

CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YAKLAŞIMI KULLANILARAK GÜNEŞ PANELİ TARLALARI İÇİN UYGUN YER SEÇİMİ: ANKARA'DA ÖRNEK ÇALIŞMA

Mine Nur MESUT¹

¹Öğr. Gör., Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Uzay Mühendisliği Bölümü, 06790, Etimesgut, Ankara, mmesut@thk.edu.tr

ÖZET

Yenilenemez enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve dünya üzerinde kirliliğe sebep olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artmaktadır. Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından daha çok verim alınabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan biri de coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme analizi (ÇKKA) yöntemleri kullanılarak güneş paneli tarlaları için en uygun yer seçimidir. Bu çalışmada da Ankara ilinin güneş paneli tarlaları için en uygun alanları analiz edilmiştir. Bu analiz için ÇKKA yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) kullanılmıştır. Analizde veri seti olarak Ankara iline ait yükseklik, baki, eğim, arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritaları, yerleşim yerlerine uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, karayollarına olan uzaklık haritaları ve Temmuz ayına ait yıllık ortalama hava sıcaklığı ile küresel güneş ışınımı haritaları kullanılmıştır. Bu haritalara güneş paneli tarlası için önemlerine göre ağırlık derecelendirilmesi yapılmıştır ve bu ağırlıklar ile haritalar kullanılarak güneş paneli tarlaları için uygunluk haritası oluşturulmuştur. Uygunluk haritasına göre yaklaşık 5858 km² alan çok uygun, 6292 km² alan uygun, 6533 km² alan orta derecede uygun, 6602 km² alan az derecede uygun ve 6380 km² lik alanların hiç uygun olmadığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, Ankara ilinin yaklaşık %38'lik bir kısmı güneş paneli tarlaları için uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çok Kriterli Karar Verme Analizi, Güneş paneli tarlaları, Uygunluk haritası

ABSTRACT

SUITABLE SITE SELECTION FOR SOLAR PANEL FARMS USING GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION MAKING ANALYSIS APPROACH: CASE STUDY IN ANKARA, TURKIYE

The demand for renewable energy resources is increasing due to the rapid depletion of non-renewable energy resources and causing various pollution in the world. Various studies are being carried out to obtain more efficiency from renewable energy sources such as wind energy and solar energy. One of these is the selection of the most suitable location for solar panel fields using geographic information systems (GIS) and multi-criteria decision-making analysis (MCDA) methods. In this study, the most suitable areas for solar panel fields in Ankara were analyzed. For this analysis, the analytical hierarchy process (AHP), one of the MCDA methods, was used. In the analysis, elevation, aspect, slope, land use and land cover maps of Ankara province, distance to settlements, distance to energy transmission lines, distance to highways, and annual average air temperature and global solar radiation maps for July were used as data sets. These maps have been weighted according to their importance for the solar panel field. And using these weights and maps, a suitability map for solar panel fields was created. According to the suitability map, approximately 5858 km² area is most suitable, 6292 km² area is moderately suitable, 6533 km² area is suitable, 6602 km² area is marginally suitable and 6380 km² areas are not suitable at all. According to these results, approximately 38% of Ankara province was found to be suitable for solar panel farms.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Geographic Information Systems, Multi-Criteria Decision Making Analysis, Solar panel fields, Suitability map

1. GİRİŞ

Çok kriterli karar verme analizi (ÇKKA) metotları genel olarak, karar vericilere, çoklu kriterlerin ve farklı kriter önceliklerinin varlığında, belli sayıdaki seçenekler arasından en uygun seçeneği seçmede yardımcı olmaktadır (Jankowski, 1994). Coğrafi bilgi sistemlerinde (CBS) ise, tehlikeli atık depolama, perakende satış noktaları, hastane/okul gibi kamu kurumları gibi çeşitli hizmet veren tesisler için en uygun alan seçimi için ÇKKA metotları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu metotlardan bazıları şunlardır:

- Ağırlıklı toplam metodu (WSM),
- Ağırlıklı çarpım metodu (WPM),
- Analitik hiyerarşi yöntemi (AHP), vb. (Jankowski, 1994).

Literatür incelemesi yapıldığında, güneş paneli tarlaları için uygun yer seçimi için AHP metodunun ve türevlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Zoghi, vd., 2017; Doorga, vd., 2019; Türk, vd., 2021; Islam, vd., 2024;

Karipoğlu, vd., 2024). Türkiye’de Kayseri, Burdur, Niğde, Karabük, Konya, Erzurum ve Adana illerinde güneş paneli tarlaları için CBS-tabanlı AHP metodu kullanılarak en uygun yer seçimi çalışmaları yapılmıştır. Fakat Ankara ilinde bir çalışma yapılmadığı görülmüştür (Yalçın ve Yüce, 2020; Günen, 2021; Soydan, 2021; Arca ve Keskin Çıtıroğlu, 2022; Arca, vd., 2023; Uyan ve Doğmuş, 2023; Demir, vd., 2024).

Bu çalışmada, CBS-tabanlı AHP metodu kullanılarak Ankara ili içerisinde seçilen coğrafi, meteorolojik ve beşerî kriterlere göre güneş paneli tarlaları için en uygun alanların seçimi yapılacaktır. Buna göre Ankara ilinde ne kadarlık alanın güneş paneli tarlaları için uygun olduğu belirlenebilecektir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışma için öncelikle Ankara iline ait coğrafi, meteorolojik ve beşerî özelliklerinden;

- yükseklik,
- bakı,
- eğim,
- yerleşim alanlarına uzaklık,
- enerji nakil hatlarına uzaklık,
- küresel güneş ışınımı,
- 1970 – 2000 yıllarının Temmuz ayına ait yıllık ortalama hava sıcaklığı değerleri,
- arazi kullanımı ve arazi örtüsü, ve
- karayollarına uzaklık kriter olarak belirlenmiş ve bu kriterlerin verileri çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir.

Çalışma alanında yaklaşık 620 km²’lik göl, baraj, akarsu gibi su kütlelerini içeren bir alan kurulum için uygun alan olmayacağı için çalışma alanından çıkarılmıştır. Yerleşim alanlarına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık ve karayollarına uzaklık verileri vektör veriler olarak elde edilmiştir ve bu verilere tampon analizi uygulanarak AHP metodunda tampon analizi sonuçları kullanılmıştır.

Bu veriler, coğrafi bilgi sistemleri uygulaması olan Quantum Geographical Information Systems (QGIS)’te sonradan kullanılmak üzere katman olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan katmanlar, güneş paneli tarlasına uygunluk derecelerine göre tekrardan beş ana kategoride sınıflandırılmıştır. Bu kategoriler, her katman için ayrı ayrı “1-Hiç Uygun Değil, 2-Az Derecede Uygun, 3- Orta Derecede Uygun, 4- Uygun, 5- Çok Uygun” şeklinde ortak olarak isimlendirilmiştir. Bu ortak isimlendirme, uygunluk haritası sınıflandırılırken de kullanılmıştır.

Ardından, AHP metodu kullanılarak bu kriterlerin ağırlıkları oluşturulmuştur. Metot, genel olarak ikili karşılaştırma matrisi kullanarak kriterlerin ağırlıklarını hesaplar (Günen, 2021). Ağırlıklarına göre derecelendirme yapılmıştır. (bkz. Çizelge.1)

Çalışmada kullanılacak olan AHP metodu şu şekilde uygulanmıştır:

1. Öncelikle kriterlere önem derecelerine göre ağırlık değerleri verilmiştir.
2. Bu ağırlık değerleri ile ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.
3. Bu matristeki değerler daha kolay karşılaştırma yapılması amacıyla lineer toplam tekniği ile normalize edilmiştir.
4. Ardından aşağıdaki denklemler kullanılarak tutarlılık indeksi (CI) ve tutarlılık oranı (CR) hesaplanarak kriterlerin ağırlıklarının tutarlılığına bakılmıştır.

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

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Denklem (1)’deki λ_{max} , tutarlılık vektörünün ayrıştırılmasından elde edilen maksimum özdeğerdir. Kriter sayısına göre, uygun rastgele tutarlılık endeksi (RI) değeri Çizelge.1’den seçilir. CR değeri %10’un altında olduğunda ikili karşılaştırmalar kabul edilebilir (Günen, 2021-2).

Çizelge.1 RI değer tablosu

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.058	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

5. Elde edilen normalize edilmiş ağırlık değerleri kullanılarak uygunluk analizi yapılmıştır. (Doorga, vd., 2019)

3. BULGULAR

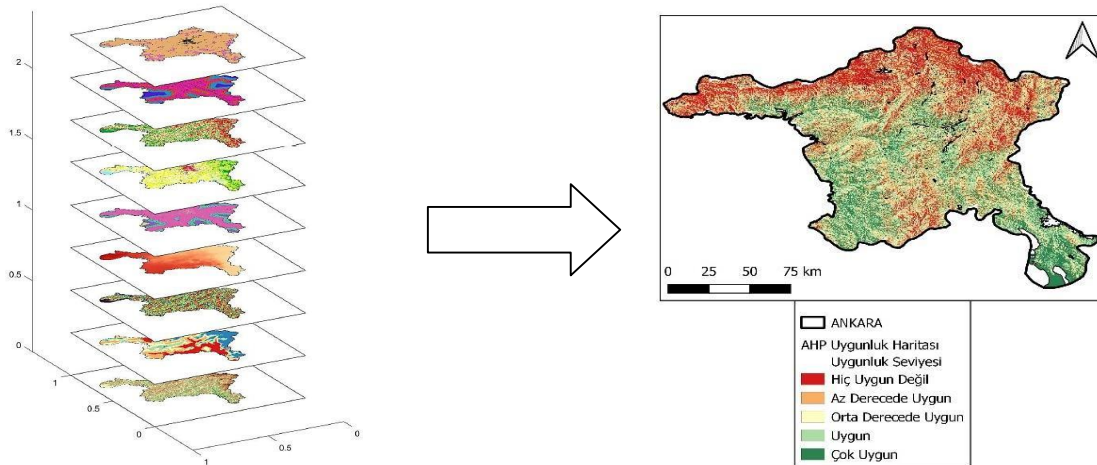
Kriterler ve bu kriterlere verilen ağırlık değerleri literatürdeki çalışmalar örnek alınarak belirlenmiştir (Zoghi, vd., 2017; Yuschenko, vd. 2018; Doorga, vd., 2019; Günen, 2021; Rios, ve Duarte, 2021). Ardından normalize edilmiş bu ağırlık değerleri ve dereceleri Çizelge.2’de verilmiştir.

Çizelge.2 Kullanılan kriterler ve AHP metodu ile belirlenen ağırlık dereceleri

Kriter	AHP Normalize Edilmiş Ağırlıklar	AHP Ağırlık Derecesi
Küresel Güneş Işınımı (Yıllık)	0,233288	1
Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı (Temmuz Ayına Ait)	0,142430	4
Yükseklik	0,063425	7
Eğim	0,153190	3
Bakı	0,165452	2
Anayollara Uzaklık	0,075359	5
Yerleşim Yerlerine Uzaklık	0,055555	8
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	0,071052	6
Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü	0,040249	9

Kriterlerin normalize edilmiş ağırlıklarının derecelerine bakıldığında, güneş paneli tarlası için Küresel Güneş Işınımı kriterinin diğer kriterlerden daha önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca önceki çalışmalara bakıldığında da bu kriterin en yüksek ağırlığa sahip olduğu ve en önemli kriter olduğu görülmüştür (Zoghi, vd., 2017; Yuschenko, vd. 2018; Doorga, vd., 2019; Günen, 2021; Rios, ve Duarte, 2021). Ayrıca Bakı kriterinin de Küresel Güneş Işınımı kriterinden sonra en önemli ikinci kriter olduğu da görülmüştür (Zoghi, vd., 2017; Doorga, vd., 2019). Bu çalışmaya göre en az önemli olan Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü kriteri çıkmasına rağmen önceki çalışmalarda en az önemli olan kriter değişiklik göstermiştir. Bunun sebebi de her çalışmanın farklı kriterler içermesidir.

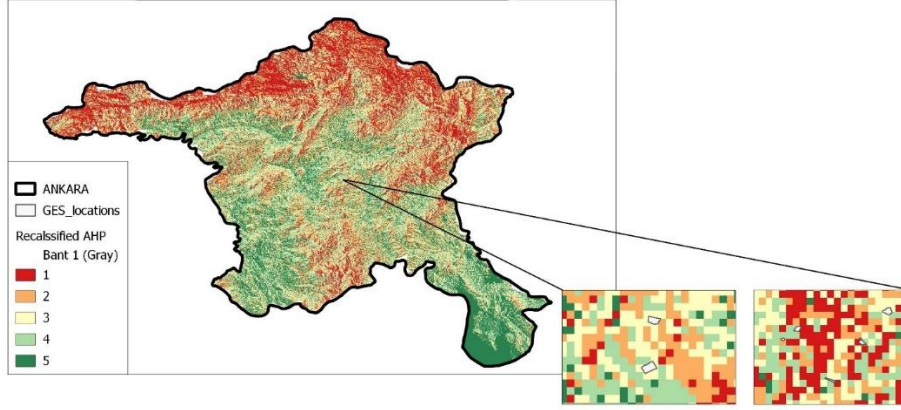
Bu normalize edilmiş değerler kullanılarak QGIS’te raster hesaplama aracı kullanılarak güneş paneli tarlaları için uygunluk haritası oluşturulmuştur. (bkz. Şekil.1)



Şekil.1 Ankara ili için, AHP metodu ile yapılan güneş paneli tarlası için uygunluk analizinde kullanılan kriterler ve oluşturulan uygunluk haritası

Yapılan çalışmanın sonucunda, Şekil.1'de de görülen uygunluk haritasına göre yaklaşık 5858 km² alan çok uygun, 6292 km² alan uygun olduğu görülmüştür. Bu alanlarda analiz sonucunda güneş paneli tarlaları kurulabileceği görülmüştür. Ayrıca 6533 km² alan orta derecede uygun, 6602 km² alan az derecede uygun olduğu görülmüştür. Bu alanlar ise güneş paneli tarlaları için, çok uygun ve uygun alanlara göre daha az tercih edilebilir. Son olarak 6380 km²'lik alanların hiç uygun olmadığı görülmüştür.

AHP metodu analizi sonucu oluşturulan uygunluk haritasının doğruluğunu analiz edebilmek için Ankara ilinde halihazırda kurulu ve halen enerji üretmekte olan güneş paneli tarlaları konumları ile Şekil.2'de karşılaştırma yapılmıştır (Günen, 2021-2).



Şekil.2 Ankara ili güneş paneli tarlası uygunluk haritası ve güncel güneş paneli tarlaları

Karşılaştırma için güncel tarlaların konumları www.overpass-turbo.eu sitesinden vektör veri elde edilmiştir. Google Earth Pro üzerinden de bu vektör verinin doğruluğu sağlanmıştır. Aşağıda yer alan Çizelge.3'te rastgele seçilmiş güncel güneş paneli tarlaları ve uygunluk haritası bindirilmiş konum görüntüleri verilmiştir. Bu çizelgeye göre; halihazırda kurulu ve çalışan güneş paneli tarlaları genellikle uygunluk haritasında “Çok Uygun” ya da “Uygun” olarak belirlenen alanlarda konumlandırılmış iken, bazı tarlaların uygunluk haritasındaki “Orta Derecede Uygun” ve “Az Derecede Uygun” olarak belirlenen alanlarda konumlandırıldığı görülmüştür. Tüm ilde kurulu tarlalara bakıldığında ise, uygunluk haritası ve kurulu tarlalar birbiri ile uyduğu görülmüştür.

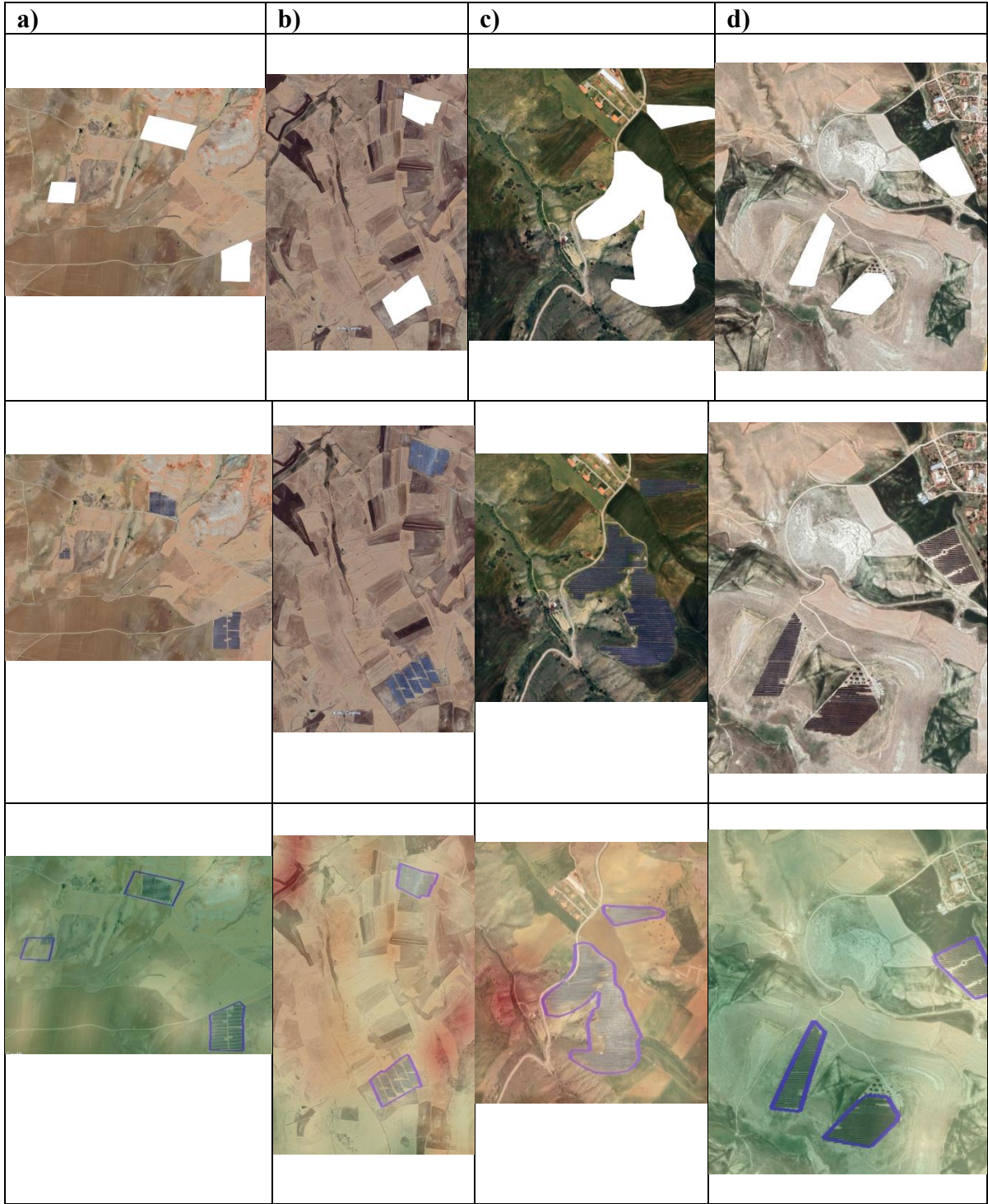
4. SONUÇ

Bu çalışmada, Ankara ilinde güneş paneli tarlaları için uygun olabilecek alanların tespiti için CBS-tabanlı ÇKKA metodlarından biri olan AHP metodu kullanılmıştır. Literatüre bakıldığında Ankara ili için böyle bir çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre Ankara ilinin yaklaşık % 38'si güneş paneli tarlaları için uygun alanlar olarak tespit edilmiştir.

Google Earth Pro üzerinden yapılan karşılaştırmada ise güncel çalışmakta olan güneş paneli tarlalarının çoğunlukla uygun bulunan alanlarda kurulduğu ve AHP metodu sonucu elde edilen uygunluk haritasının güncel tarlalara göre doğru olabileceği görülmüştür. Bu sonuçlara göre, uygunluk haritasındaki uygun olarak belirlenen alanlarda kurulacak tarlaların, diğer alanlara göre daha verimli çalışabileceği düşünülmektedir.

Önceki çalışmalar ışığında, farklı ÇKKA metodları kullanılarak da Ankara ili için güneş paneli tarlası uygunluk analizi yapılarak sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılabilir. Bu şekilde de literatüre katkı sağlanabilir.

Çizelge.3 Güncel güneş paneli tarlalarının vektör verileri ve Google Earth Pro görüntüleri



KAYNAKLAR

- Arca, D., & Keskin Çıtıroğlu, H. 2022. Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*.
- Arca, D., Keskin Çıtıroğlu, H., & Yalçınkaya, N. 2023. Determining optimal solar power plant (SPP) sites by technical and environmental analysis: the case of Safranbolu, Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Demir, A., Diñer, A., & Yılmaz, K. 2024. A novel procedure for the AHP method for the site selection of solar PV farms. *International Journal of Energy Research*.
- Doorga, J., Rughooputh, S., & Boojhawon, R. 2019. Multi-criteria GIS-based modelling technique for

- identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. *Renewable Energy*, s. 1201-1219.
- Günen, M.** 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*, s. 57232-57247.
- Günen, M.** 2021-2. A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey. *Renewable Energy*, s. 212-225.
- Islam, M., Aziz, M., Alauddin, M., Kader, Z., & Islam, M.** 2024. Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach. *Renewable Energy*.
- Jankowski, P.** 1994. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *Journal of Geographical Information Systems*.
- 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* .
- Rios, R., & Duarte, S.** 2021. Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process - Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-17.
- Soydan, O.** 2021. Solar power plants site selection for sustainable ecological development in Nigde, Turkey. *SN Applied Sciences*.
- 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*.
- Uyan, M., & Doğmuş, Ö.** 2023. An integrated GIS-based ANP analysis for selecting solar farm installation locations: Case study in Cumra region, Turkey. *Environmental Modeling & Assessment*.
- Yalçın, C., & Yüce, M.** 2020. Burdur'da güneş enerjisi santrali (GES) yatırımına uygun alanların CBS tabanlı AHP yöntemiyle tespiti. *Geomatik*.
- Yuschenko, A., 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*, 2088-2103.
- Zoghi, M., Ehsani, A., Sadat, M., Amiri, M., & Karimi, S.** 2017. Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 986-996.