



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 04.10.2023
Kabul Tarihi : 20.02.2024

Received Date : 04.10.2023
Accepted Date : 20.02.2024

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YER SEÇİMİ: MARDİN İLİ ÖRNEĞİ

SOLAR POWER PLANT SITE SELECTION USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS BASED ANALYTICAL HIERARCHY METHOD: THE CASE OF MARDIN PROVINCE

Durmuş Ali TEKDAMAR^{1*} (ORCID: 0000-0002-8706-9849)
*Kübra TEKDAMAR*² (ORCID: 0000-0002-2952-6298)

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mardin, Türkiye
² Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Durmuş Ali TEKDAMAR, durmusalitekdamar@artuklu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ve insan nüfusunun artmasıyla birlikte enerji tüketimi de artmaktadır. Bu durum mevcut fosil yakıt kaynaklarının hızla tükenmesi, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Tükenen fosil yakıt rezervleri ve artan çevresel kaygılar, toplumların çevre dostu enerji üretme yöntemlerini geliştirmeye ve uygulamaya yönelik çabalarını artırarak günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmayı teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevresel etkileri azaltma konusundaki önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, dünya enerji sorunlarının çözümünde en umut verici alternatiflerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kaynakların optimum kullanımı için uygun yerlerin etkili bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Mardin ili bütününe yönelik uygun güneş enerjisi santrali yer seçimi için Coğrafi Bilgi Sistemi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi temelinde Çok Kriterli Bir Karar Verme sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanı güneş enerjisi santrali kurulumu için %68.12'lik oran ile "uygun", %2.48'lik oran ile "en uygun" düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi santrali, analitik hiyerarşi prosesi, CBS, Mardin

ABSTRACT

Today, with the rapid development of technology and the increase in human population, energy consumption is also increasing. This situation causes environmental problems such as rapid depletion of existing fossil fuel resources, environmental pollution and climate change. The depleting fossil fuel reserves and increasing environmental concerns increase the efforts of societies to develop and implement environmentally friendly energy production methods and encourage investment in renewable energy sources today. Renewable energy sources play an important role in reducing environmental impacts. Renewable energy sources, such as solar energy, stand out as one of the most promising alternatives in solving the world's energy problems. For the optimum utilization of these resources, it is of great importance to effectively identify suitable locations. This study aims to develop a Multi-Criteria Decision-Making system based on Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process for selecting a suitable solar power plant location for the whole Mardin province located in southeastern Turkey. According to the results obtained in this context, the study area was found to be "suitable" with a rate of 68.12% and "most suitable" with a rate of 2.48% for solar power plant installation.

Keywords: Renewable energy, solar power plant, analytical hierarchical process, GIS, Mardin

GİRİŞ

Enerji, neredeyse tüm insan faaliyetlerinde önemli bir rol oynamakla birlikte sürdürülebilir kalkınma ve toplum refahı için önemli bir faktördür (Uyan, 2017a). Sürdürülebilir enerji temini için küresel talep önemli ölçüde artmakta ve önümüzdeki yıllarda da büyük ölçüde artması beklenmektedir (Habib vd., 2020). Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, fosil yakıtlar şu anda tüm dünya için birincil enerji üretim kaynaklarıdır (Saraswat vd., 2021). Dünyada enerji ihtiyacının %80'i temel fosil yakıtlar olan petrol (%31), kömür (%28) ve doğal gazdan (%22) sağlanmaktadır (Uyan, 2017a; Saraswat vd., 2021). Teknolojideki hızlı gelişmeler ve nüfus artışına bağlı artan enerji talebi, mevcut fosil yakıt rezervlerinin azalması, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi çevresel sorunları daha da önemli bir duruma getirmiştir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar ve yatırımlar artmıştır. Yenilenebilir enerjinin en büyük avantajları, ekolojik dengeyi olumsuz etkilememesi veya etkisini minimize etmesidir (Uyan, 2017b). Yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik, çevresel koruma ve enerji güvenliği açısından önemlidir (Fang vd., 2018). Fosil yakıtların sınırlı kaynakları ve çevresel etkileri göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları, sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmakta ve enerji arzını daha güvenli ve istikrarlı hale getirmektedir. Ayrıca, yerel ekonomiyi desteklemekte ve enerji maliyetini düşürmektedir (Kumar, 2020).

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerjinin en önemli kaynaklarından biri olarak kabul edilir ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma, sera gazı emisyonlarını düşürme ve enerji güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir (Habib vd., 2020). Aynı zamanda temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilen güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına kıyasla çok daha düşük çevresel etkilere sahiptir (Uyan, 2017a). Güneş enerjisi sistemleri, uzun vadeli maliyet tasarrufu sağlayabilir ve enerji maliyetlerini düşürebilir. Güneş enerjisi teknolojilerinin hızla gelişmesi ve dünya genelinde yaygınlaşması, yeşil ekonomiye geçişin hızlanmasına katkıda bulunarak ekonomik kalkınmayı destekleyebilir (Azhar vd., 2023). Bu nedenle güneş enerjisi, sürdürülebilir enerji dönüşümünün önemli bir bileşenidir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımını artırmak ve sürdürülebilir enerji üretimini teşvik etmek için çeşitli yasal ve yönetsel düzenlemeleri uygulamaktadır. Sürdürülebilir kalkınma amaçları, birçok ülkede olduğu gibi ülkemizin kalkınma planlarına da dahil edilmiştir. Birleşmiş Milletler'in 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin bir parçası olan Hedef 7'de "Herkes için erişilebilir, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimi sağlamak"; enerjiye yönelik sürdürülebilir bir dönüşümü teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Özellikle Hedef 7.2'de "2030 yılına kadar yenilenebilir enerjinin küresel enerji bileşimi içindeki payını önemli ölçüde artırmak" maddesi ile enerji kaynaklarının kullanımını daha sürdürülebilir hale getirmeyi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji tüketimindeki payını artırmayı hedeflemektedir. Aynı zamanda 11. Kalkınma Planı'na göre; "Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi artırılacak, yenilenebilir enerji üretiminin şebekeye güvenli bir şekilde entegrasyonunun sağlanması amacıyla gerekli planlama ve yatırımlar gerçekleştirilecektir." maddesi ile Türkiye'deki enerji politikalarında ve planlarında yenilenebilir enerji üretimine verilen önem açıkça görülmektedir. Bu gibi politika ve planlar, Türkiye'nin enerji sektöründe daha temiz ve sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemesine katkıda bulunurken, aynı zamanda iklim değişikliği ile mücadele ve enerji güvenliği gibi ulusal ve uluslararası önceliklere de yanıt vermektedir.

Türkiye, doğal kaynakları ve coğrafi konumu sayesinde zengin bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahip bir ülke olarak öne çıkmaktadır. Özellikle güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli yüksek olan ülkemizde, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi günlük 7.5 saate kadar çıkarken, ortalama toplam ışınım şiddeti de 1.524 kWh/m²-yıl (günlük 4.17 kWh/m²) seviyelerine ulaşmaktadır ve bu değerler Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin 400 milyar kWh/yıl üzerinde olduğunu göstermektedir. (Uyan, 2017b; URL-1). Ülkemizde özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi, yüksek güneşlenme süreleriyle güneş enerjisi sistemleri için uygun bir potansiyele sahiptir. Bu bölgedeki yüksek güneşlenme süreleri, güneş enerjisine dayalı üretimi verimli bir şekilde desteklemektedir.

Güneş enerjisine yönelik en önemli önceliklerden biri, kurulacak güneş enerjisi santrali (GES) için en uygun yer seçimidir (Konurhan vd., 2023). GES kurulumu yer seçimi, dünya genelinde önemli bir konu haline gelmiştir ve ülkemizde de GES santrali kurulacak yerlerin belirlenmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Yalçın ve Yüce, 2020). Yapılan çalışmaların çoğu, yer seçimi problemlerinin çözülmesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerini ele alarak yaklaşmış, karar vericilerin tercihlerini ve gereksinimlerini çözüm sürecine dahil etmiştir (Ozdemir ve Sahin, 2018).

ÇKKV tekniği, bir kararın alınmasında birden çok kriter veya faktörün dikkate alındığı bir analiz ve değerlendirme sürecidir (Azhar vd., 2023). Bu yöntem, karmaşık kararlar verilirken çeşitli faktörlerin, hedeflerin ve kısıtlamaların bir araya getirilmesini amaçlamaktadır. ÇKKV çevresel kararlar dahil birçok alandaki karar süreçlerini desteklemek için kullanılan etkili bir tekniktir (Kereush ve Perovych, 2017). Ayrıca, farklı alternatifler arasından en uygun olanı seçmek için çeşitli çelişen kriterleri açıkça değerlendirmek amacıyla bir yaklaşım sunmaktadır. Bu değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılmasında en yaygın kullanılan ÇKKV tekniği ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir (Shao vd., 2023).

AHP karar vericilere, farklı kriterlerin ve alternatiflerin önem sıralamalarını belirlemelerine yardımcı olan bir yapı sunmaktadır. Karmaşık kararlar alırken birden çok kriterin ve alt kriterin değerlendirilmesini kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir (Shao vd., 2023). Hiyerarşik yapısı ve kullanıcıların her bir kriter için farklı ağırlık vermesine izin veren ikili karşılaştırması sayesinde kullanımı kolaydır (Ozdemir ve Sahin, 2018). Bu yöntem seçim, maliyet-fayda analizi, tahmin, değerlendirme, karar verme, öncelik-sıralama, planlama ve geliştirme gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. AHP yenilenebilir enerji dahil olmak üzere birçok önemli alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Azhar vd., 2023).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı mekânsal analiz, uygun alanların belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının planlama sürecine dahil edilmesi için etkili bir araçtır. CBS, yer seçimi sürecinde karar vericilere daha fazla veri ve analitik güç sağlayarak daha bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır. Yer seçim süreçlerinde AHP yöntemi, coğrafi bilgileri oluşturan, düzenleyen, görselleştiren, analiz eden ve yayınlayan CBS ile entegre edilebilmektedir (Azhar vd., 2023). Bu kapsamda CBS tabanlı AHP yöntemi, mekânsal karar verme süreçlerinde çok kriterli değerlendirmeleri entegre eden etkili bir süreçtir. Coğrafi veri analizi ve AHP'nin hiyerarşik yapılarını birleştirerek, karar vericilere mekânsal bağlamda daha kapsamlı ve bilinçli kararlar almalarına olanak tanımaktadır. CBS, coğrafi veri tabanlı faktörleri içerirken, AHP ise bu faktörleri önceliklendirme ve ağırlıklandırma süreçlerini yönetmektedir (Azmi vd., 2022; Azhar vd., 2023). Bu entegrasyon yer seçimi, planlama ve kaynak tahsisi gibi coğrafi odaklı karar verme alanlarında, optimize edilmiş ve bilimsel temelli çözümler sunmaktadır.

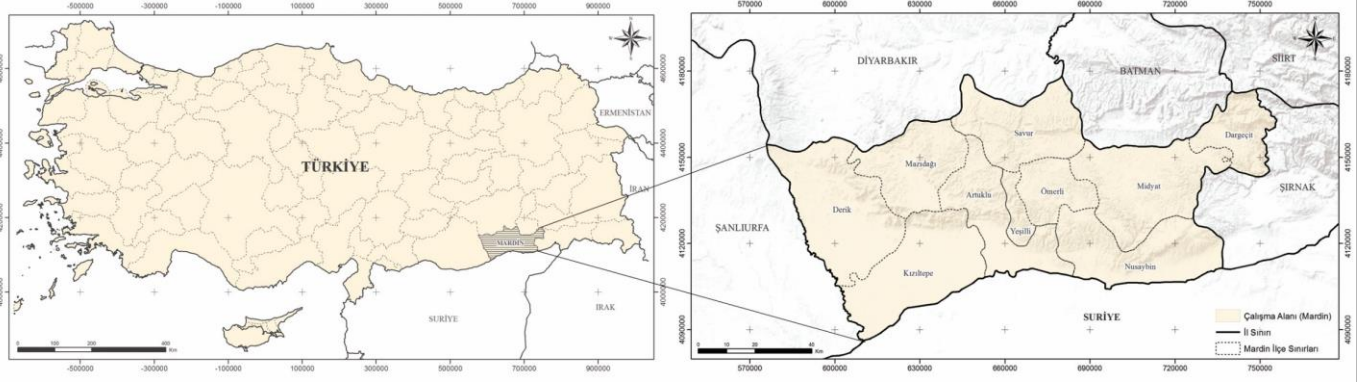
GES için uygun yer seçimi, potansiyel enerji üretimi, çevresel faktörler, güvenlik, trafo merkezlerine olan uzaklık ve topografik özellikler gibi birçok faktörün birlikte değerlendirilmesi gerektiği için CBS tabanlı AHP yöntemi kullanımına oldukça uygundur. AHP yöntemi ve CBS'nin uygulanması, yenilenebilir enerji projelerinin ön fizibilite ve fizibilite analizlerinde, bütçelerin ve doğal kaynakların doğru bir şekilde yönetilmesini amaçladığından dolayı önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntem, mekânsal bilgi ve kriter ağırlıklarını bir araya getirerek, ilgili veri katmanlarını üst üste bindirilmiş ağırlıklı bir analize dayalı olarak GES için en uygun konumların belirlenmesini sağlar (Ruiz ve ark., 2020; Villacreses vd., 2022).

Bu kapsamda çalışmanın amacı, CBS tabanlı ÇKKV tekniklerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak Mardin ili bütününe yönelik GES kurulumu için uygun alanların belirlenmesidir. Potansiyel GES için yer seçimine ilişkin karar verme sürecinde, çoklu bakış açılarını barındırma ve büyük hacimli karmaşık bilgileri işleme konusundaki zorlukları azaltmak için CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada önerilen bu yaklaşımlar büyük ölçekli GES için en uygun alanların belirlenmesinde faydalı bilgiler sağlamaktadır. Türkiye'nin güneydoğu kesiminde güneş enerji santralleriyle ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunması, Mardin ili genelinde güneş enerjisi santrali kurulumu konusunda gerçekleştirilecek potansiyel araştırmaların gerekliliğini vurgulamakta ve bu çalışmanın bilimsel açıdan özgün bir katkı sunma potansiyelini ortaya koymaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanına İlişkin Genel Bilgiler

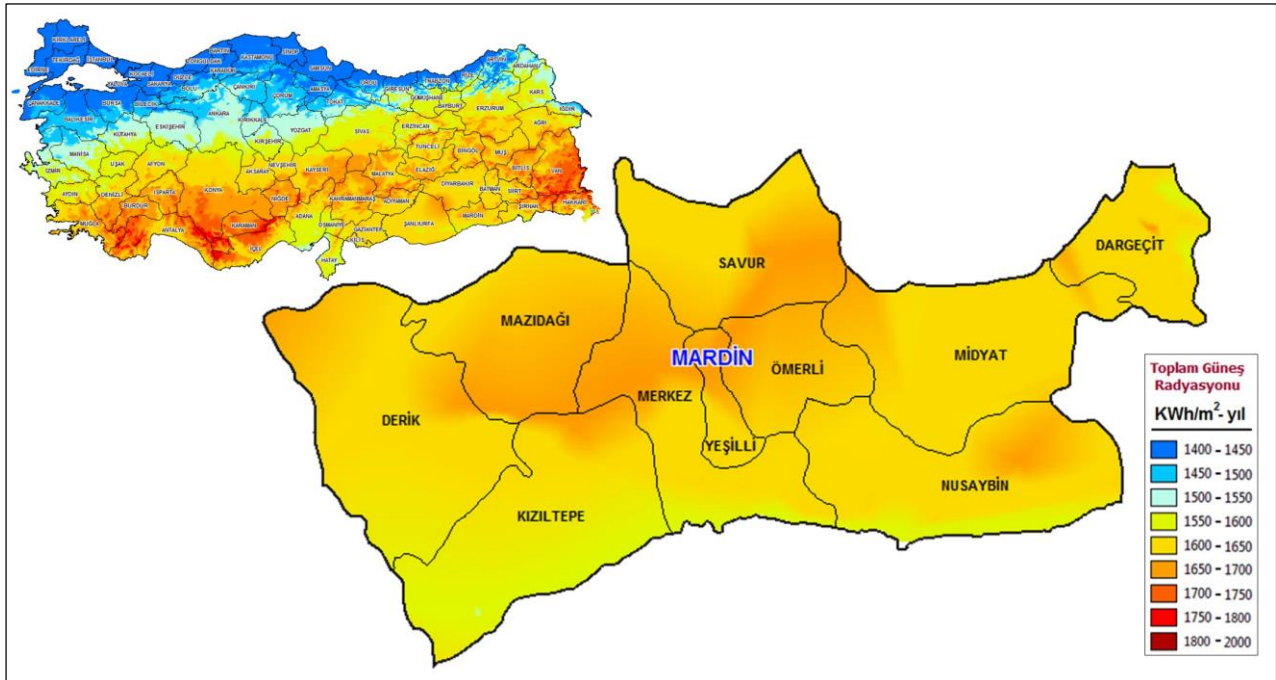
Çalışma alanı; Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Mardin ili sınırları olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Mardin ili coğrafi konum olarak 36°55'-37°45' kuzey enlemleri ve 39°53'-41°54' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü yaklaşık olarak 8784.65 km²'dir. Fırat-Dicle Havzası içerisinde yer alan Mardin; güneyinde Suriye, batısında Şanlıurfa ili, kuzeyinde Diyarbakır ve Batman, doğusunda Şırnak ve kuzeydoğusunda ise Siirt illeri yer almaktadır. Mardin ili Artuklu, Kızıltepe, Midyat, Nusaybin, Dargeçit, Derik, Mazıdağı, Ömerli, Yeşilli ve Savur olarak toplam on ilçesi bulunmaktadır. Tarihi İpek Yolu'nun kavşağında bulunması sebebiyle tarih boyunca önemli bir yerleşim merkezi olmuştur. 2022 yılı TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Mardin ilinin toplam nüfusu 870.374 kişidir.



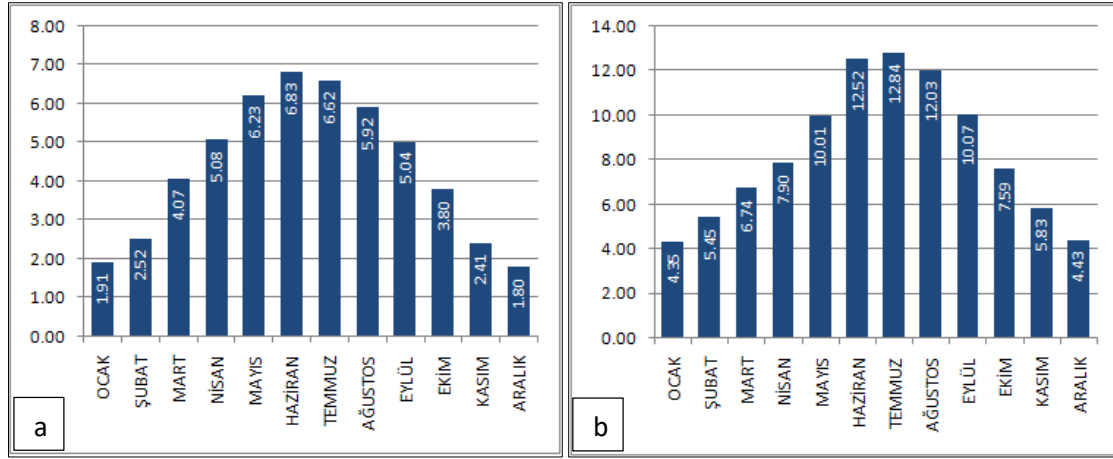
Şekil 1. Çalışma Alanına İlişkin Konum Haritası

Çalışma alanına ilişkin doğal peyzaj özellikleri incelendiğinde, alanın %56.66'lık oranla %0-6 eğimli geniş düzlük arazilerin oluşturduğu ve yükseltinin 350 m ile 1454 m arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının alansal olarak %41.40'lık oran ile büyük bir kısmını güney yönlü bakımlar oluşturmaktadır. İklimsel veriler incelendiğinde bölgede; Akdeniz iklimi ve karasal iklimin ortak özelliklerine görülmekte olup yazları çok sıcak ve kurak, kışları ise ılımandır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 16.1°C, ortalama güneşlenme süresi 8.1 saat ve yıllık toplam yağış miktarı ortalama 675.6 mm'dir (URL-2, 2023).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, Mardin ilinin Toplam Güneş Radyasyon Haritasına (Şekil 2) göre Mardin'in ortalama yıllık toplam ışınlam değeri (Şekil 3a) 1588.66 kWh/m² olarak, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi (Şekil 3b) ise 8,31 saat olarak hesaplanmıştır (URL-1, 2023). Mardin ili, Türkiye'nin güneydoğu kesiminde bulunan bir bölge olması nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli açısından büyük bir değere sahiptir. Uygun coğrafi konumu ve iklim koşulları sebebiyle çalışma alanı olarak, Mardin ili bütünü seçilmiştir. Ayrıca, Doğan ve Uludağ (2018) tarafından ifade edildiği gibi, diğer illerle karşılaştırıldığında Mardin ilinin GES kurulumu için yüksek potansiyele sahip olması, bu tercihin bir diğer nedenidir.



Şekil 2. Mardin Toplam Güneş Radyasyonu Değerleri (URL-1, 2023)



Şekil 3. a. Mardin Global Radyasyon Değeri-kWh/m² b. Mardin Güneşlenme Süreleri-saat (URL-1, 2023)

Yer Seçimi İçin Kullanılan Kriterler

GES yer seçim kriterleri, üretim maliyetlerini, santralin kurulum ve işletme süreçlerini doğrudan etkileyen önemli bir konudur. Yer seçimi kararları, genellikle verimlilik, yasal düzenlemelere uygunluk ve çevresel etkiler gibi değerlendirme kriterlerine dayalı olarak yapılmaktadır. GES yer seçimi için bir dizi faktörün dikkate alınması gereken kapsamlı bir süreçtir. Bu kapsamda gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda en çok tercih edilen ve çalışma alanına uygun olan kriterler seçilmiştir. Bu doğrultuda; 3 ana faktör (teknik, sosyo-çevresel ve ekonomik) ve 8 kriter (güneş radyasyonu, eğim, bakı, arazi kullanımı, yerleşim alanlarına uzaklık, yol ağına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık ve trafo merkezine uzaklık) belirlenmiştir. Bu kriterlere ilişkin teknik veriler literatür taraması ışığında; güneş radyasyonu (Kaimbekova, 2020; Turan, 2022), eğim (Obut, 2016; Kaimbekova, 2020), bakı (Yolcan ve Köse, 2020; Saraswat, 2021; Turan, 2022), arazi kullanımı (Arca ve Çıtıroğlu, 2022; Turan, 2022), yerleşim alanlarına uzaklık (Obut, 2016; Kaimbekova, 2020; Turan, 2022), yol ağına uzaklık (Kaimbekova, 2020; Sarsıcı, 2020), enerji nakil hatlarına uzaklık (Obut, 2016; Kaimbekova, 2020; Soydan, 2021; Saraswat, 2021) ve trafoya uzaklık (Sarsıcı, 2020; Saraswat, 2021) uygunluk dereceleri elde edilmiştir.

GES yer seçimi için kullanılan; güneş radyasyonu verisi Global Solar Atlas web sitesinden (URL-3), eğim ve bakı haritaları USGS EarthExplorer web sitesinden indirilen DEM verisinden (URL-4), arazi kullanımı ve yerleşim alanları haritası Copernicus web sitesinden alınan Corine 2018 arazi örtüsü verisinden (URL-5) oluşturulmuştur. Ayrıca, yol, enerji nakil hatları ve trafo verileri OpenStreetMap web sitesinden (URL-6) elde edilmiştir.

Güneş Radyasyonu (K1)

Güneş radyasyonu, güneş ışınlarının yeryüzüne düşen enerji miktarını ifade etmektedir. GES yer seçiminde güneş radyasyonu oldukça önemlidir. GES için en uygun yerler, yüksek güneş radyasyonuna sahip bölgelerdir (Saraswat vd., 2021). Bölgenin güneş ışınım düzeyi üretilen enerji miktarı ile doğru orantılıdır. Güneş radyasyonunun yoğunluğu, santralin kurulacağı bölgenin coğrafi konumuna, iklim koşullarına ve yüzey özelliklerine bağlıdır. Güneş radyasyonu, güneş enerjisi panellerinde elektrik enerjisine dönüştürülebilen fotovoltaiik hücreler tarafından yakalanır. Dolayısıyla, GES için yer seçiminde, yüksek güneş radyasyonuna sahip bölgelerin tercih edilmesi, güneş enerjisi üretimi ve verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın güneş enerjisine dayalı santral sahası alanı kurmak için yıllık toplam güneş radyasyonu değerinin 1650 KWh/m²-yıl'a eşit veya yüksek olması zorunludur (Uyan, 2017a).

Eğim (K2)

GES yerlerinin belirlenmesinde eğim, önemli bir faktördür. Eğim, güneş panellerinin doğru açıda yerleştirilmesi için gereklidir. Güneş enerjisi panelleri, güneş ışınlarının doğrudan geldiği açıya dik bir şekilde yerleştirildiğinde, maksimum verimlilik sağlanır. Bu nedenle, güneş GES kurulacağı alanın eğimi, doğru açıda yerleştirme için kritik bir faktördür. Yer seçimi sürecinde, en ekonomik eğim değeri genellikle %1 ile %3 arasında bulunmalıdır; çünkü %3'ten daha fazla eğime sahip araziler verimlilik açısından uygun kabul edilmez (Şenlik, 2017; Arca ve Çıtıroğlu, 2022). Literatürden elde edilen verilere dayanarak, mevcut araştırma çalışması güneş enerjisi için maksimum 5 derecelik bir eğim dikkate almaktadır.

Bakı (K3)

GES verimliliğini etkileyen önemli bir diğer faktör de arazi topografyasıdır. Genellikle GES için düz ve güney yönlü alanlar tercih edilmektedir. Eğimli bölgeler, gölgelendirme sorunlarını artırabilmekte, kurulum süreçlerini zorlaştırabilmekte ve maliyetleri yükseltebilmektedir (Şenlik, 2017).

Arazi Kullanımı (K4)

GES yer seçiminde, kurulum yapılacak alanın arazi kullanım durumu, verimliliği etkileyen temel faktörlerden biridir. Bir enerji projesinin kurulumu, mevcut arazilerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirmektedir (Saraswat vd., 2021). Yer seçimi sırasında, kurulum yapılacak alandaki doğal bitki örtüsü, gölgeleme etkisini artırarak verimliliği azaltmaktadır. Bu nedenle, ağaç örtüsüne sahip alanlar ve doğal bitki örtüsünün verimliliği olumsuz etkileyebileceği bölgeler, tercih edilmeyen yerler arasında yer almaktadır. (Şenlik,2017).

Yerleşim Alanlarına Olan Uzaklık (K5)

GES yer seçimi sürecinde dikkate alınması gereken faktörlerden biri de yerleşim alanlarına olan uzaklıktır. GES genellikle kırsal bölgelere kurulur, bu nedenle yerleşim yerlerinden uzak olmak hem çevresel hem de toplumsal uyum açısından kritik bir öneme sahiptir. Yerleşim alanlarına olan uzaklık, çevresel etkilerin en aza indirilmesine yardımcı olmakla birlikte sosyal uyum açısından da önemlidir. Ancak, uzaklık kriteri diğer kriterlerle birlikte değerlendirilmelidir ve her bölgenin kendine özgü koşulları dikkate alınarak karar verilmelidir. Literatür taramasına göre, kentsel alanlar ile güneş santralleri arasında en az 500 m mesafe olması gerekmektedir (Villacreses vd., 2022).

Yol Ağına Uzaklık (K6)

GES yer seçiminde ekonomik açıdan önemli bir diğer faktör yol ağına uzaklıktır. Uygun yerler, gereksiz çevresel zararları ve yol yapım maliyetlerini önleyecek şekilde ulaşım ağına yakın olmalıdır (Saraswat vd., 2021). Yola olan uzaklık, santralin bakım ve onarım işlemleri için de önemlidir. Santralin, bakım ve onarım işlemleri sırasında, yolların ulaşım kolaylığı sağlaması gerekmektedir. Ayrıca, güneş enerjisi panellerinin taşınması ve montajı için de uygun bir yolun olması önemlidir. Yol trafiğinden kaynaklanan atıkların güneş panellerine olumsuz etkileri ve güvenlik açısından potansiyel sorunları önlemek amacıyla, literatürde santralin yol ağına en az 100 metre uzaklıkta olması önerilmektedir (Arca ve Çıtıroğlu, 2022).

Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (K7)

GES'nin enerji nakil hatlarına yakınlığı, verimliliğin korunması açısından kritik bir faktördür. Enerji nakil hatlarına uzak bölgelerde inşa edilen santraller, enerji kaybını artırabilir ve verimliliği azaltabilir (Kaimbekova, 2020). Ayrıca GES kurulması planlanan alanlar ile enerji nakil hatları uzak olduğu takdirde, yeni şebeke kurulması gerekeceğinden ek maliyet oluşturmaktadır. Bu doğrultuda GES için yer seçimi yapılırken enerji nakil hatlarına yakın olması oldukça önemlidir (Turan, 2022).

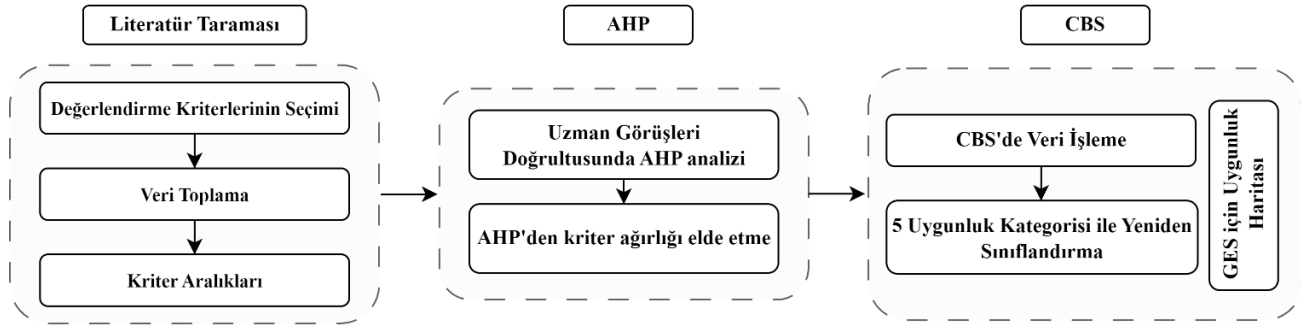
Trafo Merkezine Uzaklık (K8)

GES yerlerinin belirlenmesinde Trafo merkezlerine olan uzaklık önemlidir. Çünkü üretilen elektrik enerjisi, trafo merkezleri aracılığıyla iletim hatlarına verilerek şebekelere aktarılır. Tesis yakınında, üretilen enerji miktarına uygun kapasitede trafonun bulunması önemlidir. Bu nedenle, yer seçimi yapılırken trafo merkezlerine yakın bölgeler tercih edilmelidir. Aksi durumda yeni trafo merkezleri kurmak gerekirken, bu da ek maliyet getirmektedir (Turan, 2022). Trafo merkezleri, elektrik enerjisinin iletimindeki önemli noktalardandır ve santralin trafo merkezine olan uzaklığı, enerjinin şebekeye aktarılması için gerekli olan maliyetleri etkileyebilir. GES için uygun yerlerinin belirlenmesinde trafo merkezlerine olan uzaklık, maliyet analizi ve enerji verimliliği açısından önemli bir kriterdir. GES yer seçiminde trafo merkezlerine olan uzaklığın 10 km'den fazla olması istenilen bir durum değildir (Arca ve Çıtıroğlu, 2022).

Yöntem

Bu çalışma, CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak Mardin ili bütününde kurulması planlanan GES'ler için en uygun yerlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Literatür çalışmalarının incelenmesi ve uzman görüşlerinin alınmasıyla GES kurulumunu etkileyen en önemli kriterler tespit edilmiştir. Bu kriterler, 3 ana faktör (teknik, sosyo-çevresel ve ekonomik) ve 8 kriter (güneş radyasyonu, eğim, bakı, arazi kullanımı, yerleşim alanlarına uzaklık, yol ağına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık ve trafo merkezine uzaklık) olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem derecelerini belirlemek amacıyla ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP kullanılmıştır. AHP yönteminde her kriterin diğer kriter ile olan ilişkisel önemini belirlemek için 10 farklı uzman görüşüne başvurulmuştur. Uzman görüşleri

doğrultusunda elde edilen verilerin geometrik ortalamaları alınmış ve bu ortalama değerleri AHP matrisinde kullanılarak kriterin ağırlıkları tespit edilmiştir. CBS ile kriterlere ait mekânsal analizler, ArcMap 10.2 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kriterlerin literatür araştırması ışığında elde edilen uygunluk derecelerine göre 5 kategoride (en uygun, uygun, orta uygun, az uygun, uygun değil) yeniden sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Tüm bu adımlar doğrultusunda, oluşturulan nihai haritada Mardin ili bütününe yönelik GES için uygun alanlar tespit edilmiştir. Uygulanan metodoloji Şekil 4'te görülebilir.



Şekil 4. Çalışmaya İlişkin Yöntem Akış Şeması

Tablo 1. Çalışma İçin Belirlenen Kriter ve Uygunluk Dereceleri

Kriterler	Uygunluk Derecesi					
	En Uygun 5	Uygun 4	Orta Derecede Uygun 3	Az Uygun 2	Uygun Değil 1	
Teknik	Güneş Radyasyonu (kWh/m ² /gün)	>1800	1800-1650	1650-1550	-	-
	Eğim (derece)	<1	1-2	2-3	3-5	>5
	Baki	Güney, Düz	Güneydoğu ve Güneybatı	Doğu ve Batı	Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	Kuzey
Sosyo-Çevresel	Arazi Kullanımı	Çıplak Alanlar, Otlak	Maden Ocağı, Çalılık	Mera Alanları	Yerleşim	Orman, Su, Tarım
	Yerleşim Alanlarına Uzaklık (m)	>5000	3000-5000	3000-2000	2000-1000	<1000
	Yol Ağına Uzaklık (m)	100-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	>4000
Ekonomik	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (m)	<2500	2500-5000	5000-7500	7500-10000	10000<
	Trafo Merkezine Uzaklık (m)	<7500	7500-15000	15000-22500	22500-30000	>30000

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP, çoklu hedeflerle başa çıkmak için bir karar yapısı sunarak alternatifleri sıralamak için en kapsamlı ÇKKV araçlarından biridir. CBS-AHP uygulamaları, AHP'yi diğer karar destek teknikleriyle entegre etmek için en sık kullanılan yaklaşımlar arasındadır (Al Garni vd., 2017). Yapılan literatür taramaları, çok kriterli problemlerin genellikle AHP yöntemi kullanılarak çözüldüğünü ortaya koymaktadır (Uyan, 2017a; Garni ve Awasthi, 2017; Yalçın ve Yüce, 2020; Arca ve Çıtıröğlü, 2022; İnceyavuz vd., 2022). Bu çalışmada da problemimizin çok kriterli yapısı ve AHP yönteminin bu yapının çözümü için uygun olması nedeniyle AHP yöntemi tercih edilmiştir.

AHP yöntemi kapsamında ikili karşılaştırmalar sonucunda bir karar matrisi oluşturulur. Daha sonra bu hesaplamalar sonucunda kriter ağırlıklarına ulaşılır. Ayrıca, ikili karşılaştırma sürecinde kararların tutarsız yargılarını elemek için bir tutarlılık oranı (CR) kullanılır. Karşılaştırmada "n" sayıda kriter belirlenmiş ise bu kriter ağırlıklarını belirlemek için AHP ile aşağıdaki adımlar izlenir (Saaty, 1980; Al Garni vd., 2017; Uyan, 2017a);

Adım 1. $n \times n$ sayıda kriterin ikili karşılaştırma matrisi (A) oluşturulur. k_{ij} , Tablo 2'de gösterildiği gibi Saaty (1980) tarafından önerilen değer ölçeğini kullanarak i kriterinin j kriterine göre ne kadar fazla önemli olduğunu ifade eder.

Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani $i=j$ olduğunda, 1 değerini alır. Köşegenin altında kalan değerler için karşıt özelliklere sahip matris $k_{ij} = 1/k_{ji}$ ile hesaplanır (Tablo 3).

$$A = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2. İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilerek A_w matrisi oluşturulur. Bu A_w matrisini bulmak için, j sütundaki her bir değer j sütunundaki değerlerin toplamına bölünür. Yeni hesaplanan A_w matrisinde her bir sütunun toplamı 1'e eşit olmalıdır.

$$A_w = \begin{bmatrix} \frac{k_{11}}{\sum k_{i1}} & \frac{k_{12}}{\sum k_{i2}} & \cdots & \frac{k_{1n}}{\sum k_{in}} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{k_{n1}}{\sum k_{i1}} & \frac{k_{n2}}{\sum k_{i2}} & \cdots & \frac{k_{nn}}{\sum k_{in}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 3. Normalize edilmiş A_w matrisi üzerinden öncelik vektörü (C) hesaplanır. Öncelik vektörü elde etmek için A_w matrisinin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna (n) bölünerek ortalaması alınır. Elde edilen değerler yüzde cinsinden ifade edilir. Her bir kriter için hesaplanan önem ağırlıkları, öncelik vektörünü oluşturur. Daha yüksek bir ağırlık, kriterin GES için daha büyük bir etkiye sahip olduğunu gösterir.

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_{11}}{\sum k_{i1}} & \frac{k_{12}}{\sum k_{i2}} & \cdots & \frac{k_{1n}}{\sum k_{in}} \\ n & n & \cdots & n \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{k_{n1}}{\sum k_{i1}} & \frac{k_{n2}}{\sum k_{i2}} & \cdots & \frac{k_{nn}}{\sum k_{in}} \\ n & n & \cdots & n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım 4. Tutarlılık oranı (Consistency Ratio-CR) hesaplanır. CR hesaplanabilmesi için ilk aşama olarak tutarlılık vektörü olarak anılan $A \times C$ matrisi hesaplanır.

$$A \times C = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

İkinci aşamada "Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI)" eşitsizliğindeki karşılaştırma çiftleri matrisinin öz değeri olan λ_{max} değeri Denklem-5'de verilen formül ile hesaplanır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{c_i} \quad (5)$$

Üçüncü aşamada CI katsayısının hesaplanması gerekir. CI, Denklem-6'da belirtilen formül ile ölçülür.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Son aşamada matrisin boyutunun (n) tutarlılığı yeterli olup olmadığı belirlenmesi gerekir. Bu kapsamda, CI ile Rastgele İndeks (Random Index-RI) oranlanarak CR değeri Denklem-7'de belirtilen formül ile hesaplanır. RI, Saaty (1980) tarafından belirlenen standart bir değere sahiptir ve n sayısına göre değişmektedir (Tablo 4).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Denklem-7’de tanımlı CR değerinin %10’un altında ($CR \leq 0,1$) çıkması durumunda karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu kabul edilir. Aksi takdirde, ikili karşılaştırmada ciddi tutarsızlıklar vardır. Bu nedenle, AHP anlamlı sonuçlar vermeyebilir. Mevcut çalışmada karar kriterleriyle ilişkili sekiz kriter ($n=8$) vardır. Buna göre, $RI=1.41$ ve $CR=0,04$ olup kabul edilebilir aralıktadır.

Tablo 2. Saaty Tarafından Geliştirilen AHP Önem Skalası (Saaty, 1980; Al Garni vd., 2017)

i Kriterinin j Kriterine Göre Önem Derecesi (K_{ij})	Açıklaması
1	i ve j kriterleri eşit öneme sahiptir
3	i kriteri j kriterinden biraz daha önemlidir
5	i kriteri j kriterinden orta derecede daha önemlidir
7	i kriteri j kriterinden çok daha önemlidir
9	i kriteri j kriterinden çok daha güçlü önemlidir
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Tablo 3. Belirlenen Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Ağırlık (%)
(K1) Güneş Radyasyonları	1	3	4	7	5	6	4	5	0.35
(K2) Eğim	1/3	1	2	3	5	4	3	2	0.18
(K3) Bakı	1/4	0.5	1	3	4	4	2	3	0.14
(K4) Arazi Kullanımı	1/7	1/3	1/3	1	3	2	1/3	1	0.06
(K5) Yerleşim Alanlarına Uzaklık	1/5	1/5	1/4	1/3	1	1/2	1/4	1/3	0.04
(K6) Yol Ağına Uzaklık	1/6	1/4	1/4	1/2	2	1	1/5	1/2	0.04
(K7) Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	1/4	1/3	1/2	3	4	5	1	2	0.12
(K8) Trafo Merkezine Uzaklık	1/5	1/2	1/3	1	3	2	1/2	1	0.07
CR=0,04									1

Tablo 4. Rastgele Tutarsızlık İndeksi (RI) Değeri (Saaty, 1980; Uyan, 2017a; Al Garni vd., 2017)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

BULGULAR

CBS tabanlı ÇKKV-AHP yöntemlerinin GES yer seçimi için kullanılması, çeşitli seçeneklerin dikkate alınmasına ve bu sayede çeşitli stratejilerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, Mardin ili için 8 kriter (güneş radyasyonu, eğim, bakı, arazi kullanımı, yerleşim alanlarına uzaklık, yol ağına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, trafo merkezine uzaklık) kullanılarak, CBS temelli AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklarının belirlenmesi, normalleştirilmesi ve tüm kriterlerin ağırlıklı çakıştırılması suretiyle GES için uygunluk haritaları oluşturulmuştur.

AHP yöntemi ile hesaplanan kriterler ağırlıkları incelendiğinde güneş radyasyonu değeri %35 etkiye sahiptir. Bu değer, GES için uygun yer seçimini etkileyen en önemli kriterin güneş radyasyonu olduğu göstermektedir. Bu kriter ağırlığını sırasıyla %18 ağırlık ile eğim, %14 ağırlık ile bakı, %12 ağırlık ile enerji nakil hatlarına uzaklık, %7 ağırlık ile trafo merkezine uzaklık, %6 ağırlık ile arazi kullanımı, %4 ağırlık ile yerleşim alanlarına uzaklık ve %4 ağırlık ile yol ağına uzaklık takip etmektedir (Şekil 5). Ayrıca oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerlerin ve kriter ağırlıklarının tutarlı olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla hesaplanan “Consistency Ratio-Tutarlılık oranı” (CR) değeri ise 0,04 olarak hesaplanmıştır. CR değerinin 0,10’dan küçük olması ikili karşılaştırma matrisi sonucu elde edilen değerlerin birbirleriyle tutarlı oldukları göstermektedir.

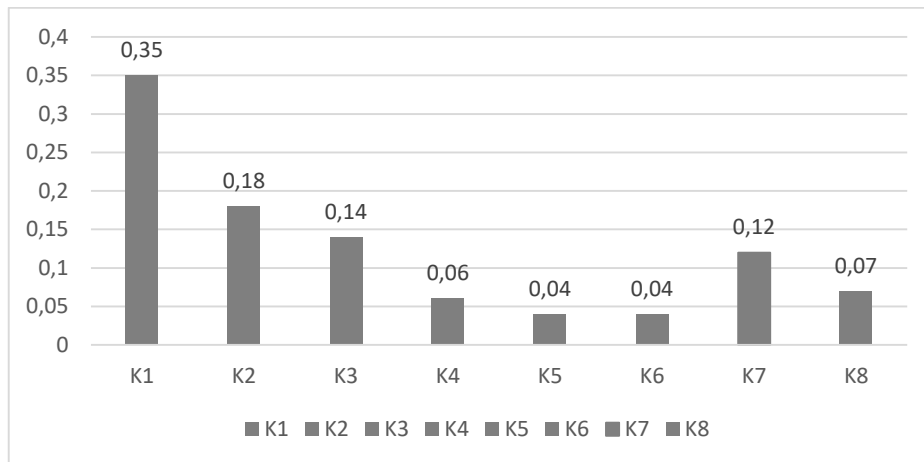
Çalışma kapsamında, Mardin ili için gerçekleştirilen GES yer seçimine yönelik belirlenen 8 kriterin, CBS ortamında mekânsal analizi ile elde edilen veriler ışığında (Şekil 6); güneş radyasyonu kriteri analizine göre (Şekil 6a), %99.50'lik oran ile çalışma alanının büyük bir kısmı “en uygun (5)” olarak tespit edilmiştir. Eğim kriteri incelendiğinde (Şekil 6b), alanın %18.64'lük oran ile “en uygun (5)” olarak belirlendiği, ancak %40.48'lik oran ile büyük bir kısmının “uygun değil (1)” olarak tespit edildiği gözlemlenirken, aynı şekilde bakı kriteri analiz edildiğinde (Şekil 6c), %17.10'lük oran ile “en uygun (5)”, %30.13'lük oran ile “uygun (4)” ve %24.50'lik oran ise “orta derece uygun (3)” olarak belirlendiği gözlemlenmiştir. Arazi kullanımı kriterine göre (Şekil 6d), çalışma alanının %10.89'lük oran ile “en uygun (5)” ve %15.86'lük oran ile “uygun (4)” olarak belirlendiği, ancak %69.32'lik oran ile büyük bir kısmının “uygun değil (1)” olarak tespit edildiği gözlemlenirken, aynı şekilde yerleşim alanlarına uzaklık kriterinin analizi sonucunda (Şekil 6e), %29.31'lik oran ile en “uygun (5)” ve %25.16'lık oran ile “uygun (4)” olarak belirlendiği tespit edilmiştir. Yol ağına uzaklık kriterinin analizi sonucunda (Şekil 6f), çalışma alanının %52.35'lik oran ile “en uygun (5)” ve %22.68'lik oran ile “uygun (4)” olduğu belirlenirken; enerji nakil hatlarına uzaklık kriterinde (Şekil 6g) ise %29.32'lik oran ile “en uygun (5)” ve %20.63'lik oran ile “uygun (4)” olduğu, %20.31'lik oran ile ise “uygun değil (1)” olarak tespit edildiği gözlemlenmiştir. Trafo merkezine uzaklık kriterine göre (Şekil 6h) ise %16.68'lik alanın “en uygun (5)”, %38.76'lık oran ile büyük bir alanın “uygun (4)” ve %33.29'lük alanın “orta derece uygun (3)” olarak tespit edilmiştir.

Mardin ili bütününde GES için uygun alanların belirlenmesinde etkili olan kriter ve bu kriterlerin uygunluk derecelerinin ArcGIS 10.2 programda yeniden sınıflandırılmasıyla oluşturulan tematik uygunluk haritaları “uygun değil, az uygun, orta uygun, uygun ve en uygun” olmak üzere beş farklı sınıfa yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 6). AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarını kullanarak tematik uygunluk haritalarının Weighted Overlay (Ağırlıklı Çakıştırma) modülü yardımıyla birleştirilmesi sonucunda 5 dereceli GES Uygunluk Haritası elde edilmiştir (Şekil 7).

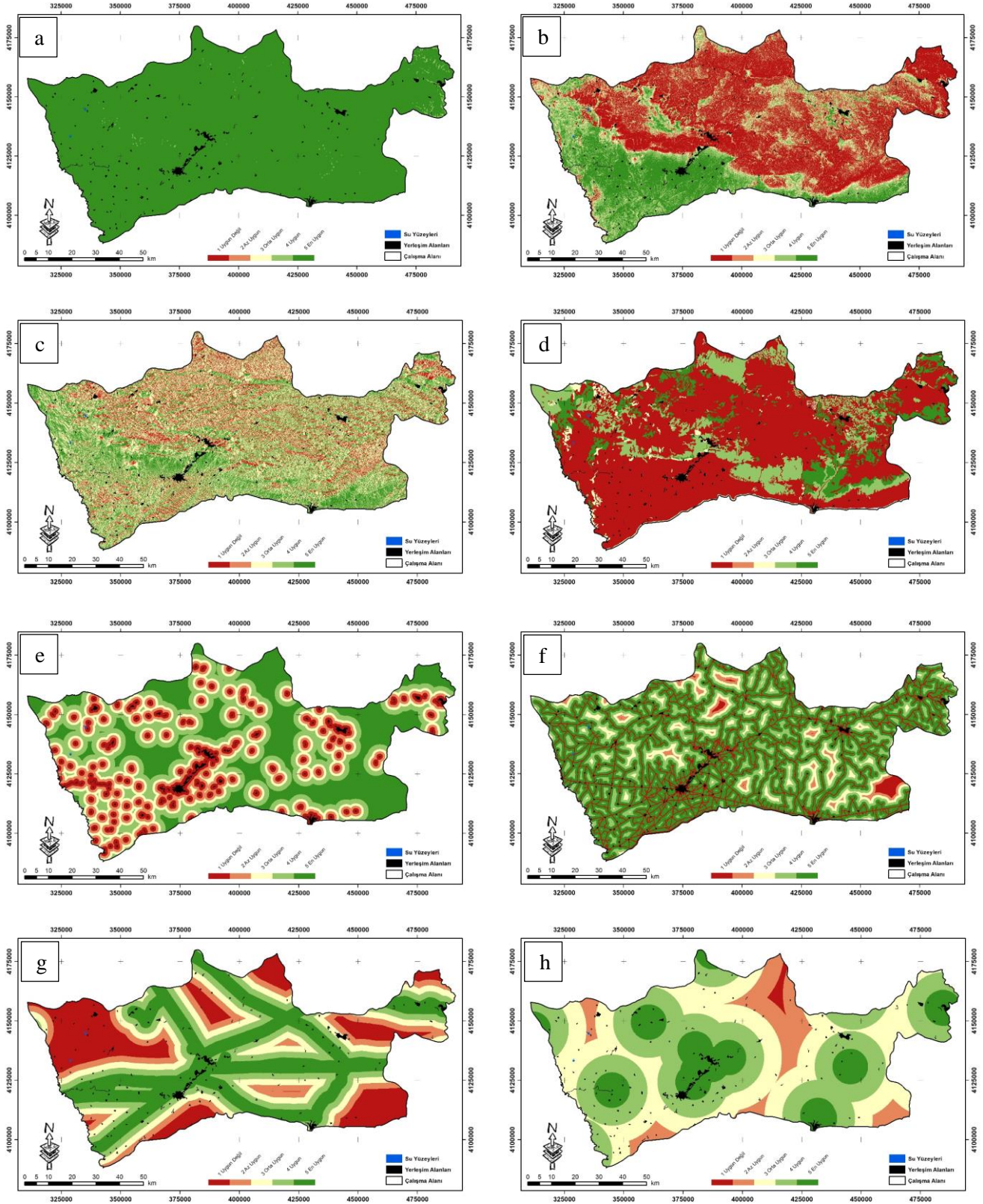
Mardin GES uygunluk haritasına sonucuna göre; ilin %68.12'lik gibi büyük bir alanı GES için “uygun alanlar (4)” olduğu, %29.40'lık bölümün “orta derecede uygun alanlar (3)” olduğu, %2.48'lik bölümün “en uygun alan (5)” olduğu ve %0.01'lik bölümün “az uygun alanlar (2)” olduğu tespit edilmiştir. Mardin ili bütününde GES için “uygun olmayan alanlar (1)” bulunmamaktadır. Alansal olarak GES kurulumu için “uygun alanların (4)” 5983.86 km², “orta derecede uygun alanların (3)” ise 2582.42 km² alan kapsadığı görülmüştür. GES için uygun alanların alansal ve oransal dağılımı Tablo 6'da sunulmuştur.

Mardin ili içinde, GES kurulumu için en uygun alanlar genellikle çalışma alanının güney ve batısında yer almaktadır. Çalışma, özellikle Mardin ilinin Kızıltepe ilçesinin kent merkezinin kuzey ve batısında, ayrıca Derik ilçesinin kent merkezinin güneyinde bulunan alanların GES kurulumu için en uygun bölgeler olduğunu tespit etmiştir.

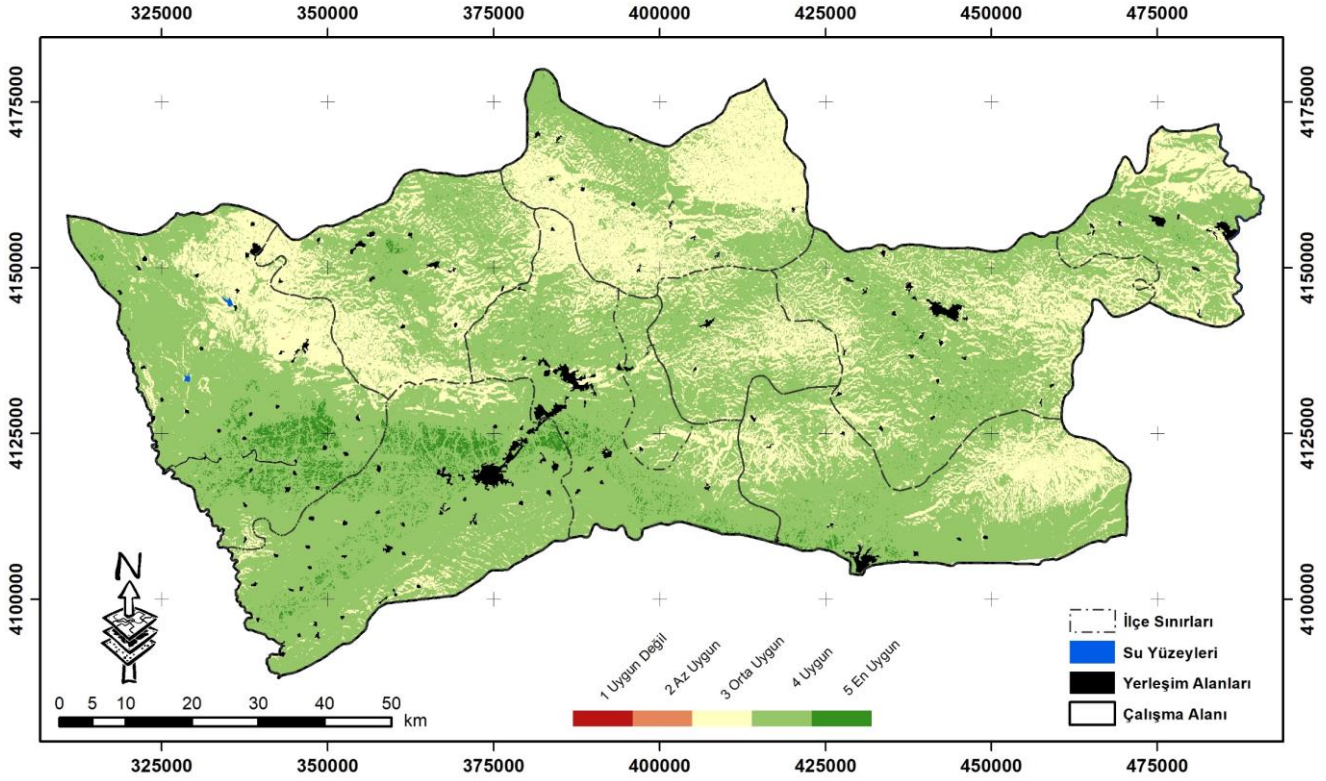
Mardin İli genelinde güneş radyasyon ışınım değeri yıllık 1800-2000 kWh/m² aralığındadır ve çalışma alanının %99'unu kapsamaktadır. Bu yüksek güneş radyasyon değeri, il genelinde GES potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Mardin ili genelinde bulunan mevcut GES konumları, uygunluk haritasında belirlenen “en uygun” ve “uygun” alanlarla örtüşmektedir. Bu durum, mevcut tesislerin yer seçiminin çalışma sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu uyum, çalışmada kullanılan yöntemin uygulanabilirliğini daha da artırmaktadır.



Şekil 5. Kriterlerin Öncelik Ağırlıkları



Şekil 6. Kullanılan Parametreler a. Güneş Radyasyonu b. Eğim c. Bakı d. Arazi Kullanımı e. Yerleşim Alanlarına Uzaklık f. Yol Ağına Uzaklık g. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık h. Trafo Merkezine Uzaklık



Şekil 7. GES İçin Uygun Alanlar

Tablo 6. GES İçin Uygun Alanların Alansal ve Oransal Dağılımı

	km ²	%
(5) En Uygun	217.52	%2.48
(4) Uygun	5983.86	%68.12
(3) Orta Uygun	2582.42	%29.40
(2) Az Uygun	0.85	%0.01
(1) Uygun Değil	-	-

SONUÇ VE ÖNERİLER

CBS temelli AHP yöntemi daha objektif ve bilimsel bir yaklaşım sağlayarak GES için en uygun yerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu çalışma, GES için uygun yer seçimi sürecinin incelendiği, 8 farklı kriter için uygunluk haritalarının oluşturulduğu, AHP yöntemi kullanılarak bu kriterlerin ağırlıklandırıldığı ve sonucunda Mardin ili genelinde GES uygunluğunu gösteren nihai haritanın elde edildiği bir dizi süreci içermektedir. Günümüzde güneş enerjisi kaynakları üzerinde aktif bir şekilde çalışmalar devam etmektedir. Ancak mevcut çalışma, Mardin ili için CBS tabanlı AHP yöntemi kullanarak GES yer uygunluğunu ilk kez ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Mardin ili bütününe yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada, bölgenin %68.12'sinin GES için “uygun alanlar (4)” olarak belirlendiği, %29.40'lık bölümünün “orta derecede uygun alanlar (3)” olarak, %2.48'lik kısmın “en uygun alan (5)” olduğu ve %0.01'lik kesimin “az uygun alanlar (2)” olduğu tespit edilmiştir. GES için “en uygun alanların (5)” ağırlıklı olarak Kızıltepe ve Derik ilçelerini kapsadığı yani çalışma alanının güney ve batısında yer aldığı görülmektedir.

Çalışma alanı içerisinde mevcut durumda kullanımda olan güneş enerjisi santrallerinin konumları göz önünde bulundurulduğunda, Mardin GES uygunluk haritasında tespit edilen “en uygun (5)” ve “uygun (4)” alanlara denk geldiği görülmektedir. Bu durum, çalışmada ele alınan kriterlerin yer seçimi için oldukça etkili olduğunu ve CBS tabanlı AHP yönteminin, karar verme sürecini kolaylaştırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, AHP yöntemi ile entegrasyonu, geniş alanların ve zengin coğrafi bilgi verilerinin sistematik bir şekilde ele alınmasını sağlayarak, GES'in en uygun yerlerini belirlemede kritik öneme sahip kriterleri etkili bir şekilde yönetmek için faydalı bir teknik sunmaktadır. Mardin, Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan ve yüksek güneş ışınımı potansiyeline sahip olmasından dolayı GES yer seçimi için uygun bir bölgedir. Bununla birlikte bulgulara göre, çalışma alanının iklimsel

potansiyeli ve coğrafi konumu, GES kurulumu için geniş bir uygun alan sunmaktadır. GES'nin bölgede belirlenen en uygun alanlara kurulumu, enerji üretiminde çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenmesine ek olarak bölgenin kalkınmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda, yeşil bir ekonomide GES yatırımları için karar verme desteği oluşturacaktır.

GES uygun yer seçiminde en önemli kriterler arasında trafo merkezleri ve bağlantı kapasiteleri yer almaktadır. Ancak bu kriterlere ait verilerin yıllık olarak güncellenmesi ve değişmesi nedeniyle, mevcut çalışmada bu kriterlere yer verilmemiştir. Bu araştırmaya, gelecekte yapılacak veya yapılması planlanan potansiyel güneş enerjisi santralleri yer seçimi için stratejik bir planlama rehberi sunmaktadır. Araştırmanın devamında, belirli bir güneş enerjisi santrali projesi için planlanan tesisin proje ve uygulama aşamalarında, trafo merkezleri ve bağlantı kapasiteleri kriterlerinin de dikkate alınması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- 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>
- Arca, D. & Çıtıröğlü, H. K. (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>
- Azhar, N. A., Radzi, N. A. M., Mustafa, I. S., Azmi, K. H. M., Samidi, F. S., Zulkifli, I. T., & Zainal, A. M. (2023). Selecting communication technologies for an electrical substation based on the AHP. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3321922>
- Azmi, R., Amar, H., Chenal, J., Diop, E. B., & Tekouabou Koumetio, C. S. (2022). Decision analysis related to solar farm investments based on analysis hierarchical process and fuzzy AHP for sustainable energy production. *International Journal of Energy Research*, 46(9), 11730-11755. <https://doi.org/10.1002/er.7943>
- Doğan, H., & Uludağ, A. S. (2018). Yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi ve uygun tesis yeri seçimi: Türkiye'de bir uygulama. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(2), 157-180.
- Fang, D., Shi, S., & Yu, Q. (2018). Evaluation of sustainable energy security and an empirical analysis of China. *Sustainability*, 10(5), 1685. <https://doi.org/10.3390/su10051685>
- Habib, S. M., Suliman, A.E.R.E., Al Nahry, A. H., & Abd El Rahman, E. N. (2020). Spatial modeling for the optimum site selection of solar photovoltaics power plant in the northwest coast of Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100313>
- İnceyavuz, H., Alkan, T., & Durduran, S. S. (2022). Adana şehir merkezinde CBS ve AHP kullanılarak alışveriş merkezleri için uygun yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 824-835. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1099852>
- Kaimbekova, A. (2020). Güneş enerjisi santrali kurulumuna uygun alanların uzaktan algılama ve CBS yöntemleri ile belirlenmesi (Türkistan ve Karaganda, Kazakistan). Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir 156s.
- Kereush, D., & Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, (4), 39-54. <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>
- Konurhan, Z., Yucesan, M., & Gul, M. (2023). A GIS-Based BWM Approach for the Location Selection of Solar Power Plant in Tunceli Province (Turkey). In *Advances in Best-Worst Method: Proceedings of the Third International Workshop on Best-Worst Method (BWM2022)* (pp. 87-102). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24816-0_8
- Kumar, M. (2020). Social, economic, and environmental impacts of renewable energy resources. *Wind solar hybrid renewable energy system*, (pp. 227-237). <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89494>
- Obut, Z. (2016). Göksun ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS yöntemi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, 56s.
- Ozdemir, S., & Sahin, G. (2018). Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. *Measurement*, 129, 218-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.020>

- Ruiz, H.S., Sunarso, A., Ibrahim-Bathis, K., Murti, S.A., Budiarto, I., (2020). GIS-AHP multi criteria decision analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia. *Energy Reports*, 6, 3249–3263. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.198>
- Saaty, T.L., (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw-Hill; 1980.
- Saraswat, S. K., Digalwar, A. K., Yadav, S. S., & Kumar, G. (2021). MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. *Renewable Energy*, 169, 865-884. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.056>
- Sarsıcı, N. (2020). Karabük ilinde güneş enerjisi santrali (ges) kurulabilecek alanların çok ölçütlü karar analizi ile tespiti. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Ana Bilim Dalı, Karabük, 191s.
- Shao, M., Zhao, Y., Sun, J., Han, Z., & Shao, Z. (2023). A decision framework for tidal current power plant site selection based on GIS-MCDM: A case study in China. *Energy*, 262, 125476. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125476>
- Soydan, O. (2021). Solar power plants site selection for sustainable ecological development in Nigde, Turkey. *SN Applied Sciences*, 3(1), 41. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04112-z>
- Şenlik, İ. (2017). Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi. *Elektrik Mühendisliği*, 462, 94-98.
- Turan, E. S. (2022). Adana ili için coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak güneş enerjisi santrali yer seçiminin optimizasyonu. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 171s.
- URL-1, (2023). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Erişim Tarihi: 03.10.2023.
- URL-2, (2023). İklim Verileri <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MARDIN>, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim Tarihi: 03.10.2023.
- URL-3, (2023). Global Radyasyon Haritası. <https://globalsolaratlas.info/download/turkey>, Erişim Tarihi: 10.09.2023.
- URL-4 (2025). DEM Verisi (Sayısal Yükseklik Modeli). <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Erişim Tarihi: 10.09.2023.
- URL-5 (2023). Corine 2018 Arazi Örtüsü Verisi. <https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?product=130299ac96e54c30a12edd575eff80f7>, Erişim Tarihi: 10.09.2023.
- URL-6 (2024). Mekansal Veriler. <https://overpass-turbo.eu/>, Erişim Tarihi: 10.09.2023
- Uyan, M. (2017a). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.59489>
- 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>
- Villacreses, G., Martinez-Gomez, J., Jijon, D., & Cordovez, M. (2022). Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation. *Energy Reports*, 8, 3526-3548. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.152>
- Yalçın, C., & Yüce, M. (2020). Burdur’da Güneş Enerjisi Santrali (GES) yatırımına uygun alanların CBS tabanlı AHP yöntemiyle tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36-46. <https://doi.org/10.29128/geomatik.561962>
- 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>