras A., Segura F., Andujar J. M. (2018). A review of energy management strategies for renewable hybrid energy systems with hydrogen backup. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 126-155
170. Donado K., Navarro L., Christian G., Quintero M., Pardo M. (2020). HYRES: A multi-objective optimization tool for proper configuration of renewable hybrid energy systems. *Energies*, 13(26), 1-20
171. Augustin D., Chacko R., Jacob J. (2016). Canal top solar energy harvesting using reflector. *Global Research and Development Journal for Engineering*, 1(8), 26-31
172. Raina G., Sinha S. (2019). Outlook on the Indian scenario of solar energy strategies: Policies and challenges. *Energy Strategy Reviews*, 24, 331-341
173. Akpolat A. N., Dursun E., Kuzucuoğlu A. E., Yang Y., Blaabjerg F. and Baba A. F. (2019). Performance Analysis of a grid-connected rooftop solar photovoltaic system. *Electronics*, 8 (905), 1-20
174. Lee S. and Choi D. H. (2019). Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic. *Sensors*, 19(3937), 1-23
175. Akrami E., Gholami A., Ameri M., Zandi M. (2018). Integrated an innovative energy system assessment by assisting solar energy for day and night time power generation: Exergetic and exergo-economic investigation. *Energy Conversion and Management*, 175, 21-32
176. Palomba V., Borri E., Charalampidis A., Frazzica A., Karellas S. and Cabeza L. F. (2021). An innovative solar-biomass energy system to increase the share of renewables in office buildings. *Energies*, 2021, 14(914), 1-24

177. Roosa S. A., Doty S., Turner W. C. (2020). *Energy management handbook* (Dokuzuncu Baskı). Gistrup: River Publishers, 17,95.
178. Zhang L., Gari N., Hmurcik L. V. (2014). Energy management in a microgrid with distributed energy resources. *Energy Conversion and Management*, 78, 297-305
179. Horinov S., Horinova S. (2017). Energy management systems. GCSEEA Global Conference on Sustainable Environment, *Energy and Agriculture (GCSEEA-2017)*, 2017, 1-9
180. Calvillo C. F., Miralles A. S., Villar J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 55, 273-287
181. Wan C., Zhao J., Song Y., Xu Z., Lin J. Hu Z. (2015). Photovoltaic and solar power forecasting for smart grid energy management. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 1(4), 38-46
182. Prakesh S., Sherine S. (2017). Forecasting methodologies of solar resource and pv power for smart grid energy management. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 116(18), 313-318
183. Thounthong P., Chunkag V., Sethakul P., Sikkabut S., Pierfederici S., Davat B. (2011). Energy management of fuel cell/solar cell/supercapacitor hybrid power source. *Journal of Power Sources*, 196, 313-324
184. Kumar P. S., Chandrasena R. P. S., Ramu V., Srinivas G. N., Babu K. V. S. M. (2020). Energy management system for small scale hybrid wind solar battery based microgrid. *IEEE Access*, 8, 8336-8345
185. Kuo P. H., Huang C. J. (2018). A green energy application in energy management systems by an artificial intelligence-based solar radiation forecasting model. *Energies*, 11(819), 1-15
186. Abbassi R., Chebbi S. (2012). Energy management strategy for a grid-connected wind-solar hybrid system with battery storage: policy for optimizing conventional energy generation. *International Review of Electrical Engineering*, 7(2), 3979-3990
187. Leo R., Milton R. S., Sibi S. (2014). Reinforcement learning for optimal energy management of a solar microgrid. *2014 IEEE Humanitarian Technology Conference*, 2014, 183-188
188. Zaheeruddin, Manas M. (2015). Renewable energy management through microgrid central controller design: an approach to integrate solar, wind and biomass with battery. *Energy Reports*, 1, 156-163
189. Alhussein M., Haider S. I., Aurangzeb K. (2019). Microgrid-level energy management approach based on short-term forecasting of wind speed and solar irradiance. *Energies*, 12(1487), 1-27
190. Arabul F. K., Arabul A. Y., Kumru C. F., Boynuegri A. R. (2017). Providing energy management of a fuel cell-battery-wind turbine-solar panel hybrid of grid smart home system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 26906-26913

191. Kamala J., Santhosh K. (2015). Efficient energy management system for solar energy. *Automatika*, 56(3), 292-302
192. Amorosi L., Chiaraviglio L., Jimenez J. G. (2019). Optimal energy management of UAV-based cellular networks powered by solar panels and batteries: formulation and solutions. *IEEE Access*, 7, 53698-53717
193. Rahim S., Javaid N., Ahmad A., Khan S. A., Khan Z. A., Alrajeh N., Qasim U. (2016). Exploiting heuristic algorithms to efficiently utilize energy management controllers with renewable energy sources. *Energy and Buildings*, 129, 452-470
194. Baziar A., Fard A. K. (2013). Considering uncertainty in the optimal energy management of renewable micro-grids including storage devices. *Renewable Energy*, 59, 158-166
195. Ahmad A., Khan A., Javaid N., Hussain H. M., Abdul W., Almogren A., Alamri A., Niaz I. A. (2017). An optimized home energy management system with integrated renewable energy and storage resources. *Energies*, 10(549), 1-35
196. Vera Y. E. G., Lopez R. D., Agustin J. L. B. (2019). Energy management in microgrids with renewable energy sources: a literature review. *Applied Sciences*, 9(3854), 1-28
197. Boynuegri A. R., Yagcitek B., Baysal M., Karakas A., Uzunoglu M. (2013). Energy management algorithm for smart home with renewable energy sources. *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, 2013(13860885), 1-6
198. Saharia B. J., Brahma H., Sarmah N. (2018). A review of algorithms for control and optimization for energy management of hybrid renewable energy systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(053502), 1-33
199. Fernando Y., Bee P. S., Jabbour C. J. C., Thome A. M. T. (2018). Understanding the effects of energy management practices on renewable energy supply chains: implications for energy policy in emerging economies. *Energy Policy*, 118, 418-428
200. Piloni V., Floris A., Meloni A., Atzori L. (2018). Smart home energy management including renewable sources: a QoE-driven approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(3), 2006-2018
201. Hasankhani A., Hakimi S. M. (2021). Stochastic energy management of smart microgrid with intermittent renewable energy resources in electricity market. *Energy*, 219(119668), 1-15
202. Mollahosseini A., Hosseini S. A., Jabbari M., Figoli A., Rahimpour A. (2017). Renewable energy management and market in Iran: a holistic review on current state and future demands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 774-788
203. Worku M. Y., Hassan M. A., Abido M. A. (2019). Real time energy management and control of renewable energy based microgrid in grid connected and island modes. *Energies*, 12(276), 1-18

204. Sekar K., Duraisamy V. (2015). Efficient energy management system for integrated renewable power generation systems. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 74, 325-329
205. Ifaei P., Farid A., Yoo C. K. (2018). An optimal renewable energy management strategy with and without hydropower using a factor weighted multi-criteria decision making analysis and nation-wide- big data- case study in Iran. *Energy*, 158, 357-372
206. Jarvela M., Lappalainen K., Valkealahti S. (2020). Characteristics of the cloud enhancement phenomenon and PV power plants. *Solar Energy*, 196, 137-145
207. Khaing H. H., Liang Y. J., Htay N. N. M., Fan J. (2014). Characteristics of different solar PV modules under partial shading. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 8(9), 1264-1268
208. Dorobantu L., Popescu M. O., Popescu Cl., Craciunescu A. (2012). Simulating shadow effect on PV panels. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 1(10), 1064-1068
209. Chepp E. D., Krenzinger A. (2021). A methodology for prediction and assessment of shading on PV systems. *Solar Energy*, 216 (2021), 537-550
210. Yang L., Liu X., Qian F. (2019). Optimal configurations of high-rise buildings to maximize solar energy generation efficiency of building-integrated photovoltaic systems. *Indoor and Built Environment*, 28(8), 1104-1125
211. Elamin A. A., Ahmed G., Mohmmmed A., Elkanzi M. H. A., Elfaki A. A. A., Khareif A. S. M. (2017). Changes in electrical parameters due to partial shading of PV solar cell. *American Journal of Energy Science*, 4(1), 1-4
212. Seritan G. C., Enache B. A., Adochiei F. C., Argatu F. C., Christodoulou C., Vita V., Toma A. R., Gandescu C. H., Hathazi F. I. (2020). Performance evaluation of photovoltaic panels containing cells with different bus bars configurations in partial shading conditions. *Revue Roumaine des Sciences Techniques-Serie Electrotechnique et Energetiqu*, 65 (1-2), 67-70
213. Alsadi S. Y., Nassar Y. F. (2019). A general expression for the shadow geometry for fixed mode horizontal, step-like structure and inclined solar fields. *Solar Energy*, 181(2019), 53-69
214. Thakkar N., Cormode D., Lonij V. P. A., Pulver S., Cronin A. D. (2010). A simple non-linear model for the effect of partial shade on PV systems. *2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2010, 2321-2326
215. Djalab A., Bessous N., Rezaoui M. M., Merzouk I. (2018). Study of the Effects of Partial Shading on PV Array. *2018 International Conference on Communications and Electrical Engineering (ICCEE)*, 2018, 1-5
216. Abdulaziz S. A. (2018). Dust impact on the performance of PV panels. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(8), 69-74

217. Bleicher A., Pachauri R., Kuchhal P., Bansal K. (2020). Experimental study on electrical connections of PV system for improved performance under shadow test cases. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 7(30), 1-11
218. Galeano A. G., Bressan M., Vargas F. J., Alonso C. (2018). Shading ratio impact on photovoltaic modules and correlation with shading patterns. *Energies*, 11(852), 1-26
219. Malara A., Marino C., Nucara A., Pietrafesa M., Scopelliti F., Strega G. (2016). Energetic and economic analysis of shading effects on PV panels energy production. *International Journal of Heat and Technology*, 34 (3), 465-472
220. Humada A. M., Samsuri F. B., Hojabria M., Mohamed M. B., Bin Sulaiman M. H., Dakheel T. H. (2014). Modeling of photovoltaic solar array under different levels of partial shadow conditions. *2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, 2014, 461-465
221. Wang D., Qi T., Liu Y., Wang Y., Fan J., Wang Y., Du H. (2020). A method for evaluating both shading and power generation effects of rooftop solar PV panels for different climate zones of China. *Solar Energy*, 205, 432-445
222. Ahmed W., Sheikh J. A., Farjana S. H., Parvez Mahmud M. A. (2021). Defects impact on PV system GHG mitigation potential and climate change. *Sustainability*, 13(7793), 1-9
223. Rehman S., Al-Hadhrami L. M., Alam M., (2015). Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 586-598
224. Blakers A., Stocks M., Lu B., Cheng C., (2021). A review of pumped hydro energy storage. *Progress in Energy*, 3, 022003
225. Steffen B., (2012). Prospects for pumped-hydro storage in Germany. *Energy Policy*, 45, 420-429
226. Ma T., Yang H., Lu L., (2014). Feasibility study and economic analysis of pumped hydro storage and battery storage for a renewable energy powered island. *Energy Conversion and Management*, 79, 387-397
227. Yang C. J., Jackson R. B., (2011). Opportunities and barriers to pumped-hydro energy storage in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 839-844
228. Hunt J. D., Zakeri B., Lopes R., Barbosa P. S. F., Nascimento A., Castro N. J., Brandao R., Schneider P. S., Wada Y., (2020). Existing and new arrangements of pumped-hydro storage plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109914
229. Sivakumar N., Das D., Padhy N. P., Kumar A. R. S., Bisoyi N., (2013). Status of pumped hydro-storage schemes and its future in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 208-213
230. Foley A. M., , Leahy P. G., Li K., McKeogh E. J., Morrison A. P., (2015). A long-term analysis of pumped hydro storage to firm wind power. *Applied Energy*, 137, 638-648

231. Javed M. S., Ma T., Jurasz J., Amin M. Y., (2020). Solar and wind power generation systems with pumped hydro storage: Review and future perspectives. *Renewable Energy*, 148, 176-192
232. Ma T., Yang H., Lu L., Peng J., (2014). Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong. *Renewable Energy*, 69, 7-15
233. Kusakana K., (2016). Optimal scheduling for distributed hybrid system with pumped hydro storage. *Energy Conversion and Management*, 111, 253-260
234. Barbour E., Wilson I. A. G., Radcliffe J., Ding Y., Li Y., (2016). A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 421-432
235. Lin S., Ma T., Javed M. S., (2020). Prefeasibility study of a distributed photovoltaic system with pumped hydro storage for residential buildings. *Energy Conversion and Management*, 222, 113199
236. Ding H., Hu Z., Song Y., (2012). Stochastic optimization of the daily operation of wind farm and pumped-hydro-storage plant. *Renewable Energy*, 48, 571-578
237. Javed M. S., Zhong D., Ma T., Song A., Ahmed S., (2020). Hybrid pumped hydro and battery storage for renewable energy based power supply system. *Applied Energy*, 257, 14026
238. Kocaman A. S., Modi V., (2017). Value of pumped hydro storage in a hybrid energy generation and allocation system. *Applied Energy*, 205, 1202-1215
239. Kim Y. M., Shin D. G., Favrat D., (2011). Operating characteristics of constant-pressure compressed air energy storage (CAES) system combined with pumped hydro storage based on enegy and exergy analysis. *Energy*, 36, 6220-6233
240. Kapsali M., Anagnostopoulos J. S., Kaldellis J. K., (2012). Wind powered pumped-hydro storage systems for remote islands: A complete sensitivity analysis based on economic perspectives. *Applied Energy*, 99, 430-444
241. Stocks M., Stocks R., Lu B., Cheng C., Blakers A., (2021). Global atlas of closed-loop pumped hydro energy storage. *Joule*, 5, 270-284
242. Fan J., Xie H., Chen J., Jiang D., Li C., Tiedeu W. N., Ambre J., (2020). Preliminary feasibility analysis of a hybrid pumped-hydro energy storage system using abandoned coal mine goafs. *Applied Energy*, 258, 114007
243. Diaf S., Notton G., Belhamel M., Haddadi M., Louche A. (2008). Design and techno-economical optimisation for hybrid PV/wind system under various meteorological condition. *Applied Energy*, 85, 968-987
244. Hong S., Bae J., Koo B., Chang I., Cho G. (2014). Nanostructuring methods for enhancing light absorption rate of Si-based photovoltaic devices: A review. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Tech.*, 1, 67-74

245. Ye L., Sun H. B., Song X. R., Li L. C. (2012). Dynamic modeling of a hybrid wind/solar/hydro microgrid in EMTP/ATP. *Renewable Energy*, 39, 96-106
246. Zhou W., Yang H., Fang Z. (2007). A novel model for photovoltaic array performance prediction. *Applied Energy*, 84, 1187-1198
247. İnternet: NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. (2022). NASA. Web: <https://power.larc.nasa.gov/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
248. Sairam P. M. N., Aravindhana A. (2020). Canal top Solar panels: A unique nexus of energy, water and land. *Materialstoday proceedings*, 33(1), 705-710
249. İnternet: Data Access Viewer. (2022). NASA. Web: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
250. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019. Abu Dhabi: IRENA, 13-144
251. Panwar N. L., Kaushik S. C., Kothari S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1513-1524
252. İnternet: Duyurular. (2021). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Web: https://enerjiapi.etkb.gov.tr/Media/Dizin/ETKB/Duyurular//0c6b62ea-bf2f-4fea-b9b3-28bc6f48ddf2_Bilgi_Formu_-_Web_Sitesi.pdf. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
253. Joshi S. B., Joshi F. M. (2016). Role of solar energy applications in developing smart cities of India. *Conference: Recent Advances in Computer Science & Technology*, 2016, 1-13
254. İnternet: News. (2022). PV-Tech. Web: https://www.pv-tech.org/sunengy_to_build_pilot_liquid_solar_array_plant_in_india/. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
255. Allouhi A., Saadani R., Buker M. S., Kousksou T., Jamil A., Rahmoune M. (2019). Energetic, economic and environmental (3E) analyses and LCOE estimation of three technologies of PV grid-connected systems under different climates. *Solar Energy*, 178, 25-36
256. Goe M., Gaustad G. (2014). Strengthening the case for recycling photovoltaics: An energy payback analysis. *Applied Energy*, 120, 41-48
257. İnternet: News. (2022). Marinedealnews. Web: <https://www.marinedealnews.com/construction-of-floating-solar-farms-starts-in-singapore/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
258. İnternet: Yenilenebilir Enerji Kaynakları. (2022). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Web: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
259. Ekinci D.(2012) The mountains of Turkey. *International Journal of Arts & Sciences*, 5 (4), 63-78

260. İnternet: Eski Yayınlar. (2021). Resmi Gazete. Web: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/04/20210417-5.pdf>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
261. İnternet: Projeler. (2021). Kalehan Enerji. Web: <https://kalehan.com.tr/projeler/asagi-kalekoy-baraji-ve-hes/>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
262. İnternet: Haberler. (2021). Anadolu Ajansı. Web: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/firatin-suyu-mardinin-bereketli-topraklariyla-bulusacak/2269195>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
263. İnternet: Gerçek Zamanlı Üretim. (2022). Anadolu Ajansı. Web: <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency>. Son Erişim Tarihi: 30.06.2022.
264. Ünver Ü., Bilgin H., Güven A., (2015). Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemler. *Mühendis ve Makine*, 56, 57-64
265. Çiçek Ö., Özdemir M. B., (2021). Pompaj depolamalı hidroelektrik santralı tasarımı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 26-35
266. Pumped Storage Hydropower International Forum, Pumped Storage Hydropower Capabilities and Costs, (2021)
267. İnternet: Duyurular. (2022). EPDK. Web: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>. Son Erişim Tarihi: 31.12.2022.

EKLER

Ek-1. BAP Projesi Kapak Sayfası

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ (BAP)
PROJE KESİN RAPORU

PROJE KODU	07/2017-05
PROJE TÜRÜ	☐ Bağımsız Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ☐ Yüksek Lisans (X) Doktora ☐ Tıpta Uzmanlık ☐ Altyapı Projeleri ☐ Çok Disiplinli Araştırma Projeleri ☐ Sanayi İşbirliği Projeleri
PROJE ADI	SHE(Solar-Hidroelektrik) Sistemine Uyumlu Fresnel Lens Odaklayıcı Panel Prototipi Tasarımı ve Performans Karşılaştırması
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ	Prof. Dr. Mahir DURSUN
PROJE EKİBİ	M. Fatih SALTUK
FAKÜLTE/ENSTİTÜ/YÜKSEK OKUL	Fen Bilimleri Enstitüsü
BÖLÜM/ANABİLİM/BİLİM DALI	Elektrik-Elektronik Mühendisliği(Teknoloji Fak.)
RAPOR TARİHİ	17.12.2018

54 sayfadaki bu rapordaki bilgilerin/belgelerin doğruluğunu kabul ediyorum.

İmza:

Ek-2. Politeknik Dergisi Makale 1



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>

Hibrit güneş-hidroelektrik (GHE) sistemine rezervuar etkisi

Reservoir effect on the hybrid solar-hydroelectric (SHE) system

Yazar(lar) (Author(s)): Mahir DURSUN¹, M. Fatih SALTUK²

ORCID¹: 0000-0003-0649-2627

ORCID²: 0000-0002-7914-8838

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dursun M. ve Saltuk M. F., "Hibrit güneş-hidroelektrik (GHE) sistemine rezervuar etkisi", *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1074180

Ek-3. Politeknik Dergisi Makale 2



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>

Uygun yenilenebilir hibrit çiftlerinin seçilmesi: Bir vaka çalışması

The selection of the suitable renewable hybrid pairs: A case study

Yazar(lar) (Author(s)): Mahir DURSUN¹, M. Fatih SALTUK²ORCID¹: 0000-0003-0649-2627ORCID²: 0000-0002-7914-8838

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dursun M. ve Saltuk M. F., "Uygun yenilenebilir hibrit çiftlerinin seçilmesi: Bir vaka çalışması", *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1097700



Gazili olmak ayrıcalıktır