

AHP-VIKOR hibrit yöntemi ile güneş enerjisi santrali yer seçimi

Esra Demirkıran Göbeloğlu^a, Mustafa Cahit Ugan^b

^a Sakarya Üniversitesi, İşletme Enstitüsü, İşletme Bölümü, e-posta: esra.gobeloglu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6814-7741

^b Sakarya Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, e-posta: ungan@sakarya.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2041-1344

MAKALE BİLGİLERİ

Araştırma Makalesi
Geliş Tarihi: 10 Kasım
2023

1. Revizyon Tarihi: 24
Kasım 2023

2. Revizyon Tarihi: 19
Aralık 2023

Kabul Tarihi: 19 Aralık
2023

Öz

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de kurulacak Güneş Enerjisi Santrali (GES) için mevcut alternatif iller olan İstanbul, Nevşehir ve Bilecik arasından Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniği kullanılarak en uygun yerin seçilmesidir. Bu amaçla ilk aşamada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış, ikinci aşamada ise VIKOR yöntemiyle belirlenen alternatifler üstünlüklerine göre sıralanarak uzlaşıcı ortak bir çözüm elde edilmiştir.

Yöntem: Güneş enerjisi santralleri için nihai yer seçim kriterlerini belirlemek için mevzuatlar açısından, santrallerin verimliliği açısından ve sosyal, coğrafik ve ekonomik etkiler açısından yer seçim koşulları dikkate alınarak Çok Kriterli Karar Verme metodlarından AHP ve VIKOR yöntemleri uygulanmıştır. Bilgisayar programı olarak da AHP yöntemi uygulamalarında sıklıkla kullanılan Super Decisions bu çalışmaya eşlik etmiştir. Literatürde daha önce bu konu üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; AHP ve VIKOR yöntemini ayrı ayrı kullanan birçok çalışmaya rastlanmasına rağmen bunların birlikte etkisinin incelendiği akademik çalışma sayısının oldukça sınırlı ve çalışmalarda kullanılan kriter sayısının da oldukça az olduğu görülmüştür. Araştırmada AHP kullanılmasının nedeni hala güncel bir yöntem olması ve yöneylem araştırmalarında en sık kullanılan Çok Kriterli Karar Verme tekniği olmasıdır. Diğer yandan, farklı bir karar verme yaklaşımından daha faydalanılarak uygulamalara yol göstermesi ve literatüre de katkı yapılması amaçlandığı için VIKOR kullanılmıştır.

Bulgular: Ekonomik, teknik, sosyal ve coğrafi ana kriterleri ile bu ana kriterlere bağlı arazi maliyeti, enerji nakil hattına uzaklık, bölgesel teşvikler, güneşlenme süresi, sıcaklık, arazi ışınım miktarı, eğim, fay hatlarına uzaklık, yağış miktarı, karlı gün sayısı, yerleşim alanına uzaklık ve işgücü olarak tanımlanan on iki adet alt kriter tespit edilmiştir. Bu kriterlerin ağırlıkları bulunmuş ve alternatifler sıralanmıştır.

Sonuç: Araştırmada Nevşehir'in güneş enerjisi santrali için en iyi seçim yeri olduğu sonucu elde edilmiştir. Araştırma sonuçlarının solar enerji konusunda çalışma yapan uygulamalara ve akademisyenlere yol göstermesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş enerjisi santrali yer seçimi, Çok kriterli karar verme, AHP, VIKOR

Solar power plant location selection with AHP-VIKOR hybrid method

ARTICLE INFO

Research Article
Received: November 10,
2023
Received in 1st revised
form: November 24, 2023
Received in 2nd revised
form: December 19, 2023
Accepted: December 19,
2023

Abstract

Aim: This study aims to select the most suitable location for the Solar Power Plant (SPP) to be established in Turkey, using the multi-criteria decision-making (MCDM) techniques among the alternative provinces of Istanbul, Nevşehir, and Bilecik. For this purpose, in the first stage, location selection conditions in terms of legislation, efficiency of the power plants, and social, geographic, and economic impacts were taken into account to determine the final site selection criteria for solar power plants. In the second stage, criterion weights were calculated using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. In the third stage, a compromise solution was obtained by ranking the alternatives determined by the VIKOR method according to their superiority.

Method: To determine the final site selection criteria for solar power plants, AHP and VIKOR methods, which are Multi-Criteria Decision Making methods, were applied, taking into account the site selection conditions in terms of legislation, the efficiency of the plants and social, geographical and economic impacts. Super Decisions, which is frequently used as a computer program in AHP method applications, accompanied this study. When previous studies on this subject in the literature are examined; Although there are many studies using the AHP and VIKOR methods separately, it has been observed that the number of academic studies examining their combined effects is quite limited and the number of criteria used in the studies is quite low. The reason for using AHP in the research is that it is still an up-to-date method and is the most frequently used Multi-Criteria Decision Making technique in operations research. On the other hand, VIKOR was used because it was aimed to guide practitioners and contribute to the literature by utilizing a different decision-making approach.

Findings: In this study, three provinces where a solar power plant can be established were discussed, and the most suitable one of these provinces was selected using multi-criteria decision-making methods. Four main criteria were used: technical, social, and geographical. On the other hand, twelve sub-criteria were used: land cost, power transmission line distance, regional incentives, sunshine duration, temperature, land radiation amount, slope, distance to fault lines, precipitation amount, number of snowy days, distance to settlement area, and labor force. The AHP method was used to determine the criteria weights, and the VIKOR method was used to list the alternatives.

Results: The findings showed that Nevşehir is the best location for the solar power plant. It is expected that the research results will guide practitioners and academicians working on solar energy.

Keywords: Solar energy, Solar power plant site selection, Multi criteria decision making, AHP, VIKOR

Giriş

Enerji aslında temelinde hayatın sürdürülebilmesi için gerekli olan temel ihtiyaçların biri olarak tanımlanabilir. Bugün evimizden iş yerine, sokaktan parka her alanda gündelik faaliyetlerin sürdürülmesinde önemli ana ihtiyaç olan güç konumundadır. Bununla birlikte günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının büyük bir kısmının sınırlı ve tükenbilir olduğu bilinmektedir. Enerji tüketiminin her geçen gün arttığı dünyamızda, fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve çevreye verdikleri zarar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır (Yolcan ve Köse, 2020).



Enerji kaynaklarının kullanımı ile başlanarak tüm aşamalarında toplumun çıkarları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu süreçlerde çevre, iklim ve doğaya minimal zarar verilmesi gerekir. Enerji, her tüketici için yeterli, kaliteli, sürdürülebilir ve en optimum maliyetli bir şekilde sunulmalıdır. Bu, temel bir enerji politikası gerekliliğidir (Yolcan ve Köse, 2020).

Gün geçtikçe artan talep ve elektriğin bu kadar ihtiyaç duyulan bir kaynak olması sebebiyle yeni kaynak arayışları içerisine girilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu noktada hem sürdürülebilir olmaları hem de fosil yakıtlar kadar zararlı olmaması sebebiyle kurtarıcı bir hale gelmiştir. Bu nedenle de önemleri gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynakları için teşvik paketleri oluşturulmakta ve yapılması için kolaylıklar sağlanmaktadır (Akçay, 2019).

Ülkemiz güneş enerji potansiyeli bakımından oldukça zengin olduğundan, santrallerin yerleştirileceği konumun belirlenmesinde detaylı çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır. GES' in uygun bir yerin belirlenmesi, karar vericiler için karmaşık bir problem olup birçok alternatifi ve farklı tercihleri beraberinde taşımaktadır. Bu seçim arazi kullanımı, coğrafya, trafo merkezlerine uzaklık, arazi hava şartları gibi faktörlerin etkisini göz önünde bulundurmaktadır. Ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan pek çok faktörleri içeren karmaşık bir sürü adımlardan oluşur (Turan, 2022). GES' in kurulması için yalnızca güneş enerjisi potansiyeli parametresini kullanarak arazi seçmek yeterli olmayabilir. Farklı kriterler de hesaba mutlaka katılmalıdır. GES' nin kurulabileceği konumların tespiti için öncelikle hangi ölçütlerin değerlendirilmeye alınacağı uzmanlar tarafından belirlenmelidir. Günümüzde GES yatırımı uygun yer belirleme için karar süreçlerine ve literatüre (Yuan, 2017; Özdemir, Özcan ve Aladağ, 2017; Yolcan ve Köse, 2020) bakıldığında yalnızca güneş enerjisi potansiyel verisinin ve alışılagelmiş birkaç ana verinin kullanıldığı saptanmıştır. Bu çalışmada GES optimum yer belirlenmesi çeşitli karar faktörleri yardımıyla iki aşamalı metodoloji kullanılarak yapılmıştır. Faktörlerin belirlenmesi uzman yetkililerle birlikte yapılmıştır. Daha önce karşılaştırılmamış şehirler tercih edilerek ve iki farklı yöntem bir arada kullanılarak detaylı bir analiz amaçlanmıştır. Çalışma literatürdeki bu boşluğu doldurmak üzere kaleme alınmış olup daha sonraki yapılacak olan çalışmalara da yol göstermesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada ekonomik, teknik, coğrafik ve sosyal ana başlıklar altında 12 adet alt kriter kullanılmıştır. Çalışmanın ana amacı İstanbul, Nevşehir ve Bilecik illerinin analizi yapılarak, en optimum güneş enerjisi sahasının tespit edilmesidir. Güneş enerji potansiyeli atlası kullanılarak üç farklı güneşlenme süresine sahip bölgelerden iller seçilmiştir. Güneşlenme süresinin uzun olmasından dolayı enerji yatırım potansiyelinin en çok olduğu illerden Nevşehir, sanayinin ve nüfusun en yoğun olduğu illerden İstanbul ve bunlara alternatif olması açısından daha ekonomik ve konum olarak da İstanbul'a yakınlığı sebebiyle Bilecik ili seçilmiştir. Literatürde bu illerin bir arada seçilmediği ve hibrit iki farklı yöntemin kullanıldığı çok az sayıda çalışmaya rastlanmadığı için bu çalışma ayrıca önem taşımaktadır. Diğer yandan araştırma konusu gün geçtikçe artan çevresel farkındalık ve dolayısıyla dünyamızın geleceğini fazlasıyla ilgilendiren yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu ile ilgili olduğu için de önem taşımaktadır.

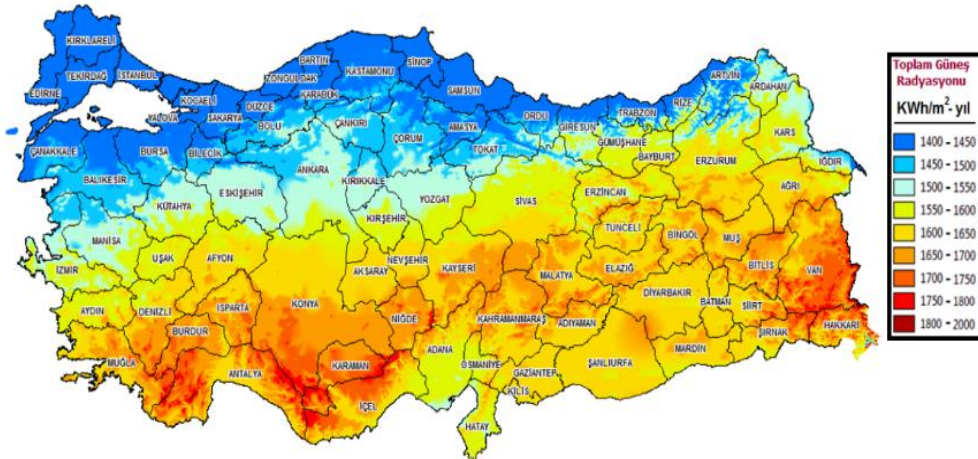
Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucu oluşan oldukça güçlü bir enerjidir. Bu enerjiden faydalanmak amacıyla güneş kolektörleri, GES ve güneş pilleri gibi teknolojiler geliştirilmiştir (Koç ve Kaya, 2015). Aslında insanlar güneşin ürettiği enerjinin sadece küçük bir kısmını kullanabilmektedir. Bu bağlamda en yaygın uygulama alanı güneş enerjisi başta olmak üzere farklı yöntemler kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretimidir (Ceylan ve Gürel, 2021). Bir diğer kullanım alanı ise özellikle evlere kurulan güneş panelleri ile sıcak su üretimi veya bu sıcak su ile evin ısıtılmasıdır. Evlerin yanı sıra çok daha büyük ölçekte arazilere, ev ve işyerleri çatılarına ve arabalara da güneş panelleri uygulanabilmektedir. Bu anlamda güneş enerjisi esas olarak ısı ve elektrik üretir (Yolcan ve Köse, 2020).

Güneş enerjisi ülkemizde en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Ülkemiz dört mevsimin yaşandığı, yılın yaklaşık 114 günü oldukça fazla güneş ışığına maruz kalan bir ülkedir. Araştırmalara göre günde 7,5 saat, yılda ise 2.737 saat güneşlenme süresi hesaplanmıştır (GEPA, 2023).

Ülkemizde güneş ışığına en çok maruz kalan bölge Güney Doğu Anadolu'dur ve bunu Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi takip etmektedir. Güneş ışığının bol olması nedeniyle ağırlıklı olarak güney ve batı kısımlarda GES yapılmıştır. Güneşten elde edilen elektrik ısıtma, sanayi ve seracılıkta faydalanılmaktadır. Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, güneş enerjisi üretiminin en yüksek olduğu ay Haziran, en düşük olduğu ay ise Aralık ayıdır (GEPA, 2023). Türkiye'nin 2017 yılı sonunda güneş enerjisi kurulu gücü 1700MW iken 2019 yılında 3000 MW ve 2023 yılında da toplam kurulu gücün 5000 MW çıkması hedeflenmektedir (Alcan vd., 2018). Dünya Enerji Konseyi'nin tahminine göre 2060 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişim, iyimser senaryoya göre rüzgar ve güneş santrallerinden elektrik üretiminin payının yüzde 39, kötümser senaryoda ise yüzde 20 olması beklenmektedir (Onat, 2018).

Türkiye'nin toplam elektrik üretimi Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) istatistiklerine göre, 2023 Ocak itibarıyla 99 bin 734 MW'dir. Hem ekonomik sebeplerden hem de iklim değişikliği ile mücadele için ülkemizde yerli kaynak kullanımına yönelim vardır. Türkiye'nin, elektrik üretiminde önemli yer tutan yenilenebilir enerji kaynakları, kapasitesinin 53 bin 787 MW'ını oluşturmuştur. Ocak ayı verilerine göre, güneş enerjisinin kurulu güç içindeki toplam oranı %7,55'e, yenilenebilir enerji kurulu gücündeki oranı %14'e çıkmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santral sayısı 2022 Aralık sonu itibarıyla 8 bin 482'ye çıkmıştır (TEİAŞ, 2022). İllere göre güneş enerjisinde en fazla kapasite 914,9 MW ile Konya ve bunu sırası ile 390,9 MW ile Ankara, 376,7 MW ile Şanlıurfa, 335,9 MW ile Kayseri ve 294,6 MW ile İzmir takip etmektedir (Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [GEPA], 2023).



Şekil 1. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
Kaynak:(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023)

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası' na (GEPA) göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat, yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m²'dir (ETKB, 2023).

Literatür Taraması

Ülkemizde ve ülkemiz dışında Güneş enerjisi yer seçimi problemleri çeşitli araştırmalarda konu olarak ele alınmıştır. Bazı çalışmalarda Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) gibi tek bir yöntem kullanılırken bazılarında ise Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi kullanılmıştır. Özdemir ve Şahin (2022) tarafından yapılan çalışmada

GES kurulumu için yer seçimi problemi birçok farklı faktör göz önünde bulundurularak ele alınmıştır. Potansiyel enerji üretimi, çevresel faktörler, topografik özellikler, mevcut iletim hattına uzaklık ve güvenliden oluşan beş ana kriter göz önüne alınarak yapılan yer seçimi çalışmasında AHP yöntemi kullanılmıştır.

Saner (2015) GES' lerin uygun yer seçiminde kullanılan ölçütleri faaliyetlerin verimliliği, çevresel etkiler ve mevzuatı değerlendirerek belirleyip, Karapınar ve Karaman Enerji İhtisas Sanayi Bölgelerini belirlenen ölçütlere göre karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda; Karapınar Özel Sanayi Bölgesi'nin enerji sektöründe hassas bir ekosistem içerisinde yer aldığı, Karaman Enerji ihtisas sanayi bölgesinin ise negatif çevresel faktörler bakımından etki seviyesinin daha düşük olduğu ve yer seçimi için uygun olan alanın Karapınar olduğu tespit edilmiştir.

Uyan (2017) Konya İlçesi Çumra bölgesinde GES kurulabilecek alanların belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve AHP kullanmıştır. Benzer şekilde Beycür (2022) ve Turan (2022) tarafından Elazığ ve Adana ilindeki GES'nin yer seçiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak optimize edilmesi üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Arazi kullanım kriterlerinde; çevresinde tarım arazisi olmayan tarım arazileri, orman arazileri ve çevre koruma alanları sınır alan olarak tanımlanmış ve uygun alanların ağırlık değerleri AHP ile hesaplanmıştır.

Özdemir ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada GES kuruluş yer seçimi için Van, Malatya, İstanbul, Kayseri, Antalya, Konya, Aksaray, Kocaeli, Burdur, Nevşehir, Adana, Denizli ve Sinop illeri, yöntem olarak da AHP ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR) yöntemleri incelenmiştir. Elektrik üretim kapasitesi, arsa metrekaresi fiyatı, terör olasılığı, deprem riski, güneş enerjisi sanayi bölgesine yakınlık gibi kriterlerin incelendiği bu çalışmada santral için en uygun il olarak Konya seçilmiştir.

Akkaş ve arkadaşları (2017) tarafından yürütülen çalışmada GES için seçenek olarak Aksaray, Konya, Karaman, Nevşehir, Niğde illerini ele almış, AHP, İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSIS), Kriterler için Alternatifler Arasında İkili Üstünlük Karşılaştırması (ELECTRE) ve VIKOR yöntemleri uygulanmış ve tüm yöntemler için en uygun il olarak Karaman seçilmiştir.

Uzunay (2022) Giresun ilini örnek alarak GES lokasyonu için uzaktan algılama ve CBS kullanımını çalışmıştır. Öztas (2022) CBS kullanarak belirlenen alanlar üzerinden çok kriterli karar verme yöntemiyle Konya ilinde en uygun GES yer seçimini yapabilecek bütünlük bir yaklaşım sunmuştur. Bu çalışmada öncelikle GES yer seçimini etkileyen faktörler belirlenerek En İyi En Kötü (BWM) Yöntemi ile önem seviyeleri belirlenmiş olup daha sonra aday bölgeler arasından en uygun olanı tespit etmek için CBS kullanılmıştır. BWM ve bulanık yöntemindeki kriter ağırlıkları kullanılarak CBS programında analiz edilmiştir.

GES' nin optimum yer seçimi hakkında akademik çalışmalar uluslararası düzeyde de incelenmiştir. Wu ve Geng (2014) teknik kullanılabilirlik, güneş ve rüzgâr kaynakları, ekonomik, risk ve çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak AHP yöntemini kullanmış ve güneş-rüzgâr hibrit enerji santrali için uygun yer seçimi çalışması yapmıştır. Villacres ve diğerleri (2017) CBS kullanarak Ekvador'da uygun alternatif alanları belirlemiş, AHP ile kriter ağırlıklarını bulmuş ve çok kriterli

karar verme yöntemlerinden olan Mesleki Tekrarlamalı Hareketler İndeksi (OCRA), TOPSIS, VIKOR ve Sıralı Ağırlıklı Ortalama (OWA) kullanarak alternatifleri sıralamışlardır. Ahadi ve diğerleri (2023) İran'da yaptıkları çalışmada AHP ve Expert Choice yazılımlarını kullanarak iklim koşullarına göre en uygun lokasyonu seçmişlerdir. Yazarlar, radyasyon miktarı, güneşli gün sayısı, ortalama sıcaklık, nem miktarı, yağış miktarı, bulutluluk faktörü gibi ana kriterler ve alt kriterleri belirlemiştir. Çalışmada bundan sonra hiyerarşik seviyeler belirlenip ana kriterlerin duyarlılık analizi yapılarak parametre ağırlıklarının alternatifler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Garni ve Awasthi (2017) çalışmalarında Suudi Arabistan'da en uygun GES yerini belirlemek için CBS ve AHP yi birlikte ele almışlardır. Çalışmanın sonucuna göre en optimum lokasyonlar Suudi Arabistan'ın kuzeyi ve kuzeybatısında çıkmıştır. Yazarlar CBS ve AHP yöntemlerinin birlikte kullanımının yer seçimi için yararına vurgu yapmışlardır.

Lee ve diğerleri (2017) Tayvan'daki beş farklı lokasyon arasından GES için en uygun yeri seçmek için Bulanık Analitik Ağ Süreci (FANP) ve VIKOR'u birleştiren kapsamlı birçok kriterli karar verme modelini kullanmıştır. Bulanık Analitik Ağ Süreci, ağı çözmek ve alt kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak amacıyla kullanılmış olup, VIKOR ile GES'nin konumlarının sıralaması sağlanmıştır.

Günen (2021) tarafından yapılan çalışmada CBS ve ÇKKV yöntemleri, Kayseri'deki GES için en uygun lokasyonu tespit etmek amacıyla entegre edilmiştir. Araştırma alanına ilişkin üç ana kriter, on iki alt kriter ve bunların göstergeleri belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için sıralamaya dayalı ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen kriterlere göre kullanılan ÇKKV yöntemleri etkili sonuçlar vermiş ve mevcut GES'nin çoğu, coğrafi bilgi sistemleri yöntemi ile sağlanan uygunluk haritasındaki uygun bölgelerle eşleşmiştir.

Anjuman ve arkadaşları (2023) AHP yöntemini kullanarak Bangladeş'te uygun bir GES yer seçimi problemini çalışmışlardır. Yapılan değerlendirmelerin sonuçlarına göre, Rajshahi'nin GES kurulumu için en iyi lokasyon olduğunu bulunmuştur. Yazarlar çalışmanın sonuçlarının Bangladeş'teki yatırımcıların GES için en iyi yerleri seçmelerine yardımcı olabilecek etkili, pratik ve doğru bir karar verme yöntemi olduğunu belirtmişlerdir.

Halder ve diğerleri (2022) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Batı Bengal bölgesinde GES için uygun yerin belirlenmesinde CBS ve AHP kullanılmış olup Ağırlıklı Katman Analizi (WOA) için ArcGIS kullanılmıştır. CBS kullanılarak uygunluk haritası oluşturulmuş ve her bir kriter için AHP ile ağırlıklar hesaplanmıştır. Uygunluk haritası en uygun olmayandan en uygun olana doğru beş kategoriye ayrılmıştır ve toplam alanın %32,43'ü GES yapımına çok uygun bulunmuştur.

Wang ve diğerleri (2018) tarafından yürütülen çalışmada araştırmacılar, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FANP), Veri Zarflama Analizi (DEA) ve ideale benzerliğe dayalı bir tercih sıralama tekniği olan TOPSIS olmak üzere üç yöntemi birleştirerek çalışmışlardır. Başlangıçta, farklı DEA modelleri kullanılarak Vietnam'daki 46 bölgeden lokasyonlar seçilmiştir. Daha sonra ağırlıkları belirlemek için AHP kullanılmış olup. Son adımda ise yer tespiti için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, en yüksek puana sahip Binh Thuan'da en uygun yer olduğu sonucuna varılmıştır.

Yöntem

Araştırmanın bu bölümünde araştırma yöntemi hakkında bilgiler verilecektir. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, birbirine bağlı ancak farklı kriterler arasında en iyi uyum analizini gerçekleştirerek en iyi sonuçları sağlayan bir araçtır. Karar verme aşamalarında bu yöntemlerin kullanılması, yatırımcıları alternatiflerin değerlendirilmesi konusunda aydınlatır ve şirket kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Çalışmada kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri AHP ve VIKOR' dur. AHP' nin bu çalışmada kullanılmasının temel nedeni yöntem araştırmasında en çok kullanılan bir yöntem olması ve güncel değerini kaybetmemesidir. Çalışmada VIKOR yönteminin kullanılmasının en önemli nedeni ise farklı bir karar verme yaklaşımından daha faydalanılarak sonuçların teyit edilmesi ihtiyacıdır. Bu çalışmanın uygulama önce literatür taraması ile belirlenen ve GES kurulumundaki önemli kriterlerin enerji sektöründeki dört uzman tarafından teyit edilmesi istenmiştir. Uzmanlardan kriterlerin birbiri arasındaki önem dereceleri belirlendikten sonra Super Decisions programı çalıştırılarak AHP sonuçları elde edilmiştir. İkinci yöntem olarak ise VIKOR Microsoft Excel yardımıyla uygulanmış ve iki yöntemden de elde edilmiş olan sonuçlar kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Çalışmada iki karar verme yönteminin kullanılması, bu iki yöneme göre de tutarlı ve aynı sonuçların elde edilmesi çalışmadan elde edilen sonuçların ileride yapılacak çalışmalara, alınacak yatırım kararlarına doğru bir yol gösterici kaynak olabilmesi açısından önemlidir.

Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçiminde Önemli Ölçütler

GES' e uygun bir yer seçerken önemli olan bazı temel kriterler bulunmaktadır: Bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, arazi yapısı, şebeke bağlantıları, enerji tüketim bölgelerine mesafesi ve ulaşılabilirliği, arazi kullanımı, su kaynaklarına yakınlığı ve arazi maliyeti gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Güneş enerji yatırımı için seçilen iller arasında Güneş Enerji Potansiyeli Atlasına göre güneşlenme süresinin en uzun olduğu il Nevşehir, sanayinin en yoğun olduğu il İstanbul ve bunlara alternatif daha ekonomik ve konum olarak yakınlığı sebebiyle de Bilecik bu çalışmadaki şehirler olarak belirlenmiştir. Ayrıca birbirinden farklı güneşlenme sürelerine sahip üç alternatif şehrin seçilmesi de önemlidir. Amacı etkileyen kriterlerin belirlenmesi için literatür araştırması ve çalışma kapsamındaki işletmeden dört uzman görüşü dikkate alınmıştır. Bunun sonucunda ekonomik, teknik, coğrafi ve sosyal olmak üzere dört ana kriter ve bunlara ait on iki alt kriter belirlenmiştir (Özçelik, 2022). Alt kriterler arazi maliyeti, enerji nakil hattına uzaklık, bölgesel teşvikler, güneşlenme süresi, sıcaklık, arazi ışınım miktarı, eğim, fay hattına uzaklık, yağış miktarı, karlı gün sayısı, yerleşim alanına uzaklık ve iş gücüdür. GES Yer Seçimi Kriterleri ve Gereklilikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. GES Yer Seçimi Ölçütleri ve Gereklilikleri

Ölçüt	Gereklilik
Arazi Maliyeti	Arazi birim metrekare fiyatı az olan tercih edilmelidir.
Enerji Nakil Hattı Uzaklık	Enerji nakil hatlarına 6000 m'den uzak olmamalıdır.
Bölgesel Teşvikler	Altı bölgeye yatırım yapılırsa teşviklerden yararlanmak mümkündür.
Güneşlenme Süresi	Güneşlenme süresi tercih edilen en yüksek saatlik güneş ışınımına göre günlük, aylık veya yıllık olarak belirlenebilmektedir.
Sıcaklık	15°C – 40°C olmalıdır.
Arazi Işınım Miktarı	Güneş ışınım değeri >1100 kWh (m ² .yıl) ⁻¹
Eğim	Eğimi (<5°-15°) olmalıdır.
Fay Hatlarına Olan Uzaklık	Doğal afet riski taşıyan bölgelere yakın olunmamalıdır.
Yağış Miktarı	Güneş enerjisi santralının bulunduğu bölge daha az yıllık yağış almalıdır.
Karlı Gün Sayısı	Yıllık karlı olan gün sayısı çok olmamalıdır.
Yerleşim Alanına Uzaklık	Yerleşim merkezlerine 500 m'den yakın olmamalıdır.
İş Gücü	İş gücü potansiyelinin yüksek olduğu iller tercih edilmelidir.

Kaynak: (Beycur, 2022)

Ekonomik Kriterler

Enerji santralleri büyük altyapı yatırımlarıdır ve herhangi bir büyük üretim biriminin inşası gibi tekno-ekonomik analiz olarak adlandırılabilir kapsamlı bir analiz gerektirir. Mutlaka bir fizibilite çalışması zorunludur. Fizibilite çalışmalarında teknik parametreler her zaman ekonomik kriterlere bağlı olduğundan, bu çalışmada değerlendirme için bu ana kriter vazgeçilmezdir. Ekonomik kriterler aşağıda verilmiştir.

Arazi Maliyeti

GESi kuruldukları arazinin tarımsal kullanımını etkilemektedir (Akçay,2019). Bu nedenle çorak, ıslak olmayan, ekilemeyen toprak üzerine inşa edilmelidir. Arazi metrekare fiyatları ilden ile değişmektedir. Bu çalışmaya dahil edilen illerin güncel rayiç bedelleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Güncel Rayiç Bedeli Tablosu

Alternatif İller	Rayiç Değeri (TL)
Bozüyük/Bilecik	80,07
Avanos/Nevşehir	205,07
Bahçelievler/İstanbul	3447,34

Kaynak: (Türkiye E-Devlet, 2023)

Enerji Nakil Hattına Uzaklık

Enerji nakil hattı (ENH) kurulum maliyeti düşünüldüğünde GES kurulumu yapılırken en önemli kriterlerden birinin ENH'na olan mesafedir. Genel olarak, GESinin elektrik hatlarına 6000 metreden uzak mesafede olmaması uygun olacaktır (Gül vd., 2017).

Bölgesel Teşvikler

Devlet, bölgeler arasındaki gelişmişlik düzeyini dengelemek için yatırımcılara bölge bazında teşvikler sunmaktadır. Türkiye yerel teşvik uygulamalarına göre altı bölgeye ayrılmıştır. Yatırımcılar bölgeye bağlı olarak GESine yatırım yapmak için teşvik alabilirler (Akçay, 2019). Şekil 2'de Sanayi Bakanlığının belirlemiş olduğu bölgesel teşvik puanları verilmiştir.

SEKTÖRLER ÜZERİNDEN DESTEKLENECEK BÖLGELER VE ŞEHİRLER

1.BÖLGE	2.BÖLGE	3.BÖLGE	4.BÖLGE	5.BÖLGE	6.BÖLGE
Ankara	Adana	Balıkesir	Afyonkarahisar	Adıyaman	Ağrı
Bursa	Bolu	Bilecik	Amasya	Aksaray	Ardahan
Antalya	Aydın	Burdur	Artvin	Bayburt	Bingöl
Eskişehir	Çanakkale	Gaziantep	Bartın	Çankırı	Bitlis
İstanbul	Edirne	Karaman	Çorum	Erzurum	Diyarbakır
İzmir	Denizli	Karabük	Düzce	Gümüşhane	Hakkâri
Kocaeli	Isparta	Manisa	Erzincan	Giresun	Iğdır
Muğla	Kayseri	Mersin	Elazığ	Kilis	Kars
	Kırklareli	Samsun	Hatay	Kahramanmaraş	Muş
	Sakarya	Trabzon	Kırıkkale	Niğde	Mardin
	Konya	Uşak	Kastamonu	Osmaniye	Siirt
	Tekirdağ	Zonguldak	Kırşehir	Ordu	Şanlıurfa
			Kütahya	Sinop	Şırnak
			Malatya	Tokat	Van
			Nevşehir	Tunceli	
			Rize	Yozgat	
			Sivas		

Şekil 2. Bölgelere Görel Teşvikler

Kaynak: (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023)

Uzman görüşlerinden yararlanarak bu çalışmaya dahil edilen şehirler bölgesine uygun bir şekilde puanlanmıştır. (Tablo 3)

Tablo 3. Bölgesel Teşvik Tablosu

Alternatif İller	Bölgesel Teşvik/Puan
Bozüyük/Bilecik	Orta/5
Avanos/Nevşehir	Yüksek/7
Bahçelievler/İstanbul	Düşük /3

Kaynak: (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023)

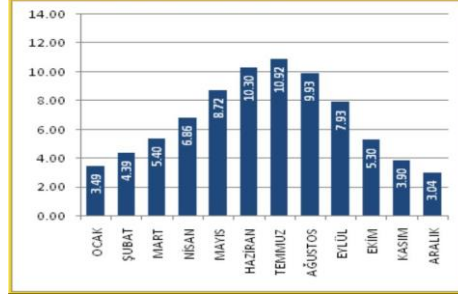
Teknik Kriterler

GES için kurulacak bölgenin güneşlenme süresi, sıcaklık, arazi ışınım miktarı ve eğim enerji potansiyeli verimliliğini etkileyen önemli teknik kriterler arasındadır.

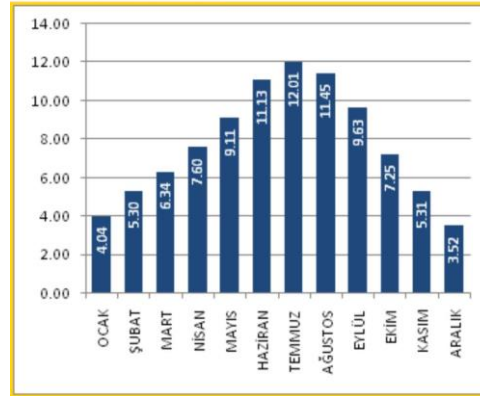
Güneşlenme Süresi

Güneşlenme süresi; Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından tanımlandığı şekliyle, bu, belirli bir zaman diliminde küresel güneş ışınımının birim alan başına 120 W/m²'yi aşma sayısının toplamı olarak ifade edilir (mmo.org, 2023). Güneşlenme süresi, yüzey güneşlenme cinsinden ifade edilen ortalama günlük, aylık veya yıllık düşme süresidir. Güneş radyasyonu cal/cm² cinsinden hesaplanır. Enlem faktörünün güneşlenme süresi üzerinde de büyük etkisi vardır. Sıcaklıkla güneşlenme süresinin doğru orantılı bir ilişkisi vardır. Bu, güneşlenme süresi ne kadar uzun olursa, sıcaklığın o kadar yüksek olduğu anlamına gelir. Bu durum güneş enerjisi potansiyelini de artırmaktadır (Gerçek, 2018). Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla İstanbul, Nevşehir ve Bilecik illerine ait güneşlenme süreleri verilmiştir. Şekillerden ortalama olarak en fazla güneşlenme süresine sahip ilin Nevşehir olduğu görülmektedir.

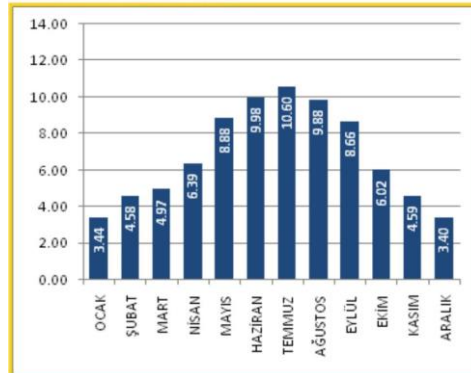
BAHÇELİEVLER Güneşlenme Süreleri (Saat)

Şekil 3. İstanbul/ Bahçelievler Güneşlenme Süresi
Kaynak: (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, 2023)

AVANOS Güneşlenme Süreleri (Saat)

Şekil 4. Nevşehir/ Avanos Güneşlenme Süresi
Kaynak: (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, 2023)

BOZÜYÜK Güneşlenme Süreleri (Saat)

Şekil 5. Bilecik/Bozüyük Güneşlenme Süresi
Kaynak: (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, 2023)

Sıcaklık

Sıcaklık, bir nesnenin kütledeki moleküllerin kinetik enerjisinden ve bunların çevre üzerindeki elektromanyetik dalgalar biçimindeki etkilerinden kaynaklanan bir ölçü birimidir (Saner, 2015). Sıcaklık günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan bir sözcüktür (Göncegil, 2010). GES kurmak için ortalama sıcaklığın yüksek olduğu bir bölge seçmek avantajlıdır. Tablo 4'te Bilecik, Nevşehir ve İstanbul'un ortalama yıllık sıcaklık verileri verilmiştir.

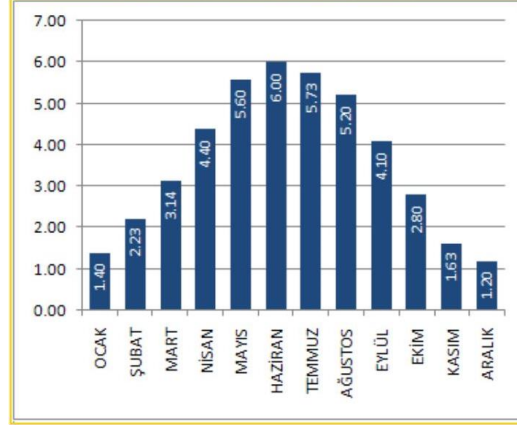
Tablo 4. Ortalama Sıcaklık Yıllık(C°) Tablosu

Alternatif İller	Ortalama Sıcaklık Yıllık (C°)
Bozüyük/Bilecik	12,5
Avanos/Nevşehir	10,8
Bahçelievler/İstanbul	15,2

Kaynak: (Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2023)

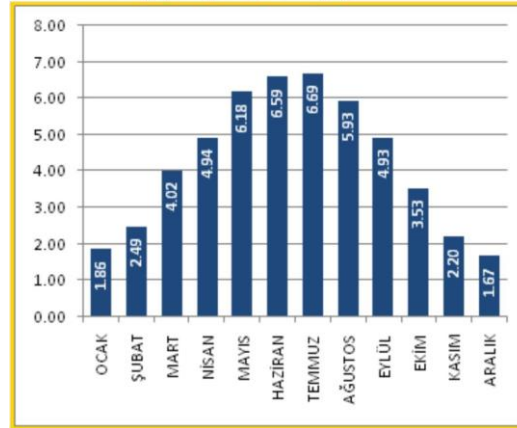
Arazi Işınım Miktarı

Yüksek güneş radyasyonu, güneş sisteminin verimliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Öztaş, 2022). Güneşlenme süresi gibi, güneş radyasyonu da şehirden şehre değişir. GES kurmak için güneş ışığının bol olduğu bir bölge seçmek avantajlıdır. Şekil 6, 7 ve 8'de İstanbul Nevşehir ve Bilecik'e ait radyasyon değerlerini aylık bazda gösterilmiştir. Buna göre ortalama global radyasyon değerinin en fazla olduğu il Nevşehir'dir.

BAHÇELİEVLER Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

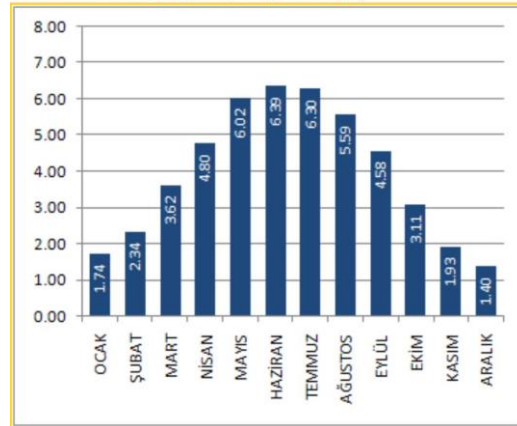
Şekil 6. İstanbul/ Bahçelievler Global Radyasyon Değerleri

Kaynak: (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, 2023)

AVANOS Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

Şekil 7. Nevşehir/ Avanos Global Radyasyon Değerleri

Kaynak: (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, 2023)

BOZÜYÜK Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

Şekil 8. Bilecik/Bozüyük Global Radyasyon Değerleri

Kaynak: (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası, 2023)

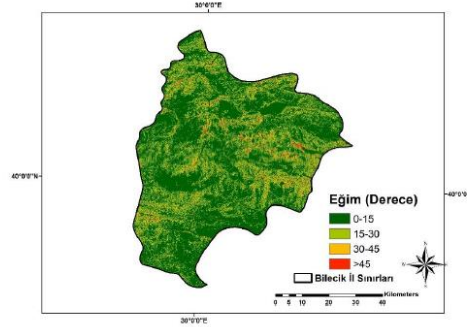
Eğim

GES'in konumunu belirlemede önemli faktörlerden biri eğim kriteridir. GES panelinin kurulacağı yerin eğiminin az olması tercih edilir. GES dik bir yokuşa kurulmak istenmez. Çok fazla eğim olursa güneş panelleri birbirini gölgeler, verim azalır. Bu nedenle panellerin kurulduğu yerin eğimini azaltmak gerekir (Öztaş, 2022). Güneşlenme açısından güneşe bakan eğim de arazinin önemini artıran önemli bir faktördür (Arca vd., 2022). Tablo 5'te uzman görüşleri alınarak GES kurulum yeri seçimindeki eğim faktörünün uygunluğunun puanlaması yapılmıştır.

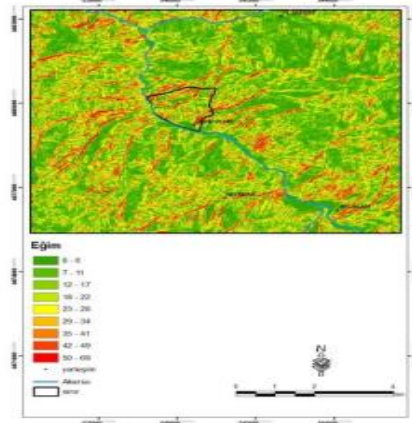
Tablo 5. Eğimin Derecelere Göre Sınıflandırılması

Eğim (derece)	Puanlama	Açıklama
0-4	5	En Uygun
4-7	4	Uygun
7-11	3	Az Uygun
11-35	2	Uygun Değil
35-77	1	Hiç Uygun Değil

Şekil 9'da ve Şekil 10'da Bilecik ve Nevşehir illerinin Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı ARGIS' ten alınan eğim haritaları derecelerine göre renklendirilmiş olarak verilmiştir.



Şekil 9. Bilecik Eğim Haritası (ARCGIS)



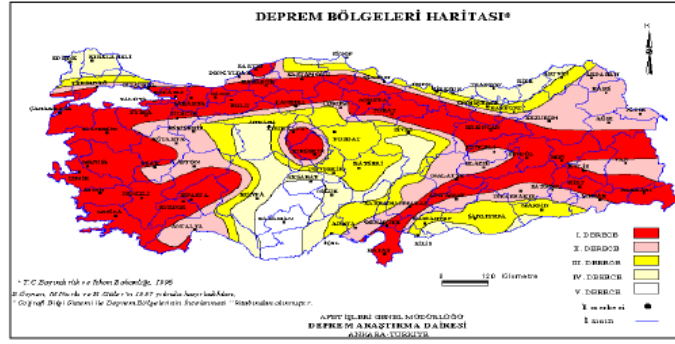
Şekil 10. Nevşehir Eğim Haritası (ARCGIS)

Coğrafi Kriterler

Türkiye coğrafi açıdan zengin, farklı özellikleri barındıran bir ülkedir. Coğrafi özellikler bölgelere hatta illere göre farklılık göstermektedir. Güneş santralleri kurulumu içinde coğrafi özellikler kaynaklı deprem, erozyon gibi riskleri dikkate almak gerekmektedir. Yağış miktarı ve karlı gün sayısı illere göre farklılık gösteren ve güneş santrallerini etkileyebilecek durumlardır (Öztaş, 2022). Bu nedenle fay hattına uzaklık, yağış miktarı ve karlı gün sayısı coğrafi kriterin alt kriterleri olarak belirlenmiştir.

Fay Hatlarına Olan Uzaklık

Ülkemizin önemli bir kısmı deprem bölgesinde yer almaktadır. Ülkemizin içinde bulunduğu karmaşık jeolojik yapısı ve dinamik konumundan dolayı çok sayıda aktif fay hattı bulunmaktadır (mta.gov, 2023). Depremlerin tamamına yakınının fay kuşakları boyunca meydana gelmesi, ülkemizde tektonik kökenli depremlerin etkin olduğunu göstermektedir (afad.gov, 2023) Bu nedenle deprem, ülkemiz için çok dikkate alınması gereken bir durumdur. Türkiye beş sismik bölgeye ayrılmıştır. GES'nin deprem bakımından düşük riskli alanlara yerleştirilmesi halinde hasar görme ve kullanılmaz hale gelme riski azalır (Gerçek, 2018). Şekil 11'de ülkemizin deprem haritası risklere göre renklendirilmiş şekilde verilmiştir.



Şekil 11. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası(www.afad.gov.tr)

Aynı şekilde aşağıda Tablo 5'te deprem bölgeleri risk haritasına göre çalışmadaki illerin depremsellik derecesi verilmiştir. Buna göre Bilecik ve İstanbul Nevşehir'e göre deprem açısından daha dezavantajlı konumdadır.

Tablo 5. Depremsellik Tablosu

Alternatif İller	Depremsellik Derecesi
Bozüyük/Bilecik	1. Derece Deprem Bölgesi
Avanos/Nevşehir	4. Derece Deprem Bölgesi
Bahçelievler/İstanbul	2. Derece Deprem Bölgesi

Kaynak:(Maden Tetkik Arama, 2022)

Yağış Miktarı

GES'in bulunduğu bölgelerin daha az yıllık yağış alması istenmektedir (Akçay, 2019). Bu nedenle yağışın az olduğu iller tercih edilmelidir. Sırasıyla Nevşehir, Bilecik ve İstanbul'un aylık toplam yağış bilgileri Şekil 12, 13 ve 14'te belirtilmektedir. Buna göre aylık ortalama en fazla yağış alan il Bilecik'tir.

NEVŞEHİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.2	0.9	4.9	10.1	14.5	18.3	21.3	21.2	17.3	12.1	6.6	2.0	10.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.8	5.5	10.2	15.9	20.6	24.9	28.5	28.5	24.5	18.3	11.7	6.1	16.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.7	-2.6	0.5	5.1	8.8	11.6	13.6	13.5	10.4	6.7	2.3	-1.4	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.1	4.1	5.3	6.7	8.4	10.5	11.9	11.3	9.4	6.5	4.6	3.1	7.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.47	12.16	13.13	12.44	12.84	8.19	2.34	1.69	3.45	7.09	8.64	12.31	106.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	46.2	40.9	47.4	49.5	56.9	36.6	9.7	8.0	13.7	28.4	34.3	49.0	420.6

Şekil 12. Nevşehir (1959-2022) Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalama Verileri
Kaynak: (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

BİLECİK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.5	3.7	6.4	11.5	16.2	19.9	22.1	22.1	18.5	13.9	9.1	4.6	12.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.0	7.9	11.4	17.1	22.0	25.8	28.4	28.6	24.9	19.4	13.6	8.1	17.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.3	0.4	2.4	6.7	10.9	14.2	16.3	16.4	13.2	9.6	5.6	1.9	8.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.1	3.7	4.7	6.3	8.0	9.5	10.5	9.9	8.1	5.5	4.0	2.9	6.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.40	13.04	13.07	10.87	10.37	8.10	3.95	3.49	5.15	8.40	9.73	13.25	113.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	50.6	42.8	47.1	41.9	47.1	42.9	19.6	13.8	22.4	39.8	36.4	55.2	459.6

Şekil 13. Bilecik (1939-2022) Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalama Verileri
Kaynak: (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1950 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.7	6.9	8.4	12.8	17.6	22.2	24.6	24.6	21.1	16.6	12.5	8.9	15.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.5	10.2	12.2	17.3	22.3	26.9	29.5	29.6	25.8	20.6	16.0	11.7	19.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.1	4.2	5.4	9.2	13.6	18.0	20.4	20.7	17.6	13.7	9.8	6.4	11.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	0.9	0.5	1.2	1.5	1.2	1.3	1.3	1.6	1.1	0.3	0.5	0.7	1.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	16.61	14.17	12.72	10.22	7.65	5.54	3.54	3.65	5.59	9.61	11.39	15.74	116.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	89.7	70.5	63.1	47.5	32.6	27.9	22.5	24.6	40.5	66.7	76.0	99.3	660.9

Şekil 14. İstanbul (1950-2022) Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalama Verileri
Kaynak: (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

Karlı Gün Sayısı

Yıllık karla geçen gün sayısının fazla olması da kurulacak GES için optimum yer kararı verirken olumsuz bir etkiye sahiptir (Akçay, 2019). Yıllık ortalama kar miktarı Tablo 6'da da bazında verilmektedir. Bu verilere göre Nevşehir ilk sırada yer almaktadır.

Tablo 6. Yıllık Ortalama Kar Yağış Miktarı(mm)

Alternatif İller	Yıllık Kar Yağış Miktarı(mm)
Bozüyük/Bilecik	217,5
Avanos/Nevşehir	324,5
Bahçelievler/İstanbul	70,3

Kaynak: (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

Sosyal Kriterler

Sosyal kriterler altında yerleşim alanına uzaklık ve iş gücü bulabilme durumu da GES yer seçimi için önemli sosyal konulardır (Akçay, 2019). GES kuruldukları illerde insanlara istihdam yaratacağı gibi nitelikli eleman ihtiyacı da doğuracaklardır. Bu açıdan iş gücü oldukça önemlidir. Yerleşim alanına uzaklık da hava kirliliğinin yaratacağı gölgeleme gibi etkenlerden dolayı verimi olumsuz etkileyeceğinden dolayı oldukça önem arz etmektedir.

Yerleşim Alanına Uzaklık

GES optimum yer seçimine karar verilirken yerleşim yerinin konumu çok önemlidir. GES' nin yerleşim merkezlerine belirli mesafede olmaları gerekmektedir. Bu sebeple genellikle güneş enerjisi sistemlerinin yerleşim merkezlerine en az 500 metre uzaklıkta olması gerektiği kabul edilmektedir (Uzar ve Koca, 2020). Yerleşim yerlerinin yakınında insan faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliği, gölgeleme nedeniyle santrallerin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Trafik, inşaat ve tarımdan kaynaklanan partiküller de modülleri normalden daha hızlı kirlendirir. Bu, modüllerin ek temizlik ve bakımını gerektireceğinden maliyetleri artırır (Miller ve Lumby, 2012). Ayrıca, zamanla yerleşim alanlarının genişleyerek insanların santral alanına bağımlı hale gelmesi ve yerleşim bölgesinde yaşamının santral alanına zarar vermesi de riski bulunmaktadır. Bu nedenle GES 'nin yerleşim yerlerinin yakın çevresine kurulması istenmemektedir. Tablo 7 'de uzman görüşleri alınarak yerleşim merkezlerine uzaklıklar mesafeye göre puanlanmıştır.

Tablo 7. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

Yerleşim Merkezlerine Uzaklık(metre)	Puanlama	Açıklama
0-500	0	Kullanılamaz
500-750	1	Hiç uygun değil
750-1000	2	Uygun değil
1000-2000	3	Az uygun
2000-5000	4	Uygun
5000-35000	5	En uygun

Tablo 8'de ise bu uzaklık puanları ilgili şehirlere göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 8. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık

Alternatif İller	Yerleşim Merkezine Uzaklık Puanı
Bozüyük/Bilecik	5
Avanos/Nevşehir	3
Bahçelievler/İstanbul	4

İş Gücü Bulabilme İmkânı

Kurulan tesislerde çalışacak personelin bulunmaması ya da kısıtlı sayıda olması olumsuz bir etki olarak kabul edilir (Akçay, 2019). Bu nedenle işgücü potansiyelinin yüksek olduğu illerde bu yatırımı yapmak daha doğru olacaktır. Tablo 9'de TÜİK' ten alınan verilere göre sırasıyla Bilecik, Nevşehir ve İstanbul'un işgücü rakamları görülmektedir.

Tablo 9. 2020 Yılı TÜİK İşgücü Göstergeleri

Alternatif İller	İş Gücü (Bin kişi)
Bozüyük/Bilecik	1648
Avanos/Nevşehir	570
Bahçelievler/İstanbul	6289

Kaynak: (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020)

Veri Analizi ve Bulgular

GES yer seçiminde çok fazla kriter olmasına karşılık Çok Kriterli Karar vermede en önemli kriter şüphesiz seçilen bölgenin yıllık ortalama güneşlenme süresidir. Kriter sayısı (n) arttıkça mevcut seçenekler arasından doğru kararı vermek zorlaşmaktadır. Yapılan inceleme sonucunda tüm GES kriterleri içerisinden değerlendirmeye dahil edilen en önemli on iki kriter Tablo 10'da belirtilmiştir.

Tablo 10. GES Kuruluş Yeri için Belirlenmiş Olan Kriterler

Kriter No	Kriter Adı
1	Güneşlenme Süresi
2	Sıcaklık
3	Arazi Işınım Miktarı
4	Eğim
5	Fay Hatlarına Olan Uzaklık
6	Yağış Miktarı
7	Karlı Gün Sayısı
8	Yerleşim Alanına Uzaklık
9	İş Gücü
10	Arazi Maliyeti
11	Enerji Nakil Hattına Uzaklık
12	Bölgesel Teşvikler

Tablo 11'de, GES kuruluş yeri kriterlerine göre değerlendirilecek alternatif şehirler listelenmiştir.

Tablo 11. Değerlendirilmeye Alınacak Alternatif İller

Alternatif No	Alternatif İller
1	Bozüyük/Bilecik
2	Avanos/Nevşehir
3	Bahçelievler/İstanbul

AHP Yönteminin Uygulanması

AHP, karar verme sürecinde nitel ve nicel değişkenleri birlikte değerlendiren matematiksel bir yöntemdir (Dağdeviren, Akay ve Kurt, 2004). Çoklu ölçütlerle karar verme yöntemi 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 2008).

AHP yöntemi algoritmasının adımları şu şekildedir:

Aşama 1: Problem tanımlanır.

Aşama 2: Hiyerarşik bir yapı oluşturulur.

Aşama 3: İkili bir karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Aşama 4: İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilir.

Aşama 5: Bir öncelik vektörü hesaplanır.

Aşama 6: Tutarlılık hesaplanır.

Aşama 7: Karar seçeneklerinin bir öncelik vektörü, her bir kriter çifti için bir karşılaştırma matrisi oluşturularak hesaplanır.

Aşama 8: Seçimler listelenir (Özdemir vd., 2017).

Bu çalışma kapsamında, ilk olarak AHP yöntemiyle belirlenen kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve ardından kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin öncelik seviyeleri VIKOR yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu kriter ağırlıkları kullanılarak çalışma kapsamındaki 3 il olan İstanbul, Bilecik ve Nevşehir için Super Decision 2.6.0 yardımıyla analiz yapılarak kriter ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Bunun sonucunda yapılan puanlamaya göre en uygun il tespit edilerek VIKOR yardımıyla ortak bir çözüme ulaşılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucu Şekil 15'de Super Decision uygulamasında çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. COĞRAFİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No c
2. COĞRAFİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No c
3. COĞRAFİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No c
4. EKONOMİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No c
5. EKONOMİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No c
6. SOSYAL	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No c

Şekil 15. Kriterlerin Karşılaştırılması Sonucunda Elde Edilen Ağırlıklar

Raporda en uyumsuz ikili karşılaştırma Şekil 16'da raporun en üst satırda bulunmaktadır. Eğer mevcut değer buradaki en iyi değerle değiştirilirse, tutarsızlık değeri azalmış olacaktır. Tutarsızlık oranı 0,09258 değerini almakta ve 0,1'den küçük olduğundan dolayı düzeltme ihtiyacı duyulmamaktadır.

Rank	Row	Col	Current Val	Best Val	Old Inconsist.	New Inconsist.	% Improvement
1.	SOSYAL	TEKNİK	3.000003	10.000000	0.092580	0.022714	75.47 %
2.	EKONOMİK	SOSYAL	2.000000	1.370820	0.092580	0.049535	46.49 %
3.	COĞRAFİK	TEKNİK	5.000000	2.056232	0.092580	0.049535	46.49 %
4.	COĞRAFİK	EKONOMİK	2.000000	1.000000	0.092580	0.069809	24.60 %
5.	COĞRAFİK	SOSYAL	2.000000	1.475866	0.092580	0.089334	3.51 %
6.	EKONOMİK	TEKNİK	5.000000	4.065413	0.092580	0.089334	3.51 %

Şekil 16. Kriterlere Ait Tutarsızlık Raporu

Tüm kriterlerin üç bölgeye göre karşılaştırılması sonucu elde edilen çıktığı veren AHP sonuçları Süper Decision programı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 17-Şekil 28). Şekil 17'de Arazi maliyeti kriterinin programdaki şehirler arasındaki kıyaslanması neticesinde elde edilen sonuç ekranı verilmiştir. Programdaki ekran sonucuna göre Nevşehir avantajlı konumda iken İstanbul dezavantajlıdır.

1. BİLEÇİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.
2. BİLEÇİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.
3. İSTANBUL	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.

Şekil 17. Super Decision Arazi Maliyeti Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 18'de Enerji nakil hattı kriterinin programdaki şehirler arası kıyaslama sonuçları verilmektedir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdadır. İstanbul ise sıralama da en sonda yer almaktadır.

1. BİLEÇİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.
2. BİLEÇİK	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.
3. İSTANBUL	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.

Şekil 18. Super Decision Enerji Nakil Hattı Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 19'da Bölgesel teşvik kriterinin şehirlerarası kıyaslama sonuçları verilmektedir. Sonuca göre Nevşehir en avantajlı konumda iken İstanbul dezavantajlı konumdadır.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to BÖLGESEL TEŞVİK	3. Results
Node Cluster Choose Node BÖLGESEL TEŞVİK Cluster: EKONOMİK ALT KR-	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "BÖLGESEL TEŞVİK" node in "ALTERNATİFLER" cluster NEVŞEHİR is moderately more important than İSTANBUL	Normal Hybrid Inconsistency: 0.05156 BILECİK 0.24931 İSTANBUL 0.15706 NEVŞEHİR 0.59363
Choose Cluster ALTERNATİFLER	1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. IS 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NI 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NI	Completed Comparison Copy to clipboard

Şekil 19. Super Decision Bölgesel Teşvik Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 20'de Güneşlenme süresi kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonucu verilmiştir. Bu sonuca göre Nevşehir avantajlı konumda iken Bilecik ve İstanbul dezavantajlı konumdadır.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to GÜNEŞLENME SÜRESİ	3. Results
Node Cluster Choose Node GÜNEŞLENME SÜR- Cluster: TEKNİK ALT KRIT-	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "GÜNEŞLENME SÜRESİ" node in "ALTERNATİFLER" cluster NEVŞEHİR is strongly to very strongly more important than İSTANBUL	Normal Hybrid Inconsistency: 0.05156 BILECİK 0.21764 İSTANBUL 0.09140 NEVŞEHİR 0.69096
Choose Cluster ALTERNATİFLER	1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co	Completed Comparison Copy to clipboard

Şekil 20. Super Decision Güneşlenme Süresi Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 21'de Sıcaklık kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre İstanbul avantajlı konumdadır. Nevşehir ise dezavantajlı konumdadır.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to SICAKLIK	3. Results
Node Cluster Choose Node SICAKLIK Cluster: TEKNİK ALT KRIT-	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "SICAKLIK" node in "ALTERNATİFLER" cluster BILECİK is moderately more important than NEVŞEHİR	Normal Hybrid Inconsistency: 0.05156 BILECİK 0.33252 İSTANBUL 0.52784 NEVŞEHİR 0.13965
Choose Cluster ALTERNATİFLER	1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co	Completed Comparison Copy to clipboard

Şekil 21. Super Decision Sıcaklık Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 22'de Arazi ışınım kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamada sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdadır. Bilecik ise sıralamada sona yer almıştır.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to ARAZI İŞİNİMİ	3. Results
Node Cluster Choose Node ARAZI İŞİNİMİ Cluster: TEKNİK ALT KRIT-	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "ARAZI İŞİNİMİ" node in "ALTERNATİFLER" cluster BILECİK is equally to moderately more important than İSTANBUL	Normal Hybrid Inconsistency: 0.09040 BILECİK 0.18648 İSTANBUL 0.12654 NEVŞEHİR 0.68698
Choose Cluster ALTERNATİFLER	1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co	Completed Comparison Copy to clipboard

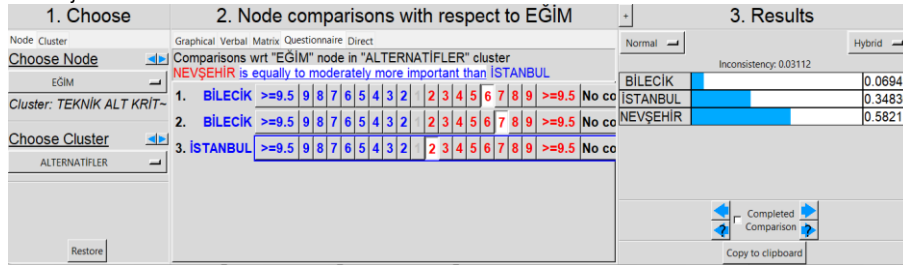
Şekil 22. Super Decision Arazi Işınımı Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 23'de Fay hattına uzaklık kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir en avantajlı konumdadır. İstanbul ve Bilecik ise dezavantajlı konumdadır.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to FAY HATTI UZAKLIK	3. Results
Node Cluster Choose Node FAY HATTI UZAK- Cluster: COĞRAFİK ALT KR-	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "FAY HATTI UZAKLIK" node in "ALTERNATİFLER" cluster İSTANBUL is equally to moderately more important than BİLECİK	Normal Hybrid Inconsistency: 0.02365 BILECİK 0.11885 İSTANBUL 0.19981 NEVŞEHİR 0.68334
Choose Cluster ALTERNATİFLER	1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. IS 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NE 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NE	Completed Comparison Copy to clipboard

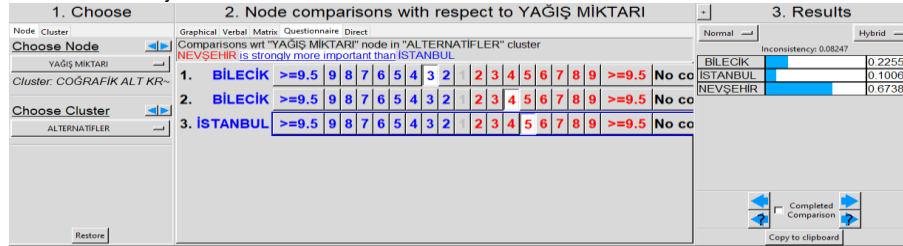
Şekil 23. Super Decision Fay Hattı Uzaklık Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 24’de eğitim kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdur. Bilecik en dezavantajlı konumdur.



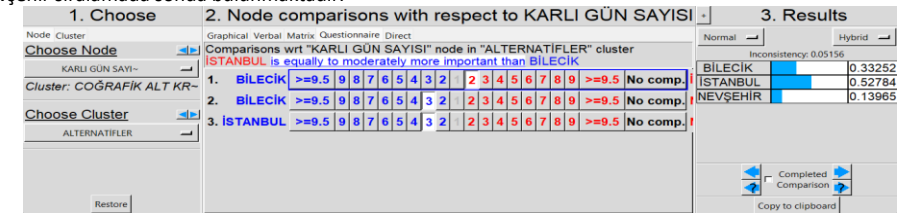
Şekil 24. Super Decision Eğitim Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 25’de Yağış miktarı kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdur. İstanbul ise dezavantajlı konumdur.



Şekil 25. Super Decision Yağış Miktarı Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 26’da Karlı gün sayısı kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre İstanbul avantajlı konumdur. Nevşehir sıralamada sonda bulunmaktadır.



Şekil 26. Super Decision Karlı Gün Sayısı Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 27’de Yerleşim alanına uzaklık kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Bilecik avantajlı konumdur.



Şekil 27. Super Decision Yerleşim Alanına Uzaklık Karşılaştırma Çıktısı

Şekil 28’de İş gücü kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre İstanbul avantajlı iken Bilecik dezavantajlı konumdur.



Şekil 28. Super Decision İş Gücü Karşılaştırma Çıktısı

Son olarak tüm kriterler birlikte çalışılarak üç şehrin kıyaslanmış ve sonuç Şekil 29’da verilmiştir. Buna göre en uygun il yaklaşık %63 olasılık ile Nevşehir’dir. En son tercih edilebilecek il ise İstanbul’dur.

Here are the priorities.			
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	BİLECİK	0.23512	0.078372
No Icon	İSTANBUL	0.19119	0.063731
No Icon	NEVŞEHİR	0.57369	0.191230

Şekil 29. Super Decision Alternatif İller Karşılaştırma Çıktısı

VIKOR Yönteminin Uygulanması

VIKOR yöntemi, çelişen kriterler olduğunda alternatifleri seçmeye ve sıralamaya odaklanan bir yöntemdir. 1998 yılında Opricovic tarafından geliştirilmiştir (Özdemir vd., 2017). Ulaşma ilkesi üzerinde çalışır ve karar vericilerin nihai kararı vermelerine yardımcı olan bir yöntemdir. Her seçeneğin her bir ölçüte göre çözümlendiği varsayılarak, her seçeneğin ideal çözüme yakınlığı karşılaştırılarak bir fikir birliği sıralaması oluşturulabilir (Bengül, 2018). Fayda kriterlerinin "maksimum (max)" ve maliyet kriterlerinin "minimum (min)" seviyesine sahip olması gerekmektedir (Özdemir vd., 2017).

İşlem Adımları

Aşama 1: En iyi ve en kötü ölçütün belirlenmesi

Aşama 2: Normalizasyon işlemi ve bununla ilgili matrisinin oluşturulması

Aşama 3: Karar matrisinin ağırlıklandırılması işlemi.

Aşama 4: **Si** ve **Ri** değerlerinin hesaplanması. En kötü ve Ortalama Grup Değerinin Hesaplanması.

Aşama 5: **Qi** değerlerinin hesaplanması. Maksimum Grup Faydasının Hesaplanması

Aşama 6: Alternatif olasılıklarının sıralanması ve şartların değerlendirilmesi (Kuru, 2011).

VIKOR yöntemi çalışma sonuçları ise Tablo 11-Tablo 14 arasında belirtilmiş olup sonuç olarak yine en uygun GES kurulum yeri Nevşehir olmuştur. Tablo 11'de AHP yöntemiyle belirlenmiş olan kriterlerin ağırlık değerlerinin de eklenmesi sonucu oluşturulan karar verme matrisi görülmektedir.

Tablo 11. Kriter Özellikleri ve Ağırlıklarının Eklendiği Karar Matrisi

	MALİYET	MALİYET	FAYDA	FAYDA	FAYDA	FAYDA	MALİYET	FAYDA	MALİYET	MALİYET	MALİYET	FAYDA
AĞIRLIKLAR(AHP)	0,309	0,581	0,110	0,473	0,142	0,298	0,087	0,078	0,234	0,688	0,250	0,750
Kriterler	Arazi Maliyeti	Enerji Nakil Hattı Uzaklık	Bölgesel Teşvikler	Güneşlenme Süresi	Sıcaklık	Arazi Işınım Miktarı	Eğim	Fay Hatlarına Uzaklık	Yağış Miktarı	Karlı Gün Sayısı	Yerleşim Alanına Uzaklık	İş Gücü
Bilecik	80	300	700	81	13	1630	700	1200	460	317	850	650
Nevşehir	205	990	1800	93	10	1800	1000	1500	420	324	1050	900
İstanbul	3447	1100	200	80	15	1230	1450	500	660	70	1950	1600

VIKOR yöntemi uygulanarak 12 kritere göre en iyi ve en kötü değerler, Tablo 12'de alternatif üç ile göre belirlenmiştir.

Tablo 12. En İyi ve En Kötü Kriter Değerlerinin Belirlenmesi

	MALİYET	MALİYET	FAYDA	FAYDA	FAYDA	FAYDA	MALİYET	FAYDA	MALİYET	MALİYET	MALİYET	FAYDA
Ağırlıklar	0,309	0,581	0,110	0,473	0,142	0,298	0,087	0,078	0,234	0,688	0,250	0,750
Kriterler	Arazi Maliyeti	Enerji Nakil Hattı Uzaklık	Bölgesel Teşvikler	Güneşlenme Süresi	Sıcaklık	Arazi Işınım Miktarı	Eğim	Fay Hatlarına Uzaklık	Yağış Miktarı	Karlı Gün Sayısı	Yerleşim Alanına Uzaklık	İş Gücü
Bilecik	80	300	700	81	13	1630	700	1200	460	317	850	650
Nevşehir	205	990	1800	93	10	1800	1000	1500	420	324	1050	900
İstanbul	3447	1100	200	80	15	1230	1450	500	660	70	1950	1600
BEST (En iyi)	80	300	1800	93	15	1800	700	1500	420	70	850	1600
WORST (En kötü)	3447	1100	200	80	10	1230	1450	500	660	324	1950	650

Tablo 13'te **Si** ve **Ri** değerlerinin hesaplanmış olup, en kötü ve ortalama grup skorunun hesaplanması yapılmıştır.

Tablo 13. Nihai Sonuçlar ve Koşulların Denetlenmesi

	ARAZİ MALİYETİ	ENERJİ NAKİL HATTI UZAKLIK	BÖLGESEL TEŞVİKLER	GÜNEŞLENME SÜRESİ	SICAKLIK	ARAZİ İŞİNİM MİKTARI	EĞİM	FAY HATLARINA UZAKLIK	YAĞIŞ MİKTARI	KARLI GÜN SAYISI	YERLEŞİM ALANINA UZAKLIK	İŞ GÜCÜ	si	Ri
BİLECİK	0,00000	0,00000	0,07534	0,43657	0,07125	0,08883	0,00000	0,02335	0,03907	0,66878	0,00000	0,62500	2,0282	0,6688
NEVŞEHİR	0,01148	0,50134	0,00000	0,00000	0,14250	0,00000	0,03468	0,00000	0,00000	0,68773	0,04545	0,00000	1,4232	0,6877
İSTANBUL	0,30915	0,58126	0,10959	0,47295	0,00000	0,29784	0,08671	0,07784	0,23443	0,00000	0,25000	0,75000	3,1698	0,7500

Tablo 14 'te ise programın son aşaması olan tüm kriterler çalışıldığında çıkan sonuç 3 şehrin kıyaslamasıdır. Buna göre en uygun il yine Nevşehir'dir. Bunu sırayla Bilecik ve İstanbul takip etmiştir.

Tablo 14. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	Si	Ri	Qi	RANK	Alternatif
1	2,0282	0,6688	0,173196	2	BİLECİK
2	1,4232	0,6877	0,116672	1	NEVŞEHİR
3	3,1698	0,7500	1,000000	3	İSTANBUL
S*/R*	1,4232	0,6688			
S-/R-	3,1698	0,7500			

Tartışma ve Sonuç

Bu araştırma ile GES için optimum yerin seçilerek temiz enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesine ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırarak dışa bağımlılığı azaltmaya dolaylı olarak katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada GES için en uygun yerleşim yeri bulunurken AHP ve VIKOR yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, GES yer seçiminde AHP temelli VIKOR yöntemiyle ilgili çok az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmada iki yöntemin bir arada kullanılması ile daha sağlıklı sonuca ulaşılmış ve literatüre bir katkıda bulunulmuştur. Yer

seçimi çalışmaları için hızlı ve optimum kararlar alınmasında AHP tercih edilen bir yöntemdir. AHP ile kriter ağırlıkları bulunmuş, alternatif olarak tanımlanan illerden VIKOR ile en uygunu seçilerek kriterlere en uygun olan sıralama oluşturulmuştur. Yöntemler ne kadar etkili olursa olsun sonuca etki eden önemli faktör, olaya etki eden kriterlerin doğru belirlenmesidir. Çalışmaya dahil edilen kriterler titizlikle değerlendirilmiş olup gerek önceki çalışmalardan gerekse uzman görüşlerinden yola çıkılarak en önemli olduğu düşünülen kriterler tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları da yine ilgili uzmanlar tarafından incelenip doğruluğu teyit edilmiştir.

GES kurulum yeri seçimi en uygun il çoğu kriterlerdeki üstünlüğü sebebiyle Nevşehir olmuştur. Nevşehir'in ilk sırada yer alması seçilen ana kriterlerden önemli bir orana sahip olan teknik kriterlerin altındaki güneşlenme süresi, arazi ışınım miktarı ile diğer ana kriterlerin altındaki birçok kriteri de önde sağlamış olmasıdır. Nevşehir'i sırasıyla Bilecik ve İstanbul izlemiştir.

Çalışma sonuçlarından yola çıkarak uygulamacılar ve politika belirleyiciler için bazı çıkarımlarda bulunmak mümkündür. Seçilen şehirlerin güneş enerjisi potansiyelinin ortaya çıkarılmasının, güneş enerjisi kullanımını ve doğru yer seçimini teşvik edeceği düşünülmektedir. Ortaya konulan uygunluk haritalarının, il bazlı enerji stratejilerinin belirlenmesi ve potansiyel GES yatırımcılarının doğru yer seçimine rehberlik edeceği ve dolayısıyla doğru kaynak yönetimine de katkı sağlayacağı beklenmektedir. Çalışmanın, kurulum maliyetleri yüksek olan GES uygun yer seçim kurulumları için kılavuz bir fizibilite çalışması oluşturacağı ve maliyetleri önemli ölçüde azaltarak enerji verimliliği sağlayacağı öngörülmektedir. Güneş enerjisi ile elektrik üretmek amacıyla kurulacak GES santrallerinin ilk yatırım maliyetleri kurulacak santralin büyüklüğüne göre değişimle beraber fazla yüksek bulunmamaktadır. Yanlış kuruluş yeri GES için daha uzun bir amortisman süresi ve kullanım ömrü boyunca düşük karlılık ile sonuçlanacaktır. Bu nedenle tesis yerinin bilimsel yöntemler kullanılarak belirlenmesi gerektiği kaçınılmazdır. Güneş santrali yer seçim kriterlerin alanında tecrübeli uzman kişilerce oluşturulması ve sonucu önemli biçimde etkilemeyecek kriterlerin listeden çıkarılmasına da dikkat edilmelidir. Kriterlerin arasında güneş radyasyonu ve güneşlenme süresinin GES santralının yerini belirlemede oldukça etkili kriterler olduğu unutulmamalıdır. Güneş enerjisinden faydalanmak için, en azından başlangıçta yüksek ve orta duyarlılıkta olan lokasyonlara güneş enerjisi kurulması hem temiz ve sağlıklı çevre hem de ucuz enerji sağlanması ile ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır. GES için en uygun yeri belirlerken, enerji nakil hatlarına, trafo merkezlerine, karayollarına ve demiryollarına olan uzaklıklar gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Diğer yandan verimli tarım alanları GES'nin kurulması için uygun olmayacaktır.

Bu çalışma sonuçlarından bu alanda çalışan akademisyenler için de bazı çıkarımlarda bulunmak mümkündür. GES verimliliği ve çevresel etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu kriterler ortak bir şekilde düşünüldüğünde bu çalışmanın bundan sonra yapılacak birçok çalışmaya yol göstereceği düşünülmektedir. Literatür taramasına bakıldığında kullanılan kriterler arasında sosyal kriterlerin yetersiz çalışıldığı tespit edilmiş olup, gelecekte istihdam ve yerleşim alanına uzaklık gibi faktörlere daha çok yer verilmesi gerektiği saptanmıştır. Benzer ya da farklı programların kullanıldığı güneş enerjisi yer seçim analizlerinde çalışma sonuçlarının gerçek hayatta da tutarlılığını tespit edebilmek adına daha detaylı saha analizi gerçekleştirilebilir. Çalışmada kullanılan yöntemler diğer farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının yer seçimi için de uygulanabilir. Çok değişkenli sistem analizi kullanılarak en ideal sistem koşullarının bulunmasına yönelik bölgesel çalışmalar yapılabilir. Ülkemiz, yenilenebilir enerjinin temel kaynaklarından biri olan ve sınırsız bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeyle karşılaştırıldığında oldukça avantajlı konumdadır. Bu konudaki çalışmaların daha çok yapılması ülkemizin geleceği açısından oldukça önem arz etmektedir.

Kaynakça

- Afet İşleri Genel Müdürlüğü (AFAD) (2023, Eylül). Erişim Adresi: <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>.
- Ahadi P., Fakhrabadi F., Pourshaghaghay A. ve Kowsary F. (2023). Optimal site selection for a solar power plant in Iran via the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Renewable Energy*, 215, 118944.
- Akçay, M. (2019). *AHP-TOPSIS hibrit yöntemi ile Türkiye'de güneş enerjisi santrali için yer seçimi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Akkaş, O. P., Erten, M. Y., Çam, E. ve Inanç, N. (2017). Optimal site selection for a Solar power plant in the central anatolian region of Turkey. *International Journal of Photoenergy*, 2, 1-13.
- Akkaya, S. (2019). *Samsun, Bayburt ve Mersin illerine kurulabilecek GES'in modellenmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ordu Üniversitesi.
- Aladağ, Z., Özcan, B. ve Özdemir, B. (2017). Güneş enerjisi santrali kuruluş yerinin AHS ve VIKOR yöntemlerine dayalı bütünlük yaklaşımı ile değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 33(2).
- Alcan, Y., Demir, M. ve Duman, S. (2018). Sinop province's solar power generation potential in comparison with our country and Germany. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(1), 35-44.
- Anjuman M., Zohora F., Nurul N., Tanvir A. ve Ahmed N. (2023). *Optimal site selection for solar plant using analytical hierarchy process (AHP): A case study in Bangladesh*.
- Arca, D. ve Çitiroğlu Keskin, H. (2022). *Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. Geomatik Dergisi*, 7(1), 17-25.
- Aslan, Ş. (2019). *Güneş enerji santrali yer seçiminde CBS kullanımı: Kayseri ili örneği* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Aslan, Z. (2022). *Yenilenebilir Enerjinin Türkiye Ekonomisine ve İşletmelerde Üretim Stratejilerine Etkisi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Uludağ Üniversitesi.
- Aydın, İ. (2020). *CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Ege denizinde rüzgar ve dalga enerji sistemleri için yer seçimi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. On dokuz Mayıs Üniversitesi.
- Başkaya, Z. ve Öztürk, B. (2011). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ile bir alışveriş merkezinde mağaza kuruluş yerinin seçimi. *Uludağ Üniversitesi, Sayısal Yöntemler A.B.D.* 110-133.
- Bengül, G. (2018). *TOPSIS ve VIKOR karar verme yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir uygulama: Bartın devlet hastanesi örneği* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Bartın Üniversitesi.
- Beyçur, S. (2022). *Elazığ ilinde güneş enerjisi santrali yerlerinin CBS ve AHP yöntemi ile belirlenmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Büyükkız, Ş. (2019). *Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının Ahp ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi.
- Ceylan, İ. ve Gürel, A. (2021). *Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı*. Dora Yayınları, İstanbul.
- Çakmak R. ve Altaş İ. (2016). Türkiye'nin doğu karadeniz bölgesi'nde güneş enerjisi potansiyeli: Trabzon ili örneği. *Gümüşhane Üniversitesi. Elektronik Mühendisliği Bölümü*. Erişim Adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/8c3fa2d0feb6fea_ek.pdf (Erişim Tarihi:21.09.2023).
- Dağdeviren, M., Akay, D. ve Kurt, M. (2004) İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 19(2), 131-138.
- Demir, A. (2017). *Güneş enerjisi santrali yer seçimi probleminin analitik hiyerarşi prosesi yardımı ile değerlendirilmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Beykent Üniversitesi.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi (2023, 25 Haziran). Mevzuat. Erişim Adresi: <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-enerji-gunes>.
- EWEA, (2008). Wind Energy Facts. Chapter 4, Environmental Issues, ss.307-411, Wind Energy, Erişim Adresi: <http://www.wind-energy-the-facts.org/documents/download/Chapter5.pdf>, (Erişim Tarihi: 27.10.2023).
- Garni H., Z. ve 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.
- Gerçek, Y. (2018). *GESi için Cbs ile en uygun yer tayini* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Gönengül, B. ve İçel, G. (2010). Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyılarında yıllık toplam yağışlarda görülen değişimler (1975-2006). *Türk Coğrafya Dergisi*, 55, 1-12.
- 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.

- Gül, A., Karakoç, A. ve Rehimbeyli, S. (2017). *Mekansal planlama alan kullanım kararlarında güneş enerji santrallerinin yer seçimi kriterleri*. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan).
- Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA)(2023, 15 Eylül). Erişim Adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>.
- Halder, B., Banik P., Almohamad H., Dughairi A., Mutiry M., Shahrani H. Ve Abdo H., (2022). Land suitability investigation for solar power plant using GIS, AHP and multi-criteria decision approach: A Case of Megacity Kolkata, West Bengal, India. *Sustainability*, 14(18), 11276.
- Hang, Q., Jun, Z., Xiao, Y. ve Junkui, C., (2008). Prospect of concentrating solar power in China-the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2505–2514.
- Haydaroğlu C. ve Gümüş B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500.
- Kanoğlu, M., Çengel, Y. ve Cimbala, J. (2022). *Yenilenebilir Enerji Temelleri ve Uygulamaları*. Palme Yayınevi, İstanbul.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Dalga Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(17), 65-86, Erişim Adresi: http://www.ijoess.com/Makaleler/1556748964_65-86%20eroi%20kapluhan.pdf, (Erişim Tarihi: 15.09.2023).
- Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Kuru, A. (2011). *Entegre yönetim sistemlerinde ÇKKV tekniklerinin kullanımına yönelik yaklaşımlar ve uygulamaları* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Lee A., Kang H. ve Liou Y. (2017). A hybrid multiple-criteria decision-making approach for photovoltaic solar plant location selection. *Sustainability*, 9(2), 184.
- Maden Tetkik ve Arama (MTA) (2023, 1 Eylül). Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/>
- Makina Mühendisleri Odası (TMMOB) (2023, 5 Eylül). Erişim Adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/b0218b112f2e18b_ek.pdf.
- Makine Mühendisleri Odası Enerji Köşesi (2023, 5 Kasım). Erişim Adresi: <https://enerji.mmo.org>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2023). Türkiye ortalama güneşlenme Süresi (1988- 2020). Erişim Adresi: <https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx>.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2023). Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/>
- Mevzuat Bilgi Sistemi (2023, 20 Eylül). Erişim Adresi: www.mevzuat.gov.tr.
- Miller, A. ve Lumby, B. (2012). *Utility Scale Solar Power Plants; A Guide For Developers and Investors*. International Finance Corporation-World Bank, New Delhi.
- Obut, Z. (2016). *Göksun ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS yöntemi ile belirlenmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
- Onat, N. (2018). Türkiye'de yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi: Mevcut durum ve gelecek beklentileri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 8–15.
- Özbek, (2017). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü*. Seçkin Yayınevi.
- Özçelik, M. (2022). *Muş ilinde güneş enerjisi potansiyelinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi (AHP) ile belirlenmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Muş Alparslan Üniversitesi.
- Özdemir, B., Özcan, B. ve Aladağ, Z. (2017). Güneş enerjisi santrali kuruluş yerinin AHS ve VIKOR yöntemlerine dayalı bütünlük yaklaşım ile değerlendirilmesi *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 33(2).
- Özdemir, S., ve Şahin, G. (2020). Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. *Measurement*, 129, 218-226.
- Öztaş, Ö. (2022). *Güneş Pv enerji santrali yer seçimi için Cbs'ye dayalı hibrit bir yaklaşım* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Saner, S. H. (2015). *Türkiye'de GES'in yer seçimi ve çevresel etkileri: Karapınar ve Karaman enerji ihtisas endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Turhan, S. Ç. (2012). *Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi*. 6. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa, 12-13 Nisan, Bursa, s.1-9, 2012.
- Turan, S. E. (2022). *Adana ili için coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak güneş enerjisi santrali yer seçiminin optimizasyonu* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Çukurova Üniversitesi.
- Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023, 10 Ekim). Erişim Adresi: www.sanayi.gov.tr
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) (2023, 12 Ekim). Erişim Adresi: <https://www.teias.gov.tr/>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2023, 25 Eylül), Erişim Adresi: www.tuik.gov.tr
- Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği (TMMOB) (2023, 2 Eylül). Erişim Adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/b0218b112f2e18b_ek.pdf.
- T.C. Ekonomi Bakanlığı. Yatırım Teşvik Sistemi. Erişim Adresi: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ekonomi.gov.tr%2F&date=2018-03-18>, (Erişim Tarihi: 18.03.2023).
- Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Uzar, M. ve Koca, H. (2018). *Cbs ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile güneş enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesi: Menemen örneği*. VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), Eskişehir.
- Uzunay, E. (2022). *Güneş enerjisi santrali yer seçiminde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanımı: Giresun ili örneği* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi.
- Wang, C., Nguyen V., T., Thai, H. ve Duoung, D. (2018). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches for Solar Power Plant Location Selection in Viet Nam. *Energies*, 11(6), 1504.
- Wu, Y. ve Geng, S. (2014). Multicriteria Decision Making on Selection of Solar-Wind Hybrid Power Station Location: A Case of China. *Energy Conversion and Management*, 81, 527-533.
- Villacreses, G., Gaona, G., Gomez., J. M. Ve Jijon, D. J. (2017). Wind Farms Suitability Location Using GIS Based on Multicriteria Decision Methods: The Case of Continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286.
- Yolcan, O. ve Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6(2), 196-215.