



Türkiye’de CBS tabanlı yeni bir hibrit yaklaşım kullanılarak Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi (GESYS) için uygun alanların belirlenmesi

Emre Özşahin*¹

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.

Kaynak Göster: Özşahin, E. (2026). Türkiye’de CBS tabanlı yeni bir hibrit yaklaşım kullanılarak Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi (GESYS) için uygun alanların belirlenmesi. Geomatik, 11 (1), 17-39.

DOI: 10.29128/geomatik.1721256

Anahtar Kelimeler

GESYS
CBS
Türkiye
BMW
RF

Araştırma Makalesi

Geliş:17.06.2025
Reviz:21.07.2025
Kabul:22.07.2025
Online:05.08.2025
Yayınlanma:01.04.2026



Öz

Güneş enerjisi santrali yer seçimi (GESYS), enerji üretim maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple GESYS için uygunluk analizinin yapılması oldukça avantajlıdır. Bu çalışmada Türkiye’de GESYS için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı uygunluk analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bundan dolayı Türkiye genelindeki farklı koşulları temsil edecek ve dengeli bir dağılım sunacak şekilde Google Earth (GE) destekli Uzaktan Algılama (UA) tekniklerine dayalı yöntemlerle sahada fiziksel olarak varlığı doğrulanıp faaliyette olduğu gözlemlenen 270 adet güneş enerjisi santrali (GES) konumu belirlenip, GES envanteri oluşturulmuştur. Bu veriler GESYS sürecini etkileyen global yatay radyasyon (GHI), yaygın yatay radyasyon (DHI), eğim, bakı, yükseklik, yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe, enerji nakil hatlarına mesafe, ulaşım ağlarına mesafe ve arazi örtüsü faktörleriyle ilişkilendirilmiştir. Ortak bir veri çözünürlüğünde (250 m) gerçekleştirilen bu işlem, CBS tabanlı Best-Worst Method (BWM) ve Random Forest (RF) yöntemlerine dayalı hibrit bir yaklaşımla modellenmiştir. Çalışma sonuçları Türkiye’de GESYS için uygunluk sınıflarının büyükten küçüğe doğru sırasıyla orta (%52.75), az (%31.17) ve yüksek (%2.76) şeklinde dağıldığını göstermektedir. Ayrıca uygun olmayan (%10.81) alanların da küçük bir yer kapladığı anlaşılmıştır. Bu çalışma Türkiye’de GESYS için potansiyel alanların belirlenmesini ve diğer alternatif enerji kaynaklarının yer seçimine yönelik benzer çalışmaların yapılmasını teşvik etmesi bakımından önemlidir.

Determination of suitable areas for Solar Power Plant Site Selection (SPPSS) installation using a new GIS-based hybrid approach in Türkiye

Keywords

SPPYS
GIS
Türkiye
BMW
RF

Research Article

Received: 17.06.2025
Revised: 21.07.2025
Accepted: 22.07.2025
Online:05.08.2025
Published: 01.02.2026

Abstract

Solar power plant site selection (SPPSS) significantly affects the cost of energy production. For this reason, it is very advantageous to conduct a suitability analysis for SPPSS. In this study, it is aimed to conduct Geographic Information Systems (GIS) based suitability analysis for SPPSS in Türkiye. Therefore, 270 solar power plant (SPP) locations, whose physical presence in the field was verified and observed to be in operation, were identified and SPP inventory was created with methods based on Google Earth (GE) supported Remote Sensing (RS) techniques to represent different conditions and provide a balanced distribution across Türkiye. These data were associated with global horizontal radiation (GHI), diffuse horizontal radiation (DHI), slope, aspect, elevation, distance to residential and industrial areas, distance to power transmission lines, distance to transportation networks and land cover factors that affect the SPPSS process. This process was performed at a common data resolution (250 m) and modeled with a hybrid approach based on GIS-based Best-Worst Method (BWM) and Random Forest (RF) methods. The results of the study show that the suitability classes for GESYS in Türkiye are distributed as medium (52.75%), low (31.17%) and high (2.76%) from large to small, respectively. It was also found that inappropriate areas (10.81%) occupied a small area. This study is important in terms of encouraging the identification of potential areas for SPPSS in Türkiye and similar studies for site selection of other alternative energy sources.

1. Giriş

Dünya çapında enerji tüketimindeki hızlı büyüme süreci, enerji talebini sürekli arttırmaktadır [1]. Nüfus, endüstrileşme ve kentleşmedeki artış nedeniyle önümüzdeki 15-20 yıl içinde elektrik enerjisi tüketiminin iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir [2]. Dünya çapında tüketilen toplam enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır [3]. Ancak bu yakıtların sınırlı olması ve iklim değişikliğini arttırma hızı, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi zorunlu kılmaktadır [4]. Dolayısıyla çevresel sürdürülebilirlik için yenilenebilir enerji kaynaklarını seçmek, dünyanın geleceği açısından oldukça önemlidir [5-6]. Bunun için artık güneş, rüzgâr, hidro-elektrik, jeotermal ve biyokütle dahil olmak üzere çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları dikkate alınmaktadır [7-8].

Dünya'nın en önemli ve en kolay elde edilebilen yenilenebilir enerji kaynağı, güneş enerjisidir [9-11]. Düşük maliyetli, çevreyi kirletmeyen ve yenilenebilir olma özellikleri gösteren [12] bu enerji, diğer enerji kaynaklarına kıyasla tutarlı ve artan bir verimliliğe sahiptir [13]. Bu sebeple son yıllarda özellikle enerji teknolojisinde yaşanan gelişmeler, güneş ışınımı kullanılarak güç üretilmesini mümkün kılmıştır [14]. Böylece güneş enerjisi dünya çapında daha cazip ve uygulanabilir bir enerji seçeneği haline gelmiştir [15].

Güneş ışınlarının elektrik enerjisine dönüştürülmesi için genel olarak fotovoltaik hücre (PV) adı verilen bir cihazdan yararlanılmaktadır [16-17]. Bu cihaz, yoğunlaştırılmış güneş termal gücü (CSP) ve yoğunlaştırılmış fotovoltaik teknolojisi (CVT) kullanılarak enerji dönüşümü yapmaktadır [18]. Hızla yaygınlaşan olgun bir yenilenebilir enerji teknolojisi olan PV'nin enerji geri ödeme süresi sera gazlarını ve elektrik maliyetini dengelemesi açısından performansı geleneksel enerji kaynaklarıyla rekabet edebilir düzeydedir [19]. Hatta Türkiye'de bulutlu günlerde bile elektrik üretilbildiği için genellikle PV teknolojisi tercih edilmektedir [20].

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynak çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir [21]. Ülkenin coğrafi konumu özellikle güneş enerjisi yönünden önemli bir avantaj sunmaktadır [12, 22]. Nitekim Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, İspanya dışındaki tüm Avrupa ülkelerinden daha fazladır [23]. Ayrıca 2022 yılında küresel güneş enerjili su ısıtma kolektör kapasitesi (solar water heating collector capacity) veya güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemleri (güneş kolektörleri) piyasasının %73'ünü Çin oluştururken, onu ikinci sırada Türkiye takip etmiştir [24]. Ancak Türkiye'nin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyeline rağmen, bu kaynağın kullanımı hâlâ yeterli düzeyde değildir [11]. Bu potansiyelin etkin ve verimli bir şekilde değerlendirilmesi için güneş enerjisi santrali yer seçimi (GESYS) [Solar Power Plant-Site Selection (SPPSS)] çalışmalarının dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir [25].

Son yıllarda Türkiye'de güneş enerjisi santrali (GES) sayısı giderek artmaktadır [26]. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verilerine göre 2025 Mayıs ayında Türkiye'nin kurulu gücü 22.759 MW'a ulaşırken, toplam santral sayısı da 34.244 adet olmuştur [27]. Bu artış

GESYS uygunluğuyla doğrudan ilişkilidir [28]. Zira çevresel ve sosyal etmenler ile ekonomik maliyetler göz önünde bulundurularak ve geniş yelpazede kriterler değerlendirilerek yapılan GESYS [29], genel performansı en üst düzeye çıkarmak için karar vericilerin üzerinde durduğu öncelikli konulardan birisidir [30-31]. Daha çok Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerine dayalı yöntemlerin kullanıldığı GESYS çalışmaları, yer seçimini etkileyen farklı kriterler tercih edilerek gerçekleştirilmiştir [32]. Ancak GESYS konusuna ilişkin yeterli akademik literatür hala önemli ölçüde eksiktir. GESYS hakkındaki mevcut literatürün Türkiye, İspanya, New York, İran, Sri Lanka, ABD, Umman, Suudi Arabistan, Tayvan ve Hindistan gibi çeşitli ülkeler bağlamında zengin olduğu keşfedilmiştir [33].

CBS tabanlı farklı yöntemler kullanılarak GESYS çalışmaları konusunda ilgili literatürde en fazla Türkiye'nin illeri örnekleminde çalışma yapılmıştır. Örneğin, Konya [34], Gümüşhane [35], Uşak [22], Gaziantep [36], Iğdır [37], İstanbul [38], Burdur [39], Karabük [40-41], Malatya [42], Nevşehir [43], Niğde [44], Erzurum [45], Kahramanmaraş [46], Kayseri [47-48], Mersin [31], Osmaniye [49], Antalya [50], Artvin [51], İzmir [52], Kars [53], Bilecik [54], Çanakkale [55], Adıyaman [56], Van [11] ve Denizli [57] gibi Türkiye illeri çalışılmıştır.

Bununla birlikte Türkiye'nin altı farklı (Erzurum, Kayseri, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Van) [58] veya batı kesiminde konumlanan (Uşak, Aydın, Denizli, Burdur ve Muğla) [59-60] illeri, güneşlenme açısından şanslı şehirleri (Konya, Karaman, Burdur, Antalya, Mersin, Van) [61], Çumra [62], Menemen [63] ve Safranbolu [64] gibi ilçeleri, İç Anadolu [65-66], Batı Akdeniz [67], Karapınar [68], Karaman Ayrancı [69] ve Çumra [70] gibi bölgeleri, üç büyük gölü (Beyşehir gölü, Tuz gölü ve Van gölü) [71] ile Ege [72] ve Akdeniz [73] kıyıları örneklemlerinde yapılmış bazı çalışmalar kayıtlara geçmiştir.

GESYS çalışmaları konusundaki mevcut literatür incelendiğinde, genellikle Türkiye'deki bazı siyasi ve doğal sınırları esas alan bölgesel ölçekteki analizlerin öne çıktığı görülmektedir. Bu durumun başlıca nedeni, ülke geneline yönelik analizlerin detaylı yerel incelemeler kadar özgül sonuçlar sunmaması ve çoğunlukla genel bir çerçeve ile sınırlı kalmasıdır. Ayrıca, ülke ölçeğinde homojen ve güncel veri temininde yaşanan zorluklar da bu yaklaşımın tercih edilmesinde etkili olmuştur. Bununla birlikte, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) gibi tematik haritalar, bölgesel düzeyde potansiyelin değerlendirilmesine katkı sağlayan önemli görsel ve sayısal kaynaklar sunmaktadır. Ancak bu bölgesel odaklı yaklaşım, yapılan analizlerin bir yönüyle eksik kalmasına ve ülke genelini kapsayan stratejik bir bakış açısının geliştirilememesine neden olmuştur. Zira GEPA gibi tematik haritalar yalnızca potansiyel dağılımı genel hatlarıyla sunmakta, GESYS için dikkate alınması gereken çevresel hassasiyetler ve altyapı uygunluğu gibi bazı çok kriterli karar verme unsurlarını kapsamamaktadır. Dolayısıyla Türkiye yüzeyinin tamamını dikkate alan kapsamlı bir GESYS çalışmasının eksikliği, literatürde hala önemli bir boşluk oluşturmaktadır [74-76]. Bu durum yalnızca daha

isabetli saha seçimlerine değil; aynı zamanda yasal düzenlemelerin bütüncül biçimde değerlendirilmesine, kaynakların en verimli şekilde kullanılmasına, çevresel ve toplumsal etkilerin azaltılmasına ve gelecekteki enerji ihtiyaçlarına yönelik sürdürülebilir ve esnek çözümlerin geliştirilmesine de mâni olmaktadır.

GESYS, enerji üretimi ve maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [77]. Bu nedenle GESYS için uygunluk analizinin yapılması sürecinde ayrıntılı bilgi ve doğru planlama stratejilerinin uygulanması gerekmektedir [33]. Bunun için en pratik ve en yaygın kullanılan araç, CBS'dir [78-81]. Zira CBS coğrafi verileri yönetme, analiz etme ve görselleştirme yeteneğine sahiptir [82-84].

GESYS için uygunluk analizlerinin yapılmasında CBS ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri birlikte kullanılmaktadır [85]. ÇKKV, GESYS için etkili kriterlerin önem derecelerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde ve/veya uygun bulunan alanların sıralanmasında, CBS ise uygun/uygun olmayan alanların ağırlıklı karşılaştırma/toplam analizleri ile tespit edilip görselleştirilmesinde ve istatistiki yorumların yapılmasında kullanılmaktadır [86-88]. Bu kapsamda literatürde çoğunlukla AHP (Analytic Hierarchy Process), FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for order preference by similarity to ideal solution), FTOPSIS (Fuzzy Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), ELECTRE (ELimination and ChoiceExpressingREality), FUCOM (The Full Consistency Method), BWM (Best-Worst Method) vb. gibi çok çeşitli yöntemlerin kullanıldığı bildirilmiştir [89]. Böylece farklı seçeneklerin değişik açılardan değerlendirilmesi ve önceliklendirmesi rahatlıkla yapılabilmektedir [90]. Ancak her bir yöntemin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır.

AHP, karar verme sürecini hiyerarşik bir yapıya dönüştürerek kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapar. Yöntemin en büyük avantajı hem nicel hem de nitel kriterleri değerlendirebilmesi ve tutarlılık oranı ile karar verme sürecinin güvenilirliğini artırmasıdır. Ancak çok sayıda kriter ve alternatif olduğunda ikili karşılaştırmalar zaman alıcı olabilir ve öznel yargılar önyargı oluşturabilir [91-92].

TOPSIS, alternatifleri ideal ve negatif-ideal çözüme olan uzaklıklarına göre sıralar. Yöntem, matematiksel olarak basit ve büyük veri setleri için uygundur. Ancak kriterler arasındaki ilişkiyi dikkate almaz ve normalizasyon gerektirir [93-94].

FTOPSIS, klasik TOPSIS yönteminin bulanık mantıkla genişletilmiş halidir. Yöntem belirsizlik ve öznel yargıların etkisini azaltması bakımından avantajlıdır. Ancak bulanık sayıların tanımlanması ve hesaplanması karmaşıklık yaratabilir [95-96].

VIKOR, çelişen kriterler arasında uzlaşmacı çözümler sunar ve grup kararları için uygundur. Ancak, ağırlık atamasına duyarlıdır ve bazı durumlarda sonuçlar karar vericinin tercihlerine göre değişebilir [97-98].

PROMETHEE, tercih fonksiyonları ile üstünlük analizi yapar ve görsel analiz araçları sunar. Esnek ve şeffaf bir yöntemdir. Ancak tercih fonksiyonu seçimi hassasiyet

gerektirir ve yeni başlayanlar için sezgisel olmayabilir [99-100].

ELECTRE, alternatifler arasında üstünlük ilişkileri kurar ve özellikle çelişkili kriterlerin olduğu durumlarda etkilidir. Buna karşın karmaşık hesaplamalarda ve eşik değerlerin belirlenmesinde zorluk oluşturabilir [101-102].

FUCOM, kriter ağırlıklarının tutarlılığını sağlamak için geliştirilmiştir. Daha az karşılaştırma gerektirir ve tutarlılık oranı yüksektir. Ancak literatürde yeni bir yöntem olduğu için uygulama örnekleri sınırlıdır [103].

BWM, en iyi ve en kötü kriterlerin belirlenmesiyle ağırlıklandırma yapar. Daha az karşılaştırma gerektirir ve tutarlılık oranı yüksektir. Ancak karar vericinin en iyi ve en kötü kriterleri doğru belirlemesi gerekir [104-105].

Yakın zamanda ÇKKV tekniklerinin uygulanmasında hibrit yaklaşımların kullanımı daha popüler olmuştur [106-107]. Zira bu tür yaklaşımlar farklı yöntemlerin sunduğu avantajları birleştirip dezavantajları elimine etmeye yardımcı olmaktadır. İster yalnız isterse hibrit biçimde olsun ÇKKV teknikleri son yıllarda modelleme noktasında fayda sağlayabilecek başka yaklaşımlarla desteklenmeye başlanmıştır. Bu bağlamda özellikle yakın zamanda çok popüler bir Makine Öğrenimi (Machine Learning - ML) yöntemi olan rassal/rastgele orman (Random Forest - RF) tekniği kullanılmaktadır [108]. Çünkü diğer tekniklere kıyasla RF büyük veri kümelerindeki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri ele almadaki sağlamlığı ve yüksek doğruluğu nedeniyle birçok avantaja sahiptir [109]. Dolayısıyla ÇKKV ve RF tekniklerinin birlikte uygulanması hem geleneksel modellerin iyileştirilmesini sağlamakta [110] hem de farklı tekniklerinin güçlü yanları kullanılarak daha doğru sonuçlar vermektedir [111].

Daha önce benzer bir yaklaşımla Suudi Arabistan'ın Al-Qassim bölgesinde AHP ve RF yöntemlerine dayalı hibrit yaklaşım kullanarak GESYS için CBS tabanlı uygunluk analizi yapılmıştır [112]. Bu çalışmada ise yöntem sınırlamalarının üstesinden gelmek için BWM ve RF yöntemlerine dayalı hibrit bir yaklaşım önerilmiştir. Böylece ÇKKV ve RF tekniklerinin güçlü yönlerini birleştirilerek daha nesnel ve güvenilir bir uygunluk analizi sağlanmıştır. Çalışmayı özgün kılan bu yaklaşımın en önemli avantajı, mevcut GESYS özelliklerine özgü koşullara göre belirlenen kriter ağırlıklarının (BWM) ve veri odaklı, istatistiksel olarak anlamlı değişken öneminin (RF) bütünleştirilmesidir. Böylece diğer yöntemlere göre daha az tutarsızlık ve daha yüksek güvenilirlik elde edilebilmektedir [113].

Bu çalışmada Türkiye'de GESYS için CBS tabanlı uygunluk analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bunun için GES tesislerinin coğrafi dağılımını etkileyen başlıca parametreler belirlenmiştir. Bu işlem, başarılı sonuç alınabilmesi ve doğru bir analiz yapılabilmesi için Türkiye özelinde yapılmış çalışmalar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir [41]. Böylece Türkiye'deki GESYS için hangi parametrelerin hangi değer aralığında daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, Türkiye'nin GES potansiyeli kaynak alanların daha doğru bir şekilde tespit edilmesi bakımından önemlidir.

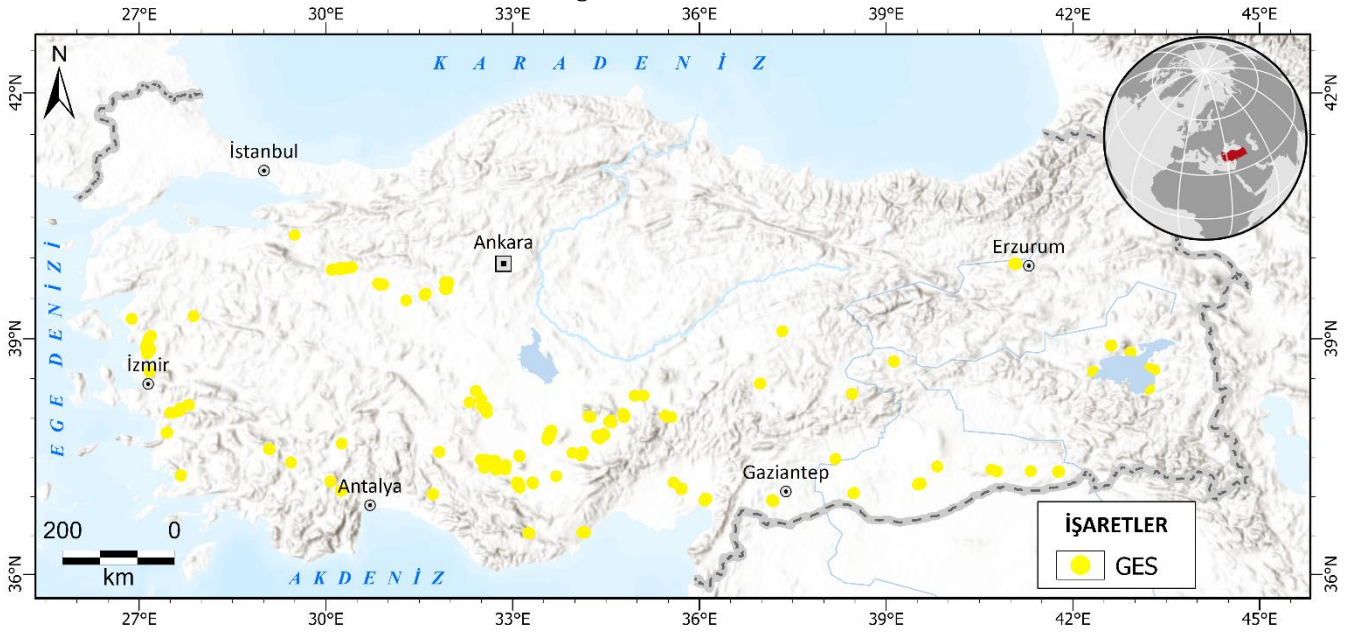
2. Materyal ve Yöntem

2.1. İnceleme Alanı

İnceleme alanı, enerji talebinin yüksek olduğu ülkelerden birisi olan Türkiye’dir (Şekil 1). Coğrafi olarak Asya ve Avrupa arasında bulunan inceleme alanı, 36–42° kuzey enlemleri ve 26–45° doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. İnceleme alanı, enerji arzı açısından zengin doğu ülkeleri ile enerji talebi fazla batı ülkeleri arasında doğal bir enerji köprüsü veya koridoru işlevine de sahiptir [114].

İnceleme alanında enerji talebinin büyük bir bölümü ithal edilmektedir. Nitekim inceleme alanında genel

enerji ithalatı bağımlılık oranının %76 olduğu bildirilmiştir [115]. Bu durum zaman içerisinde cari açığın artmasına sebep olabileceği gibi ulusal bağımsızlığın önünde engel teşkil etmektedir [116-117]. Dolayısıyla inceleme alanında hem enerji talebinin karşılanması hem de enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır [118]. Ayrıca inceleme alanında yenilenebilir enerji üretiminin uzun vadede iktisadi büyümeyi olumlu yönlü etkileyeceği tahmin edilmektedir [119].



Şekil 1. İnceleme alanının lokasyon haritası

Türkiye’de yatırım için en iyi yenilenebilir enerji alternatifi güneş enerjisidir [120-121]. Zira Türkiye, güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu “güneş kuşağı” olarak tanımlanan bölgede konumlanmaktadır [122]. Bu durum Türkiye’de GESYS için uygun yerlerin belirlenmesinin önemli bir konu haline gelmesine sebep olmuştur [123].

2.2. Materyal

Bu çalışmanın temel verisi, Türkiye genelinde işletmede olan GES tesislerine ilişkin konum bilgileridir. Bu kapsamda öncelikle T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ile iletişime geçilmiş ve kurumun yönlendirmesiyle lisans durumu yürürlükte olan GES tesislerine ilişkin konum bilgileri edinilmiştir [124]. Ancak EPDK veri tabanında kayıtlı sadece 58 adet GES olduğu için ülke genelindeki GES dağılımını temsil etmede önemli bir sınırlılık ortaya çıkmıştır. Zira Türkiye gibi coğrafi, iklimsel ve topografik çeşitliliğin yüksek olduğu bir ülkede yalnızca 58 adet GES verisiyle yapılan bir analiz, mekânsal heterojenliği yeterince yansıtamaz. Bu sayı, bölgesel farklılıkları ve GESYS analizinde etkili olan değişkenleri istatistiksel olarak karşılaştırmak için oldukça düşük kalmaktadır. Ayrıca mevcut lisanslı GES tesislerinin büyük bölümü belirli bölgelerde yoğunlaşmış

olduğu için yer seçimi analizinde mekânsal otokorelasyon sorununa yol açabilmektedir. Oysa Türkiye genelinde farklı doğal çevre koşullarını temsil edecek şekilde daha dengeli bir dağılım sağlamak, modelin güvenilirliğini artıracaktır. Dolayısıyla bu çalışmanın veri seti yalnızca EPDK veri tabanında kayıtlı lisanslı GES tesisleri ile sınırlı tutulmamıştır. Aynı zamanda bu verilere Google Earth (GE) destekli Uzaktan Algılama (UA) tekniklerine dayalı görsel tarama yöntemi ile tespit edilen [125] ve faaliyette olduğu gözlemlenebilen diğer GES tesisleri de dahil edilmiştir. Böylece çok değişkenli istatistiksel analizlerin (Örneğin, RF gibi) yapılabilmesi için yeterli sayıda gözlem sağlanmıştır. Diğer yandan büyük örneklem kümesiyle sonuçların daha düşük standart hata ile tahmin edilmesi ve böylece istatistiksel gücün artması sağlanmıştır [126].

Gerek lisanslı gerekse diğer GES tesislerinin konum bilgilerinin veri setine işlenmesi GE platformundaki yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü üzerinden elle sayısallaştırılma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada her bir GES sahası poligon geometrisinde mekânsal veri şeklinde işlenmiş ve Keyhole Markup Language (KML) dosyası olarak kaydedilmiştir [127]. CBS yazılımına yüklenen KML verileri shapefile (.shp) dosya formatına dönüştürülmüştür. Sonuçta Türkiye’de farklı konumsal özelliklere sahip 270 adet GES için

envanter verisi (GES envanteri) üretilmiştir. Dolayısıyla çalışma amacı doğrultusunda yalnızca lisans durumuna değil, sahada fiziksel olarak varlığı doğrulanabilen GES tesisleri de ele alınmıştır. Bu yöntem, literatürde önerilen uzaktan algılama (UA) ve CBS tabanlı saha belirleme uygulamalarıyla uyumlu bir yaklaşımı temsil etmektedir.

Envanter verilerinden doğru bir şekilde yararlanmak için öncelikle veri düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Zira güneş çiftlikleri, güneş parkları veya güneş tarlaları olarak isimlendirilen GES tesisleri, çok sayıda fotovoltaik hücreden oluşan güneş paneli dizilerinden meydana gelmektedir. Böyle bir veri kullanılarak oluşturulan model yüksek doğrulukta sonuçlar verse bile farklı veri bölme işlemlerinde stabil sonuçlar vermeyecektir. Dolayısıyla poligon geometrisindeki GES envanter verileri, stabil ve kararlı bir makine öğrenme (MÖ) modeli oluşturmak için nokta geometrisine dönüştürülmüştür. Zaten benzer veri düzeltme işlemleri MÖ modeli oluşturmaya yönelik uygulamalarda çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [128-129].

Çalışma kapsamında farklı veri bölme işlemlerinde kararsız sonuçlar endişesini gidermek için bazı yaklaşımlar benimsenmiştir. Bunun için k-fold çapraz doğrulama ($k=10$) kullanılarak model performansının kararlılığı test edilmiştir. Her fold için performans metriklerinin standart sapması hesaplanmış ve raporlanmıştır. 1000 iterasyonlu bootstrap örnekleme ile model parametrelerinin güven aralıkları belirlenmiştir. Ridge, Lasso ve Elastic Net gibi regularizasyon yöntemleri kullanılarak aşırı öğrenme (overfitting) riski minimize edilmiştir. Böylece veri setinin boyutunun MÖ literatüründe kabul edilen standartları karşılaması sağlanmıştır. Ayrıca, uygun doğrulama stratejileri ve regularizasyon teknikleri kullanılarak model kararlılığı artırılmıştır. Dolayısıyla veri setinin yüksek heterojenliği ve temsil gücü, elde edilen sonuçların genellenebilirliğini de desteklemiştir.

Düzeltilmiş envanter verileri, modelleme için eğitim ve doğrulama veri seti olarak iki bölüme ayrılmıştır [130]. Verilerin %70'i (189) eğitim, diğer %30'luk (81) kısmı ise çalışma modelinin tahmin yeteneğini doğrulamak için kullanılmıştır. Bu veri seti, çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerle ilişkilendirilerek GESYS için uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kriterlerinin seçimi, GESYS literatüründe yaygın olarak kabul edilen ve bilimsel olarak kanıtlanmış faktörlere dayandırılmıştır (Tablo 1). Kriter tercihinde çalışma amacı, inceleme alanının özellikleri, veri temini ve analiz edilebilirlik gibi etkenler de rol oynamıştır [131-132].

Çalışma kriterlerine ait veriler farklı kaynaklardan tedarik edilmiştir (Tablo 2). Sayısal yükseklik modeli (SYM) [147], global ve yaygın yatay radyasyon [148], ulaşım ağlarına mesafe [149] ve arazi örtüsü [150] çeşitli veri paylaşım platformlarından indirilmiştir. SYM verisinin CBS teknikleriyle işlenmesiyle yükseklik, eğim ve bakı haritaları üretilmiştir [151]. Yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe CORINE Land Cover (CLC) verileri kullanılarak oluşturulmuştur [152]. Enerji nakil hatlarına mesafe Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından paylaşıma sunulmuş Türkiye elektrik sistemi haritasının sayısallaştırılmasıyla elde edilmiştir [153].

Tablo 1. Çalışmanın verileri ve veri kaynakları

Kriter adı	Referans alınan çalışmalar
Global yatay radyasyon (kWh/m^2)	[133-134]
Yaygın yatay radyasyon (kWh/m^2)	[135-136]
Eğim (%)	[68-137]
Bakı (Yönler)	[138-139]
Yükseklik (m)	[140-141]
Yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe (m)	[132-142]
Enerji nakil hatlarına mesafe (m)	[143-144]
Ulaşım ağlarına mesafe (m)	[33-131]
Arazi örtüsü (ESRI Land Cover Classes)	[145-146]

Tablo 2. Çalışmanın verileri ve veri kaynakları

Veri adı	Birim	Tip	Üretilen veri	Veri kaynağı
SYM	m	Raster (90 m)	Yükseklik Eğim Bakı	[147]
Global yatay radyasyon	kWh/m^2	Raster (250 m)	GHI	[148]
Yaygın yatay radyasyon	kWh/m^2	Raster (250 m)	DHI	
Ulaşım ağlarına mesafe	m	Vektör	Ulaşım ağlarına mesafe	[149]
Esri Land Cover Map	ESRI Land Cover Classes	Raster (10 m)	Arazi örtüsü	[150]
CORINE Land Cover (CLC)	CORINE Cover Classes	Vektör	Yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe	[152]
Enerji nakil hatlarına mesafe	m	Vektör	Enerji nakil hatlarına mesafe	[153]

Çalışmadaki bazı kriterlerinin üretilmesinde yararlanılan SYM, 90 m çözünürlüklü Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verisi (SRTM DEM) kullanılarak elde edilmiştir. Kapsamlı teknik analizlerin ve bilimsel literatür değerlendirmesinin sonucunda alınmış bilinçli bir karar olan bu tercih, veri tutarlılığı ve kalitesi, hesaplama verimliliği ve ölçek uyumluluğu gibi temel gerekçelerden dolayı yapılmıştır. Ayrıca tercih aşamasında bu verinin global ölçekte daha tutarlı bir kalite kontrolünden geçmiş ve radar gölgeleme etkilerinden kaynaklanan hataları minimize edecek

şekilde işlenmiş olması da etkili olmuştur [154]. Bibliyometrik değerlendirmeler GESYS çalışmalarında en sık tercih edilen SYM verisinin 90 m çözünürlüklü SRTM DEM olduğunu göstermiştir [155]. Bu durum SRTM DEM verisinin eğim, baki ve yükseklik gibi temel topoğrafik parametreler açısından yeterli mekânsal çözünürlük sunduğunu ve özellikle geniş alanlı GESYS analizlerinde pratiklik ve güvenilirlik dengesini sağladığını göstermektedir [156].

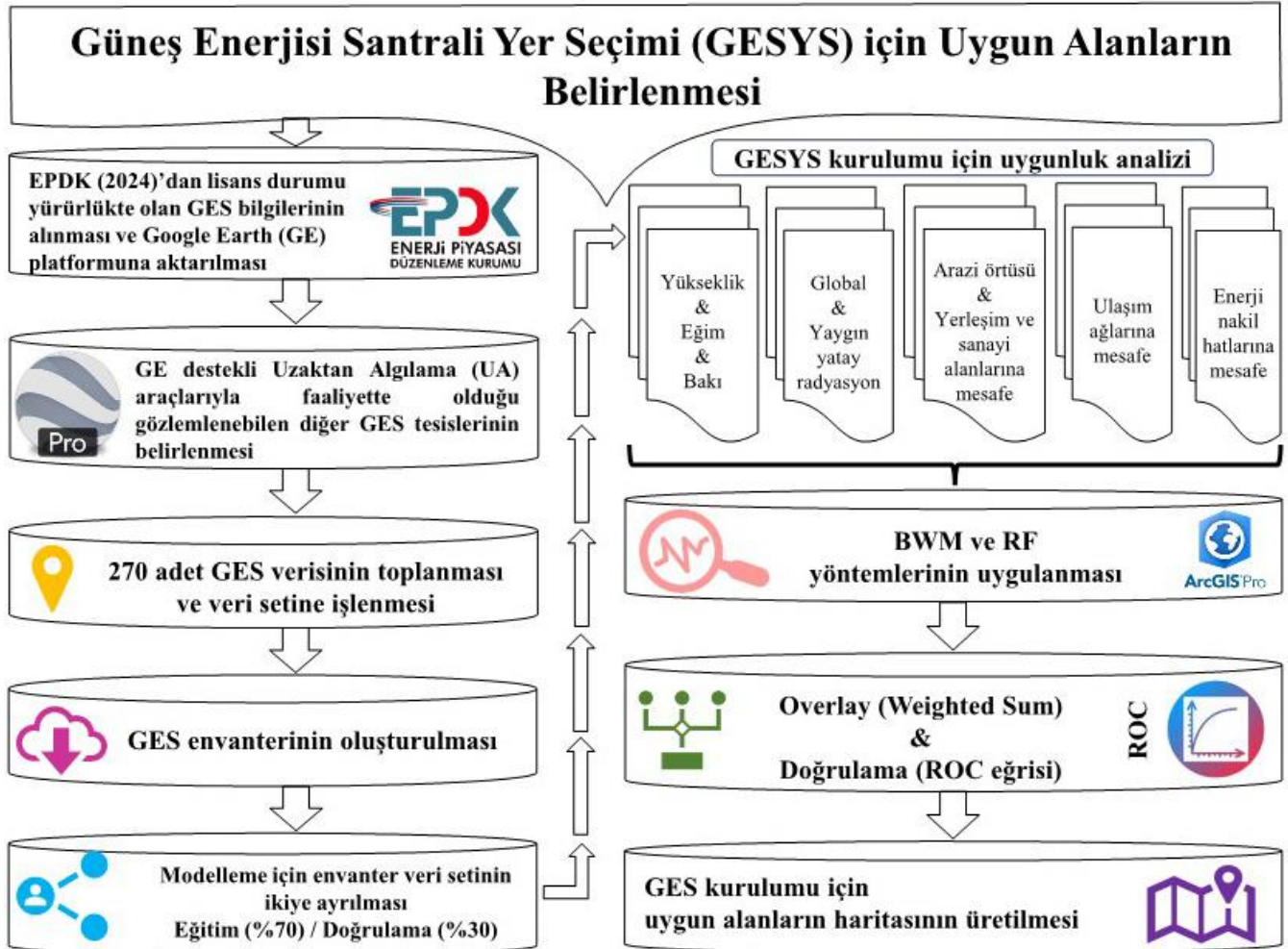
Bütün bu veriler bilimsel doğruluğunu ve hassasiyetini iyileştirmeye katkıda bulunması için ortak bir veri çözünürlüğünde (250 m) birleştirilmiştir [157]. GESYS analizi de bu çözünürlüğe göre gerçekleştirilmiştir.

GESYS için CBS tabanlı uygunluk analizleri yapılırken uygun olmayan alanları hariç tutmak önemli bir adımdır [158]. Hariç tutulan alanların belirlenmesi genellikle mekânsal verilerin mevcudiyetine ve inceleme alanının coğrafi kapsamına bağlıdır [159]. Bu çalışma ülke düzeyinde yürütüldüğünden, analiz sırasında büyük su kütleleri (Van Gölü ve Tuz Gölü vb. gibi) ve milli

parklar değerlendirme dışında tutulmuştur. Hashemizadeh ve ark. [160] GESYS için yapılan analizlerde projenin uygulanmayacağı alanların hariç tutulması ve dikkate alınmaması gerektiğini bildirmişlerdir.

2.3. Yöntem

Bu çalışmada GESYS için uygun alanlar CBS temelli BWM ve RF yöntemlerine dayalı hibrit bir yaklaşım (karma yöntem) kullanılarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Mevcut GES verilerinin yer seçim kriterleriyle ilişkisi BWM ve bu kriterler arası karşılıklı ilişki ise RF yöntemiyle analiz edilmiştir (Tablo 3). Zira BWM kriterlerin kendi sınıf içi ağırlıklarını, RF ise yer seçimini etkileyen farklı kriterlerin göreceli önemini belirlemek için kullanılan daha avantajlı bir yöntemdir. Böylece doğrudan örneklem verilerine dayalı bir şekilde tespit edilen faktörler, istatistiksel bir tutarlılık oranı çerçevesinde kıyaslanmıştır.



Şekil 2. Yöntem akış şeması

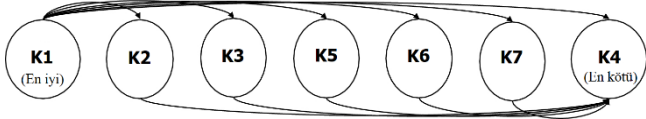
Çalışma kapsamında öncelikle BWM yöntemi uygulanmıştır. Benzer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha güvenilir sonuçlar veren bu yöntem, en iyi kriterin diğer tüm kriterlere göre avantajlarını belirlerken diğer kriterlerin de en kötü kritere göre üstünlüğünü ortaya koymaktadır [104-105]. Bu çalışmada BWM yönteminin

uygulanmasında, objektif bir yaklaşım benimsenmiştir. GES envanter verilerinden elde edilen mevcut dağılım örüntüleri, uzman görüşlerinin yerine kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, halihazırda kurulu olan GES'lerin konumsal dağılımı, sektör uzmanlarının kolektif tercihlerini yansıtan bir veri seti olarak değerlendirilmiştir.

BWM yöntemindeki ikili karşılaştırma, GES envanter verilerindeki sayısal dağılımlar temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada Türkiye genelinde CBS tabanlı farklı yöntemler kullanılarak GESYS için uygunluk analizlerinin kullanıldığı ilgili literatürdeki uzman görüşlerinden de yararlanılmıştır [34-73].

BWM yöntemindeki ikili karşılaştırma sırasında her bir kriter sınıfındaki GES yoğunluğu, o sınıfın tercih edilebilirliğinin göstergesi olarak kabul edilmiş ve buna göre en iyi ve en kötü kriterler belirlenmiştir. Örneğin, belirli bir eğim aralığında daha fazla GES bulunması, bu aralığın sektör tarafından daha uygun görüldüğü şeklinde yorumlanmıştır. Bu yaklaşım, Rezaei [104-105] tarafından önerilen BWM metodolojisinin veri odaklı bir adaptasyonu olarak düşünülmüştür.

Kriter belirleme aşamasından sonra kriterler arasında gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 3). Bu karşılaştırmalar neticesinde tutarlılık oranı sağlanması koşuluyla her kriterin ağırlık değeri hesaplanmıştır [104-105, 160]. Çalışma kapsamında yararlanılan BWM yöntemi, BWM Solver 5 (Microsoft Excel versiyonu) yazılımı kullanılarak uygulanmıştır [161]. Böylece inceleme alanında GESYS için uygunluğu etkileyen kriterlerin kendi sınıf içi ağırlıkları tespit edilmiştir (Tablo 3).



Şekil 3. BWM yöntemine dayalı gerekli karşılaştırmalar

Çalışmada ikinci olarak RF yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni, RF algoritmasının çok değişkenli veri ortamlarında ve karmaşık ilişkilerin bulunduğu durumlarda değişken önemini yüksek isabetle ortaya koyabilme yetisidir. Gerçekten de parametrik olmayan bir teknik olan RF sayesinde bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi daha yüksek tahmin performansı ile açıklayan sonuçlar elde edilmektedir [162]. Ayrıca RF, tahmin performansını iyileştirmek ve aşırı uyumu azaltmak için birden fazla karar ağacını birleştiren bir topluluk öğrenme yöntemi olarak nitelendirilmektedir [163-164].

Bu çalışmada RF yöntemi, kriterler arasından en iyi ve en kötü kriterin seçilmesi esnasında kullanılmıştır. Bunun için kullanılan 270 örnekten oluşan veri seti sınırlı görünmekle birlikte, RF gibi topluluk öğrenme yöntemleri küçük veya orta ölçekli veri setlerinde de başarılı sonuçlar vermektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan veri seti RF algoritmasının genelleyici kabiliyetini artırması bakımından hem mekânsal çeşitliliği hem de farklı çevresel koşulları temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada RF yönteminin kullanımı geleneksel uzman görüşüne dayalı yöntemlere alternatif değil, tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Özellikle çok sayıda kriterin yer aldığı analizlerde, uzman görüşü yerine veri odaklı yöntemler kullanmak, sübjektif hataları minimize edebilmekte ve karar sürecine nesnellik kazandırabilmektedir.

Tablo 3. GESYS için uygunluğu etkileyen kriterlerin kendi sınıf içi ağırlıkları

Kriter adı	Değer	Ağırlık
Global yatay radyasyon (kWh/m ²)	<-1000	0.111
	1000-1500	0.244
	1500->	0.644
Yaygın yatay radyasyon (kWh/m ²)	<-1800	0.111
	1800-2000	0.244
	2000->	0.644
Eğim (%)	<-1	0.153
	1-5	0.637
	5-40	0.153
	40->	0.056
Bakı (Yönler)	Düz	0.093
	Kuzey	0.026
	Kuzeydoğu	0.046
	Doğu	0.053
	Güneydoğu	0.185
	Güney	0.304
	Güneybatı	0.185
	Batı	0.062
Yükseklik (m)	Kuzeybatı	0.046
	<-1000	0.111
	1000-2000	0.244
Yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe (m)	2000->	0.644
	<-500	0.140
	500-5000	0.577
	5000-20000	0.233
Enerji nakil hatlarına mesafe (m)	20000->	0.051
	<-250	0.525
	250-1000	0.212
	1000-2500	0.127
Ulaşım ağlarına mesafe (m)	2500-5000	0.091
	5000->	0.046
	<-500	0.525
	250-1000	0.212
Arazi örtüsü	1000-5000	0.127
	5000-10000	0.091
	10000->	0.046
	Orman	0.038
	Yerleşme	0.076
	Tarım	0.088
	Su	0.059
	Mera	0.176
	Açık alan	0.437
	Bataklık	0.066

RF yönteminin uygulanması için veri kümesinden bir dizi önyükleme (Bootstrap) örnekleme yapılmış ve veri çeşitliliği sağlanmıştır [165]. Model genelleştirmesinin iyileştirilmesi için rastgele özellik alt kümeleri seçilerek eğitilmiştir. Her bir düğüm noktasında tüm değişkenler arasından belirlenen sayıda rastgele değişkenlerin belirlenmesiyle birden fazla karar ağacı oluşturmuştur [166]. Karar ağaçlarının çıktılarına dayalı olarak bireysel ağaçların ortalama tahmini belirlenmiştir. Böylece bağımsız değişkenlerin önem dereceleri tespit edilmiştir [167]. RF yöntemi, ArcGIS Pro Spatial Analyst uzantısındaki Orman Tabanlı Sınıflandırma ve Regresyon araçları yardımıyla uygulanmıştır [150].

Sürecin son adımında, kriterler RF tekniği kullanılarak kendi içerisinde önem derecelerine göre sıralanmışlardır. Buna göre ilgili kriterlerin önem dereceleri Tablo 4'te gösterilmiştir. BWM yönteminin uygulanmasında kullanılan bu önem dereceleriyle her bir kriterin global ağırlıkları hesaplanmıştır. Böylece 0.068 tutarlılık oranına (Ksi değeri) sahip sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Çalışmada kullanılan kriterlerin önem dereceleri

Kriter adı	Önem dereceleri
Global yatay radyasyon (kWh/m^2)	0.31
Yaygın yatay radyasyon (kWh/m^2)	0.19
Yükseklik (m)	0.13
Enerji nakil hatlarına mesafe (m)	0.10
Ulaşım ağlarına mesafe (m)	0.08
Yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe (m)	0.06
Arazi örtüsü	0.05
Bakı (Yönler)	0.05
Eğim (%)	0.03

Yeni bir hibrit yaklaşımla CBS tabanlı modellenen faktör haritaları, mekânsal analiz yöntemlerinden Overlay (Weighted Sum) tekniği ile birleştirilip, analiz edilmiştir. Böylece GESYS için uygun alanların haritası üretilmiştir. Bu haritadaki değer aralığı anlaşılması kolay bir gösterge oluşturmak için eşit aralıklı bir şekilde ve literatürde önerildiği biçimde 4 sınıfa ayrılmıştır [112, 168].

Çalışma modelin performansı ROC eğrisi yöntemine göre değerlendirmiştir [169]. Çalışmanın analiz ve görüntüleme aşaması CBS yazılımlarından biri olan

ArcGIS Pro (Version 3.0.1) programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

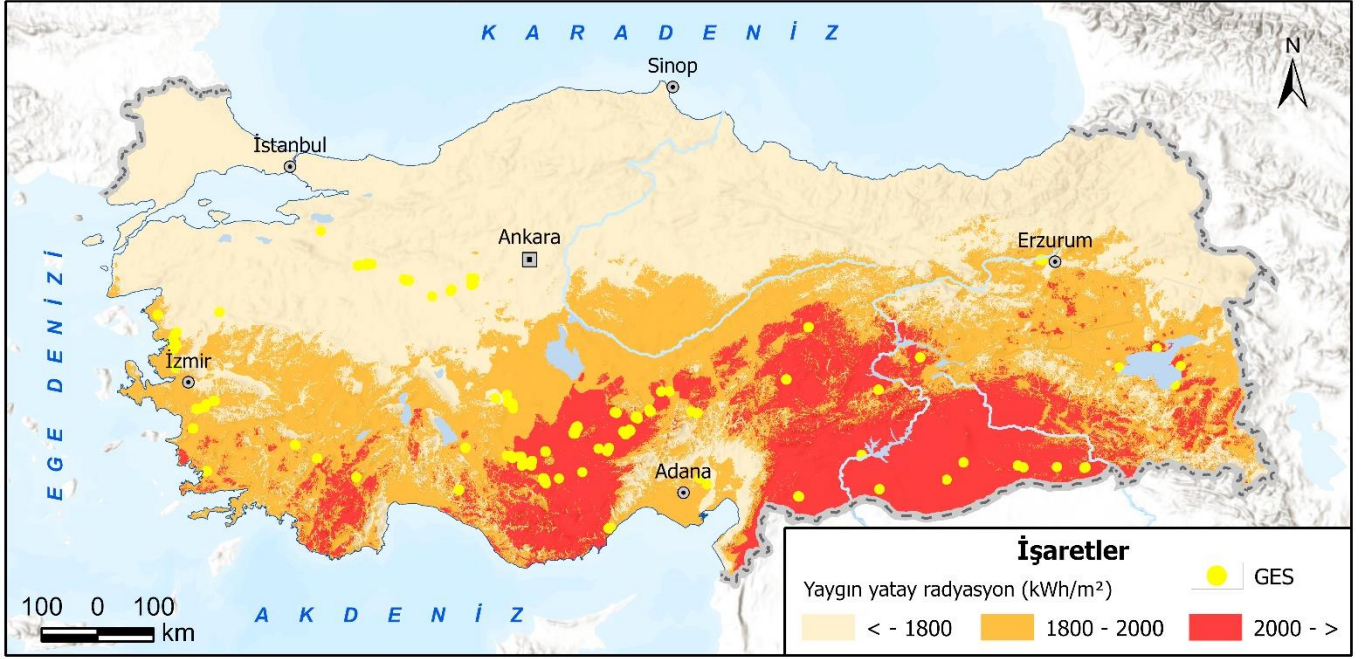
Türkiye’de GESYS için uygunluk, planlanan sahanın coğrafi özelliklerine bağlıdır [31]. Bu bakımdan GESYS için potansiyel alanların belirlenmesinde global ve yaygın yatay radyasyon, yükseklik, enerji nakil hatlarına mesafe, ulaşım ağlarına mesafe, yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe, arazi örtüsü, bakı ve eğim gibi parametreler etkili olmaktadır [170].

GESYS için uygunluğu etkileyen en önemli kriter, global ve yaygın yatay radyasyondur. Güneş enerjisi teknolojilerinin türüne göre değişen bu kriterin uygunluk değerleri global ve yaygın yatay radyasyon olmak üzere iki farklı parametreyle açıklanmaktadır [148]. İnceleme alanında ortalama global yatay radyasyon $1673.60 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve yaygın yatay radyasyon ise $1759.75 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ değerlerindedir (Şekil 4; 5). Buna göre inceleme alanındaki güneş radyasyonu değerlerinin uygunluk sınıflarının sırasıyla yüksek derece uygun ve uygun olduğu anlaşılmıştır.

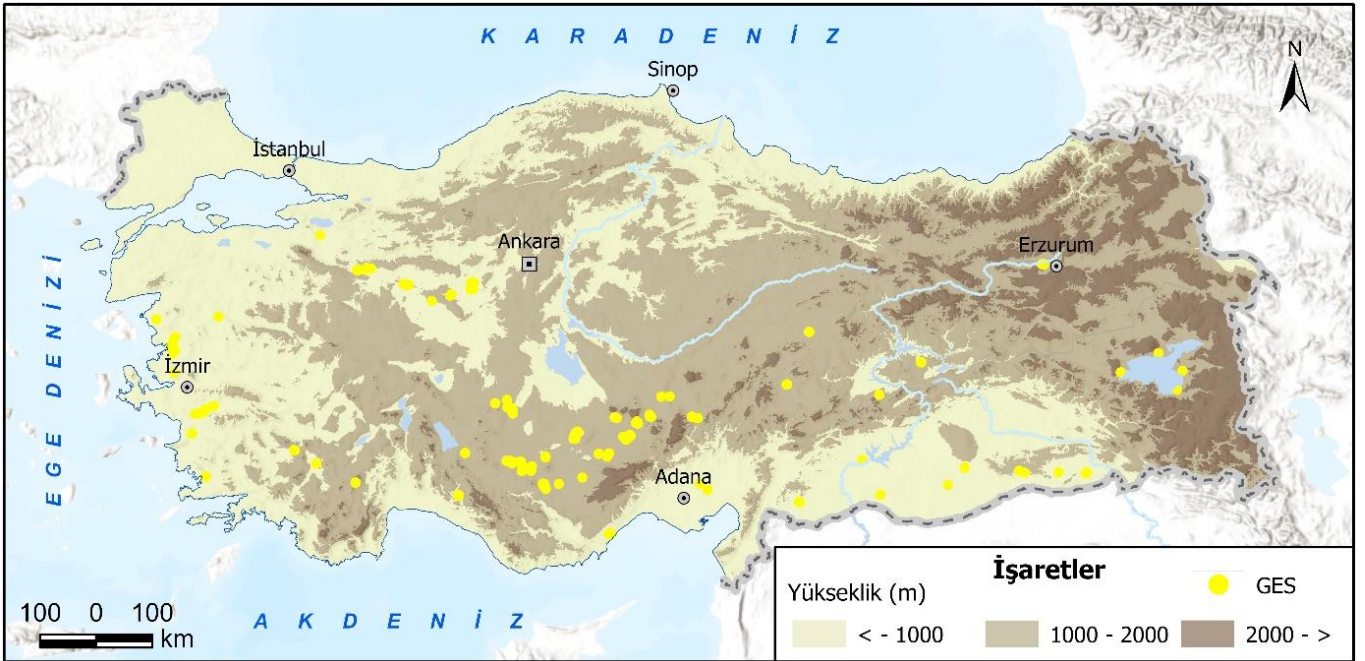
Yükseklik, alınan güneş enerjisi miktarını etkilediği için GESYS uygunluğunu arttıran en önemli topografik faktördür. Yükseklik artışına bağlı olarak m^2 'ye ulaşan güneş enerjisi miktarı her 1000 m’de %9-11 daha fazladır [171]. Bu sebeple yüksek bölgeler, çok miktarda enerji aldıkları için düşük rakımlı bölgelere göre daha fazla güneş radyasyonu potansiyeline sahiptir [172]. İnceleme alanında GESYS için en uygun yükseklik, 2000 m üzerindeki irtifa aralığıdır (Şekil 6).



Şekil 4. İnceleme alanının global yatay radyasyon haritası



Şekil 5. İnceleme alanının yaygın yatay radyasyon haritası



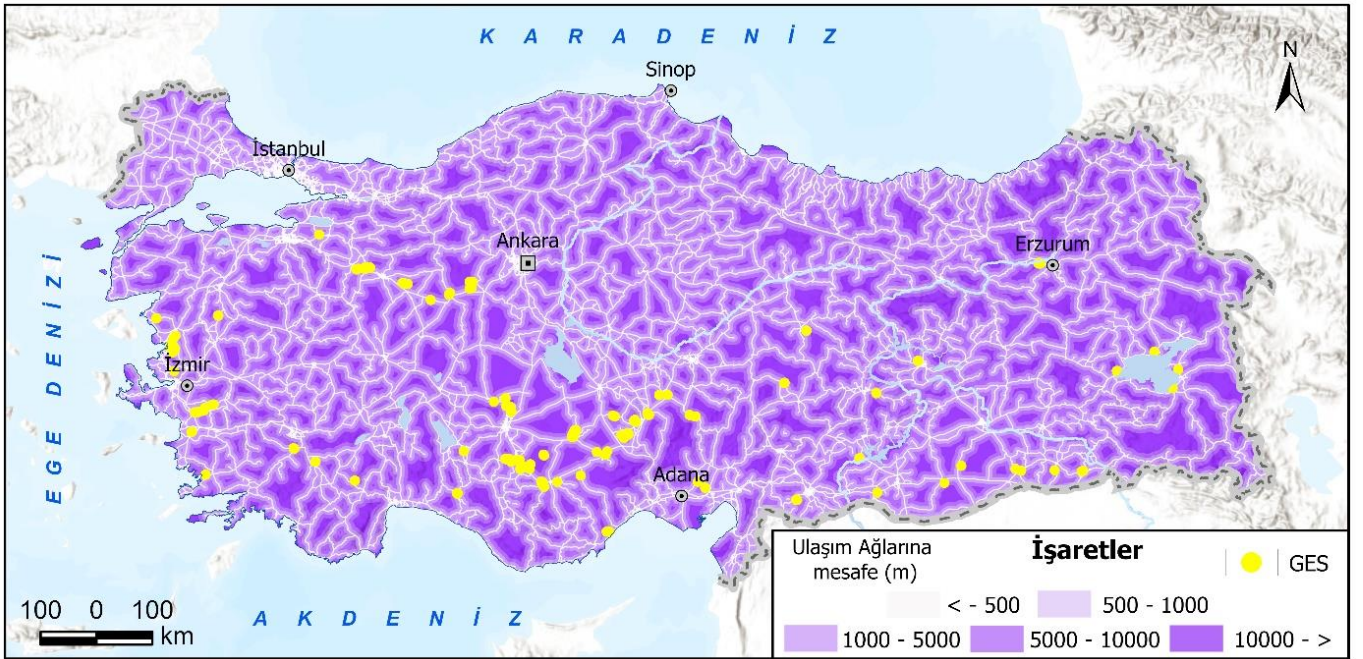
Şekil 6. İnceleme alanının yükseklik haritası

Enerji nakil hatlarına mesafe, GESYS için hem sermaye maliyetinin düşmesine hem de iletimdeki güç kaybının azalmasına katkı sunmaktadır [131]. Ayrıca enerji nakil hatlarına mesafe, güvenlik, şebeke emniyeti ve ekipman kurulumu ve olası onarımlara hızlı erişilebilirlik açısından GESYS için uygunluğu etkilemektedir [172]. Dolayısıyla GESYS için enerji nakil hatlarına mesafenin az olması önemli bir ekonomik avantajdır [168]. İnceleme alanındaki mevcut GESYS için uygunluk, enerji nakil hatlarına mesafenin artışına bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 7).

Ulaşım ağlarına mesafe, uygun erişim koşullarının sağlanması yol inşaatı için ekstra maliyetten ve çevresel hasardan kaçınılması için etkili bir faktördür [159]. Aynı zamanda GESYS için ulaşım ağlarına mesafenin uygunluğu inşaat ve bakım için çok önemlidir [173]. Bu nedenle, GESYS ulaşım ağlarına en az 500 m [174] en fazla ise 50 km bir mesafe dikkate alınarak planlanmalıdır [175]. İnceleme alanındaki mevcut GESYS için uygunluk, ulaşım ağlarına mesafenin artışına bağlı olarak azalma göstermektedir (Şekil 8).



Şekil 7. İnceleme alanının enerji nakil hatlarına mesafe haritası

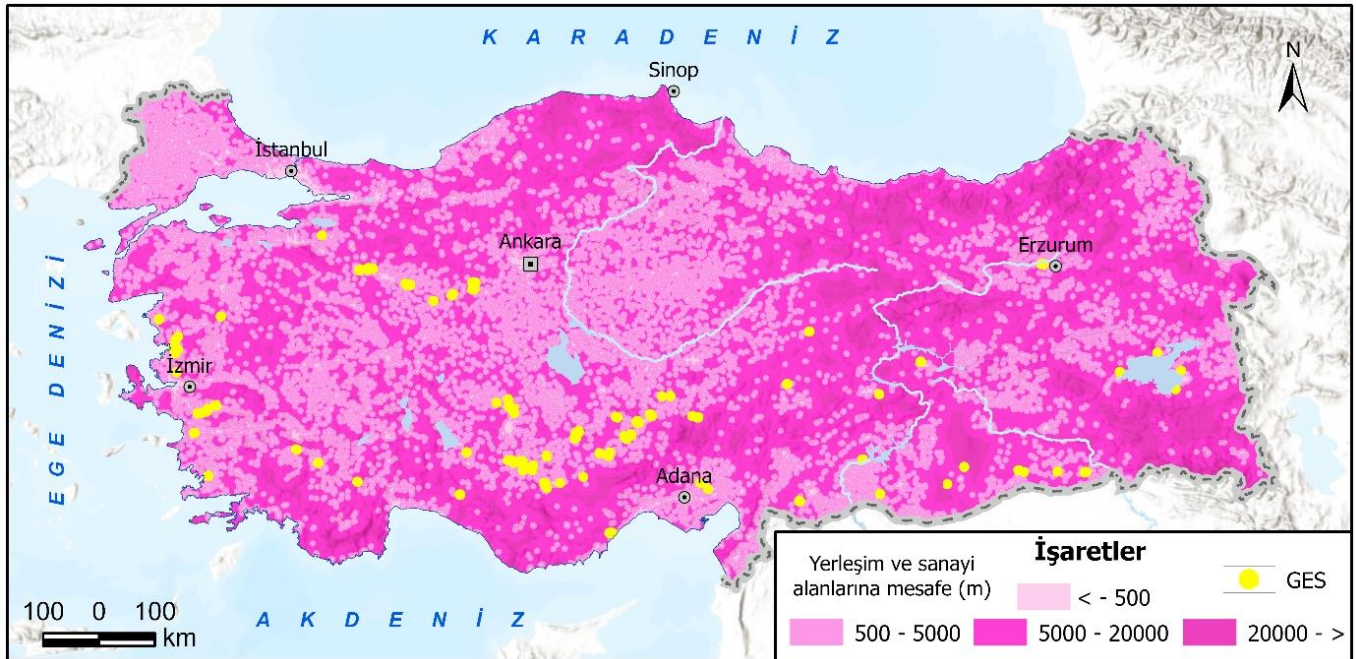


Şekil 8. İnceleme alanının ulaşım ağlarına mesafe haritası

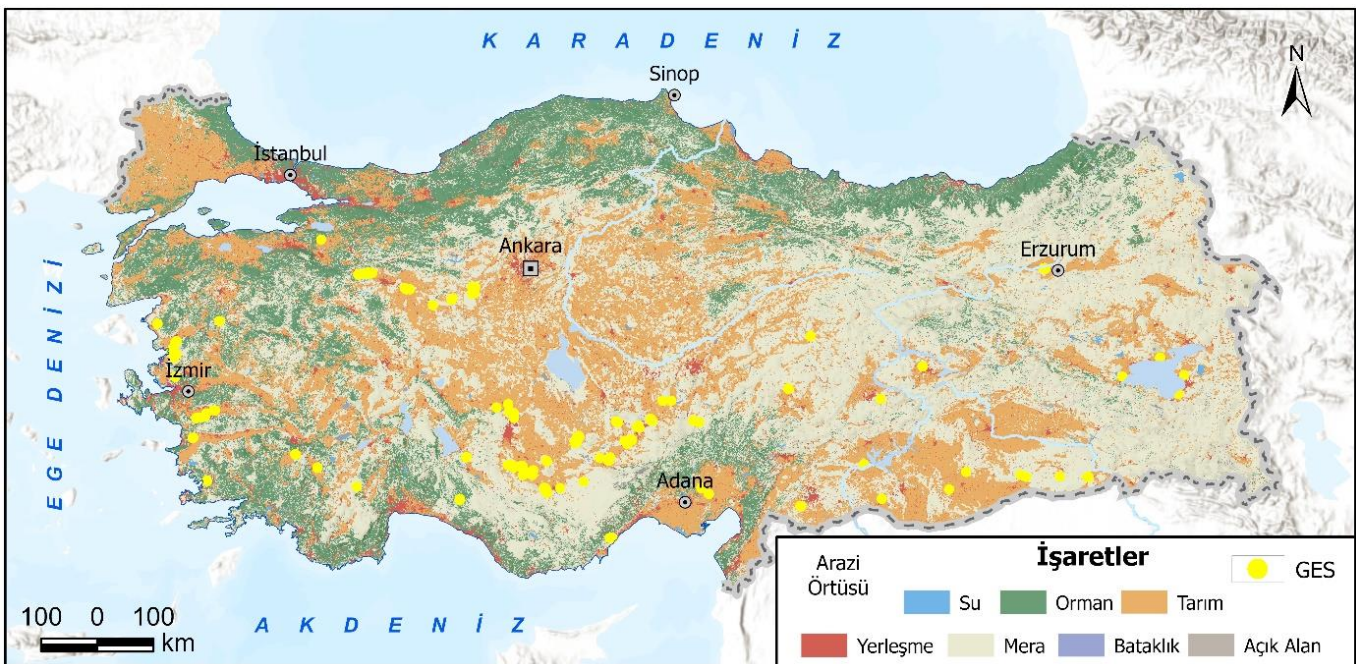
Yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe, GESYS için önemli parametrelerden biridir. Yerleşim ve sanayi alanlarına yakın mesafede GES kurulumunun yerleşim ve nüfus gelişimi üzerinde olumsuz çevresel etkilere sebep olduğu bildirilmiştir [131]. Bu nedenle, GESYS yerleşim ve sanayi alanlarına en az 500 m'den daha fazla bir mesafede yapılmalıdır. Buna karşın yerleşim ve sanayi alanlarına 45 km'den daha uzak mesafeler ise GESYS için uygun değildir [175]. İnceleme alanında yerleşim ve sanayi alanlarına 500 m'den az mesafede 9 GES bulunmaktadır (Şekil 9). Ayrıca inceleme alanında

yerleşim ve sanayi alanlarına en fazla 20 km mesafede GES kurulmuştur (Şekil 9). Dolayısıyla inceleme alanında GESYS genellikle 500 m ile 20 km arasında yapılmıştır.

Arazi örtüsü, GESYS uygunluğunu kontrol eden önemli bir çevresel faktördür [41]. Zira arazi örtüsünün engel oluşturabileceği alanlar gölgelemeyi arttırmakta ve GES verimliliğini düşürmektedir [176]. Bu sebeple GESYS için orman, yerleşme ve tarım alanları ile su yüzeyleri uygunsuz, açık alan ve meralar ise uygun kabul edilmiştir [177], (Şekil 10).



Şekil 9. İnceleme alanının yerleşim ve sanayi alanlarına mesafe haritası



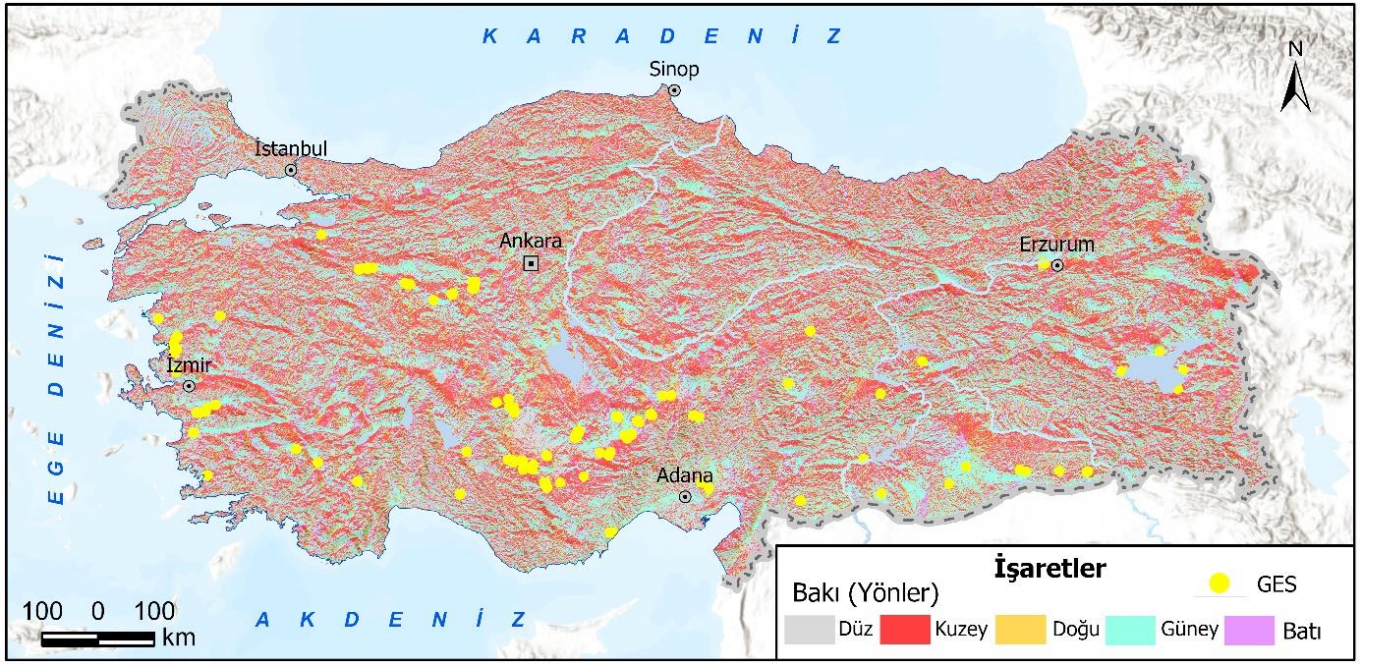
Şekil 10. İnceleme alanının arazi örtüsü haritası

Bakı, zeminin güneş ışığı alma süresini ve açısını etkilediği için GESYS performansını arttıran bir başka topografik faktördür [57]. Kuzey Yarım kürede güneye bakan yamaçlar daha fazla güneş radyasyonuna maruz kalmaktadır. Dolayısıyla inceleme alanında GESYS için en uygun yön, güneydir (Şekil 11).

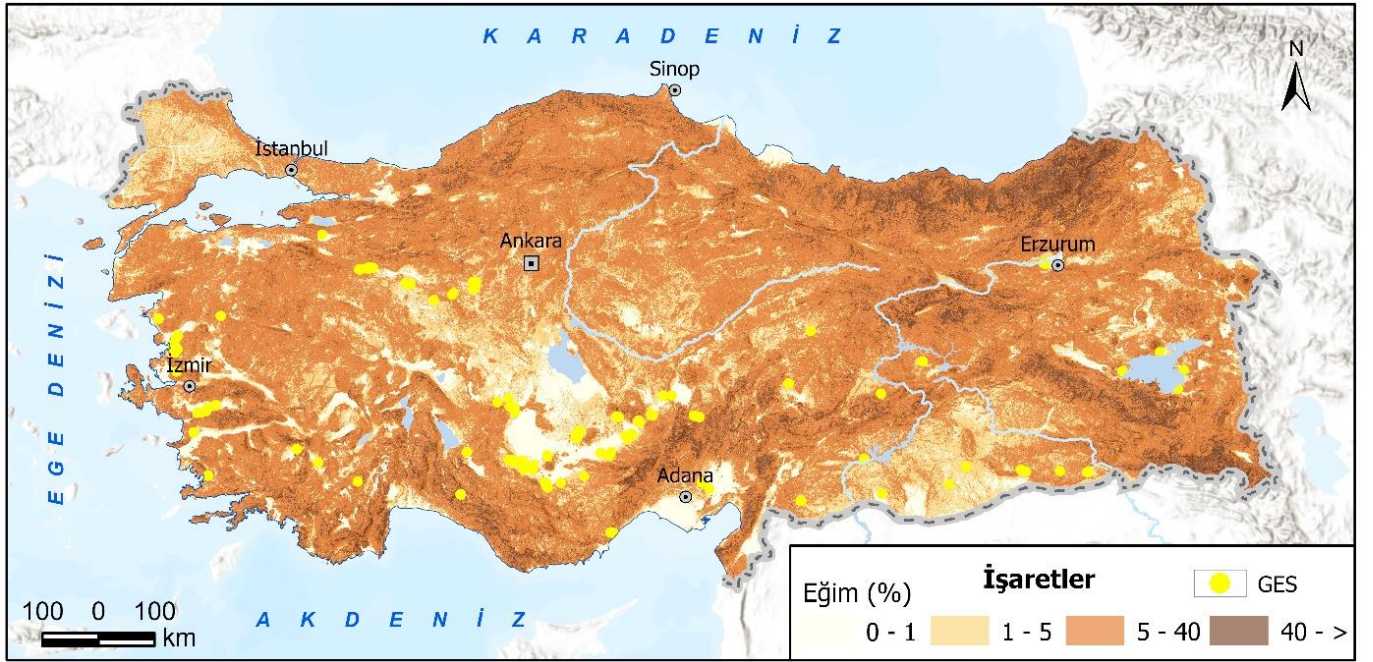
Eğim, GESYS için verimliliği etkilemesi bakımından belirleyici bir rol oynamaktadır. Eğimin az olduğu tam düzlük (%0-1) alanlarda çeşitli türden drenaj problemleri yaşanırken, eğimin fazla olduğu sahalarda maliyet artışı ile erozyon ve statik problemleri ortaya çıkmaktadır [170]. Ayrıca eğim artışı güneş panellerinin birbirini gölgelemesine de sebep olmaktadır [41]. GESYS için uygunluk analizinde en ekonomik eğim değerleri %1-3 arasındadır (Şekil 12). Ancak alternatif alan

bulunamaması durumunda maksimum %5 eğime kadar yer seçiminin yapılabilceği de belirtilmiştir [176]. Bu bakımdan inceleme alanında %1-5 arasındaki eğim sınıfları en uygun alanlara karşılık gelmektedir (Şekil 12).

Çalışma sonucunda elde edilen uygunluk haritasına göre inceleme alanının çok büyük bir kısmının GESYS için orta (%52.75) uygun bir düzeyde olduğu anlaşılmıştır (Tablo 5). Zaten inceleme alanındaki mevcut RES tesislerinin Buna karşın inceleme alanının oldukça küçük bir kısmının ise GESYS için uygunsuz (%10.81) olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Ayrıca inceleme alanında CBS tabanlı uygunluk analizi yapılırken hariç tutulan alanların ise %2.52'lik bir alan kapladığı saptanmıştır (Tablo 5).



Şekil 11. İnceleme alanının bakı haritası

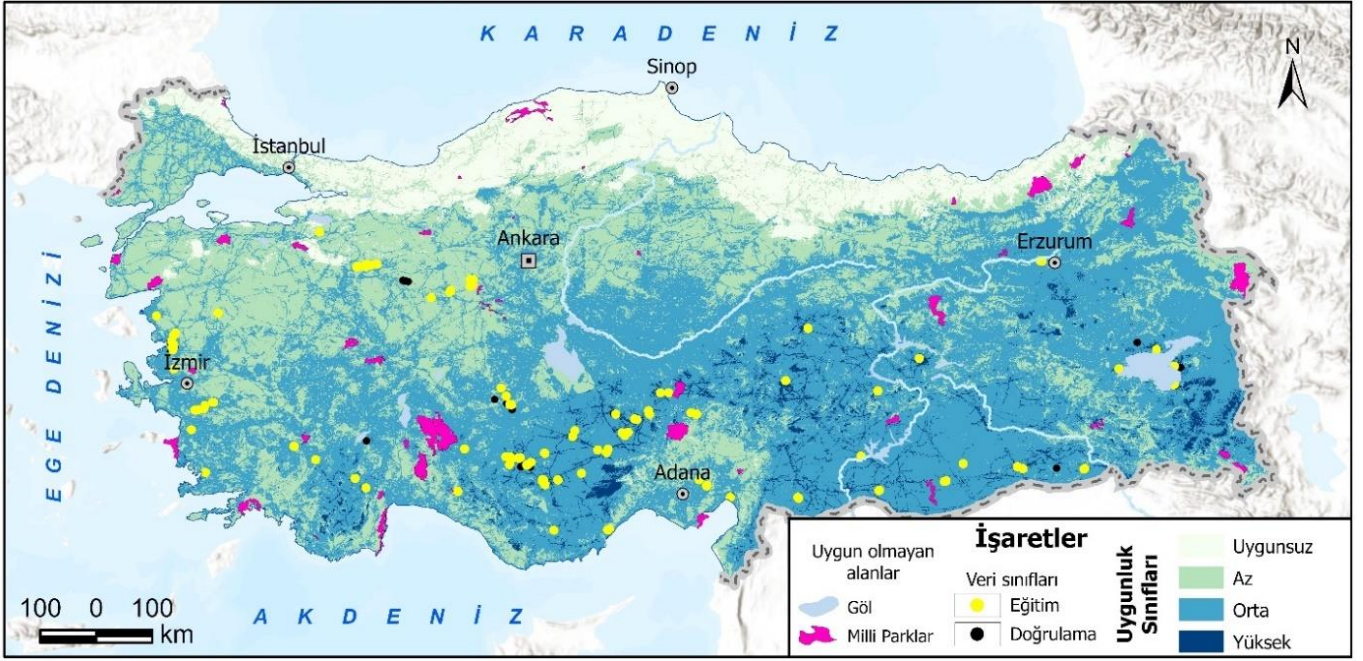


Şekil 12. İnceleme alanının eğim haritası

Tablo 5. İnceleme alanındaki uygunluk sınıflarının dağılışı

Sınıf	Oran (%)	Mevcut GES	
		Sayı (Adet)	Oran (%)
Hariç Tutulan Alanlar	2.52	-	-
Uygunsuz	10.81	-	-
Az	31.17	31	11.48
Orta	52.75	202	74.81
Yüksek	2.76	37	13.71

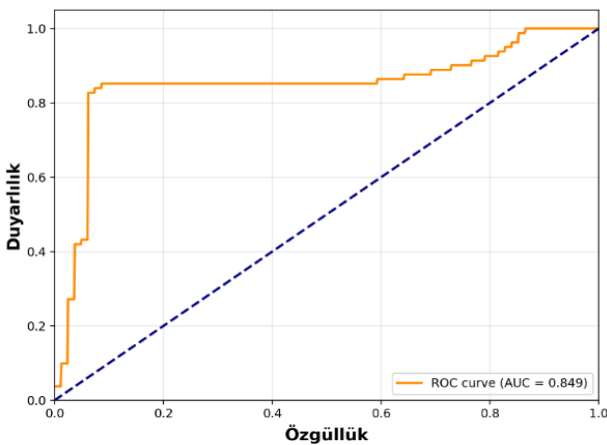
Çalışma sonucunda elde edilen uygunluk haritasına göre inceleme alanının çok büyük bir kısmının GESYS için orta (%52.75) uygun bir düzeyde olduğu anlaşılmıştır (Tablo 5). Zaten inceleme alanındaki mevcut RES tesislerinin yaklaşık 3/4'ünün (%74.81) orta uygunluk sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın inceleme alanının oldukça küçük bir kısmının ise GESYS için uygunsuz (%10.81) olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Ayrıca inceleme alanında CBS tabanlı uygunluk analizi yapılırken hariç tutulan alanların ise %2.52'lik bir alan kapladığı saptanmıştır (Tablo 5).



Şekil 13. İnceleme alanının GESYS için uygunluk haritası

İnceleme alanında güneş radyasyonunun fazla ve yüksekliği 2000 m üzerinde güneye bakan yamaçlardaki düzlüklerin GESYS için uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13). Aynı zamanda yerleşim ve sanayi alanlarına en az 500 m'den daha fazla bir mesafede olan bu sahaların, enerji nakil hatlarına ve ulaşım ağlarına yakın mesafedeki açık alanlara ve meralara karşılık geldiği anlaşılmıştır (Şekil 13).

Çalışma modelinin performansı ROC eğrisi yöntemiyle değerlendirilmiştir (Şekil 13). Zira ROC eğrisi genellikle duyarlılık modellerinin genel performansını temsil eden nicel bir ölçüdür [130]. Bu ölçütün başarısı, ROC eğrisinin AUC (Area Under the Curve) değerinin 1'e yaklaşması nispetinde artmaktadır [169].



Şekil 14. Çalışma modeli için elde edilen ROC eğrisi

ROC eğrisi sonuçlarına göre çalışma modelinin AUC değeri 0.849 olarak tespit edilmiştir (Şekil 14). Buna göre modelin sınıflandırma performansının "çok iyi" seviyede olduğu anlaşılmaktadır [177]. Bu değer, rastgele tahmin (0.5) ile mükemmel sınıflandırma (1.0) arasında, pozitif yönde bir performansa işaret etmektedir. İstatistiksel olarak 0.849 değeri, modelin rastgele seçilen pozitif bir

örneği, rastgele seçilen negatif bir örnekten ayırt etme olasılığının %84.9 olduğunu gösterir (Şekil 14). Diğer bir deyişle, model doğru sınıflandırmayı yaklaşık %85 oranında başarıyla gerçekleştirmektedir (Şekil 14).

ROC eğrisinden Youden's J istatistiği kullanılarak belirlenen optimal eşik değerine göre duyarlılık 0.827, özgüllük 0.062, kesinlik 0.469 ve F1 skoru ise 0.598 olarak tespit edilmiştir (Tablo 6). Buna göre çalışma modeli pozitif örneklerin %82.7'sini ve negatif örneklerin ise %6.2'sini doğru sınıflandırmaktadır (Tablo 6). Ayrıca çalışma modelinin pozitif tahminlerin %46.9'u gerçekten pozitifdir (Tablo 6). Dolayısıyla mevcut sonuçlar, modelimizin yüksek duyarlılık (high recall) için optimize edildiğini göstermektedir. Bu durum, GESYS gibi kritik uygulamalarda yanlış negatif maliyetinin yüksek olduğu senaryolar için uygundur. Ancak, düşük özgüllük değeri, modelin iyileştirme potansiyeli olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 6. ROC eğrisinden belirlenen optimal eşik değerleri

Metrik	Değer
AUC (ROC Eğrisi Altındaki Alan)	0.849
Duyarlılık (Sensitivity / Recall)	0.827
Özgüllük (Specificity)	0.062
Kesinlik (Precision)	0.469
F1-Skoru (F1 Score)	0.598

4. Tartışma

Güneş enerjisi, iklim değişikliğini hafifletme ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma acil ihtiyacının yönlendirdiği sürdürülebilir enerji sistemlerine doğru küresel geçişte kritik bir rol oynar [178-179]. Zira temiz ve yenilenebilir bir kaynak olarak değerlendirilen güneş enerjisi, iklim değişikliğiyle mücadele ve güvenilir bir enerji sağlama konusunda önemli katkılar sunmaktadır

[180]. Türkiye'nin Ulusal Enerji Planına göre enerji talebinin 2030 yılında iki katına çıkacağı ve enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artacağı tahmin edilmektedir [181]. Tüm yenilenebilir enerji santralleri içinde en çok istihdam yaratacak enerji türlerinden birisinin ise güneş enerjisi olacağı öngörülmektedir [182].

Güneş enerjisinden yüksek verimlilik sağlanması, GESYS için uygun yerlerin belirlenmesine bağlıdır [183]. Bunun için en uygun araç CBS teknikleridir. Zira CBS, coğrafi verileri bir karar destek sistemi olarak kullanmada başlıca rol oynayan ve mekânsal kriterlere göre çalışan güçlü bir araçtır [160]. Bu sebeple CBS tekniklerinin yer seçimi çalışmalarına entegrasyonu, çeşitli kriterlerin farklı yöntemlerle kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), güneş enerjisi kaynaklarının dağılımını değerlendirmek için önemli bir referanstır [184]. GEPA, 500 m x 500 m çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli (DEM), eğim, bakı, gökyüzü açıklığı, yüzey yansıtma katsayısı gibi parametreler kullanılarak ve ESRI Solar Radyasyon Modeli aracılığıyla üretilmiş; 1985–2006 yılları arasında ölçülmüş 22 yıllık meteorolojik verilerle kalibre edilmiştir [185]. GEPA, güneş radyasyonunun yön, zaman ve mekâna bağlı değişimini gösteren tematik haritalar sunmakla birlikte, GES yatırımları açısından genel potansiyele dair önemli bir çerçeve çizmektedir. Ancak GEPA, doğrudan yer seçimi analizine değil, potansiyel dağılıma odaklıdır. Bu sebeple Türkiye'nin ülke sınırları kapsamında, CBS tabanlı çok kriterli karar verme yöntemleriyle desteklenmiş kapsamlı bir GESYS analizi henüz yapılmış değildir. Yapılmış çalışmalar genellikle il, bölge veya havza ölçeğinde sınırlı kalmıştır [61, 65, 144, 186]. Dolayısıyla bu çalışma, GEPA gibi mevcut veri setlerini dikkate alarak ancak daha ileri düzeyde mekânsal analizler ve karar destek süreçleriyle GESYS için ülke ölçeğinde uygunluk analizi gerçekleştiren öncül bir araştırma olma niteliği taşımaktadır.

CBS tabanlı yer seçimi uygunluk analizlerinde çözünürlük seçimi kritik bir öneme sahiptir. Zira CBS tabanlı yer seçimi uygunluk analizinin daha geniş bir alanda uygulanması bakımından hem merkezi hükümet politikaları hem de yerel planlama ile ilgili kriterleri aynı anda ele almak ve optimize edilmiş hesaplamaları yapmak için verilerin mekânsal çözünürlüğünü (piksel boyutunu) arttırmak önemlidir [187]. Bu çalışmanın temel sınırlaması, CBS tabanlı yer seçimi uygunluk analizinin 250 m veri çözünürlüğünde yapılmış olmasıdır. Analizde kullanılan verilerin standart bir ölçüde olması için tercih edilmiş olan bu çözünürlük, detaylı verilerle daha hassas hale getirilebilir. CBS tabanlı yer seçimi uygunluk analizleri kullanılarak farklı raster çözünürlükleri için yapılmış performans analizi sonuçlarına göre 250 m çözünürlüğe kadar uygunluk dağılımının daha hassas çözünürlüklü verilerle benzerlik gösterdiği bildirilmiştir [85]. Her ne kadar ilgili literatürde 250 m çözünürlüğün yeterli olduğunu bildirilse de bu bulgu farklı coğrafi koşullarda test edilmelidir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde GESYS için yapılmış veri hassasiyet analizleri, düz ve homojen

arazilerde 250 m çözünürlüğün makro-ölçekli planlama için yeterli olduğunu, ancak karmaşık topografyaya sahip bölgelerde daha yüksek çözünürlüğün (%15-20 iyileşme potansiyeli) faydalı olabileceğini göstermiştir [67, 188]. Hesaplama maliyeti ve veri erişilebilirliği kısıtları göz önüne alındığında, ulusal ölçekli bu çalışma için 250 m çözünürlük optimal denge noktası olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada sunulan CBS tabanlı BWM ve RF yöntemlerine dayalı hibrit yaklaşım, yöntem sınırlamalarının üstesinden gelmek için önerilmiştir. Böylece BWM ve RF yöntemlerinin CBS'ye entegrasyonunun tutarlı ve etkili olduğu görülmüştür [189]. Önerilen CBS tabanlı BWM ve RF entegrasyonu ile kaynak sınırlaması, enerji planlaması, yatırım ve karar alma zorluklarının hafifletilmesi amaçlanmıştır. Böylece diğer ÇKKV yöntemlere göre daha avantajlı bir üstünlük sağlanmıştır. Messaoudi ve ark. [168] CBS ile bütünlük hibrit yöntemlerin GESYS analizlerinin gerçekleştirilmesinde güçlü bir araç olduğunu açıklamışlardır. Hashemizadeh ve ark. [160] GESYS çalışmalarında farklı yöntemlerin CBS yaklaşımıyla birleştirmenin doğru kararlar almak veya teknik ve ekonomik bakımdan daha uygun alanların belirlenmesi için güçlü bir avantaj olduğunu ileri sürmüşlerdir. Alhammad ve ark. [112] CBS tabanlı hibrit yaklaşımların güvenilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacağını ve gelecekteki araştırmalara pratik açıdan zaman kazandıracağını vurgulamışlardır. Yıldız ve Er [190] CBS destekli hibrit yaklaşımların en uygun yöntemin uygulamasına imkân sağlayarak ve optimum sonuca yaklaştırarak ele alınan probleme bütüncül bir bakış kazandırdığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada yapılan uygunluk analizine göre mevcut GES'lerin %82.7'si geliştirilen model tarafından "uygun" olarak sınıflandırılan alanlarda konumlanmıştır. Bu yüksek örtüşme oranı, çalışma modelinin gerçek saha koşullarını başarıyla yansıttığını göstermektedir. Modelin örtüşmeyen %17.3'lük kısmı ise GESYS için uygunluk analizinde sadece teknik kriterlerin değil, kompleks sosyo-ekonomik dinamiklerin de etkili olduğunu yansıtmaktadır. Bu bulgular, gelecek çalışmalarda daha kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi geliştirilmesi gerektiğine de işaret etmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen uygunluk modeli farklı alanlarda gerçekleştirilen yer seçimi çalışmaları için etkili bir şekilde kullanılabilir. Model çıktıları büyük ölçekli planlama, geliştirme ve dayanıklı ve sürdürülebilir uygulamaların karar alma süreçlerine rehberlik etmek ve yardımcı olmak için kullanılabilir. Karimi Firozjaei ve ark. [191] GESYS için uygun yerlerin belirlenmesine yönelik geliştirilmiş CBS tabanlı model sonuçlarının bölgesel yetkililer tarafından kullanılacağını ve uygunsuz coğrafi konumlarda gelecekteki GES kurulumlarından kaynaklanan kayıpları azaltılmasında yardımcı olacağını ileri sürmüşlerdir.

5. Sonuçlar

Güneş enerjisi, kurulu güç kapasitesi açısından küresel ölçekte önde gelen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu doğal kaynaktan yüksek verimlilik sağlanması, GESYS için potansiyel alanların belirlenmesine bağlıdır. Bunun için en uygun araç CBS

teknikleridir. Bu çalışmada Türkiye’de ülke sınırları düzeyinde GESYS için uygunluk analizi yapılmıştır. CBS tabanlı BWM ve RF yöntemlerine dayalı hibrit bir yaklaşımla gerçekleştirilen bu analiz, 250 m veri çözünürlüğünde modellenmiştir.

Çalışma sonuçları inceleme alanının çok büyük bir kısmının GESYS için orta (%52.75), çok küçük bir kısmının ise uygunsuz (%10.81) olduğunu göstermiştir. GESYS için güneş radyasyonunun fazla ve yüksekliği 2000 m üzerindeki güneşe bakan yamaçlardaki düzlüklerin daha uygun olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda yerleşim ve sanayi alanlarına en az 500 m’den daha fazla bir mesafede olan bu sahaların, enerji nakil hatlarına ve ulaşım ağlarına yakın mesafedeki açık alan ve meralara karşılık geldiği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen modelin doğruluğunun yaklaşık %85 oranında ve “çok iyi” bir seviyede olduğu anlaşılmıştır.

Bu çalışma Türkiye’de GESYS için uygun yerlerin belirlenmesi ve diğer alternatif enerji kaynaklarının yer seçimine yönelik benzer çalışmaların yapılmasını teşvik etmesi bakımından önemlidir. Çalışma sonuçlarıyla Türkiye’nin yüksek güneş radyasyonu seviyeleri ve coğrafi avantajları nedeniyle güneş enerjisi için elverişli koşullara sahip olduğunu CBS tabanlı BWM ve RF yöntemlerine dayalı hibrit bir yaklaşım modeliyle bir kez daha vurgulanmıştır. Bu sonuçlar GESYS için uygun yerlerin belirlenmesine yönelik CBS tabanlı çeşitli yöntemlerinin kullanıldığı önceki araştırmaların sonuçlarıyla uyumludur.

Bu çalışmada geliştirilen modelin gelecek çalışmalarda 250 m çözünürlükten daha yüksek çözünürlüklerde (örneğin 30 m veya 10 m) test edilmesi ve farklı makine öğrenmesi algoritmalarının (örneğin XGBoost, Deep Learning) karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerini dikkate alan dinamik modellerin geliştirilmesi, sosyo-ekonomik faktörlerin (arazi maliyetleri, teşvik politikaları, yerel kabul) entegre edildiği çok kriterli karar verme sistemlerinin oluşturulması ve gerçek zamanlı uydu verileriyle model güncellemelerinin yapılması, GESYS analizlerinin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artıracaktır. Bunun yanı sıra, geliştirilen metodolojinin rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yer seçimi analizlerine adaptasyonu, Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyelinin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Makaleye çok kıymetli yorum ve öneriyle katkı veren hakemlere ve değerli editöre teşekkür ederim. Ayrıca makaleyi okuma ve değerlendirme zahmetinde bulunan yüksek lisans öğrencilerime de ayrı ayrı çok teşekkür ederim.

Araştırmacıların katkı oranı

Emre Özşahin: Literatür taraması, Modelleme, Makale yazımı, Harita çizimi, Düzenleme, Son kontrol.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

1. Wu, Y., Zhang, B., Wu, C., Zhang, T., & Liu, F. (2019). Optimal site selection for parabolic trough concentrating solar power plant using extended PROMETHEE method: A case in China. *Renewable Energy*, 143, 1910-1927. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.131>
2. Belgasim, B., Aldali, Y., Abdunnabi, M.J.R., Hashem, G., & Hossin, K. (2018). The potential of concentrating solar power (CSP) for electricity generation in Libya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.045>
3. Norberto, C., Gonzalez-Brambila, C.N., & Matsumoto, Y. (2016). Systematic analysis of factors affecting solar PV deployment. *Journal of Energy Storage*, 6, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.est.2016.04.003>
4. Purohit, I., & Purohit, P. (2017). Technical and economic potential of concentrating solar thermal power generation in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 648-667. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.059>
5. Gherboudj, I., & Ghedira, H. (2016). Assessment of solar energy potential over the United Arab Emirates using remote sensing and weather forecast data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1210-1224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.099>
6. Fidan, M. (2023). Investigation of Energy Generation Potential of Solar Panels Placed as Shutters for Windows in Residential. *Electric Power Components and Systems*, 51(20), 2573-2587. <https://doi.org/10.1080/15325008.2023.2246961>
7. Gayen, D., Chatterjee, R., & Roy, S. (2024). A review on environmental impacts of renewable energy for sustainable development. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 21, 5285-5310. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05380-z>
8. Hasanzaeh, M., Valizadeh Kamran, K., Feizizadeh, B., & Hassanzadeh Mollabashi, S. (2024). GIS based spatial decision-making approach for solar energy site selection, Ardabil, Iran. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(1), 115-130. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1341451>
9. Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000064
10. Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1112274>
11. Matpay, B. (2024). Coğrafi bakımdan güneş enerji santrali (GES) için uygun yerlerin belirlenmesi: Van ili örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, 85, 7-19. <https://doi.org/10.17211/tcd.1442528>

12. Sun, J., Liu, O., & Hong, H. (2015). Numerical study of parabolic-trough direct steam generation loop in recirculation mode: Characteristics, performance and general operation strategy. *Energy Conversion and Management*, 96, 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.080>
13. Fouad, M.M., Shihata, L.A., & Morgan, E.S.I. (2017). An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1499-1511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.141>
14. He, G., Lin, J., Sifuentes, F., Liu, X., Abhyankar, N., & Phadke, A. (2020). Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China's power system. *Nature Communications*, 11, 2486. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16184-x>
15. Roy, S., Han, G.S., Shin, H., Lee, J.W., Mun, J., Shin, H., & Jung, H.S. (2015). Low temperature synthesis of rutile TiO₂ nanocrystals and their photovoltaic and photocatalytic properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15(6), 4516-4521. <https://doi.org/10.1166/jnn.2015.9778>
16. Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
17. Doumit, J. (2024). Estimating the efficacy of solar photovoltaic panels in Lebanon using a digital surface model: A geospatial approach. *Mersin Photogrammetry Journal*, 6(1), 22-31. <https://doi.org/10.53093/mephoj.1401603>
18. Weinstein, L.A., Loomis, J., Bhatia, B., Bierman, D.M., Wang, E.N., & Chen, G. (2015). Concentrating solar power. *Chemical Reviews*, 115, 12797-12838. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00397>
19. Bocca, A., Chiavazzo, E., Macii, A., & Asinari, P. (2015). Solar energy potential assessment: an overview and a fast modeling approach with application to Italy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.138>
20. Ayçin, E., & Arsu, T. (2019). CODAS ve Entropi Yöntemleri ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Düzey 1 Bölgelerine Göre İncelenmesi. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(18), 425-447. <https://doi.org/10.33692/avasyad.595695>
21. Saygin, D., Tör, O.B., Cebeci, M.E., Teimourzadeh, S., & Godron, P. (2021). Increasing Turkey's power system flexibility for grid integration of 50% renewable energy share. *Energy Strategy Reviews*, 34, 100625. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100625>
22. Taktak, F., & İl M. (2018). Güneş enerjisi santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. *Geomatik*, 3(1), 1-21. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/376141>
23. Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1099827>
24. REN21. (2023). Renewables 2023 Global Status Report Collection, Renewables in Energy Demand. <https://www.ren21.net/gsr-2023/>
25. Mehrian, M.R., Qelichi, M.M. & Tahouri, H. (2025). Solar power plant site selection using fuzzy inference system: a case study in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22, 3617-3640. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06047-z>
26. PwC. (2024). Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Sektörü. PwC Türkiye. <https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji/yayinlar/2024/pdf/dunyada-ve-turkiyede-gunes-enerjisi-sektoru.pdf>
27. İnanç, S. (2025). Türkiye'nin Kurulu Gücü Ne Kadar? (Haziran-2025). Accessed date: 10 Temmuz 2025
28. Bıçakçı, E., Balabanlı, C., & Acar, E. (2023). Tarım ve Mera Alanlarında Rüzgâr ve Güneş Enerji Sistemleri Kurulması Hakkında Değerlendirmeler. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 700-712. <https://doi.org/10.21597/jist.1180929>
29. Kuru, A. (2023). Solar power plant site selection modeling for sensitive ecosystems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25, 2529-2544. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02572-6>
30. Najjari, V., & Mirzapour, A. (2020). Investigating of the Best Location of Solar Plants in Turkey by Different Multiple Decision Methods. *Politeknik Dergisi*, 23(4), 1363-1369. <https://doi.org/10.2339/politeknik.605026>
31. Güner, E.D., Tekin, S., Çilek, M., & Çilek, A. (2021). Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(1), 11-24. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.933209>
32. Spyridonidou, S., & Vagiona, G. (2023). A systematic review of site-selection procedures of PV and CSP technologies. *Energy Reports*, 9, 2947-2979. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.01.132>
33. Sindhu, S., Nehra, V., & Luthra, S. (2017). Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496-511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.135>
34. Güçlüer, D. (2010). Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS-çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi (Tez No. 296834) [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
35. Eroğlu, H. (2018). Güneş enerji santralleri için uygunluk haritasının elde edilmesi: bir uygulama. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4), 97-106. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/594219>
36. Kum, G., & Sönmez, M.E., & Karabaş, M. (2019). Gaziantep ilinde güneş enerjisi potansiyelinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi (AHP) ile belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (39), 6172. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0031>
37. Koc, A., Turk, S., & Şahin, G. (2019). Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Iğdir Province/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 32298-32310. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06260-1>

38. Tunc, A., Tuncay, G., Alacakanat, Z., & Sevimli, F.S. (2019). GIS based Solar Power Plants Site Selecton Usng Analytc Herarchy Process (AHP) in Istanbul, Turkey. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W13, 2019 ISPRS Geospatial Week 2019, 10-14 June 2019, Enschede, The Netherlands. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1353-2019>
39. Yalçın, C., & Yüce, M. (2020). Burdur'da güneş enerjisi santrali (GES) yatırımına uygun alanların CBS yöntemiyle tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36-46. <https://doi.org/10.29128/geomatik.56192>
40. Oral, M. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve PV Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği. *International Journal of Geography and Geography Education*, 42, 482-503. <https://doi.org/10.32003/igge.743513>
41. Arca, D., & Keskin Çıtıroğlu, H. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1), 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
42. Colak, H.E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable Energy*, 149, 565-576. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.078>
43. Bilhan, A., & Emikönel, S. (2021). Nevşehir ili güneş enerji potansiyelinin analizi ve kurulu güneş enerji santralleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 289-294. <https://doi.org/10.31590/ejosat.900024>
44. Soydan, O. (2021). Solar power plants site selection for sustainable ecological development in Nigde, Turkey. *SN Applied Sciences*, 3, 41. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04112-z>
45. Türk, S., Koç, A., & Şahin, G. (2021). Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province/Turkey. *Scientific Reports*, 11, 5034. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84257-y>
46. Günen, M.A. (2021a). A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey. *Renewable Energy*, 178, 212-225. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.078>
47. Günen, M.A. (2021b). Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using GIS-based ranking and AHP methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 57232-57247. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14622-x>
48. Genç, M.S., & Karipoğlu, F. (2021). Wind-Solar Site Selection using a GIS-MCDM-based Approach with an Application in Kayseri Province/Turkey, 7th Iran Wind Energy Conference (IWEC2021), Shahrood, Iran, pp. 1-4, 10.1109/IWEC52400.2021.9467003
49. Nacar, F. (2021). Güneş Enerjisi Santrallerinin Arazi Kullanımına Etkisi ve Sonuçları: Osmaniye Örneği. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 24, 98-105. <https://doi.org/10.31590/ejosat.899350>
50. Kırçalı, Ş., & Selim, S. (2021). Site suitability analysis for solar farms using the geographic information system and multi-criteria decision analysis: the case of Antalya, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 1233-1250. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-02018-3>
51. Akinci, H., & Özalp, A.Y. (2022). Optimal site selection for solar photovoltaic power plants using geographical information systems and fuzzy logic approach: a case study in Artvin, Turkey. *Arabian Journal of Geoscience*, 15, 857. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10129-y>
52. Demir, A., Dinçer, A.E., & Yılmaz, K. (2023). A novel method for the site selection of large-scale PV farms by using AHP and GIS: A case study in İzmir, Türkiye. *Solar Energy*, 259, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.05.031>
53. Demir, M. (2023). Kars ilinde güneş enerjisi santrali kurulum potansiyeli taşıyan alanların, CBS analizleri ve AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (46), 93-109. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1168805>
54. Başkaya, Z., & Kaya, S. (2023). Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerjisi Santralleri (Bilecik İli). *The Journal of Academic Social Science*, 140(140), 114-132. <https://doi.org/10.29228/ASOS.69002>
55. Kocabaldır, C., & Yücel, M.A. (2023). GIS-based multicriteria decision analysis for spatial planning of solar photovoltaic power plants in Çanakkale province, Turkey. *Renewable Energy*, 212, 455-467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.075>
56. Bostancı, B., Kaynak, T., & Çapkurt, Z. (2024). Location selection for solar power plants by using support vector machines: Adıyaman province, Turkey. *Renewable Energy*, 229, 120689. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120689>
57. Tanrıkulu, Y.S., & Partigöç, N.S. (2024). Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Yer Seçimi: Denizli İli Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 60, 401-418. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1384299>
58. Yıldız, O.A., Cebi, S., & Yıldız, O. (2025). Multicriteria decision support for sustainable energy planning: an evaluation of alternative scenarios for the solar power plant site selection. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05943>
59. Aydın, N.Y. (2009). GIS-based site selection approach for wind and solar energy systems: A case study from western Turkey (Order No. 31662820). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (3122714949). <https://www.proquest.com/dissertations-theses/gis-based-site-selection-approach-wind-solar/docview/3122714949/se-2>
60. Aydın, N.Y., Kentel, E., & Duzgun, H.S. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy Conversion and Management*, 70, 90-106. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.004>

61. Akçay, M., & Atak, M. (2018). Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in Turkey Using a Hybrid AHP-TOPSIS Method. *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(4), 413-420. <https://doi.org/10.18466/cbayarfb.432432>
62. Uyan, M. (2017a). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/335643>
63. Uzar, M., & Koca, H. (2020). Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için uygunluk haritasının oluşturulmasında klasik ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin analizi: Menemen örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1), 11-28. <https://doi.org/10.9733/JGG.2020R0002.T>
64. Arca, D., Keskin Citiroglu, H., & Yalçinkaya, N.M. (2023). Determining optimal solar power plant (SPP) sites by technical and environmental analysis: the case of Safranbolu, Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 50829-50846. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25879-9>
65. Akkas, O.P., Erten, M.Y., Cam, E., & Inanc, N. (2017). Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey, *International Journal of Photoenergy*, 7452715, 13, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7452715>
66. Tercan, E., Eymen, A., Urfalı, T., & Saracoglu, B.O. (2021). A sustainable framework for spatial planning of photovoltaic solar farms using GIS and multi-criteria assessment approach in Central Anatolia, Turkey. *Land Use Policy*, 102, 105272. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105272>
67. Unel, F. B., Kusak, L., & Yakar, M. (2023). GeoValueIndex map of public property assets generating via Analytic Hierarchy Process and Geographic Information System for Mass Appraisal: GeoValueIndex. *Aestimum*, 82, 51-69.
68. Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>
69. Uyan, M. (2017b). Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayrancı region in Karaman, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19, 2231-2244. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1405-2>
70. Uyan, M., & Dogmus, O.L. (2023). An Integrated GIS-Based ANP Analysis for Selecting Solar Farm Installation Locations: Case Study in Cumra Region, Turkey. *Environmental Modeling & Assessment*, 28, 105-119. <https://doi.org/10.1007/s10666-022-09870-1>
71. Karipoğlu, F., Koca, K., & İlbahar, E. (2024). Convenient Site Selection of a Floating PV Power Plant in Türkiye by using GIS-Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 23193-23210. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32470-3>
72. Caceoğlu, E., Yildiz, H.K., Oğuz, E., Huvaj, N., & Guerrero, J.M. (2022). Offshore wind power plant site selection using Analytical Hierarchy Process for Northwest Turkey. *Ocean Engineering*, 252, 111178. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111178>
73. Karipoğlu, F., Ozturk, S., & Efe, B. (2023). A GIS-based FAHP and FEDAS analysis framework for suitable site selection of a hybrid offshore wind and solar power plant. *Energy for Sustainable Development*, 77, 101349. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101349>
74. Janke, J.R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2228-2234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.014>
75. Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., & Allen, M.F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766-779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>
76. 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, 727-745. <https://doi.org/10.1002/pip.2885>
77. Gürtürk, M. (2019). Economic feasibility of solar power plants based on PV module with levelized cost analysis. *Energy*, 171, 866-878. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.090>
78. Ergene, E.M., Najatishendi, E., Uzar, M., & Balık Şanlı, F. (2022). Determination of Ayancık Stream Basin and its morphometric parameters. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(1), 24-31. <https://doi.org/10.53093/mephoj.1123641>
79. Almasad, A., Pavlak, G., Alquthami, T., & Kumara, S. (2023). Site suitability analysis for implementing solar PV power plants using GIS and fuzzy MCDM based approach. *Solar Energy*, 249, 642-650. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.11.046>
80. Iqbal, A., Nisar, A., & Mahmood, S. (2023). Geospatial assessment of GLOF hazards in Hunza-Nagar, Gilgit-Baltistan, Pakistan. *Advanced Remote Sensing*, 3(2), 47-57. <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/arcej/article/view/963>
81. Makhmudov, R., & Teymurov, M. (2024). Importance of using GIS software in the process of application of Analogue terrains and Counter-approach technologies in water resources assessment. *Advanced Remote Sensing*, 4(1), 36-45. <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/arcej/article/view/1163>
82. Hassaan, M.A., Hassan, A., & Al-Dashti, H. (2020). GIS-based suitability analysis for siting solar power plants in Kuwait. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 453-461. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.11.004>
83. Najatishendi, E., Ergene, E. M., Uzar, M., & Balık Şanlı, F. (2022). Production of flood risk maps: Ayancık Stream Example. *Mersin Photogrammetry Journal*,

- 4(1), 14-23.
<https://doi.org/10.53093/mephoj.1123378>
84. Murenzi Gilbert, K., & Shi, Y. (2024). Using GlobeLand30 data and cellular automata modeling to predict urban expansion and sprawl in Kigali City. *Advanced Remote Sensing*, 4(1), 46-57.
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/arseej/article/view/1354>
85. Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
86. Kwak, Y., Deal, B., & Heavisides, T. (2021). A large scale multi criteria suitability analysis for identifying solar development potential: A decision support approach for the state of Illinois, USA. *Renewable Energy*, 177, 554-567.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.165>
87. Gull, A., Liaqut, A., & Mahmood, S. (2023). Landslide Risk Assessment using Geo-spatial Technique: A study of District Abbottabad, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Advanced Geomatics*, 3(2), 47-55.
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/geomatics/article/view/983>
88. Polat, Z.A., Kirtiloğlu, O.S., & Kayalık, M. (2023). Evolution and future trends in global research on geographic information system (GIS): a bibliometric analysis. *Advanced GIS*, 3(1), 22-30.
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/886>
89. Khan, A., Ali, Y., & Pamucar, D. (2023). Solar PV power plant site selection using a GIS-based non-linear multi-criteria optimization technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 57378-57397.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-26540-1>
90. Dehshiri, S.S.H., & Firoozabadi, B. (2023). A novel four-stage integrated GIS based fuzzy SWARA approach for solar site suitability with hydrogen storage system. *Energy*, 278, 127927.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127927>
91. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
92. Kahraman, C., Cebeci, U., & Ruan, D. (2003). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87(2), 171-184.
93. Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
94. Wang, Y. M., & Triantaphyllou, E. (2008). Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega*, 36(1), 45-63.
95. Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9.
[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
96. Kahraman, C., Ruan, D., & Doğan, I. (2004). Fuzzy group decision-making for facility location selection. *Information Sciences*, 157, 135-153.
97. Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
98. Say, N.P., & Yücel, M. (2016). Assessing environmental impacts of wind energy projects: A review of the methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 129-134.
99. Brans, J.P., & Mareschal, B. (2005). *Promethee Methods*. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. International Series in Operations Research & Management Science, 78. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_5
100. Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198-215.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
101. Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31(1), 49-73.
102. Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer.
103. Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 393.
104. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
105. Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>
106. Başara, A. C., & Şişman, Y. (2021). Landslide susceptibility mapping of Tokat (Turkey) province using weight of evidence and random forest. *Advanced GIS*, 1(1), 1-7.
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/41>
107. Öcül, M., & Şişman, A. (2023). Landslide susceptibility analysis with multi criteria decision methods; a case study of Taşova. *Advanced GIS*, 3(1), 14-21.
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/835>
108. Tabar, M.E., Başara, A.C., & Şişman, Y. (2021). Housing Valuation Model in Samsun, Atakum District with Artificial Neural Networks and Multiple Regression Analysis. *Advanced Geomatics*, 1(1), 27-32.
<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/geomatics/article/view/44>
109. Salman, H.A., Kalakech, A., & Steiti, A. (2024). Random Forest Algorithm Overview. *Babylonian Journal of Machine Learning*, 2024, 69-79.
<https://doi.org/10.58496/BJML/2024/007>
110. Mohammadi, M., & Rezaei, J. (2020). Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega*, 96, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.06.00>
111. Goh, H.H., Li, C., Zhang, D., Dai, W., Lim, C.S., Kurniawan, T.A., & Goh, K.C. (2022). Application of

- choosing by advantages to determine the optimal site for solar power plants. *Scientific Reports*, 12, 4113. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08193-1>
112. Alhammad, A., Sun, Q., & Tao, Y. (2022). Optimal Solar Plant Site Identification Using GIS and Remote Sensing: Framework and Case Study. *Energies*, 15(1), 312. <https://doi.org/10.3390/en15010312>
 113. Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards*, 65, 2105–2128. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0463-3>
 114. Kocatepe, N. (2019). Enerji Güvenliğinde Türkiye'nin Rolü. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (71), 57-67. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/674364>
 115. Baştan Töke, L., Elgün, M.N. (2025). Fossil Energy Sources Trade: Leading Countries and Turkey's Situation. *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 11(1): 15-23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14744710>
 116. Yıldız, C. (2024a). Binalarda Enerji Verimliliğinde Son Gelişmeler: Türkiye Örneği. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 12(1), 176-213. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1293759>
 117. Yıldız, C. (2024b). Sanayide Enerji Verimliliğinde Son Gelişmeler: Türkiye Örneği. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 12(2), 494-547. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1442017>
 118. Şimşek, S.A. (2024). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 425-433. <https://doi.org/10.30586/pek.1418987>
 119. Caner, E., & Yaşar, S. (2024). Yenilenebilir Enerji Üretiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği. *ESAM Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 90-110. <https://doi.org/10.53662/esamdergisi.1446688>
 120. Tolga, A.Ç., & Turgut, Z.K. (2018). Sürdürülebilir ve Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Bulanık TODIM Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Alphanumeric Journal*, 6(1), 49-68. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.371754>
 121. Bilgiç, S., Torğul, B., & Paksoy, T. (2021). Sürdürülebilir Enerji Yönetimi İçin BWM Yöntemi ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Verimlilik Dergisi*, 2, 95-110. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.663721>
 122. Alp, D., & Demir, E. (2018). Şırnak İlının Güneş Enerji Potansiyeli ve Kullanım Oranı. *Şırnak Enerji ve Maden Potansiyeli* (Editörler: İbrahim Baz, Dilan Alp, Öykü Bilgin), s. 195-225, Konya: Eğitim Yayınevi.
 123. Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu Ö (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng*, 19, 331-345.
 124. EPDK. (2024). Elektrik Piyasası Üretim Lisansları. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <https://lisans.epdk.gov.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml>
 125. Hu, Q., Wu, W., Xia, T., Yu, Q., Yang, P., Li, Z., & Song, Q. (2013). Exploring the Use of Google Earth Imagery and Object-Based Methods in Land Use/Cover Mapping. *Remote Sensing*, 5(11), 6026-6042. <https://doi.org/10.3390/rs5116026>
 126. Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Limited.
 127. Google Earth Pro. (2024). Google Earth Pro programındaki altlık uydu görüntüsü.
 128. Kruitwagen, L., Story, K.T., Friedrich, J., Byers, L., Skillman, S., & Hepburn, C. (2021). A global inventory of photovoltaic solar energy generating units. *Nature*, 598, 604-610. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03957-7>
 129. Ashraf, H. A., Li, J., Li, Z., Sohail, A., Ahmed, R., Butt, M. H., & Ullah, H. (2025). Geographic Information System and Machine Learning Approach for Solar Photovoltaic Site Selection: A Case Study in Pakistan. *Processes*, 13(4), 981. <https://doi.org/10.3390/pr13040981>
 130. Ozsahin, E., Özdeş, M., Smith, A.C., & Yang, D. (2022). Remote Sensing and GIS-Based Suitability Mapping of Termite Habitat in the African Savanna: A Case Study of the Lowveld in Kruger National Park. *Land*, 11, 803. <https://doi.org/10.3390/land11060803>
 131. Al Garni, H.Z., & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225-1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
 132. Alami Merrouni, A., Elalaoui, F.E., Mezrhah, A., Mezrhah, A., & Ghennioui, A. (2018). Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. *Renewable Energy*, 119, 863-873. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.044>
 133. Polo, J., Zarzalejo, L. F., Cony, M., Navarro, A. A., Marchante, R., Martín, L., & Romero, M. (2016). *Solar resources mapping: Fundamentals and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17777-9>
 134. Sengupta, M., Xie, Y., Lopez, A., Habte, A., Maclaurin, G., & Shelby, J. (2018). The National Solar Radiation Data Base (NSRDB). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.003>
 135. Gueymard, C.A. (2009). Direct and indirect uncertainties in the prediction of tilted irradiance for solar engineering applications. *Solar Energy*, 83(3), 432-444. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.11.004>
 136. Perez, R., Cebecauer, T., & Šuri, M. (2013). Semi-empirical satellite models. In J. Kleissl (Ed.), *Solar Energy Forecasting and Resource Assessment* (pp. 21-48). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397177-7.00002-4>

137. Charabi, Y., & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.037>
138. Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2228-2234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.014>
139. Sánchez-Lozano, J.M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P.L., & García-Cascales, M.S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>
140. Gastli, A., & Charabi, Y. (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 790-797. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.018>
141. Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.054>
142. Watson, J.J., & Hudson, M.D. (2015). Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.001>
143. Doorga, J.R., Rughooputh, S.D., & Boojhawon, R. (2019). Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. *Renewable Energy*, 133, 1201-1219. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.105>
144. Colak, H.E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable Energy*, 149, 565-576. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.078>
145. Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., & Lamata, M.T. (2016). Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 127, 387-398. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.005>
146. Yushchenko, A., de Bono, A., Chatenoux, B., Patel, M.K., & Ray, N. (2018). GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2088-2103. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.021>
147. Yakar, M. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
148. Global Solar Atlas 2.0. (2024). Map and data downloads. Energy Sector Management Assistance Program Washington, D.C.: World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info/download/world>. Accessed date: 28 Aralık 2024
149. OpenStreetMap. (2024). OpenStreetMap Data Extracts. Download OpenStreetMap data for this region: Turkey. <https://download.geofabrik.de/europe/turkey-latest-free.shp.zip>. Accessed date: 09 Eylül 2024
150. ESRI. (2023). Forest-based classification and regression (Spatial Statistics). <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/forestbasedclassificationregression.htm>. Accessed date: 28 Aralık 2024
151. Cürebal, İ., & Özşahin, E. (2022). Harita Bilgisi. Bursa: Ekin Yayınevi.
152. European Environment Agency Corine Land Cover, 2018. Version 2020_20u1. <https://download.geofabrik.de/europe/turkey-latest-free.shp.zip>. Accessed date: 20 Eylül 2024
153. TEİAŞ. (2018). 2018 Yılı Faaliyet Raporu. <https://webim.teias.gov.tr/file/da8fb58a-f3cf-4af7-b479-37c512b47557?download>. Accessed date: 28 Aralık 2024
154. Yakar, M., Yilmaz, H. M., & Yurt, K. (2010). The effect of grid resolution in defining terrain surface. *Experimental Techniques*, 34(6), 23-29.
155. Hasanzadeh, M., Kamran, K.V., Feizizadeh, B., & Mollabashi, S.H. (2024). GIS based spatial decision-making approach for solar energy site selection, Ardabil, Iran. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9 (1), 115-130. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1341451>
156. Yang, L., Meng, X., & Zhang, X. (2011). SRTM DEM and its application advances. *International Journal of Remote Sensing*, 32(14), 3875-3896. <https://doi.org/10.1080/01431161003786016>
157. Yu, X., & Chen, H. (2024). Research on the influence of different sampling resolution and spatial resolution in sampling strategy on landslide susceptibility mapping results. *Scientific Reports*, 14, 1549. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52145-w>
158. Levosada, A.T.A., Ogena, R.P.T., Santos, J.R.V., & Danao, L.A.M. (2022). Mapping of Suitable Sites for Concentrated Solar Power Plants in the Philippines Using Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process. *Sustainability*, 14(19), 12260. <https://doi.org/10.3390/su141912260>
159. Aly, A., Jensen, S.S., & Pedersen, A.B. (2017). Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. *Renewable Energy*, 113, 159-175. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.077>
160. Hashemizadeh, A., Ju, Y., & Dong, P. (2020). A combined geographical information system and Best-Worst Method approach for site selection for photovoltaic power plant projects. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 2027-2042. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02598-8>

161. Best Worst Method. (2024). BWM Solvers/Solver Linear BWM. <https://bestworstmethod.com/wp-content/uploads/2022/09/BWM-Solver-5.xlsx>. Accessed date: 10 Ocak 2025
162. Breiman, L. (2001). Random forest. *Machine Learning*, 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
163. Çömert, R., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2019). Object based burned area mapping with random forest algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), <https://doi.org/10.26833/ijeg.455595>
164. Olcay, K., Tunca, S.G., & Özgür, M.A. (2024). Forecasting and Performance Analysis of Energy Production in Solar Power Plants Using Long Short-Term Memory (LSTM) and Random Forest Models. *IEEE Access*, 12, 103299-103312. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3432574>
165. Özşahin, E., Girgin, K., & Köse, T. (2025). Topographical features affecting the distribution of wind power plants (WPPs) in Türkiye. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(3), 339-351. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4445668>
166. Özdemir, S. (2018). Random Forest Yöntemi kullanılarak potansiyel dağılım modellemesi ve haritalaması: Yukarıgökdere Yöresi örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 51-56. <https://doi.org/10.18182/tjf.342504>
167. Yürek, Ö., Birant, D., & Yürek, İ. (2021). Wind Power Generation Prediction Using Machine Learning Algorithms. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 107-119. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236709>
168. Messaoudi, D., Settou, N., Negrou, B., & Settou, B. (2019). GIS based multi-criteria decision making for solar hydrogen production sites selection in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(60), 31808-31831. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.099>
169. Berber, S. (2025). Tortum-Narman (Erzurum) Bölgesinin Kanıt Ağırlığı Yaklaşımı Kullanılarak Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi. *Geomatik*, 10(2), 144-156. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1589807>
170. Yolcan, O.O., & Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215. <https://doi.org/10.34186/klujes.793471>
171. Başay, V., Eken, R., & Yılmaz, G. (2019). Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinde Fotovoltaik Modüllerin Yaşlanmasının Araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 325-336. <https://doi.org/10.17482/uumfd.535429>
172. Noorollahi, E., Fadaei, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S.H. (2016). Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)-A Case Study of Iran. *Energies*, 9, 643. <https://doi.org/10.3390/en9080643>
173. Sun, L., Jiang, Y., Guo, Q., Ji, L., Xie, Y., Qiao, Q., Huang, G., & Xiao, K. (2021). A GIS-based multi-criteria decision making method for the potential assessment and suitable sites selection of PV and CSP plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105306. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105306>
174. Marques-Perez, I., Guaita-Pradas, I., Gallego, A., & Segura, B. (2020). Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120602>
175. Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., & Lamata, M.T. (2015). Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 343-355. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.05.028>
176. Şenlik, İ. (2017). Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi. *Elektrik Mühendisliği*, 462, 94-98. https://www.emo.org.tr/ekler/38bccc4b92d0ddf_ek.pdf?dergi=1114
177. Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), 861-874. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>
178. Siala, K., Chowdhury, A.K., Dang, T.D. & Galelli, S. (2021). Solar energy and regional coordination as a feasible alternative to large hydropower in Southeast Asia. *Nature Communications*, 12, 4159. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24437-6>
179. Akay, S.S. (2025). Investigating Land Suitability for PV Farm and Existing Sites Using a Multi-Criteria Decision Approach in Gaziantep, Türkiye. *Applied Sciences*, 15(5), 2441. <https://doi.org/10.3390/app15052441>
180. Wu, C., Liu, H., Wei, L., Yu, Y., Zhao, W., Guo, L., He, Z., Yetemen, O., & Yang, D. (2025). Diverse vegetation responses to solar farm installation are also driven by climate change. *Communications Earth & Environment*, 6, 118. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02121-7>
181. TUEP. (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf. Accessed date: 10 Ocak 2025
182. Güllü, M., & Kartal, Z. (2021). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının 2030 Yılına Kadar Tahmini. 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi, 2(2), 288-313. <https://doi.org/10.52835/19maysbd.849978>
183. Alami Merrouni, A., Mezrhab, A., & Mezrhab, A. (2016). PV sites suitability analysis in the Eastern region of Morocco. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 18, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.09.006>
184. GEPA (2010). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. <https://gepa.enerji.gov.tr/Aciklamalar.aspx>. Accessed date: 10 Temmuz 2025

- 185.YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü). (2012). YEGM'nin Güneş Enerjisi Çalışmaları. https://web.archive.org/web/20160616163445/http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_calismalari.aspx. Accessed date: 10 Temmuz 2025
186. Çalışkan, A.K., & Özcan, M. (2017). Site Selection for Wind-Solar Hybrid Power Plant in Turkey. EM 599 - Term Project Final Report, Middle East Technical University Industrial Engineering Department Engineering Management Program, Ankara. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22252.16006>
187. Zandi, I., & Lotfata, A. (2025). Evaluating solar power plant sites using integrated GIS and MCDM methods: a case study in Kermanshah Province. Scientific Reports, 15, 3288. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87476-9>
188. Günen, M.A. (2021). Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using GIS-based ranking and AHP methods. Environmental Science and Pollution Research, 28, 57232–57247. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14622-x>
189. Aghaloo, K., Ali, T., Chiu, Y.R., & Sharifi, A. (2023). Optimal site selection for the solar-wind hybrid renewable energy systems in Bangladesh using an integrated GIS-based BWM-fuzzy logic method. Energy Conversion and Management, 283, 116899. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116899>
190. Yıldız, E., & Er, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri: Hibrit çözüm yaklaşımı ile Siirt örneği. Geomatik, 8(3), 222-234. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1228779>
191. Karimi Firozjaei, M., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S.N., Karimi Firozjaei, H., & Toomanian, A. (2019). An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. Renewable Energy, 136, 1130-1146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.090>



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>