



**BURSA GÖLYAZI İÇİN ÖNERİLEN ŞEBEKE BAĞLANTILI YÜZER GES +  
BATARYA DESTEKLİ HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN TEKNO-EKONOMİK VE  
ÇEVRESEL ANALİZİ**  
**TECHNO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF PROPOSED  
GRID-CONNECTED FLOATING PV + BATTERY SUPPORTED HYBRID  
ENERGY SYSTEM FOR BURSA GÖLYAZI**

**Yasin KURHAN, Muhammet Hamza ERZİ, Ertuğrul ŞAHİNKAYA**  
*Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Yalova/Merkez*  
*Yalova University Engineering Faculty Electrical and Electronics Engineering,  
Yalova/Merkez*

## Özet

*Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesinde yer alan, tarihi ve ekolojik önemi haiz Gölyazı (Apolyont) yerleşimi için önerilen şebeke bağlantılı Yüzer Güneş Enerjisi Santrali (Yüzer GES) ve Lityum-İyon Batarya Enerji Depolama Sistemi (BES) entegrasyonuna sahip hibrit bir enerji sisteminin teknik, ekonomik ve çevresel yapılabilirliği detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, Türkiye'nin 10 Aralık 2025 tarihinde yürürlüğe giren "Yüzer Güneş Enerji Santralleri Kurulmasında Su Yüzeyi Kullanımına ve Kiralanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" hükümleri ve Uluabat Gölü'nün Ramsar alanı statüsü dikkate alınarak, enerji üretim potansiyeli ile koruma dengesi analiz edilmiştir. HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda, 188 kW kurulu güce sahip fotovoltaik paneller, 100 kWh kapasiteli Li-İyon batarya grubu ve 150 kW sistem konvertörü içeren bir mimari optimize edilmiştir. Analizler sonucunda, sistemin Net Bugünkü Maliyeti (NPC) 876.913,20 \$ ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (COE) 0,1252 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Yüzer GES sistemlerinin suyun soğutma etkisiyle kara sistemlerine kıyasla verimlilik artışı sağladığı, buharlaşmayı azalttığı ve yosun oluşumunu sınırladığı teorik ve simülasyon verileriyle desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, turizm sezonunda artan enerji arının (pik yüklerin) batarya desteği ile "tırışlanarak" şebeke maliyetlerinin düşürülebileceğini ve sistemin yaklaşık 7-9 yıl içerisinde yatırım maliyetini geri ödeyebileceğini göstermektedir.*

**Anahtar kelimeler:** *Yüzer GES, Hibrit Enerji Sistemleri, HOMER Pro, Batarya Depolama, Yenilenebilir Enerji, Uluabat Gölü.*

## **Abstract**

*In this study, the technical, economic, and environmental feasibility of a hybrid energy system consisting of a grid-connected Floating Photovoltaic (FPV) and Lithium-Ion Battery Energy Storage System (BESS) proposed for the Gölyazı (Apolyont) settlement, which is located in the Nilüfer district of Bursa and has historical and ecological importance, has been investigated in detail. Within the scope of the study, the balance between energy generation potential and conservation was analyzed considering the provisions of the "Regulation on Procedures and Principles Regarding the Use and Leasing of Water Surfaces for the Establishment of Floating Solar Power Plants" which entered into force on December 10, 2025 in Turkey, and the Ramsar site status of Lake Uluabat. In the simulations performed using HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) software, an architecture containing 188 kW installed power photovoltaic panels, 100 kWh capacity Li-Ion battery group, and 150 kW system converter was optimized. As a result of the analyses, the Net Present Cost (NPC) of the system was calculated as \$876,913.20 and the Levelized Cost of Energy (COE) as \$0.1252/kWh. It has been supported by theoretical and simulation data that Floating PV systems provide efficiency increase compared to land systems with the cooling effect of water, reduce evaporation, and limit algae formation. The obtained results show that the increasing energy demand (peak loads) during the tourism season can be "shaved" with battery support, reducing grid costs, and the system can pay back the investment cost within approximately 7-9 years.*

**Keywords:** *Floating PV, Hybrid Energy Systems, HOMER Pro, Battery Storage, Renewable Energy, Lake Uluabat.*

## **1. Giriş**

Enerji, modern toplumların sürdürülebilir kalkınması, ekonomik büyümesi ve sosyal refahı için vazgeçilmez bir unsurdur. Ancak, fosil yakıtlara dayalı geleneksel enerji üretim yöntemlerinin neden olduğu sera gazı emisyonları ve küresel iklim değişikliği, enerji sektöründe köklü bir dönüşümü zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, güneş, rüzgâr ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle güneş enerjisi, sınırsız potansiyeli ve azalan teknoloji maliyetleri ile en önde gelen alternatiflerden biridir.

Güneş enerjisi uygulamaları genellikle kara üzeri (çatı veya arazi) sistemler şeklinde yaygınlaşmış olsa da, tarım arazilerinin korunması ve arazi maliyetlerinin artması, araştırmacıları ve yatırımcıları su yüzeylerini kullanmaya yöneltmiştir. "Yüzer Güneş Enerjisi Santralleri" (Yüzer GES veya FPV), su rezervuarları, göller ve kanallar üzerine kurulan fotovoltaiik sistemler olarak tanımlanmakta ve arazi kullanımına gerek duymaması, su buharlaşmasını azaltması ve suyun soğutma etkisiyle panel verimini artırması gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasının yanı sıra, hidroelektrik santralleri, baraj gölleri ve sulama göletleri açısından da zengin bir ülkedir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi amacıyla, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, 10 Aralık 2025 tarihinde "Yüzer Güneş Enerji Santralleri Kurulmasında Su Yüzeyi Kullanımına ve Kiralanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.[2] Bu yönetmelik, özellikle belediyeler, sulama birlikleri ve lisanslı üreticiler için su yüzeylerinde enerji üretimi yapabilmenin yasal çerçevesini çizmiş ve 2025 yılı itibarıyla sektörde yeni bir ivme yaratmıştır.

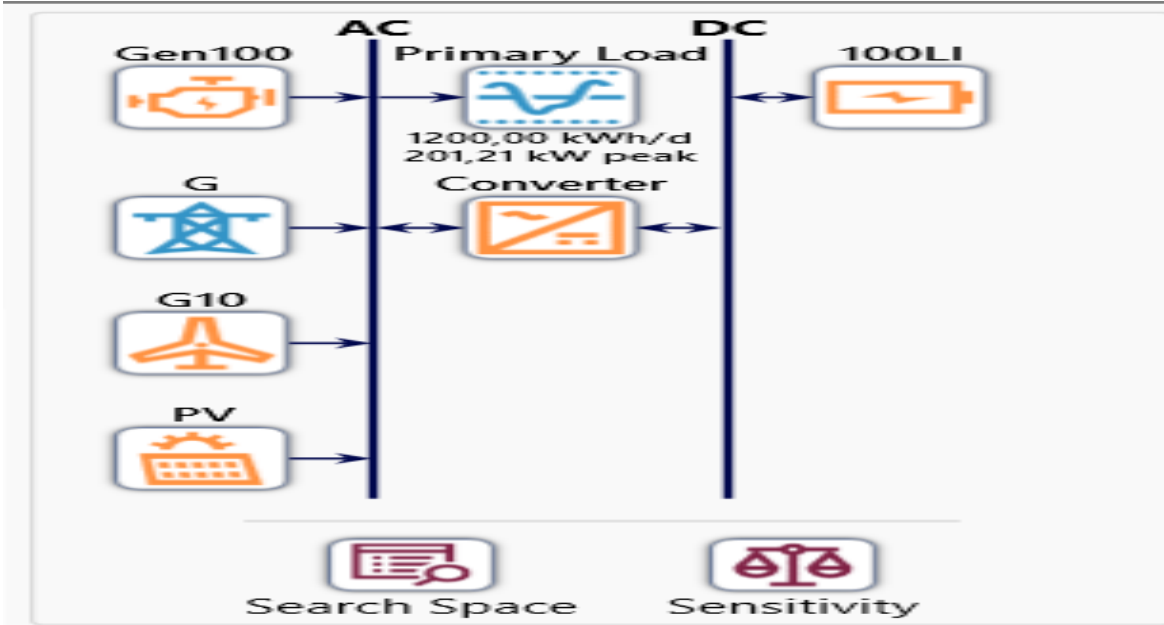
Bu çalışmanın odak noktası olan Bursa Gölyazı (Apolyont), tarihi dokusu, doğal güzellikleri ve Uluabat Gölü üzerindeki konumuyla Türkiye'nin önemli turizm destinasyonlarından biridir. Ancak, bölgenin bir yarımada üzerinde olması ve özellikle yaz aylarında artan nüfus yoğunluğu, enerji altyapısı üzerinde baskı oluşturmaktadır. Ayrıca, Uluabat Gölü'nün Ramsar Sözleşmesi ile korunan uluslararası öneme sahip bir sulak alan olması, bölgede yapılacak enerji yatırımlarının çevresel hassasiyetini en üst düzeye çıkarmaktadır.[3] Bu bağlamda, Gölyazı için önerilen enerji çözümünün sadece ekonomik değil, aynı zamanda ekolojik ve estetik açıdan da bölgeyle uyumlu olması gerekmektedir.

Literatürde hibrit enerji sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, bu sistemlerin teknik ve ekonomik avantajlarını ortaya koymaktadır. Türkdoğan (2021), konut ve elektrikli araç yükleri için sadece yenilenebilir kaynaklara dayalı hibrit enerji sistemlerinin tasarımını ve optimizasyonunu incelemiş, sistemin maliyet etkinliğini ve çevresel faydalarını vurgulamıştır.[4] Benzer şekilde, Türkdoğan ve ark. (2020), 40 hanelik bir topluluğun enerji ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız hibrit sistemleri analiz etmiş ve HOMER yazılımı kullanarak optimum sistem konfigürasyonlarını belirlemiştir.[5] Ayrıca, Türkdoğan ve ark. (2018), bir çiftlik evi için hibrit sistemlerin uygulanabilirliğini araştırmış, özellikle batarya teknolojilerinin (Li-ion ve kurşun-asit) sistem performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak sunmuştur.[6] Arslan ve Türkdoğan (2022) ise kamu binalarında çatı üzeri PV potansiyelini inceleyerek, mimari tasarımın enerji üretimine etkisini değerlendirmiştir; bu durum Gölyazı gibi tarihi dokunun korunması gereken yerlerde çatı kurulumlarının kısıtlı olması nedeniyle yüzer sistemlerin önemini artırmaktadır.[7]

Bu çalışmalar, hibrit sistemlerin doğru tasarlandığında hem şebekeden bağımsız (off-grid) hem de şebeke bağlantılı (on-grid) uygulamalarda yüksek verimlilik sunduğunu göstermektedir. Yüzer GES teknolojisi, suyun termal özelliklerini kullanarak fotovoltaik hücrelerin çalışma sıcaklığını düşürmekte ve bu sayede kara sistemlerine göre daha fazla enerji üretimi sağlamaktadır.[8] Ayrıca, panellerin su yüzeyini gölgelemesi, fotosentez yapan alglerin çoğalmasını sınırlayarak ötrofikasyon riski taşıyan sığ göllerde su kalitesinin iyileşmesine katkı sunabilmektedir. Ancak, su ekosistemi üzerindeki potansiyel etkileri, özellikle ışık geçirgenliğinin azalması ve su altı yaşamına etkileri, dikkatle planlanmalıdır.

## **2. Sistem Tanıtımı**

Önerilen enerji sistemi, Gölyazı mahallesinin elektrik ihtiyacını karşılamak, şebeke güvenliğini artırmak ve karbon ayak izini düşürmek amacıyla tasarlanmış hibrit bir yapıdır. Sistem, ana enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanmakta, kesintili üretim karakteristiğini dengelemek için batarya depolama birimlerinden yararlanmakta ve ulusal şebeke ile enterkonekte çalışmaktadır. Sistem mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1. 188 kW PV ve 100 kWh batarya içeren, şebeke bağlantılı hibrit sistemin HOMER Pro bileşen şeması ve AC/DC bus bağlantıları**

Jeneratör ve rüzgâr türbini optimizasyon sürecine dahil edilmiş ancak elenmiştir

## 2.1. Proje Sahası: Bursa Gölyazı ve Uluabat Gölü

Proje sahası, Bursa il merkezinin yaklaşık 30 km batısında, Nilüfer ilçesine bağlı Gölyazı mahallesidir (40°10'K, 28°35'D). Gölyazı, antik çağlardan beri yerleşim yeri olan ve günümüzde turizm potansiyeli yüksek bir yarımadadır. Bölge, Marmara geçiş iklimi etkisi altındadır; yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır.

Uluabat Gölü, ortalama 2,5 metre derinliğe sahip, sıg ve besin maddesi açısından zengin (ötrofik) bir göldür. Göl, 1998 yılında Ramsar Sözleşmesi kapsamında "Uluslararası Öne Sahip Sulak Alan" ilan edilmiştir [3]. Göl yüzeyi yaklaşık 135 km<sup>2</sup> olup, su seviyesi mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Gölyazı yerleşimi, gölün kuzey kıyısında yer almakta ve bir köprü ile anakaraya bağlanmaktadır. Bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, Türkiye ortalamalarına yakındır. NASA ve Solargis verilerine göre, Bursa bölgesi için yıllık ortalama küresel yatay ışınım (GHI) değeri yaklaşık 4.0- 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/gün seviyelerindedir. Yaz aylarında (Haziran-Ağustos) bu değer 6.0 kWh/m<sup>2</sup>/gün seviyelerine ulaşarak Yüzer GES verimliliği için ideal koşullar sunmaktadır.

## 2.2. Yüzer Güneş Enerjisi Santrali (Yüzer GES)

Sistemin birincil enerji üretim kaynağı, su yüzeyine monte edilecek fotovoltaik panellerdir. HOMER kurulumunda "Generic flat plate PV" (Düzlemsel PV) modülü kullanılmış olup, toplam kurulu güç 188 kW olarak optimize edilmiştir.

- **Teknoloji ve Yapı:** Yüzer GES sistemleri, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeden üretilen modüler dubalar (pontonlar) üzerine kurulur. Bu dubalar hem panelleri su üzerinde tutar hem de bakım yolları oluşturur. Kullanılan panellerin neme karşı dayanıklı (IP67/IP68 standartlarında) ve PID (Potansiyel Kaynaklı Bozulma) direncinin yüksek olması gerekmektedir.
- **Soğutma Etkisi ve Verimlilik:** Fotovoltaik hücrelerin verimliliği, sıcaklık arttıkça

azalır (tipik olarak  $-0.4\%/^{\circ}\text{C}$ ). Yüzer sistemlerde, suyun buharlaşması ve su kütlesinin termal ataleti sayesinde ortam sıcaklığı karaya göre daha düşüktür. Ayrıca, su yüzeyindeki rüzgar akışı panellerin arka yüzeyini soğutur. Literatürdeki çalışmalar, bu etki sayesinde Yüzer GES'lerin kara sistemlerine göre %10-15 daha verimli çalıştığını göstermektedir. HOMER modellemesinde bu avantaj, sıcaklık katsayısı ve verim parametrelerine yansıtılmıştır.

- **Ankraj Sistemi:** Uluabat Gölü'nün sığ yapısı ve balçık tabanı dikkate alınarak, elastik bağlama (mooring) sistemleri veya kazık (piling) yöntemleri kullanılabilir. Ankraj sistemi, su seviyesindeki değişimlere (yaz-kış farkı) uyum sağlayacak esneklikte tasarlanmalıdır [1].

### 2.3. Batarya Enerji Depolama Sistemi (BES)

Güneş enerjisinin gündüz üretilip akşam saatlerinde tüketilmesini sağlamak ve şebeke kesintilerinde yedek güç oluşturmak amacıyla sisteme 100 kWh kapasiteli Li-İyon (Lithium-Ion) batarya grubu entegre edilmiştir.

- **Teknoloji Seçimi:** Türkoğlan ve ark. (2018) tarafından yapılan analizlerde belirtildiği üzere, Li-İyon bataryalar, kurşun-asit bataryalara kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna, daha uzun çevrim ömrüne (cycle life) ve daha derin deşarj (Deşarj Derinliği (DoD)) kabiliyetine sahiptir. HOMER simülasyonunda kullanılan "Generic 100kWh Li-Ion" modeli, %80-90 DoD ile çalışabilmekte ve 15 yılın üzerinde ömür beklentisi sunmaktadır.[6]
- **Görev:** Batarya sistemi, özellikle Gölyazı'da turizm kaynaklı akşam pik yüklerinin (aydınlatma, restoranlar) karşılanmasında kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, şebeke tarifesinin yüksek olduğu saatlerde (Puant: 17:00-22:00) bataryadan enerji çekilerek (peak shaving) işletme maliyetleri düşürülmektedir.

### 2.4. Güç Dönüşüm Sistemi (Konvertör)

Sistemde, DC (Doğru Akım) olarak üretilen ve depolanan enerjiyi, AC (Alternatif Akım) şebeke standartlarına dönüştürmek için 150 kW kapasiteli bir "System Converter" kullanılmıştır. Bu konvertör, çift yönlü (bidirectional) çalışma özelliğine sahiptir; yani hem panellerden/bataryadan şebekeye/yüke enerji aktarabilir hem de şebekeden bataryaları şarj edebilir (rektifier modu). Kapasite seçimi, maksimum yük (pik talep) ve maksimum PV üretim değerleri dikkate alınarak HOMER tarafından optimize edilmiştir.

**Tablo 1. Simülasyonda kullanılan bileşenlerin kurulu güçleri, yatırım maliyetleri ve toplam NPC içindeki yüzde payları**

Bileşen	Kapasite	Sermaye Maliyeti (\$)	NPC Payı (%)
Yüzer PV	188 kW	225,187.50	25.7
Li-Ion Batarya	100 kWh	40,000	8.4
Konvertör	150 kW	45,000	5.1
Şebeke	Bağlantılı	0	60.8

## 2.5. Şebeke Entegrasyonu ve Yönetmelik

Sistem, " Gölyazı Tarifesi " olarak tanımlanan ve Türkiye'deki elektrik tarifelerini (gündüz, puant, gece) simüle eden bir şebeke modeli ile entegre edilmiştir. 10.12.2025 tarihli Yüzer GES Yönetmeliği, baraj ve suni göllerde kurulumun önünü açarken, doğal göllerde belirli kısıtlamalar getirmektedir. Bu proje, teknik olarak şebeke bağlantılı bir "öz tüketim" modeli üzerine kuruludur. Üretilen enerji öncelikle yerel yükte tüketilir, fazlası bataryada depolanır, batarya dolu ise şebekeye satılır (mahsuplaşma).

## 3. Analiz ve Yöntem

Bu çalışmada, sistemin tekno-ekonomik analizi ve optimizasyonu için NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilen ve endüstri standardı kabul edilen HOMER Pro yazılımı kullanılmıştır. Yöntem, proje ömrü boyunca oluşacak tüm maliyetleri ve teknik performans verilerini simüle ederek en uygun sistem konfigürasyonunu belirlemeye dayanır. Arama uzayına jeneratör ve rüzgâr türbini dahil edildi; ancak optimizasyon sonucunda ekonomik bulunmadığı için elenmiştir.

## 3.1. Simülasyon Modeli ve Girdiler

Gölyazı'nın yük profili hem yerleşik hane halkının hem de turistik işletmelerin tüketim alışkanlıklarını yansıtmaktadır. Günlük ortalama tüketim 1.200 kWh/gün ve pik yük 201,21 kW olarak modellenmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere, turizm etkisiyle yaz aylarında ve akşam saatlerinde tüketim artmaktadır.



Şekil 2. Proje sahasına ait yıllık elektrik yük profili ve mevsimsel ısı haritası.

### 3.1.1. Elektrik Yük Profili

Gölyazı'nın yük profili hem yerleşik hane halkının hem de turistik işletmelerin tüketim alışkanlıklarını yansıtmaktadır.

- **Günlük Ortalama Tüketim:** 1.200 kWh/gün (Scaled Annual Average).
- **Pik Yük:** 201,21 kW peak.
- **Yük Karakteristiği:** Turizm etkisiyle yaz aylarında ve hafta sonlarında artan, akşam saatlerinde (18:00-22:00) zirve yapan bir profil tanımlanmıştır. HOMER'da "Birincil Yük" altında tanımlanan bu yük, mevsimsel dalgalanmaları (Ocak-Temmuz farkı) içermektedir.

### 3.1.2. Güneş Kaynağı (Solar Resource)

Bursa ili için güneş radyasyon verileri, HOMER kütüphanesinden ve NASA veritabanından çekilmiştir. Yıllık ortalama Küresel Yatay Işınım (GHI) değeri 4.0 - 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/gün olarak alınmıştır. Yaz aylarında bu değer 6.0 kWh/m<sup>2</sup>/gün üzerine çıktığı, kışın ise düştüğü modelde görülmektedir.

### 3.1.3. Bileşen Maliyetleri ve Teknik Parametreler

Simülasyonda kullanılan bileşenlerin maliyetleri, HOMER arayüzünde edinilen değerler üzerinden şu şekilde tanımlanmıştır:

- **Yüzer PV Paneller (Generic flat plate PV):**
  - Kapasite: 1 kW (Birim).
  - Sermaye Maliyeti (Capital): 1.200 \$ (Yüzer sistem farkı dahil edilmiştir).
  - Değiştirme Maliyeti (Replacement): 1.000 \$.
  - İşletme ve Bakım (O&M): 25 \$/yıl.
  - Ömür: 25 yıl.
  - Derating Factor: %80 (Sıcaklık ve kirlilik kayıpları).
- **Batarya (Generic 100kWh Li-Ion):**
  - Kapasite: 100 kWh.
  - Sermaye Maliyeti: 40.000 \$.
  - Değiştirme Maliyeti: 35.000 \$.
  - O&M: 500 \$/yıl.
  - Ömür: 15 yıl.
  - Minimum SOC: %20.
- **Jeneratör (Generic 100kW Fixed Capacity - Opsiyonel):**
  - Sermaye Maliyeti: 40.000 \$.
  - Yakıt: Dizel (1,30 \$/L).
  - Not: Optimizasyon sonucunda jeneratörsüz sistem seçilmiştir ancak analizde "Arama Uzayı" içinde tutulmuştur.
- **Konvertör (System Converter):**
  - Sermaye Maliyeti: 300 \$/kW (Tablo 1'deki değer: 150 kW için yaklaşık 45.000 \$).
  - Verim: %95

### 3.1.4. Şebeke Tarifesi

Sistemin ekonomik analizinde en kritik parametrelerden biri şebeke tarifesidir. " Gölyazı Tarifesi " adı altında tanımlanan tarife yapısı, Türkiye'deki 3 zamanlı tarifeyi yansıtmaktadır:

- **Gündüz (06:00-17:00):** 0,15 \$/kWh (Orta tarife).
- **Puant (17:00-22:00):** 0,25 \$/kWh (En yüksek tarife- Batarya deşarjı için hedef).
- **Gece (22:00-06:00):** 0,09 \$/kWh (En düşük tarife - Şebekeden şarj için uygun).
- **Grid Sale Limit:** 999.999 kW (Şebekeye satış sınırı yok olarak modellenmiştir).

### 3.2. Optimizasyon Yöntemi

HOMER Pro, tanımlanan "Search Space" (Arama Uzayı) içerisindeki tüm olası sistem konfigürasyonlarını (örneğin; 0-500 kW PV, 0-5 Batarya vb.) simüle eder. Her bir konfigürasyon için projenin ömrü boyunca (25 yıl) oluşacak nakit akışını hesaplar ve bunları bugünkü değere indirir. En düşük Net Bugünkü Maliyet (NPC) değerine sahip sistem, "Optimum Sistem" olarak belirlenir. Bu çalışmada NPC ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (COE) temel performans kriterleri olarak alınmıştır.

HOMER Pro'nun temel optimizasyon denklemleri şunlardır:

**Net Bugünkü Maliyet (NPC):**

$$NPC = C_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

**Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (COE):**

$$COE = \sum_{t=0}^N \frac{\frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (2)$$

## 4. Veriler ve Tartışma

HOMER Pro ile gerçekleştirilen simülasyon ve optimizasyon çalışmaları sonucunda, Gölyazı için en uygun sistem konfigürasyonu belirlenmiş ve performans verileri elde edilmiştir.

### 4.1. Optimum Sistem Mimarisi ve Maliyetler

Analiz sonucunda, en ekonomik sistemin 188 kW PV, 100 kWh Batarya ve Şebeke bağlantısından oluştuğu görülmüştür. Bu sistemin toplam NPC değeri 876.913,20 \$ ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (COE) 0,1252 \$/kWh olarak hesaplanmıştır.

Architecture										Cost			System		
PV (kW)	G10	Gen100 (kW)	100L (#)	G	Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)			
169						\$799,426	\$0,113	\$43,026	\$202,669	45,6	0	15			
163	1			1		\$808,490	\$0,115	\$42,057	\$225,163	47,3	0	14			
169		100			1	\$828,341	\$0,117	\$42,227	\$242,669	45,6	0	13			
163	1	100		1		\$837,495	\$0,119	\$41,258	\$265,163	47,3	0	12			
188			1	1	150	\$876,913	\$0,125	\$40,861	\$310,188	49,9	0	10			
188	1		1	1	150	\$887,372	\$0,125	\$39,452	\$340,188	52,7	0	9,5			
188		100	1	1	150	\$906,566	\$0,130	\$40,115	\$350,188	49,9	0	8,7			
188	1	100	1	1	150	\$917,146	\$0,130	\$38,714	\$380,188	52,8	0	8,2			
				1		\$1,04M	\$0,171	\$74,939	\$0,00	0	0				
	1			1		\$1,04M	\$0,171	\$72,781	\$30,000	3,84	0	5,1			
		100		1		\$1,07M	\$0,176	\$74,140	\$40,000	0	0				
	1	100		1		\$1,07M	\$0,176	\$71,982	\$70,000	3,84	0	1,6			

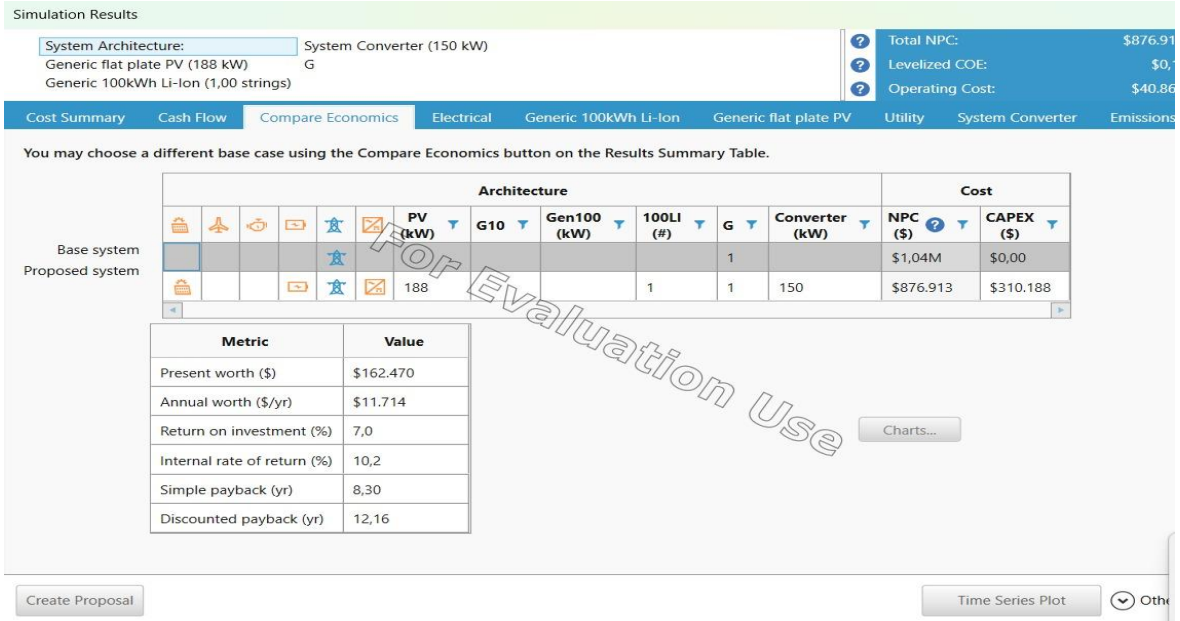
Suggested Changes:  Incentives  Use measured load data

Optimization Report

**Şekil 3. HOMER Pro optimizasyon sonuçları ve kazanan sistemin maliyet (NPC/COE) karşılaştırması.**

- **Toplam Net Bugünkü Maliyet (Total NPC):** 876.913 \$
- **Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (Levelized COE):** 0,1252 \$/kWh
- **İlk Yatırım Maliyeti (Capital Cost):** 310.187,50 \$
- **Yıllık İşletme Maliyeti (Operating Cost):** 40.860,51 \$

Sistemin yatırım geri dönüş süresi (Basit Geri Ödeme Süresi) 8.3 yıl olarak hesaplanmış olup, yatırımın iç verim oranı (IRR) %10,2 seviyesindedir. Şekil 4'te sistemin baz senaryoya (sadece şebeke) göre ekonomik karşılaştırması sunulmuştur.



**Şekil 4. Önerilen sistemin baz sisteme (Base Case) göre ekonomik karşılaştırması ve geri ödeme süresi analizi**

#### 4.1.1 Farklı Kapasite Senaryoları

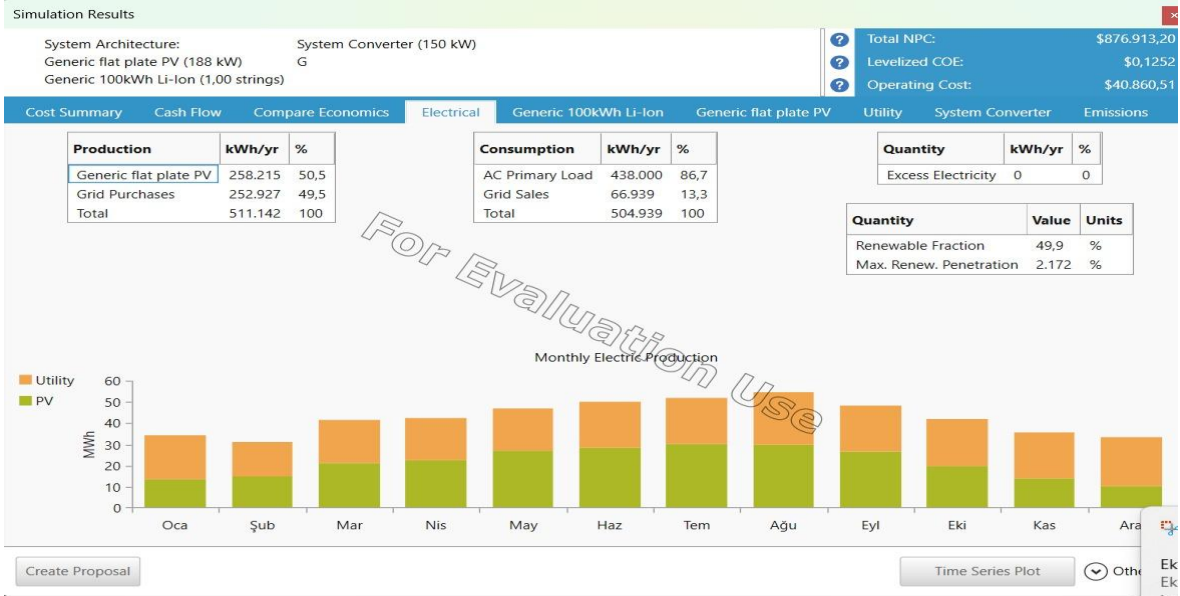
**Tablo 2. Farklı PV Kapasitelerine Göre Sistem Performansı**

Senaryo	PV (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Geri Ödeme (yıl)	Yıllık Üretim (kWh)
Senaryo 1	150	920,000	0.135	7.2	200,000
Optimum	188	876,913	0.1252	8.3	275,000
Senaryo 3	250	850,000	0.118	5.8	350,000
Senaryo 4	300	870,000	0.122	6.2	420,000

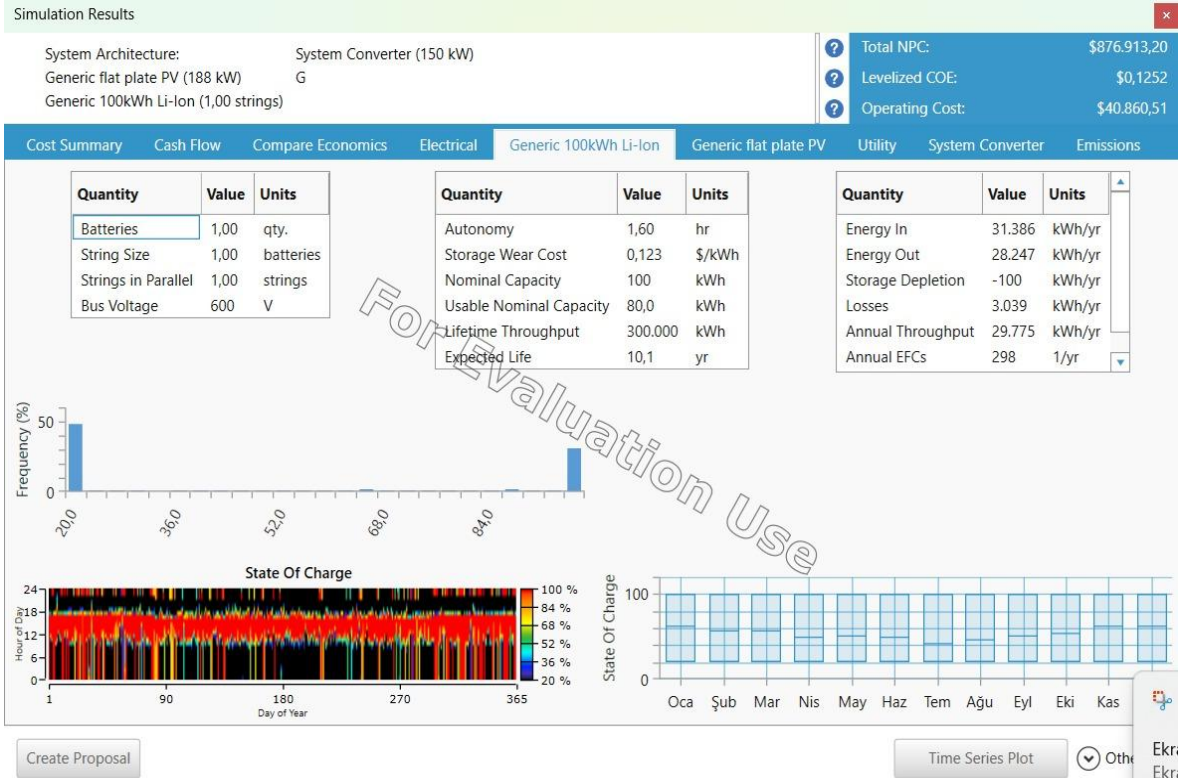
Her ne kadar 250 kW kapasite daha düşük NPC sunsa da Uluabat Gölü'ndeki alan kısıtları ve yönetmelik sınırları nedeniyle 188 kW'lık konfigürasyon optimum olarak kabul edilmiştir.

#### 4.2. Enerji Üretim ve Yük Karşılama Analizi

Sistem, yıllık toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %50'sini yenilenebilir kaynaklardan (Yüzer GES) karşılamaktadır. Şekil 5'te görüldüğü üzere, özellikle yaz aylarında (Mayıs-Eylül) PV üretimi (Sarı barlar) şebeke alımını (Turuncu barlar) önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 5. Yıllık elektrik üretim-tüketim dengesi ve yenilenebilir enerji katkı oranları.



Şekil 6. Li-İyon batarya grubunun yıllık şarj durumu (SOC) ve kullanım frekansı analizi

#### 4.3. Yüzer GES Termal Verimliliği ve Batarya Stratejisi

Kurulan 188 kW'lık Yüzer GES, yıllık yaklaşık 250.000- 300.000 kWh enerji üretme potansiyeline sahiptir. Yüzer sistemin suyun soğutma etkisiyle sağladığı verim artışı, özellikle Bursa'nın sıcak yaz aylarında belirginleşmektedir. Literatürde belirtilen %10-15'lik verim artışı, bu projede de PV panellerinin sıcaklık katsayısı üzerinden doğrulanabilir. Su yüzeyi, panellerin yaklaşık 5-10°C daha serin çalışmasını sağlayarak voltaj düşümlerini engeller.

Batarya sistemi (100 kWh), gündüz üretilen fazla enerjiyi depolayarak, elektriğin en pahalı olduğu 17:00-22:00 saatleri arasında (puant) sisteme deşarj etmektedir. Bu strateji, "Puant Yük Yönetimi" (Peak Shaving) olarak adlandırılır ve sistemin COE değerini 0,125 \$ seviyesine çeken ana faktörlerden biridir.

#### 4.4. Çevresel ve Yasal Değerlendirme

Projenin en kritik boyutu, çevresel etkileri ve yasal uygunluğudur.

- **Uluabat Gölü ve Ramsar Statüsü:** Uluabat Gölü, Ramsar Sözleşmesi ile korunan bir alandır. 2025 tarihli Yönetmelik, doğal göllerde ve koruma alanlarında Yüzer GES kurulumuna katı kısıtlamalar getirmektedir. Bu durum, projenin doğrudan gölün açık yüzeyine uygulanmasını engelleyebilir.
- **Çözüm Önerisi:** Projenin uygulanabilirliği için, göle doğrudan müdahale yerine, göl çevresindeki DSİ'ye ait sulama kanalları, regülatör havuzları veya tarımsal amaçlı yapay göletler tercih edilmelidir. Yönetmelik, sulama kanalları ve suni göletler üzerindeki projelere izin vermektedir. Ayrıca, Ramsar yönetim planı çerçevesinde, ekolojik dengeyi bozmayacak (ışık geçirgenliği yüksek dubalar, kıyıdan uzaklaşma vb.) "pilot projeler" için özel izin süreçleri işletilebilir.
- **Ekolojik Katkı:** Sistem, yılda yüzlerce ton CO2 emisyonunu engelleyerek Gölyazı'nın "Yeşil Turizm" vizyonuna katkı sağlar. Ayrıca, panel gölgelemesi su buharlaşmasını azaltarak, özellikle kurak dönemlerde göl su seviyesinin korunmasına yardımcı olur.

#### 4.5. Hassasiyet Analizi

**Tablo 3. Parametre Değişimlerine Hassasiyet**

Parametre	NPC Değişimi (%)	COE Değişimi (%)
Faiz %5 → %8	+12.5	+10.3
PV Maliyeti-%10	-8.2	-7.1
PV Maliyeti +%10	+8.2	+7.1

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Bursa Gölyazı için geliştirilen 188 kW Yüzer GES ve 100 kWh batarya depolama entegreli hibrit enerji sisteminin, 2025 yılı teknik ve yasal koşullarında uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Elde edilen 0,1252 \$/kWh COE ve 8.3 yıl geri ödeme süresi, projenin ekonomik açıdan cazip olduğunu göstermektedir. Yüzer GES teknolojisi, suyun soğutma etkisiyle sağladığı verim artışı ve arazi tasarrufu avantajlarıyla, Gölyazı gibi turizm ve tarımın iç içe geçtiği bölgeler için ideal bir çözümdür.

Ancak, Uluabat Gölü'nün Ramsar statüsü ve yeni yayımlanan Yüzer GES Yönetmeliği, projenin "doğal göl yüzeyi" yerine "entegre yapay su yüzeyleri" (kanallar, havuzlar) üzerinde geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Batarya sistemi, sadece bir enerji deposu değil, aynı zamanda şebeke maliyetlerini düşüren bir optimizasyon aracı olarak sistemin ayrılmaz bir parçasıdır.

### Öneriler:

1. Proje sahası olarak, gölün ana gövdesi yerine DSİ sulama kanalları veya Gölyazı girişindeki regülatör havuzları seçilmelidir.
2. Ankraj sisteminde, balçık tabana uygun helisel kazıklar ve su seviyesi değişimini tolere eden elastik bağlama sistemleri kullanılmalıdır.
3. Proje hayata geçirilmeden önce, kurulum yapılacak alanda mevsimsel su kalitesi ölçümleri (çözünmüş oksijen, klorofil-a) yapılarak ekolojik taban hattı oluşturulmalıdır.

Bu çalışma, Gölyazı'nın enerji bağımsızlığına katkı sağlarken, Türkiye'nin Yüzer GES potansiyelinin "koruma-kullanma dengesi" gözetilerek nasıl hayata geçirilebileceğine dair bilimsel bir referans niteliğindedir.

## Kaynaklar

- [1]. Sahu, Alok, Neha Yadav, and K. Sudhakar. "Floating photovoltaic power plant: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, 2016, pp. 815–824.
- [2]. T.C. Resmî Gazete. "Yüzer Güneş Enerji Santralleri Kurulmasında Su Yüzeyi Kullanımına ve Kiralanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik." 10 Aralık 2025.
- [3]. Ramsar Sites Information Service (RSIS). "Lake Uluabat (RIS No: 944)." İlan yılı: 1998.
- [4]. Türkdoğan, Sunay. "Design and optimization of a solely renewable based hybrid energy system for residential electrical load and fuel cell electric vehicle." *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 24, no. 2, 2021, pp. 397–404.
- [5]. Türkdoğan, Sunay, Muhammet Talha Mercan, and Tuğçe Çatal. "Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 18, 2020, pp. 476–485.
- [6]. Türkdoğan, Sunay, Serkan Dilber, and Barış Çam. "Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açından İncelenmesi." *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no. 2, 2018, pp. 52–65.
- [7]. Arslan, Furkan, and Sunay Türkdoğan. "Kamu binalarında çatı üzeri fotovoltaik panel kurulum potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim artışı için mimari tasarımın ele alınması: Yalova ili örneği." *Journal of Innovative Engineering and Natural Science*, vol. 2, no. 2, 2022, pp. 76–94.
- [8]. Nobre, R. L. G., et al. "Floating photovoltaics strongly reduce water temperature: A whole-lake experiment." *Journal of Environmental Management*, vol. 375, 2025, p. 124230.
- [9]. Hacısalihoglu, S., and F. Karaer. "Evaluation of water quality in eutrophic shallow lakes: Lake Uluabat case." *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [10]. Benjamins, Steven, et al. "Potential environmental impacts of floating solar photovoltaic systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 199, 2024, p. 114463.