

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN EN UYGUN ALANIN BELİRLENMESİ, PERFORMANS VE EKONOMİK ANALİZİ: BAĞIRGANLI MAHALLESİ ÖRNEĞİ

Sena Ecem Yakut Şevik^{ID}, Simge Karapınar^{ID}, Sıla Sever^{ID}, Ayşegül Biçer^{ID}, Enes Murat Çakmak^{ID}, Beyza Karabey^{ID}, Ahmet Duran Şahin^{ID}

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Sürdürülebilir Enerji ve İklim Sistemleri Laboratuvarı
yakuts@itu.edu.tr, karapinars18@itu.edu.tr, severs18@itu.edu.tr, bicera18@itu.edu.tr, cakmeken18@itu.edu.tr, karabey18@itu.edu.tr, sahind@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli Türkiye ortalamasının altında olan Kandıra ilçesine (41°04'16.48"K, 30°09'07.60"D) bağlı Bağırğanlı Mahallesi'nde yapılan senaryolar ile ilçenin elektrik üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Mahalle sınırları içerisinde üç farklı uygulama alanı (UA) belirlenmiştir. Farklı eğim açıları, güneş takip sistemleri ve panel türleri (CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP) kullanılarak 24 senaryo geliştirilmiş ve PV*Sol yazılımıyla enerji analizleri yapılmıştır. Yapılan senaryolar sonucunda, en yüksek kurulu gücün 708,9 kWp olduğu ve bunun UA1'de güneş takip sistemli dikey olarak konuşlandırılmış CWT455-144PM-V panellerine ait senaryo olduğu anlaşılmıştır. Yıllık elektrik üretiminin de 1.116.038 kWh ile en fazla bu senaryoda gerçekleştiği görülmüştür. PV*Sol ile yapılan analizler sonucunda Net Bugünkü Değer (NBD), İç Karlılık Oranı (İKO) ve Geri Ödeme Süresi (GÖS) yöntemleriyle yatırımın finansal analizleri yapılmıştır. Finansal analiz, öz sermayeli ve yarı öz sermayeli olmak üzere iki farklı senaryo kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ekonomik analiz sonucunda, en karlı yatırımın UA1'de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74°'lik eğimle dikey yerleştirildiği senaryoda olduğu görülmüştür. Bu senaryoda öz sermaye ve yarı öz sermayeyle yapılan analizlerde sırasıyla NBD 38.518,39\$ ve 38.804,89 \$, İKO ise % 18 ve % 11 olarak hesaplanmıştır. Her iki durumda da hesaplanan İKO değerleri, iskonto oranını aşması nedeniyle yatırımın uygun olduğunu göstermektedir. Öz sermayeyle yapılan yatırımın GÖS'ü 6 yıl iken, yarı öz sermayeyle yapılan yatırımın GÖS'ü 9 yıldır. Güneş Enerjisi Santrali yatırımı için 6 yıllık GÖS'ün daha karlı bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, doğru konumlandırma stratejileri ve yenilikçi teknolojiler kullanılarak, ortalamanın altında güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerde güneş enerjisi sistemlerinden daha yüksek verimle elektrik üretimi sağlanacağı ve dolayısıyla ilçenin enerji ihtiyacının daha sürdürülebilir bir yaklaşımla karşılanabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik, PV*SOL, Bağırğanlı, Ekonomik Analiz

DETERMINING THE OPTIMAL LOCATION FOR SOLAR POWER PLANTS, PERFORMANCE, AND ECONOMIC ANALYSIS: THE CASE OF BAĞIRGANLI NEIGHBOURHOOD

Abstract

This study aims to evaluate the potential for electricity generation in the Bağırğanlı neighborhood of Kandıra district (41°04'16.48"N, 30°09'07.60"E), where the solar energy potential is below the Turkish average. Three different application areas (AA) were identified within the neighborhood. Additionally, 24 scenarios were developed using different tilt angles, solar tracking systems, and panel types (CWT455-144PM-V and SPR-P5-530-UPP), with energy analyses conducted using PV*Sol software. The highest installed power was 708.9 kWp, achieved with vertically installed CWT455-144PM-V panels using a solar tracking system in AA1. The highest annual electricity production of 1,116,038 kWh was also achieved in this scenario. Financial analyses were carried out using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period (PBP) methods. Two financing scenarios were considered: equity-financed and semi-equity-financed. The economic analysis results indicated that the most profitable investment was the scenario with SPR-P5-530-UPP panels installed vertically at a 17.74° tilt in AA1. The NPV was calculated as \$38,518.39 and \$38,804.89 for the equity and semi-equity financing scenarios, respectively, with IRRs of 18% and 11%. In both cases, the calculated IRR values exceed the discount rate, indicating that the investment is viable. The PBP for the equity-financed investment was 6 years, while it was 9 years for the semi-equity-financed investment. A 6-year PBP is considered a more profitable option. In conclusion, it is anticipated that by utilizing proper positioning strategies and innovative technologies, higher efficiency in electricity production from solar energy systems can be achieved even in regions with below-average solar energy potential, thereby meeting the district's energy needs in a more sustainable manner.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, PV*SOL, Bağırğanlı, Economic Analysis

Sorumlu Yazar: Sena Ecem Yakut Şevik

Geliş Tarihi: 28 Nisan 2024

Kabul Tarihi: 29 Ekim 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

Atıf Şekli: Yakut Şevik, S.E., Karapınar, S., Sever, S., Biçer, A., Çakmak, E.M., Karabey, B., Şahin, A.D. (2024). Güneş Enerjisi Santralleri İçin En Uygun Alanın Belirlenmesi, Performans Ve Ekonomik Analizi: Bağırğanlı Mahallesi Örneği, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 59-77.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

İklim krizi, günümüzün en önemli sorunlarından biridir (Pierrehumbert, 2019). Sanayi Devrimi ile fosil yakıt kullanımı, arazi değişikliği, ormansızlaşma ve sanayileşme artarak sera gazı emisyonlarını artırmış ve küresel ısınmaya yol açmıştır (Dağlı, 2019). Küresel CO₂ emisyonları, 2024 yılında 427 ppm seviyesine ulaşmıştır. Türkiye'de de yıllar içinde hızla artış gösteren sera gazı emisyonları, 2022 yılında 558,3 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır (TÜİK, 2024). Dünya genelinde ve Türkiye'de sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağı enerji sektörüdür (Ritchie ve Roser, 2020). Enerji üretiminin %80'inin fosil yakıtlarla sağlandığı dünyada, artan nüfus ve gelişen ekonomi ile birlikte enerji ihtiyacının da artacağı öngörülmektedir. Ancak, artan enerji ihtiyacını fosil yakıtlarla karşılamak, iklim krizi açısından sürdürülebilir bir yaklaşım değildir (Karabağ vd., 2021). Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak önemli çözüm yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Başol, 2021). İklim krizine ek olarak, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, ülkelerin enerji bağımsızlığı ve güvenliği açısından da büyük önem taşımaktadır (Sadiqa vd., 2018). Enerjide dışa bağımlı olan Türkiye, enerji tüketiminin üçte ikisini ithalat yoluyla karşılamakta ve enerji ithalatları toplam ithalatın yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır. Türkiye'nin enerji politikası, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve enerji verimliliğinin artırılması üzerine kuruludur (ETKB, 2024). Bu politikalar doğrultusunda, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar artırılmış ve son on yılda bu yatırımlar beş katına çıkarılmıştır (Bulut ve Muratoğlu, 2018; Kayısoğlu ve Diken, 2019). Bu şekilde, hem fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması hem de çevresel hedeflerle uyumlu, sürdürülebilir bir enerji geleceği için sağlam bir temel oluşturulması hedeflenmiştir (Yılankıran vd., 2020).

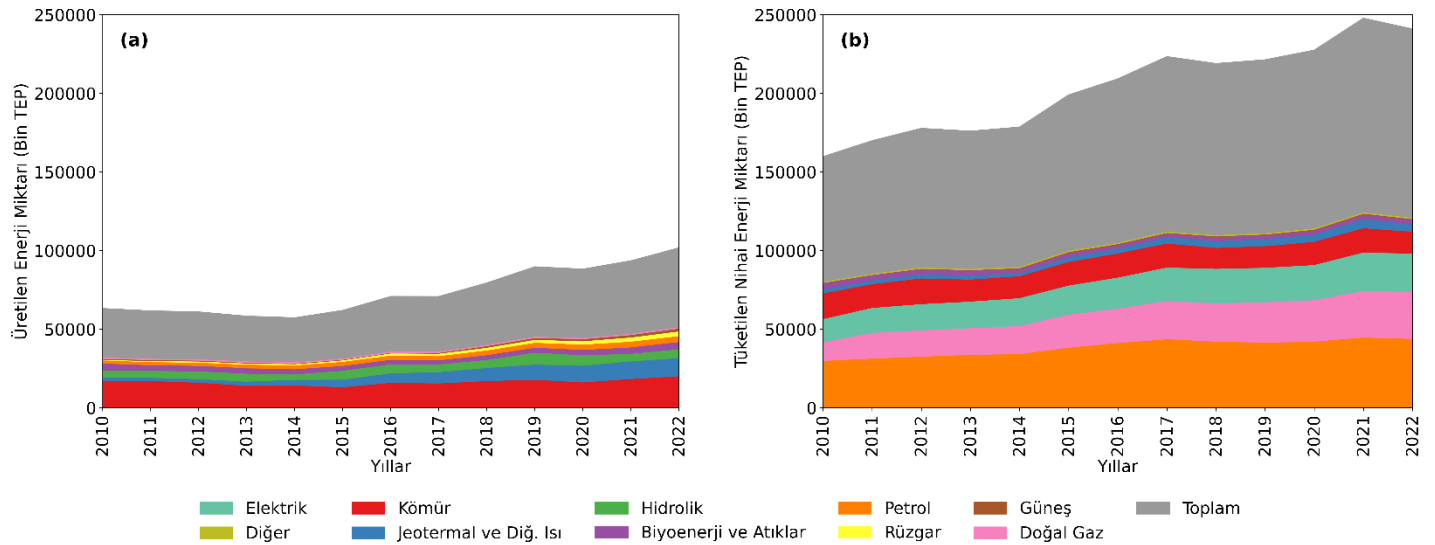
Yenilenebilir enerji, sürekli yenilenen doğal süreçlerden elde edilmektedir. Bu doğal süreçlere doğrudan güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, biyokütle ve yerin derinliklerinde üretilen ısı örnek verilebilir. Güneş enerjisi, mevcut potansiyeliyle dünyadaki enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilen, çevre dostu ve temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle alternatif enerji kaynakları arasında büyük bir öneme sahiptir (Akpolat vd., 2019). Diğer enerji kaynaklarına kıyasla en önemli avantajlarından biri ise dünyada en hızlı büyüyen enerji teknolojisi olmasıdır (Breyer vd., 2017). Dünya genelinde 2009 yılına kadar güneş enerjisi kullanımına fazla ilgi gösterilmemiş olsa da, son yıllarda bu ilgi giderek artmakta ve 2023 yılında küresel elektrik üretiminin %5,5'ini oluşturmaktadır (Fernández, 2024). Bu artışa özellikle Çin'in 2023 yılında yaklaşık 217 GW fotovoltaik (FV) panel kurması büyük katkı sağlamıştır (Carbon Brief, 2024). Yapılan öngörülere göre, güneş enerjisi kurulu gücünün 2025'in başlarında 2 TW'a ve 2027'nin sonunda ise 3,5 TW'a ulaşacağı; 2050 yılına kadar ise 9 TW'ın üzerinde çıkacağı öngörülmektedir (Acar, 2023; SolarPower Europe, 2023).

Literatürde, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde farklı sektörlerin enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla, çeşitli güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerde kurulan güneş enerjisi santrallerine (GES) ilişkin fizibilite çalışmaları yapılmıştır (Dağtekin vd., 2014; Raturi vd., 2016; Rashwan vd., 2017; Akpolat vd., 2019; Gürtürk, 2019; Kwaśniewski vd., 2020). Durmaz vd. (2017) çalışmasında, Turgutlu'da bir FV Güneş Sistemi'nin (FVGS) doğru kurulması ve tarımsal işletmelerin elektrik tüketimine göre yönetilmesi durumunda enerji ihtiyacını karşılamak için uygun bir çözüm olduğunu belirtmiştir. Taktak ve Ilı (2018), Uşak'ta üç alternatif arazi üzerinde ön fizibilite çalışması yapmış ve 24.100 m²lik bir alana kurulacak GES'in 10 yıl içinde kendini amorti edeceğini öngörmüştür. Emiroğlu vd. (2021), Kahramanmaraş'taki off-grid ve on-grid FV enerji sistemlerinin 4-5 yıl içinde elektrik maliyetlerini sıfırladığını ve fazla elektriğin şebekeye verilmesiyle yılda 312 bin TL kâr elde edildiğini belirtmiştir. Ulaş vd. (2023), PV*Sol kullanarak Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'ne çatı üstü FVGS simülasyonu gerçekleştirmiş ve özellikle yaz aylarında üretilen elektriğin tüketimi karşıladığını gözlemlemiştir. Akpolat vd. (2019), Marmara Üniversitesi fakülte binaları için PV*Sol ile on-grid çatı üstü FVGS simülasyonu yapmış ve sistemin yıllık enerji tüketiminin %13,2'sini karşıladığını hesaplamıştır. Aziz vd. (2020), Bağdat'ta elektrik kesintilerini önlemek amacıyla HOMER yazılımı ile FV mikro şebeke sistemi simülasyonu yapmış ve bu sistemlerin Irak için uygulanabilir olduğunu bulmuştur. Durna vd. (2013) ise İTÜ Maslak Yerleşkesi'nde 500 kWp gücünde bir FV tesisin ön fizibilite çalışmasını gerçekleştirmiş ve yıllık 737,31 MWh elektrik üretimi sağlanacağını öngörmüştür.

Bu çalışmanın gerçekleştirileceği Kandıra ilçesine bağlı Bağıranlı Mahallesi, Türkiye'nin kuzeyinde yer almaktadır. Buna bağlı olarak, Kandıra'nın yıllık ortalama toplam küresel radyasyon değeri (1.312 kWh/m²), Türkiye ortalamasının (1.527 kWh/m²) biraz altında kalmaktadır. Çalışmada, düşük güneş enerjisi potansiyeline sahip bir bölgeden maksimum verimi elde etmek amacıyla hem sabit eğim açılı paneller hem de güneş takibi yapan paneller kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sayede, Bağıranlı Mahallesi'nin enerji ihtiyacının temiz bir enerji kaynağından karşılanması hedeflenmiştir. PV*Sol kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucunda, FV sistemlerinin enerji üretim performansı, ekonomik analizi ve karbon emisyonu çıktıları sunulmuştur. Bağıranlı'daki farklı konumlar temel alınarak gerçekleştirilen simülasyonun uygulama adımlarının ve elde edilen çıktıların benzer çalışmalara rehberlik edebileceği öngörülmektedir.

TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ DURUMU

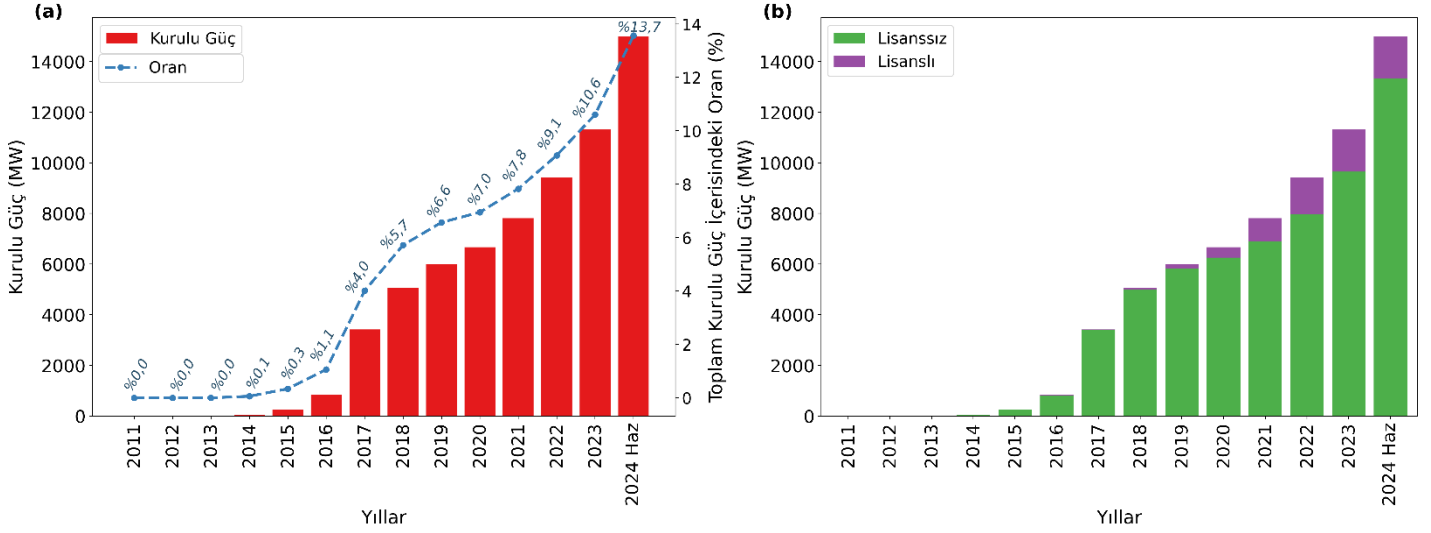
Türkiye, gelişmekte olan bir ekonomik yapıya sahiptir ve bu nedenle, son yıllarda yaşanan hızlı kentsel dönüşüm, olumlu demografik eğilimler, ekonomik büyüme ve kişi başına gelirdeki artış, enerji tüketiminin artmasına yol açmaktadır (Bayraç ve Çemrek, 2022). Bu eğilim devam ederse, ülkedeki enerji tüketiminin önümüzdeki on yıl boyunca yıllık %4 ila %6 arasında artacağı tahmin edilmektedir. Ancak mevcut enerji üretimi, sürekli artan enerji talebini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Örneğin, 2022 yılında Türkiye'de çeşitli kaynaklardan üretilen toplam enerji 50.830 bin ton eşdeğer petrol (bin TEP) iken, toplam enerji tüketimi 120.438 bin TEP olmuştur (Şekil 1). Bu durum, Türkiye'yi enerji ithalatçısı konumuna getirerek enerjide dışa bağımlı hale getirmektedir. Bu sorunlar, ülkenin alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarına hızlı bir geçiş yapmasına neden olmuştur (Bulut ve Muratoğlu, 2018; Bayraç ve Çemrek, 2022; Balcı, 2023; Kılınç Pala, 2024). Ayrıca, ülkenin topografik özellikleri sayesinde önemli bir rüzgâr ve hidrolik enerji potansiyeline, coğrafi konumu nedeniyle ise yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olması, yenilenebilir enerjiye geçişi kolaylaştırmıştır (Özkaya, 2022).



Şekil 1. Türkiye'de (a) üretilen enerji miktarı (bin TEP) ve (b) tüketilen nihai enerji miktarı (bin TEP).

Türkiye'nin birincil enerji kaynakları kurulu gücü, 2024 yılı Haziran sonu itibarıyla 110.518 MW'a ulaşmış olup, bu kapasitenin yarısından fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Kurulu güçlerin dağılımı ise %29.1 hidrolik enerji, %22.4 doğal gaz, %19.7 kömür, %13.7 güneş enerjisi, %11.1 rüzgâr enerjisi, %1.5 jeotermal enerji ve %2.4 diğer kaynaklar şeklindedir. Ayrıca, Türk hükümeti yenilenebilir enerji kaynaklarının payını 2035 yılına kadar %64.7'ye çıkarmayı hedeflemektedir. Orta ve uzun vadede, güneş enerjisi kurulu gücünün 52.9 GW, hidroelektrik santrallerinin kurulu gücünün 35.1 GW, rüzgâr enerjisinin 29.6 GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinin kurulu güçlerinin ise 5.1 GW'a ulaşacağı öngörülmektedir (ETKB, 2024). Güneş enerjisi kurulu gücü, özellikle son on yılda büyük bir artış göstermiş ve güneş enerjisine yapılan yatırımlar artırılmıştır (Özbektaş vd., 2023). Şekil 2(a)'da verildiği üzere, 2024 yılı Haziran ayında güneş enerjisi kurulu

gücü bir önceki yıla kıyasla 3.677 MW artarak 14.993 MW'a ulaşmış ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %13.7'ye çıkmıştır. Ayrıca, bu kurulu gücün lisanslı ve lisanssız değerleri Şekil 2(b)'de sunulmaktadır (Çifci & Altundağ, 2017; Akpolat vd., 2019; EPDK, 2023; TEİAŞ, 2023). Bu artışın temel sebepleri arasında güneş radyasyonunun her yerde bulunan bir kaynak olması ve FV sistem fiyatlarının son on yılda %80 düşmesi gösterilmektedir (Väisänen vd., 2019).



Şekil 2. Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi (a) kurulu gücü (MW) ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (%) ile (b) kurulu gücün lisanslı ve lisanssız değerleri (MW).

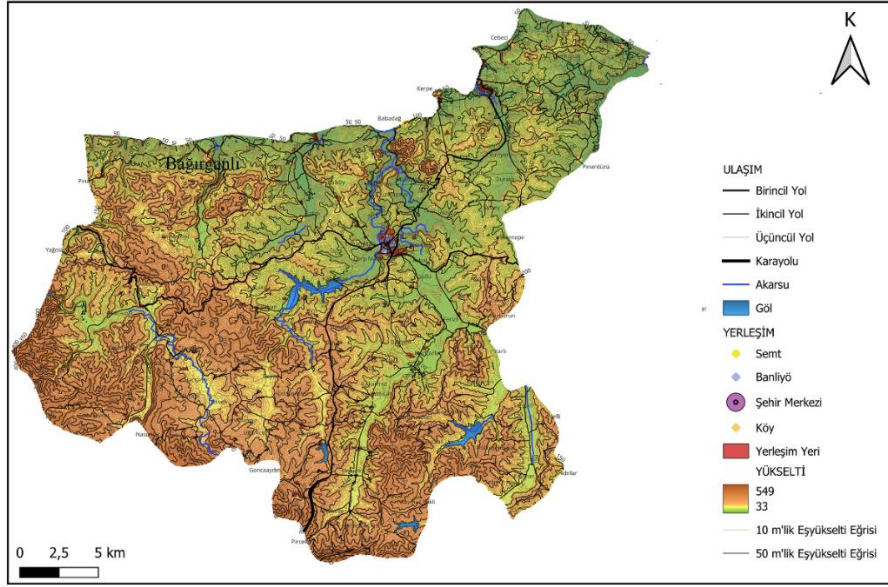
FV güç üretimi, enlem ve gelen güneş radyasyonuna ek olarak hava sıcaklığı, bulutluluk, arazi yüksekliği, albedo, modül eğimi ve konfigürasyonu, gölgelenme ve kirlenme gibi dış etkilere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 2018 yılında yapılan bir çalışmaya göre, küresel nüfusun yalnızca %20'si FV sistemler için mükemmel koşullara (>4,5 kWh/kWp) sahiptir. Türkiye'nin de aralarında bulunduğu küresel nüfusun %71'i ise FV sistemler için uygun aralıkta (3,5-4,5 kWh/kWp) yer almaktadır. İki yüzden fazla ülke için yapılan küresel FV güç potansiyeli hesaplamasına göre, Türkiye'nin uzun vadede kurulu FV kapasitesi başına üretilen ortalama güç miktarı 4.32 kWh/kWp'tir ve bu miktar ile dünya sıralamasında 97. sırada yer almaktadır (The World Bank, 2020). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam küresel radyasyon değeri 1.527 kWh/m² (günlük 4.2 kWh/m²), ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2.741 saat (günlük 7.5 saat) olarak belirlenmiştir. Aylar bazında incelendiğinde, en yüksek radyasyon değerlerinin Haziran (6.57 kWh/m²-gün) ve Temmuz (6.50 kWh/m²-gün) aylarında, en düşük radyasyonun ise Aralık (1.59 kWh/m²-gün) ayında gözlemlendiği belirlenmiştir (ETKB, 2024).

MATERYAL ve METOT

Çalışma Alanı

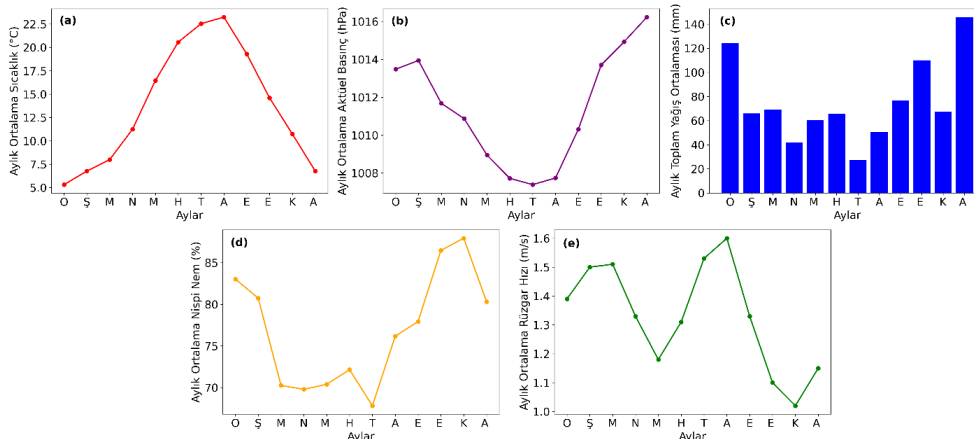
Bu çalışmada çalışma alanı olarak seçilen Bağıranlı Mahallesi, Kocaeli'ne bağlı Kandıra ilçesinde (41°04'16.48"K, 30°09'07.60"D) yer almaktadır. Kandıra ilçesi, İstanbul, Sakarya, Yalova ve Kocaeli gibi gelişmiş kentlere yakınlığıyla stratejik bir konumda bulunmaktadır. Kandıra'nın rakımı 100 m'dir ve 933 km²'lik yüzölçümüyle Kocaeli ilindeki toprakların %26'sını oluşturmaktadır. Kandıra ilçesinin 2022 yılı nüfusu 53.845 kişidir (TÜİK, 2024). Bu ilçe, bir sanayi şehri olan Kocaeli'nin doğaya açılan penceresi konumunda olup, verimli tarım arazileri, Karadeniz'e kıyısı olan 52 km'lik sahil şeridi ve yerel ürünleri ile kırsal turizm ve balıkçılık potansiyeli yüksek bir bölgedir. İlçede kıyı şeridi boyunca uzanan ormanlar büyük bir alan kaplamaktadır. Bu ormanlarda meşe, gürgen, ıhlamur, kestane, kızılıçık ve defne gibi kendiliğinden yetişen ağaç türleri bulunmaktadır. Topografik açıdan Kandıra, küçük tepelerden oluşan belirgin bir arazi formundadır. Babadağ ve Çal Tepesi, bölgede görece yüksek tepeleri oluşturmaktadır (Kandıra Valiliği, 2024). Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Kandıra'nın güneş enerjisi potansiyeli Türkiye ortalamasının biraz altındadır. Ortalama

yıllık toplam güneşlenme süresi 2.368 saat (günlük 6.5 saat), ortalama yıllık toplam küresel radyasyon ise 1.312 kWh/m² (günlük 3.6 kWh/m²)'dir (ETKB, 2024). İklimsel açıdan incelendiğinde, Karadeniz iklimi etkisi altında olan Kandıra'nın iklimi kararlı olmayıp, geçiş iklimi özellikleri göstermektedir. Yaz aylarında yağışlar genellikle düzensizdir. Kış mevsimi genellikle çok sert olmamakla birlikte, yağışlar genellikle yağmur şeklindedir ve kar yağışı nadiren görülmektedir (Kandıra Valiliği, 2024). Şekil 3'te QGIS ile oluşturulmuş Kandıra haritası sunulmaktadır.



Şekil 3. Kandıra ilçesi fiziki haritası

Kandıra ilçesinin 2013-2022 senelerine ait beş farklı meteorolojik değişkenin (sıcaklık, aktüel basınç, yağış, nispi nem ve rüzgâr hızı) aylık ortalamasını gösteren grafikler Şekil 4'te verilmektedir. On yıllık aylık ortalama sıcaklık değerlerini gösteren Şekil 4(a)'ya bakıldığında, ilçede en yüksek ortalama sıcaklığın 22.5°C ile Temmuz ayında, en düşük ortalama sıcaklığın ise 5.3°C ile Ocak ayında gözlemlendiği görülmektedir. Şekil 4(b)'ye göre ilçenin yüksek basınç değerlerinin kış mevsiminde, düşük basınç değerlerinin ise yaz mevsiminde görüldüğü anlaşılmaktadır. Şekil 4(c)'de aylık toplam yağış ortalamasına ait bilgi sunulmaktadır. Ortalama yağışın en yüksek yaşandığı ay Aralık ayıdır ve 145.6 mm olarak gözlenmiştir. Ortalama olarak en düşük yağışın yaşandığı ay Temmuz olup, 27.3 mm olarak gözlenmektedir. Şekil 4(d)'ye göre aylık ortalama nispi nem en düşük Temmuz ayında %67.8 olarak gözlenmiştir. Son olarak, Şekil 4(e)'ye göre aylık ortalama rüzgâr hızının tüm aylarda düşük olduğu görülmüş ve Bofor skalasına göre rüzgârın genelde esinti şeklinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4. Kandıra ilçesinde 2013-2022 senelerine ait aylık ortalama (a) sıcaklık (°C), (b) aktüel basınç (hPa), (c) toplam yağış (mm), (d) nispi nem (%), (e) rüzgâr hızı (m/s) değerleri.

METOT

Panel Eğim Açısı Hesaplama

Güneş enerjisi sistemleri, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit olmak üzere üç türdedir (Hassan, 2021). Dışa bağımlılık, maliyet ve karbon ayak izi azalımı açısından avantajlı olan şebekeye bağlı sistemler, artan teknoloji ile birlikte daha çok tercih edilmektedir (Waaree Energies, 2023). Bu çalışmada da simülasyonlar, şebekeye bağlı sistemler için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, şebekeye bağlı güneş sistemlerinin temel elemanlarından biri olan FV paneller, hem sabit eğim açılı hem de çift eksenli güneş takip sistemli olarak tercih edilmiştir. Bunun temel sebebi, güneş potansiyeli düşük olan bir bölgeden daha fazla verim elde etmektir. Güneş takip sistemli paneller, güneşin konumuna bağlı olarak eğim açısını ayarlayabilir. Bu durum, panellerin güneş ışığını daha dik bir açıyla almasını sağlar ve güneşe optimum şekilde yönlendirilmiş sabit FV sistemlere kıyasla daha yüksek enerji kazanımı sağlar (Eldin vd., 2016). Özellikle kış aylarında güneşin yükseklik açısı azaldığında, güneş takip sistemli paneller daha fazla güneş enerjisi yakalayabilir (Eker, 2019). Buna ek olarak, güneşin hareketine adapte olabilen bu paneller, gün boyunca daha dengeli bir enerji üretimi sağlayabilir ve gölgeleme etkilerini minimize etmek için eğim açısını daha etkili bir şekilde ayarlayabilir (Abdollahpour vd., 2018). Ancak, güneşi takip eden sistemlerin yüksek başlangıç maliyeti ve hareket edebilmeleri için elektrige ihtiyaç duymaları nedeniyle gider maliyetlerinin artması, bu sistemlerin her zaman uygulanabilir bir seçenek olmasını engellemektedir. Bu nedenle, sabit eğim açılı paneller hala rağbet görmektedir (Hassanian vd., 2021). Bu çalışmada, CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP modelleri olmak üzere iki farklı panel kullanılarak, paneller arasında performans ve maliyet analizi ve kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 1’de kullanılan panellere ait özellikler yer almaktadır.

Tablo 1. CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP panel özellikleri (CW Enerji, 2021; Solar Proof, 2024).

Panel Özellikleri	CWT455-144PM-V	SPR-P5-530-UPP
Maksimum Güç (Pmax)	455 Wp	530 Wp
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	41,6 V	38,6 V
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49,4 V	47,1 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	11,67 A	14,78 A
Sıcaklık Katsayısı (Isc)	0,05 %/ °C	0,06 %/ °C
Modül Verimliliği	%20,9	%20,4
Yüzey Alanı	2,18 m ²	2,6 m ²
Sıcaklık Katsayısı (Voc)	-0,304 %/ °C	-0,28 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı (Pmax)	-0,36 %/ °C	-0,34 %/ °C

Güneş panellerinin eğim açısı, panellerin absorbe edebileceği direkt güneş radyasyonunu ve dolayısıyla enerji verimliliğini etkileyeceğinden, GES tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan biridir (Bakırcı, 2012; Dal, 2021). Panel eğim açısı; panelin kullanım süresi (Bakırcı, 2012), montaj teknikleri ile arazinin topografik ve iklimsel özelliklerine (Mamun vd., 2022) göre değişkenlik göstermektedir. Optimum panel eğim açısı, temelde FV panellerin konumlandırıldığı enlemler ile dünyanın ekinoks döngüleri ve dönencelerine göre belirlenmektedir. Bu nedenle, her gün değişen optimum eğim açısı, güneş takipli sistemlerde sorun oluşturmazken, sabit sistemlerde soruna neden olmaktadır (Eker, 2019). Sabit sistemleri için optimum açı net olarak belirlenmelidir. Bu yüzden, bu çalışmada farklı metotlar kullanılmaktadır. Denklem 1’de, enleme dayanan yöntemde FV panel eğimi, bulunduğu konumun enlem derecesine eşittir (Hassanian, 2021). Bu yöntemde göre Bağırhanlı için optimum FV panel eğimi 41°’dir.

$$\beta_{opt} = \varphi(^{\circ}) \quad (1)$$

Formülde kullanılan " φ ", yerel enlem açısını vermektedir. Hottel ve Woertz metodu, diğer adıyla Hottel-Whillier-Bliss (HWB) metodu, FV panellerin eğim açılarının hesaplanması için geliştirilen ve diğer metotlara göre daha doğru sonuçlar verdiği için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Gezgin, 2023). Denklem 2’de verilen yöntemin Bağırhanlı için hesaplanan değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

$$\beta_{opt} = \varphi(^{\circ}) - \delta \quad (2)$$

Tablo 2. Hottel ve Woertz metoduna göre hesaplanan Bağıranlı (41,K) için FV panel eğim açıları.

Ay	Deklınasyon Açısı (°)	Eğim Açısı (°)
Ocak	-21,28	62,28
Şubat	-13,65	54,65
Mart	-2,46	43,46
Nisan	9,37	31,63
Mayıs	16,29	24,71
Haziran	23,26	17,74
Temmuz	21,70	19,30
Ağustos	14,48	26,53
Eylül	3,48	37,52
Ekim	-8,42	49,42
Kasım	-18,12	59,12
Aralık	-23,11	64,11

Performans Oranı

Performans oranı (PO), küresel çapta kabul edilmiş bir FV tesisi performans parametresidir (Carr & Pryor, 2004). Bir FV sistemin PO'su, sistemin sağladığı enerjinin sisteme giren referans enerjiye oranını (Denklem 3) ifade eder (Başoğlu vd., 2015). Diğer bir ifadeyle, PO; gölgeleme, invertör sorunları, kablolama, kesintiler, modül sıcaklıkları vb. nedenlerden kaynaklanan kayıpların ne kadar azaltılabildiğinin bir ölçüsüdür (Micheli vd., 2014). Sistem kayıplarının düşük olduğu santraller, yüksek performans oranına sahiptir.

PO, kurulu güç değerlerinden ve arazi konumundan bağımsızdır; bu özellik, dünya üzerindeki farklı bölgelerde kurulu FV sistemlerin birbirleriyle kıyaslanabilmesini sağlar. Sistem kayıplarının düşük olduğu santraller, yüksek performans oranına sahiptir. Geçmişten günümüze PO değeri gelişim göstermiştir: 1980'lerde %50-75 PO değeri iyi olarak kabul edilirken, günümüzde bu değer %80-85'e ulaşmıştır (Reich vd., 2012). Boztepe (2017), günümüzde kurulacak FV sistemlerin PO hedefinin %85'in üzerinde olması gerektiğini vurgulamıştır.

$$PO (\%) = \frac{Y_A}{Y_R} \times 100 = \frac{E_M}{\frac{P_{STC}}{Q_{STC}} \int Q_A dt} \quad (3)$$

Denklemde verilen " Y_A " FV modülünün standart test koşullarında (STC) saat cinsinden çalıştığı süredir ve " Y_R " saat cinsinden referans zamanıdır. " P_{STC} ", STC kapsamında FV sistemin nominal veya maksimum gücüdür. " Q_{STC} ", STC kapsamındaki güneş ışınımının değeridir. " E_M ", AC formunda aylık üretilen enerjiyi ve " Q_A " düzlemde anlık olarak ölçülen ışıma miktarını (W/m^2) ifade eder.

Ekonomik Analiz

GES yatırımının ekonomik olarak kârlı olup olmadığını belirlemek amacıyla ekonomik analiz yapılmaktadır. Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde literatürde iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki, paranın zaman değerini göz önüne alan dinamik değerlendirme yöntemleri; ikincisi ise paranın zaman değerini göz önüne almayan statik değerlendirme yöntemleridir (Gedik vd., 2005). Bu çalışmada, statik yöntemlerden geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi; dinamik yöntemlerden ise net bugünkü değer (NBD) ve iç kârlılık oranı (İKO) yöntemleri kullanılarak yatırımın finansal açıdan kârlılığı değerlendirilmiştir. Denklem 4'te verilen GÖS yönteminde, bir yatırımın yarattığı nakit gelirlerin orijinal yatırıma eşit olması için gereken dönem sayısı hesaplanmaktadır (Bekdaş, 2021).

$$GÖS = \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{\text{Yıllık Ortalama Net Kar}} \quad (4)$$

NBD (Denklem 5), yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı kazançların bugünkü değerleri toplamı ile yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamı arasındaki farka göre hesaplanmaktadır (Gedik vd., 2005).

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Mt}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Denklem 5'teki " t " yatırım süresi içerisindeki ilgili takvim yılını, " i " kabul edilen iskonto oranını, " n " yatırımın ekonomik ömrünü, " Ft " t . yıldaki kazanç tutarını, " Mt " t . yıldaki maliyet tutarını göstermektedir. Bu çalışmada iskonto oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Denklem 6'da ise İKO yöntemi verilmektedir. Bu yöntem, yatırımın NBD'sini sıfıra eşitleyen bir iskonto oranı olarak tanımlanmaktadır (Kahraman, 2018).

$$\sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{Mt}{(1+r)^t} \quad (6)$$

Denklem 6'da verilen " r " İKO'yu temsil etmektedir.

Önlenen CO₂ Emisyon Miktarı

Elektrik üretimi, sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Fosil yakıtlara kıyasla, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak yapılan elektrik üretimi daha az emisyonla neden olmaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretimi sayesinde atmosfere verilmesi önlenen sera gazı emisyonu, Denklem 7 kullanılarak hesaplanmıştır (ETKB, 2024).

$$Emisyon = E_i \times EF_i \quad (7)$$

Denklem 7'de verilen " $Emisyon$ " bir yıl içerisinde elektrik üretimi kaynaklı sera gazı miktarını (tCO₂), " E_i " kaynak türüne göre elektrik üretimini (MWh), " EF_i " kaynak türüne göre birleşik emisyon faktörünü (tCO₂/MWh) ve " t " elektrik üretimi için kullanılan kaynağı ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Arazi Seçimi

GES kurulumunda en avantajlı araziye seçmek için çalışma bölgesinde farklı arazilere ait konumsal analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, Bağıranlı Mahallesi'nde üç farklı uygulama alanı (UA) belirlenmiştir. Üç UA'nın Bağıranlı Mahallesi'nde seçilmesinden dolayı, hepsi Kocaeli'nin kuzeyinde bulunmakta ve güneye cepheidir. Yapılan fizibilite çalışmalarında, arazi büyüklüğünün etkisini ortadan kaldırmak amacıyla tüm araziler aynı boyutta ve 7.5 dönüm olacak şekilde seçilmiştir. Üçü de II. dereceden deprem riski bulunan konumda olup (AFAD, 2024), kireçtaşı, olistrostrom, şeyl ve çakıltı taşı gibi zemin özelliklerine sahiptir (Zor vd., 2007). Ayrıca, heyelan duyarlılık haritalarına göre çok düşük duyarlılığa sahiptir (AFAD, 2021).

Uygulama Alanı 1

Proje kapsamında Bağıranlı Mahallesi'nde 101 Ada 17 ve 202 Parselleri (Şekil 5(b)) üzerinde lisanssız GES kurulması planlanmıştır. UA1, Bağıranlı merkezin kuzeybatısında ve yaklaşık 1 km mesafede yer almaktadır. Diğer UA'larına kıyasla Bağıranlı Limanı'na en yakın konumda (~0,35 km) bulunmaktadır. Bu nedenle bölgede bulunan balıkçı barınaklarına yakın konumdadır. UA1'e ulaşım sorunu bulunmamaktadır; en yakın anayol hattına ~0,26 km mesafededir. TEİAŞ İsaköy Trafo Merkezi 20,6 km, Kaynarca Trafo Merkezi'ne 39,4 km ve Kandıra RES Trafo Merkezi'ne 4,6 km uzaklıkta bulunmaktadır. Tarla niteliğindeki bu arazi genel olarak eğimsizdir. Bağıranlı Göleti'ne 1,2 km ve en yakın akarsuya 1,5 km mesafededir.

Uygulama Alanı 2

Proje kapsamında Bağıranlı Mahallesi'nde 129 Ada 79 Parselinin 7,5 dönümlük alanına (Şekil 5(c)) lisanssız GES kurulması planlanmıştır. Diğer UA'larına kıyasla Bağıranlı merkeze en yakın konumda (~0,43 km) ve güneydoğusunda bulunmaktadır. Yerleşim yerine yakın konumda bulunan bu UA'nın, binalardan dolayı gölgelemeye maruz kalacağı düşünülmektedir. Bu arazi, Bağıranlı Limanı'na yaklaşık 1,8 km uzaklıkta bulunmakta ve UA1'e göre limana daha uzaktır. Ulaşım sorunu bulunmayan bu arazi, en yakın anayola ~0,14

km mesafededir. TEİAŞ İsaköy Trafo Merkezi 22 km, Kaynarca Trafo Merkezi'ne 38 km ve Kandıra RES Trafo Merkezi'ne 3,2 km uzaklıkta bulunmaktadır. Tarla niteliğinde olan bu arazi, eğimsiz bir yapıya sahiptir. Bağıranlı Göleti'ne 1,2 km ve en yakın akarsuya 1,6 km uzaklıkta bulunmaktadır.

Uygulama Alanı 3

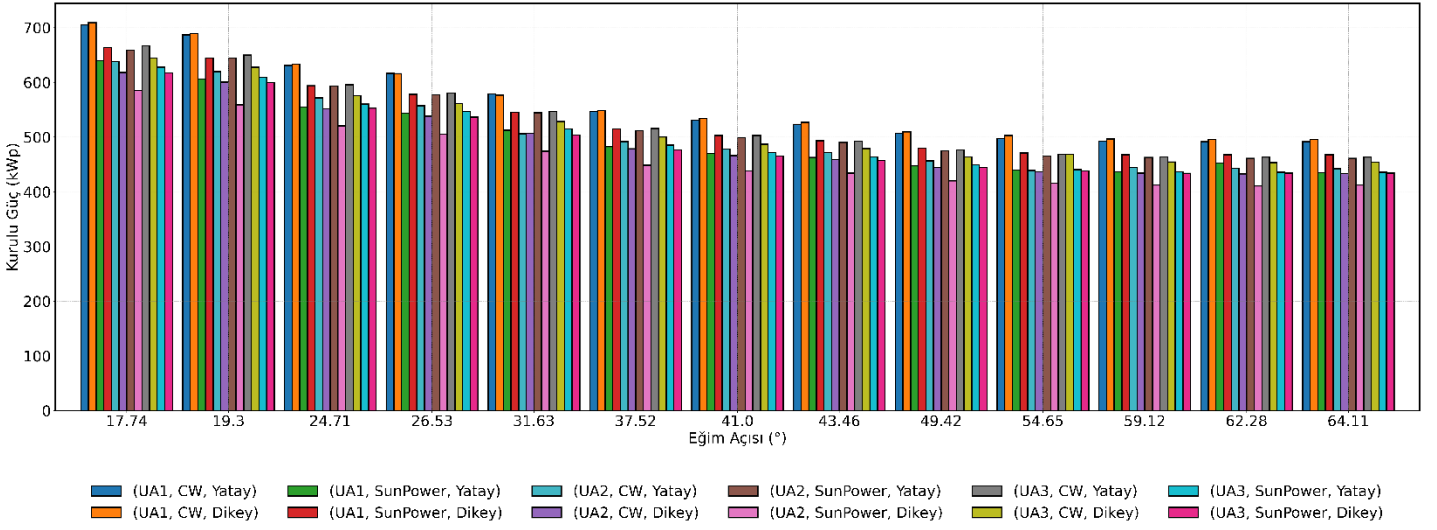
Proje kapsamında Bağıranlı Mahallesi'nde 114 Ada 63 ve 64 Parsellerinin 7,5 dönümlük alanına (Şekil 5(d)) lisanssız GES kurulması planlanmıştır. Bağıranlı merkezin güneydoğusunda bulunan UA3, diğer arazilere kıyasla daha güneyde yer almakta olup, Bağıranlı Limanı'na en uzak (~3,8 km) mesafededir. UA3'ün ulaşım sorunu bulunmamakta ve en yakın anayola uzaklığı ~0,35 km'dir. Bu arazinin, diğer arazilere kıyasla en belirgin farklılığı etrafında Kandıra Rüzgar Enerjisi Santrali'ne ait bir rüzgâr türbini bulunmasıdır. Yapılan araştırmalara göre, 200 m yüksekliğe sahip bir türbinin saat 09:27-11:01 arasında bu arazi üzerine gölgeleme yapacağı düşünülmektedir (Suncalc, 2024). TEİAŞ İsaköy Trafo Merkezi 24,1 km, Kaynarca Trafo Merkezi'ne 35,9 km ve Kandıra RES Trafo Merkezi'ne 1,1 km uzaklıkta bulunmaktadır. Diğer UA'lar gibi, tarla niteliğindeki arazi eğimsiz yapıdadır. Bağıranlı Göleti'ne 3,3 km ve en yakın akarsuya 2,4 km uzaklıkta bulunmaktadır. Bağıranlı Mahallesi'nde seçilen üç farklı UA'ya ait görseller Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5: (a) Seçilen uygulama alanlarının Bağıranlı Mahallesi'ndeki konumu, (b) UA1, (c) UA2 ve (d) UA3.

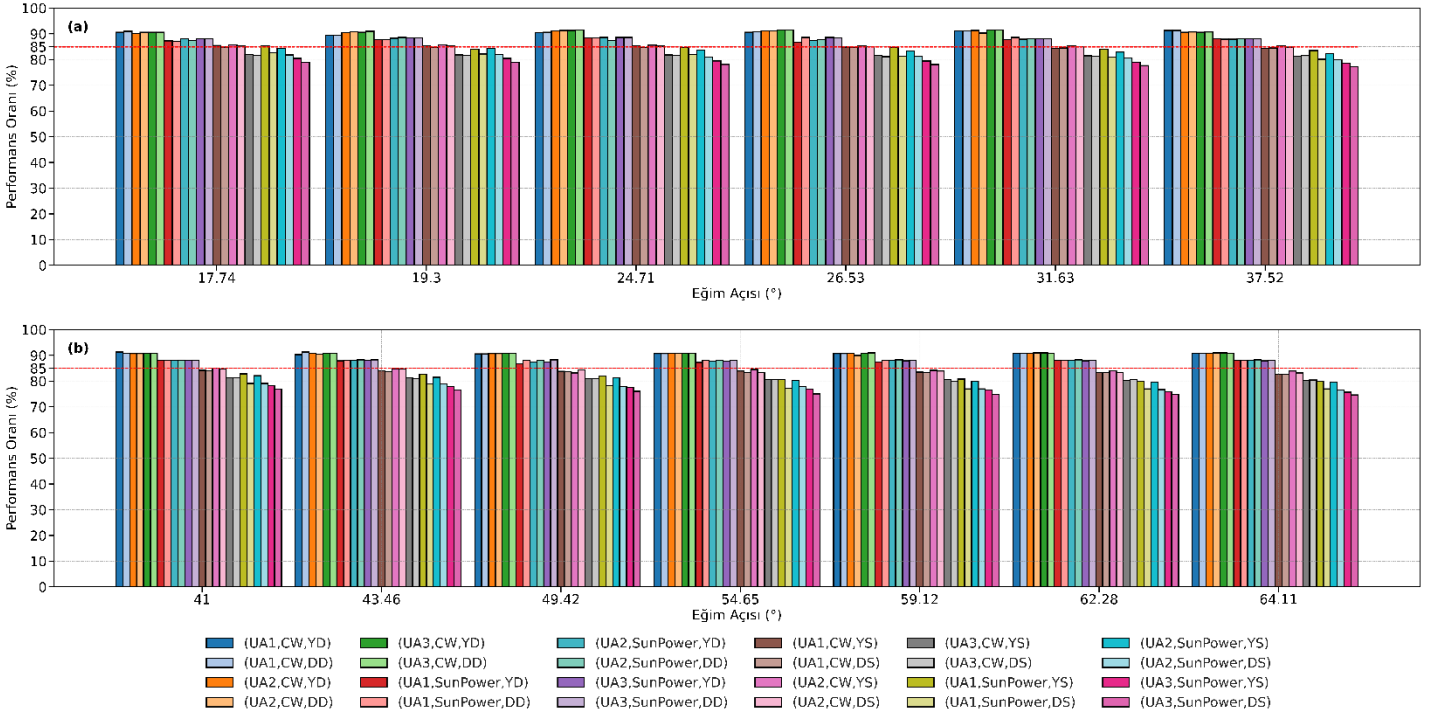
FV Sistemlerin Kurulu Gücü ve Performans Oranı

Bağıranlı'da tasarlanan GES için simülasyona başlamadan önce, PV*Sol yazılımında sistem tasarımı üç boyutlu ve şebekeye bağlı FV sistem olarak seçilmiştir. Konuma ait iklim verileri olarak PV*Sol'de bulunan 1991-2010 yıllarına ait Kocaeli MeteoSyn verileri kullanılmıştır. Çalışmada seçilen farklı arazilerin konumu ve fiziksel özellikleri göz önüne alınarak, gerçek üç boyutlu modelleme yapılmıştır. Konuşlandırma sırasında yerleşim yönünün güneye bakmasına özen gösterilmiştir. Üç farklı UA'da optimum verim elde edebilmek için hem CW hem de SunPower panelleri dikey ve yatay olarak, Tablo 2'de verilen farklı eğim açıları göz önüne alınarak yerleştirilmiştir. Panel yerleşimleri, sabit eğim açılarına göre tek tek değiştirilmiştir. Sonraki aşamada, hesaplanan panel sayıları dikkate alınarak analize çift eksenli güneş takip sistemleri de dâhil edilmiştir. Tüm eğim açıları için yerleşim tamamlandıktan sonra her alana ait kurulu güç (kWp) değerleri elde edilmiştir. FV panellerin kurulu gücü, panelin fiziksel özellikleri, güneş ışığına maruz kalma süresi, açısı ve koordinatları gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Şekil 6'da çalışmada kullanılan üç farklı UA, iki farklı panel tipi ve on üç farklı eğim açısına göre kurulu güç değerleri verilmektedir. Bu sonuçlar birbirleriyle kıyaslandığında, en yüksek kurulu gücün UA1'e 17,74° eğim ile dikey olarak yerleştirilmiş CW panelleri ile oluşturulan senaryoya ait olduğu görülmektedir. En düşük kurulu gücün ise UA2'ye 62,28° eğim ile dikey olarak yerleştirilmiş SunPower panelleri ile oluşturulan senaryoya ait olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Farklı arazi, panel türü ve yerleşim şekline göre elde edilen kurulu güç değerleri (kWp).

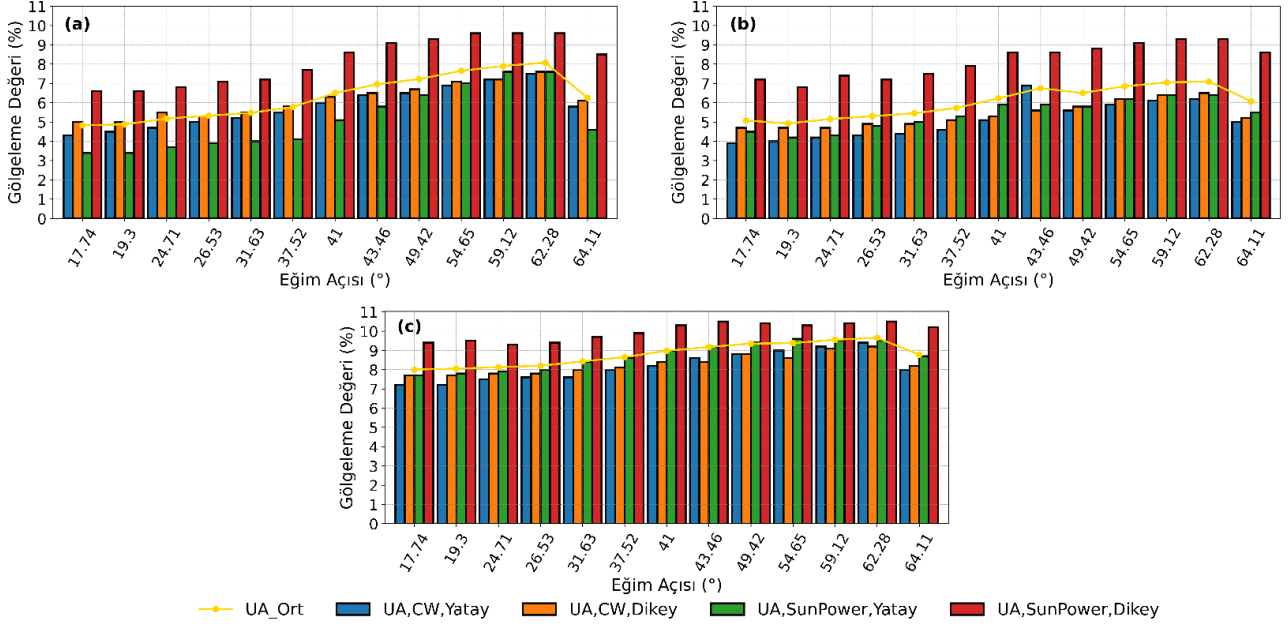
Bağırçanlı Mahallesi’nde kurulacak GES için en uygun arazi, panel ve eğim belirlemek amacıyla değerlendirilen parametrelerden biri de PO’dur. Bağırçanlı Mahallesi için yapılan 24 farklı senaryoya ait PO grafiği Şekil 9’da sunulmaktadır. Şekil 7’de, “YD” yatay olarak konuşlandırılmış dinamik açılı paneli, “DD” dikey olarak konuşlandırılmış dinamik açılı paneli, “YS” yatay olarak konuşlandırılmış sabit açılı paneli ve “DS” dikey olarak konuşlandırılmış sabit açılı paneli ifade etmektedir. Bu çalışmada, PO eşik değeri %85 olarak belirlenmiştir (Boztepe, 2017). Elde edilen sonuçlara göre, güneş takip sistemli paneller kullanıldığında PO’nun %90’lara kadar ulaşabildiği görülmüştür. Sabit açılı panellerde ise, özellikle UA2’de düşük eğim açısı ile konumlandırılmış sistemlerin %85’e yaklaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Farklı arazi, panel türü ve yerleşim şekline göre PO değerleri (%).

UA’lar açısından değerlendirildiğinde, UA3’ün diğerlerine kıyasla daha düşük PO değerlerine sahip olduğu fark edilmiştir. PO’ya etki eden gölgeleme, invertör sorunları, kablolama, kesintiler, modül sıcaklıkları gibi kayıplar dikkate alındığında, UA’lar arasında yalnızca gölgeleme etkisinin farklılık yarattığı, diğer parametrelerin tüm

araziler için aynı olduğu söylenebilir. Tüm eğim açıları ve panel türleri için gölgelemeden kaynaklanan kayıplara bakıldığında, UA3'teki kayıpların her zaman daha fazla olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8).



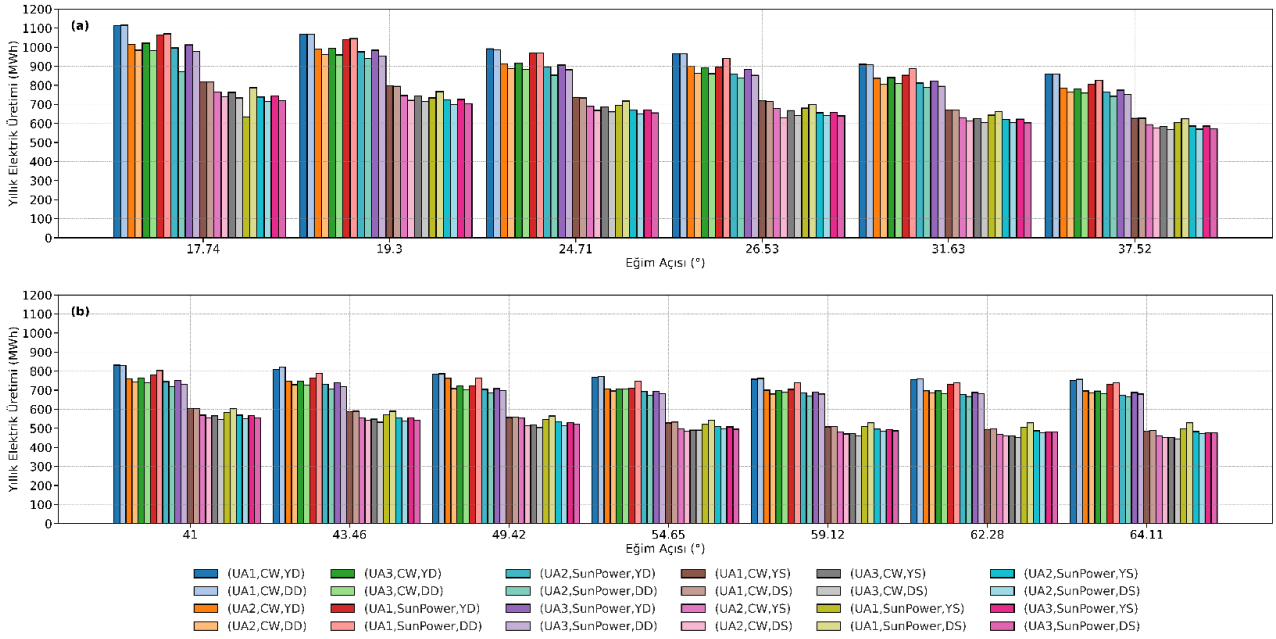
Şekil 8. Farklı eğim açılarına göre konumlandırılmış (a) UA1, (b) UA2 ve (c) UA3'teki çeşitli paneller üzerindeki gölgeleme etkisi (%).

FV Sistemlerin Üretim Değerleri

Seçilen üç farklı arazide yapılan çeşitli senaryolar sonucunda, Bağıranlı Mahallesi'nde şebekeye verilen elektrik miktarı hesaplanmıştır. Tüm panel türleri ve yerleştirme şekilleri düşünüldüğünde, en yüksek yıllık üretimlerin her zaman güneş takip sistemli panellerden kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 9). Güneş takip sistemleri, panellerin gün boyunca güneşe daha uzun süre maruz kalmasını sağlayarak güneş ışığını en iyi şekilde kullanmalarına olanak tanır ve ayrıca panellerin gölgeleme etkilerini de azaltabilir. Bu sayede, güneş potansiyeli Türkiye ortalamasının altında olan Bağıranlı Mahallesi'nde güneş takip sistemleri kullanıldığında daha yüksek elektrik üretimi sağlanacağı öngörülmektedir.

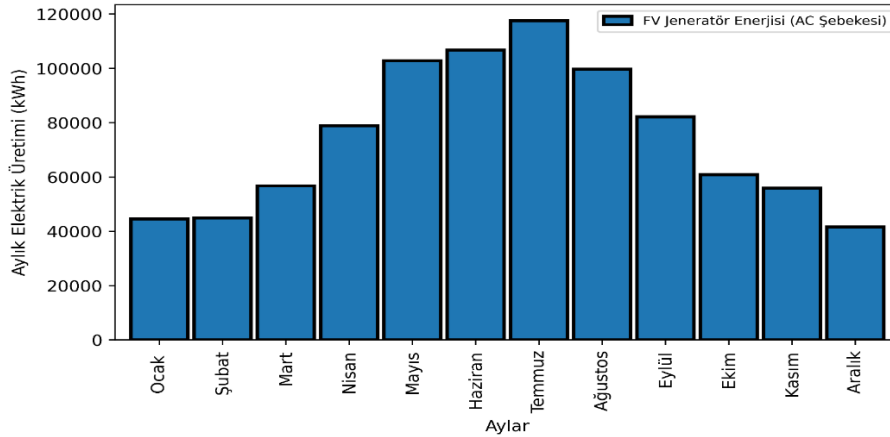
Sabit eğim açıları birbirleri ile kıyaslandığında, Bağıranlı Mahallesi için en yüksek yıllık elektrik üretiminin 17,74° eğim açısıyla yerleştirilen panellerde gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu durumda, paneller ayrı ayrı incelendiğinde özellikle Nisan-Eylül ayları arasında 17,74°'lik açı ile konumlandırılmış panel yüzeyine düşen ışınım miktarının diğerlerinden daha fazla olduğu ve bunun panel yüzeyine düşen yıllık toplam ışınım değerleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğu anlaşılmıştır. Yalnızca UA3'te, SunPower panelinin yatay yerleşiminde en yüksek elektrik üretiminin 19,3° eğim açısında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Paneller açısından bakıldığında, güneş takip sistemlerinde en yüksek üretimin her zaman CW panellerinde olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, panellerin farklı verimlilik oranlarına sahip olmasından kaynaklanıyor olabilir. Daha yüksek verimliliğe sahip paneller, aynı miktarda güneş ışığından daha fazla elektrik üretmektedir. CWT455-144PM panelinin %20,91, SPR-P5-530-UPP panelinin ise %20,4 verimliliğe sahip olması bu farklılığa yol açmış olabilir. Ayrıca, panellerin sıcaklık katsayısı da önemli bir parametredir. Bir panelin sıcaklık katsayısı ne kadar düşükse, yüksek sıcaklık koşullarında daha iyi performans gösterme eğilimindedir. İki panel kıyaslandığında, CWT455-144PM panelinin daha düşük bir sıcaklık katsayısına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Çeşitli senaryoların yıllık elektrik üretim (MWh) değerleri.

Bu bulgular sonucunda, en yüksek kurulu gücün 708,89 kWp ile UA1’de güneş takip sistemli CW panelinin eğimli dikey yerleşim senaryosunda elde edildiği görülmüştür. Bu senaryo için sistemin kapasite faktörü %17,9 ve şebekeye verilen elektrik miktarı 1.116.038 kWh olarak hesaplanmıştır. Şekil 10’da aylık üretim değerleri görülmektedir. Buna göre, en fazla elektrik üretimi, Kandıra’nın güneşlenme süresinin en yüksek olduğu Temmuz ayında 117.540 kWh olarak gerçekleşmiştir. En az üretim ise, beklendiği üzere kış aylarında gerçekleşmiştir.



Şekil 10. En yüksek elektrik üretimine ait senaryonun aylık elektrik üretim (kWh) değerleri.

Ekonomik Analiz

Çalışmada, Bağırhanlı Mahallesi’nde kurulması planlanan GES için maliyet analizi yapılmıştır. Projenin maliyet unsurları, yatırım maliyetleri ile işletme ve bakım maliyetleri olarak sınıflandırılabilir. Yatırım maliyetleri, arazi bedelini, ekipman ve montaj harcamalarını içermekte; işletme ve bakım maliyetleri ise santralin yıpranma payı göz önüne alınarak yapılacak personel, bakım ve ek ekipman harcamalarını kapsamaktadır (Yalılı, 2021). Projenin kurulacağı arazinin satın alınacağı varsayılmıştır. Seçilen arazinin bulunduğu bölgede, GES kurulumuna uygun m² başına ortalama arazi fiyatının 31,3 \$/m² olduğu görülmüştür. Proje için seçilen arazi 7.500 m² olduğundan, arazi bedeli ABD Doları cinsinden 2 Şubat 2024 tarihli satış bazlı dolar kuru USD/TRY 30.36 olarak kabul edilmiş ve 234.750 \$ olarak hesaplanmıştır (TCMB, 2024). Hesaplanan arazi, güneş paneli

ve invertör fiyatları 2024 yılı güncel fiyatları olup, diğer ekipman giderleri hakkında ortalama fiyat bilgileri literatürden elde edilmiştir (Kahraman, 2018). Bu çalışmadan edinilen ortalama fiyatlar, 2018'den bu yana dolar enflasyonu göz önünde bulundurularak %19,20 zamlı hale uyarlanmıştır. Daha önce belirtilen 24 farklı senaryo için maliyet analizi gerçekleştirilmiş olup, en yüksek elektrik üretimine sahip UA1'de güneş takip sistemli CW panelleri ile yapılan GES'in maliyetinin 1.144.087,5\$ olduğu görülmüştür. Güneş takip sistemlerinin eklenmesi, CW panelinin SunPower paneline kıyasla daha yüksek maliyetli olması ve panel sayısının diğer senaryolara kıyasla daha fazla olması bu senaryonun maliyetini yükseltmiştir. Maliyet açısından tüm senaryolar incelendiğinde, en kârlı senaryonun UA1'de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74° eğimle dikey yerleştirildiği durum olduğu görülmüştür. Tablo 3'te en kârlı senaryonun doğrudan ve diğer maliyet kalemleri sunulmaktadır. Burada, doğrudan maliyet kalemlerinde verilen ekipman ve teçhizatlar, 1 MW GES yatırımlarında genel olarak yer alması gereken unsurlardan oluşmakta olup, kurulum yapılacak arazinin yapısına, cephesine, panel çeşidine veya bağlantı özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir.

Tablo 3. Doğrudan ve diğer maliyet kalemleri.

	İhtiyaç Kalemi	Açıklama	Miktar	Birim	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)			
DOĞRUDAN MALİYETLER	Arazi	Satın alma	7500	m ²	31,3	234750,0			
	Güneş Paneli	SPR-P5-530-UPP	1264	Adet	111,4	140809,6			
	İnvertör	Huawei Technologies SUN2000-100KTL-M1 (480Vac)	5	Adet	7366	36830			
	Altyapı- Yapı	Çelik	Alüminyum bağlantı elemanları, alüminyum profil vb.	66	Set	804,6	53103,6		
			Profil, Boru, Menhol, vb. (Altyapı)	1	Set	6765,8	6765,8		
			4 mm solar kablo	9240	m	0,95	8778		
			6 mm solar kablo	7920	m	0,89	7048,8		
	Kablo Grubu		4X16 mm ² YXV-R (N2XY) kablo	660	Set	8,34	5504,4		
			4X70 mm ² YXV-R (N2XY) kablo	660	Set	9,54	6293,8		
			4X95 mm ² YXV-R (N2XY)	660	Set	11,32	7473,8		
			1x120 mm ² NYY	660	Set	14,30	9440,6		
			XLPE 1x240/35 kablo	660	Set	7,15	4720,3		
			İletişim kablosu İİ2 YCY 2x2x1,5mm ²	660	Set	5,96	3933,6		
			MC4 Solar Konektörü	1	Adet	1370,8	1370,8		
			DC Koruma Sigortaları	29,7	Adet	7,2	212,4		
			Bağlantı Ekipmanları		Topraklama malzemeleri, topraklama kabloları, kablo tavaları ve diğer gerekli sarf malzemeler	1	Set	7445,9	7445,9
					AG Ana pano	1	Adet	14065,6	14065,6
	Panolar		İnverter toplama panosu	6	Adet	1585,4	9512,2		
			Trafo	1	Adet	18476	18476		
	Şebeke Bağlantı Ekipmanları		OG Hücre ve Ekipmanları	1	Set	29895,4	29895,4		
			ENH OG Direkleri ve Ekipmanları	1	Set	3933,6	3933,6		
			Konstrüksiyon sisteminin toprak üstü betonlama yöntemiyle montajı	1	Set	60090	60090		
	Montaj		Tüm santralin topraklama bağlantıları	1	Set	41578	41578		
			Solar sistem işçilik ve montajı	1	Set	41578	41578		
			Kabin Montajı Kabin OG/AG bağlantıları	1	Set	41578	41578		
	SCADA		Kabin için Trafo/ Hücre/AG ve OG panoları	1	Set	7202	7202		
			Kontrol ve İzleme Sistemi	1	Set	7202	7202		
	Paratoner		Paratoner sistemi	1	Set	532,33	532,33		
Güvenlik		Kamera Sistemi	6	Adet	143,04	858,24			
		Çit Sistemi	1320	m	12,52	16521,12			
D İ Ğ		Nakliye	1	Set	1716	1716			
		Diğer	1	Set	4554	4554			
E R		Personel	1	Adet	1605,5	1605,5			
		Bakım	2	Adet	729,58	1459,2			
Ekipmanlar – Konstrüksiyon Yatırım Maliyeti		Servis Ve Bakım Giderleri	1	Yıl	2950	2950			
							Toplam Yatırım Maliyeti	719766,4 \$	746480,4 \$

Güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretilmesine yönelik yatırımlara getirilen yeni teşvik kapsamında, işletmelerin yapacakları lisanssız enerji yatırımlarına en az 4. Bölge teşviki sağlanacağı belirtilmiştir. Bu doğrultuda, proje yatırımı teşvik kapsamına dâhil edilmiş olup; kurumlar vergisi, SGK, KDV ve gümrük vergisi desteklerinden yararlanabilir duruma gelmiştir (YDYHKUİT, 2022). Bağıranlı GES yatırımı projesinin yararlanabileceği destek avantajları Tablo 4’te gösterilmiştir. Alınacak teşvikler sonrasında net yatırım tutarı 392.978,3 \$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Teşvik unsurları ve net yatırım tutarı.

Destek Unsurları	İndirim Oranı	İndirim Miktarı
KDV İstisnası	% 18	129557,9 \$
Gümrük Vergisi Muafiyeti	-	VAR
Kurumlar Vergisi İndirimi	%30	223944,1
Kazanç		353502,1 \$
Net Yatırım Tutarı		392978,3 \$

Tüm senaryolar için yapılan ekonomik analiz sonucunda, en uygun yatırımın UA1’de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74° eğimle dikey yerleştirildiği senaryoda ortaya çıktığı görülmüştür. Bu senaryoda, kurulu gücü 663,6 kWp, elektrik üretimi 787.719 kWh olan lisanssız ve şebekeye bağlı GES yatırımı için öz sermaye ve yarı öz sermayeli nakit akış senaryoları geliştirilmiştir. GES projelerinde nakit akışı, öz sermaye ve yarı öz sermaye ile hesaplanırken sırasıyla yatırım başlangıcı, ekonomik ömür, elektrik üretimine başlama tarihi, yatırım maliyetleri, nakit akışları ve NBD veya İKO gibi çeşitli finansal değerlendirme adımları bulunmaktadır. Buna göre, GES projesinin yatırımına başlandığı tarih 0. yıl olarak kabul edilmiş ve 1. yıl elektrik üretimine başlanacağı yıl olarak belirlenmiştir. Ekonomik ömür 25 yıl olarak alınmış ve bu süre boyunca yıl bazında elektrik üretiminin %0,07 oranında azalacağı öngörülmüştür. Yatırım maliyetleri ve nakit akışları Tablo 5’te gösterilmiştir. Son olarak, çeşitli finansal değerlendirme yöntemleriyle projenin ekonomik açıdan uygunluğuna karar verilmiştir.

Tablo 5: Yatırımın öz sermaye ile yapılması durumundaki nakit akışı.

Yıl	Masraf		Fayda	Kar	Net
	Yatırım	Bakım	Yıllık Kazanç		
0	392978,32	0	0	-392978,32	-392978,32
1		2950	80951,36	78001,36	-314976,96
2		2950	80384,70	77434,70	-237542,26
3		2950	79822,01	76872,01	-160670,26
4		2950	79263,25	76313,25	-84357,00
5		2950	78708,41	75758,41	-8598,59
6		2950	78157,45	75207,45	66608,86
7		2950	77610,35	74660,35	141269,21
8		2950	77067,08	74117,08	215386,29
9		2950	76527,61	73577,61	288963,89
10		2950	75991,91	73041,91	362005,81
11		2950	75459,97	72509,97	434515,78
12		2950	74931,75	71981,75	506497,53
13		2950	74407,23	71457,23	577954,76
14		2950	73886,38	70936,38	648891,14
15		2950	73369,17	70419,17	719310,31
16		2950	72855,59	69905,59	789215,90
17		2950	72345,60	69395,60	858611,50
18		2950	71839,18	68889,18	927500,68
19		2950	71336,31	68386,31	995886,99
20		2950	70836,95	67886,95	1063773,94
21		2950	70341,09	67391,09	1131165,03
22		2950	69848,71	66898,71	1198063,74
23		2950	69359,77	66409,77	1264473,50
24		2950	68874,25	65924,25	1330397,75
25		2950	285360,61	282410,61	1612808,36

Yatırımın yarı öz sermaye ile yapılması durumunda, 392.978,32 \$ tutarındaki yatırımın 196.978,32 \$'lık kısmının öz sermayeden, geri kalanının ise kredi ile finanse edileceği düşünülmüştür. Kredi faizi %8,25 ve kredisi vadesi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller sonucunda, kredinin yıllık ödemesi 28.650,96 \$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 6'da yarı öz sermaye ile yapılan yatırıma ait nakit akış gösterilmektedir.

Tablo 6: Yatırımın yarı öz sermaye ile yapılması durumundaki nakit akışı.

Yıllar	Fayda		Masraf		Net Getiri	Genel Yatırım Durumu
	Yıllık Kazanç	Kredi Taksitleri	Yatırım	Bakım Masrafı		
0	0	0	392978.32	0.00	0	-392978.32
1	80951.36	28650.96		2950	49350.40	-343627.92
2	80384.70	28650.96		2950	48783.74	-294844.18
3	79822.01	28650.96		2950	48221.05	-246623.13
4	79263.25	28650.96		2950	47662.29	-198960.84
5	78708.41	28650.96		2950	47107.45	-151853.39
6	78157.45	28650.96		2950	46556.49	-105296.90
7	77610.35	28650.96		2950	46009.39	-59287.51
8	77067.08	28650.96		2950	45466.12	-13821.39
9	76527.61	28650.96		2950	44926.65	31105.26
10	75991.91	28650.96		2950	44390.95	75496.21
11	75459.97			2950	72509.97	148006.18
12	74931.75			2950	71981.75	219987.93
13	74407.23			2950	71457.23	291445.16
14	73886.38			2950	70936.38	362381.54
15	73369.17			2950	70419.17	432800.71
16	72855.59			2950	69905.59	502706.30
17	72345.60			2950	69395.60	572101.90
18	71839.18			2950	68889.18	640991.08
19	71336.31			2950	68386.31	709377.39
20	70836.95			2950	67886.95	777264.34
21	70341.09			2950	67391.09	844655.44
22	69848.71			2950	66898.71	911554.14
23	69359.77			2950	66409.77	977963.91
24	68874.25			2950	65924.25	1043888.15
25	285360.61			2950	282410.61	1326298.76

Tablo 7'de, öz sermaye ve yarı öz sermaye ile yapılan yatırım için NBD, İKO ve GÖS yöntemleriyle finansal değerlendirme yapılmıştır. Öz sermaye ile yapılan yatırımda, sermaye maliyetlerinin 6. yılda geri ödendiği görülmüştür. Ancak kredi ile yapılan yatırımda GÖS 9 yıla kadar çıkmaktadır. Bu durum, öz sermaye ile yapılan yatırımın daha hızlı geri dönüş sağladığını ve daha erken pozitif net kâr elde ettiğini göstermektedir. Hesaplanan İKO'dan daha düşük orandaki iskonto oranlarında (%10) yatırımın NBD'si artmakta yani yatırım daha kârlı hale gelmektedir. Bu bağlamda, İKO'nun yatırımcı tarafından kabul edilebilir iskonto oranından daha yüksek çıkması durumunda yatırım kararı verilmesi uygun olmaktadır. Böylece, iki farklı sermaye yönteminin kullanılması bu proje için uygun olduğu söylenebilir.

Finansal değerlendirme sonuçları incelendiğinde, Kocaeli ili Bağırganlı Mahallesi'nde yapılması planlanan GES yatırımının maliyetlerinin tamamen öz sermaye ve yarı öz sermaye ile karşılanmasının benzer sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. Ancak öz sermaye ile yapılan yatırımın daha avantajlı olduğu görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yatırımın öz sermaye ile yapılmasına karar verilmiştir.

Tablo 7: Finansal değerlendirme sonuçları.

	Yatırımın Öz Sermaye ile Yapılması	Yatırımın Yarı Öz Sermaye ile Yapılması
NBD	38518,39 \$	38804,89 \$
İKO	%18	%11
GÖS	6 Yıl	9 Yıl

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kandıra ilçesine bağlı Bağıranlı Mahallesi'ne GES kurulması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye ortalamasının biraz altında olan Kandıra'da, en fazla verimle elektrik üretimi sağlamak amacıyla çeşitli senaryolar geliştirilmiştir. İlk olarak, çeşitli kriterlere bağlı olarak uygun arazi seçimleri yapılmıştır. Farklı konumlarda bulunan üç farklı 7.5 dönümlük arazi belirlenmiştir. Arazilerin alanları aynı tutulmuş olup, bunun temel sebebi, arazi kıyaslaması yapılırken alansal etkinin göz ardı edilebilmesidir. Daha sonra, literatürde bulunan çeşitli yöntemler kullanılarak 41° Kuzey enleminde bulunan Bağıranlı Mahallesi'nde FV panellerin konuşlandırılması için 13 farklı eğim açısı hesaplanmıştır. Enerji analizleri için PV*Sol yazılımı kullanılmıştır. FV panel olarak CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP panelleri seçilmiştir. Bu panellerin yatay ve dikey olarak yerleştirileceği senaryolar oluşturulmuştur. Sabit eğim açılı panellere ek olarak, PV*Sol yazılımının sunduğu iki boyutlu güneş takip sistemi hesaplamaları da çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada, sabit eğim açılı panellere ek olarak güneş takip sistemli paneller de kullanılmıştır. Farklı araziler, eğim açıları ve panel türleri için toplamda 24 farklı senaryo geliştirilmiştir. Yapılan senaryolar sonucunda, en yüksek kurulu güç UA1'de güneş takip sistemli CWT455-144PM-V paneline ait olup, toplam kurulu güç 708,9 kWp'tir. En düşük kurulu güç ise UA2'de 62,28° eğim açısı ile dikey olarak yerleştirilmiş SPR-P5-530-UPP paneline aittir ve toplam kurulu güç 410,6 kWp'tir. Bulduğu konuma bağlı olarak en yüksek gölgeleme etkisine maruz kalan bölge UA3'tür. Yıllık elektrik üretimi açısından incelendiğinde, en yüksek elektrik üretiminin en büyük kurulu güce sahip olan UA1'de güneş takip sistemli CWT455-144PM-V panellerine ait senaryoda gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu senaryodaki toplam elektrik üretimi 1.116.038 kWh olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, bu senaryonun maliyeti 1,144,087.5\$ olarak hesaplanmıştır. Maliyet analizi, öz sermayeli ve yarı öz sermayeli olmak üzere iki farklı senaryoda gerçekleştirilmiştir. Yapılan ekonomik analiz sonucunda, en fazla elektrik üretiminin gerçekleştiği senaryodan farklı bir senaryo daha kârlı olarak bulunmuştur. En kârlı yatırımın, UA1'de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74°'lik sabit bir eğimle dikey yerleştirildiğinde ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Buradaki fark, kullanılan panel türü, güneş takip sistemi ve panel sayısıdır. Daha az ve ucuz panel kullanılarak ve güneş takip sistemi kullanılmayarak yapılan yatırımın daha kârlı bir sonuç ortaya çıkardığı anlaşılmıştır. Yatırımın öz sermaye ve yarı öz sermaye ile yapılması durumunda, sırasıyla NBD 38.518,39 \$ ve 38.804,89 \$, İKO %18 ve %11 olarak hesaplanmıştır. Her iki senaryoda da hesaplanan İKO, iskonto oranından daha yüksek olduğu için yatırımın kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Öz sermaye ile yapılan yatırımın GÖS'ü 6 yıl iken, yarı öz sermaye ile yapılan yatırımın GÖS'ü 9 yıldır. GES yatırımı için 6 yıllık GÖS'ün daha makul olduğu ve daha kârlı bir yatırım olduğu düşünülmektedir.

Kandıra ilçesinin güneş enerjisi potansiyelinin Türkiye ortalamasının altında olması, yenilenebilir enerji yatırımlarının stratejik önemini daha da artırmaktadır. Bu durum, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için teknolojik yeniliklere ve doğru konumlandırma stratejilerine odaklanmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu stratejilerin doğru bir şekilde uygulanması, güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen elektrik miktarını artırabilir ve böylece ilçenin enerji ihtiyacını daha sürdürülebilir bir şekilde karşılayabilir. Yerel düzeyde gerçekleştirilecek yenilenebilir enerji projeleri, yalnızca enerji sektörünü dönüştürmekle kalmayıp, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu projeler sayesinde, çevreye zararlı sera gazı emisyonları azaltılarak iklim değişikliğiyle mücadelede etkili adımlar atılabilir ve yerel ekonomilere ekonomik katkı sağlanabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji sektöründeki büyüme, iş olanaklarının artması ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi gibi alanlarda da olumlu etkiler yaratabilir. Dolayısıyla, yerel yönetimlerin ve işletmelerin yenilenebilir enerji projelerine yönelik teşvik edici politikalar ve yatırımlar yapması, bölgesel kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdollahpour, M., Golzarian, M.R., Rohani, A., Abootorabi Zarchi, H. (2018). Development of a machine vision dual-axis solar tracking system, *Solar Energy*, 169, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.059>
- Acar, M. (2023). Edirne ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santrali analizi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı, Edirne.
- AFAD (2021). İl afet risk azaltma planı, *Kocaeli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü*. <https://kocaeli.afad.gov.tr/kurumlar/kocaeli.afad/Kocaeli-IRAP.pdf>
- AFAD (2024). Türkiye deprem tehlike haritası, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>
- Akpolat, A.N., Dursun, E., Kuzucuoğlu, A.E., Yang, Y., Blaabjerg, F., Baba, A.F. (2019). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar photovoltaic system, *Electronics*, 8(8), 905. <https://doi.org/10.3390/electronics8080905>
- Aziz, A.S., Tajuddin, M.F.N., Adzman, M.R., Mohammed, M.F., Ramli, M.A.M. (2020). Feasibility analysis of grid-connected and islanded operation of a solar PV microgrid system: A case study of Iraq, *Energy*, 191, 116591. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116591>
- Bakırcı, K. (2012). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6149–6159. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.009>
- Balcı, A. (2023). Enerji güvenliğinde Türkiye'nin rolü ve yenilenebilir enerji kaynakları, *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (44), 200–233.
- Başol, F. (2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantaj, risk ve tehlikeleri. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Başıoğlu, M.E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M.Z., Çakır, B. (2015). Performance analyzes of different photovoltaic module technologies under İzmit, Kocaeli climatic conditions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.108>
- Bayraç, H.N., Çemrek, F. (2022). Avrupa Birliği ve Türkiye'nin enerji bağımlılığı ve enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 742-762. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.799842>
- Bekdaş, D. (2021). Yatırım proje değerlemesinde yeni yaklaşım, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 216-224. <https://doi.org/10.29106/fesa.862638>
- Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler, *Elektrik Mühendisleri Odası*. https://www.emo.org.tr/ekler/65eb10e64749410_ek.pdf
- Breyer, C., Bogdanov, D., Gulagi, A., Aghahosseini, A., Barbosa, L.S.N.S., Koskinen, O., Barasa, M., Caldera, U., Afanasyeva, S., Child, M., Farfan, J., Vainikka, P. (2017). On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(8), 727–745. <https://doi.org/10.1002/pip.2885>
- Bulut, U., Muratoglu, G. (2018). Renewable energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus, *Energy Policy*, 123, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.057>
- Carbon Brief. (2024, 29 Ocak). China added more solar panels in 2023 than US did in its entire history, *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/daily-brief/china-added-more-solar-panels-in-2023-than-us-did-in-its-entire-history/>
- Carr, A. J., Pryor, T.L. (2004). A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates, *Solar Energy*, 76(1–3), 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.026>
- CW Enerji. (2021). Perc monokristal 144PM [Broşür]. https://www.atakale.com.tr/image/catalog/urunler/paneller/cw/half/410w_405w_400w_cw_tommatech_solar_perc_module_half_cut_9busbar_multibusbar_monokristal_144hucre.pdf
- Çifci, A., Altundağ, E. (2017). Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği, *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(2), 111-120.
- Dağlı, H. (2019). İklim değişikliği ile mücadelede iktisadi mali araç: Karbon vergisi, *Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 30-42.
- Dağtekin, M., Kaya, D., Öztürk, H.H., Kılıç, F.Ç. (2014). A study of techno-economic feasibility analysis of solar photovoltaic (PV) power generation in the province of Adana in Turkey, *Energy Exploration & Exploitation*, 32(4), 719-735. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.32.4.719>
- Dal, A. R. (2021). Investigation of the effect of optimum tilt angle on yield in solar energy panels, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 241–250. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.878795>
- Durmaz, F., Akdeniz, R.C., Kömekçi, F. (2017). Fotovoltaik enerji ile tarımsal işletmelerin enerji gereksiniminin karşılanabilirliği: Manisa - Turgutlu örneği, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 13(3), 193-199.
- Durna, B., Özdemir, E.T., Sezen, İ., Kaymak, M.K., Efe, B., Eftimiyadis, K., Şahin, A.D. (2013). 500 kWp kurulu güce haiz bir fotovoltaik tesisin İTÜ Maslak yerleşkesinde HOMER ve Retscreen enerji model yazılımları kullanılarak fizibilite analizinin yapılması, *6th Atmospheric Science Symposium*, 24-26 Nisan, İstanbul, Türkiye.
- Eker, B.S. (2019). Güneş panelleri için optimum eğim açısının belirlenmesi, rüzgarın soğutma etkisinin verime etkilerinin incelenmesi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

- Eldin, S.A.S., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A. (2016). Feasibility of solar tracking systems for PV panels in hot and cold regions, *Renewable Energy*, 85, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.051>
- EPDK. (2023). Elektrik piyasası yıllık rapor-elektrik piyasası gelişim raporları listesi, *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari>
- EPDK. (2024). Elektrik faturalarına esas tarife tabloları, *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tabloları>
- ETKB. (2024). Bilgi merkezi, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. <https://www.enerji.gov.tr/anasayfa>
- Fernández, L. (2024). Share of solar electricity generation worldwide 2010–2023, *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/1302055/global-solar-energy-share-electricity-mix/>
- Gedik, T., Akyüz, K.C., Akyüz, İ. (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer yöntemlerinin incelenmesi), *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 51–61.
- Gezgin, Ç.D. (2023). Güneş panellerinde, güneş takip sistemlerinin ve panel kirliliğinin panel verimliliğine etkisinin incelenmesi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Gürtürk, M. (2019). Economic feasibility of solar power plants based on PV module with leveled cost analysis, *Energy*, 171, 866–878. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.090>
- Hassan, Q. (2021). Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification, *Renewable Energy*, 164, 375–390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.008>
- Hassanian, R., Riedel, M., Yeganeh, N., Unnthorsson, R. (2021). A practical approach for estimating the optimum tilt angle of a photovoltaic panel for a long period—experimental recorded data, *Solar*, 1(1), 41–51. <https://doi.org/10.3390/solar1010005>
- Kahraman, M.Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgar enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Anabilim Dalı, Kütahya.
- Kandıra Valiliği. (2024). Kandıra. Kocaeli Valiliği. <http://www.kocaeli.gov.tr/kandira>
- Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkçı, C.B., Öngen, A. (2021). %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yolunda dünya ve Türkiye, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 230–240. <https://doi.org/10.31590/ejosat.780856>
- Kayıoğlu, B., Diken, B. (2019). Türkiye'de yenilenebilir enerji kullanımının mevcut durumu ve sorunları, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(2), 61–65.
- Kılınç Pala, P.B. (2024). Küresel enerji dönüşümü: Yeşil enerji kavramı ve teşvik programları, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(90), 599–610. <https://doi.org/10.17755/esosder.1362565>
- Kwaśniewski, D., Akdeniz, C., Durmaz, F., Kömekçi, F. (2020). Economic analysis of the photovoltaic installation use possibilities in farms, *Agricultural Engineering*, 24(4), 47–60. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2020-0035>
- Mamun, M., Islam, M., Hasanuzzaman, M., Selvaraj, J. (2022). Effect of tilt angle on the performance and electrical parameters of a PV module: Comparative indoor and outdoor experimental investigation, *Energy and Built Environment*, 3(3), 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.02.001>
- Micheli, D., Alessandrini, S., Radu, R., Casula, I. (2014). Analysis of the outdoor performance and efficiency of two grid connected photovoltaic systems in Northern Italy, *Energy Conversion and Management*, 80, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.053>
- Özbektaş, S., Şenel, M.C., Sungur, B. (2023). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji durumu ve kurulum maliyetleri, *Mühendis ve Makine*, 64(711), 317–351. <https://doi.org/muhendismakina.1319183>
- Özkaya, S.Y. (2022). Yenilenebilir enerji kaynakları, T.C. Dışişleri Bakanlığı. <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa#:~:text=Türkiye%27nin%2C%20hydroenerji%2C%20jeotermal,şanslı%20bölgelerinden%20birinde%20yer%20almaktadır.>
- Pierrehumbert, R. (2019). There is no Plan B for dealing with the climate crisis, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 75(5), 215–221. <https://doi.org/10.1080/00963402.2019.1654255>
- Rashwan, S.S., Shaaban, A.M., Al-Suliman, F. (2017). A comparative study of a small-scale solar PV power plant in Saudi Arabia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.233>
- Raturi, A., Singh, A., Prasad, R.D. (2016). Grid-connected PV systems in the Pacific Island countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 419–428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.141>
- Reich, N.H., Mueller, B., Armbruster, A., van Sark, W.G., Kiefer, K., Reise, C. (2012). Performance ratio revisited: Is PR > 90% realistic? Progress in photovoltaics, *Research and Applications*, 20(6), 717–726. <https://doi.org/10.1002/pip.1219>
- Resmi Gazete. (2022, 24 Şubat). Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Kararın Uygulanmasına İlişkin Tebliğ (Tebliğ No: 2012/1)’de değişiklik yapılmasına dair tebliğ. Resmi Gazete (Sayı: 31760 (Mükerrer)). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220224-20.htm>
- Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2020). Emissions by sector, Our World in Data. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- Sadiqa, A., Gulagi, A., Breyer, C. (2018). Energy transition roadmap towards 100% renewable energy and role of storage technologies for Pakistan by 2050, *Energy*, 147, 518–533. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.027>
- Solar Proof. (2024). Solar panel information (SPR-P5-530-UPP) [Broşür], *Solar Proof*. <https://www.solarproof.com.au/products/SPR-P5-530-UPP/>
- SolarPower Europe (2023). Global market outlook for solar power 2023–2027, *SolarPower Europe*. <https://www.gensed.org/bilgi-bankasi/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027>

- Suncalc (2024). *Suncalc*. <https://www.suncalc.org/#/41.1122,30.0295,15/2024.02.02/11:01/200/1>
- Taktak, F., Ilı, M. (2018). Güneş enerji santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği, *Geomatik Dergisi*, 3(1), 1-21.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.329561>
- TCMB (2024). Gösterge niteliğindeki Merkez Bankası kurları, *Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası*.
https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar_tr.html
- The World Bank (2020). Global photovoltaic power potential by country, *The World Bank*.
<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/8a711495-4034-52d3-a5cc-3fcbc98d0738/content>
- TÜİK (2024). TÜİK kurumsal, *Türkiye İstatistik Kurumu*. <https://www.tuik.gov.tr>
- Ulaş, M.S., Damarseçkin, S., Taşkesen, E., Turşucu, A. (2023, Nisan). Çatı GES sistemlerinde örnek portal uygulaması ve verimli panel seçimi, *1st International Conference on Scientific and Innovative Studies*, Konya, Türkiye.
- Väisänen, J., Kosonen, A., Ahola, J., Sallinen, T., Hannula, T. (2019). Optimal sizing ratio of a solar PV inverter for minimizing the levelized cost of electricity in Finnish irradiation conditions, *Solar Energy*, 185, 350–362.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.064>
- Waaree Energies (2023, 23 Mart). What is a grid connected PV system?, *Waaree Energies*.
<https://www.waaree.com/blog/grid-connected-pv-system#>
- Yalılı, M. (2021). İşletmelerde yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi teknikleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1055-1074.
- Zor, E., Cevher, M., Mengüç, G., Soydabaş, M., Bilgiç, A., Ayan, E., Özalaybey, S. (2007). Kocaeli ilinde zemin sınıflaması ve sismik tehlike değerlendirme çalışmaları, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16–20 Ekim, İstanbul, Türkiye.