

Tunceli İlinde Güneş Enerjisi Yatırımlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Analizi ve Bölge Ekonomisine Olası Etkileri

Büşra ÖNER¹  Ayşe Esra PEKER^{2*} 

¹ Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat ABD, Türkiye

² Dr. Öğr. Üyesi, Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 01.05.2026
Kabul Tarihi: 03.06.2026
Yayın Tarihi: 30.06.2026

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi yatırımları,
Çok Kriterli Karar Verme,
Coğrafi Bilgi Sistemleri,
Bölgesel kalkınma,
Tunceli

ÖZET

Küresel ölçekte artan enerji talebi, iklim değişikliğiyle mücadele gerekliliği ve 2050 net sıfır karbon emisyon hedefleri, yenilenebilir enerji yatırımlarının çevresel ve ekonomik boyutları birlikte ele alan bilimsel yaklaşımlarla planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda çalışmada Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımları için mekânsal olarak uygun alanların belirlenmesi ve olası yatırımların bölgesel ekonomi ile sürdürülebilir kalkınmaya katkılarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Best–Worst Method (BWM) ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegre edilerek teknik, çevresel ve ekonomik kriterlere dayalı bir uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Kriter ağırlıkları BWM yöntemiyle hesaplanmış, elde edilen sonuçlar CBS ortamında bütünleştirilerek Tunceli ili için güneş enerjisi yatırım uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada güneş enerjisi yatırımlarını yalnızca teknik açıdan değil, bölgenin topoğrafik özellikleri, çevresel hassasiyetleri ve sosyo-ekonomik koşullarını birlikte değerlendiren BWM tabanlı bölgesel bir karar destek modeli geliştirmesi çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Elde edilen bulgulara göre, yatırım potansiyelinin il genelinde homojen dağılmadığı belirlenmiştir. Özellikle Mazgirt, Pertek ve Çemişgezek ilçeleri yüksek uygunluk düzeyiyle öne çıkarken, Ovacık ve Pülümür ilçelerinde topoğrafik ve çevresel kısıtlar nedeniyle yatırım uygunluğunun sınırlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada Tunceli ilinin güneş enerjisinin 2050 net sıfır karbon hedefleri doğrultusunda çevresel sürdürülebilirlik ve bölgesel kalkınma açısından stratejik önem taşıdığını bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Analysis of Solar Energy Investments in Tunceli Province Using Multi-Criteria Decision-Making Methods and Their Effects on the Regional Economy

Article Info

Received: 01.05.2026
Accepted: 03.06.2026
Published: 30.06.2026

Keywords:

Solar energy investments,
Multi-Criteria Decision-
Making,
Best–Worst Method,
Geographic Information
Systems,
Regional Development;
Tunceli

ABSTRACT

The increasing global demand for energy, the necessity of combating climate change, and the 2050 net-zero carbon emission targets have made it essential to plan renewable energy investments through scientific approaches that simultaneously consider environmental and economic dimensions. This study aims to identify spatially suitable areas for solar energy investments in Tunceli Province and evaluate their potential contributions to the regional economy and sustainable development. To this end, a suitability analysis was conducted by integrating the Best–Worst Method (BWM), one of the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) techniques, with Geographic Information Systems (GIS) based on technical, environmental, and economic criteria. The criteria weights were calculated using the BWM, and the resulting weights were integrated into the GIS environment to produce solar energy investment suitability maps for Tunceli Province. The originality of the study lies in the development of a BWM-based regional decision support model that evaluates solar energy investments not only from a technical perspective but also by considering the region's topographical characteristics, environmental sensitivities, and socio-economic conditions. The findings indicate that the investment potential is not spatially homogeneous across the province. In particular, the districts of Mazgirt, Pertek, and Çemişgezek exhibit high suitability for solar energy investments, whereas the investment potential in Ovacık and Pülümür is limited due to topographical and environmental constraints. The results demonstrate that solar energy investments should be planned by taking local geographical and environmental conditions into account. Overall, the study highlights the strategic importance of solar energy for achieving environmental sustainability and promoting regional development in Tunceli Province in line with the 2050 net-zero carbon emission targets.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Peker, A.E., & Öner, B. (2026). Tunceli İlinde Güneş Enerjisi Yatırımlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Analizi ve Bölge Ekonomisine Olası Etkileri *Fivezero*, 6(1), 45-62. <https://doi.org/10.54486/fivezero.2026.54>

*Sorumlu Yazar: Ayşe Esra PEKER, esrapeker@firat.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan enerji talebi, fosil yakıt kaynaklarının sınırlı yapısı ve iklim değişikliğinin yol açtığı çevresel sorunlar, enerji üretim ve tüketim sistemlerinin yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması, yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji politikalarının merkezine taşımaktadır (Kalkınma Bakanlığı, 2018). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi; çevre dostu yapısı, yerli bir enerji kaynağı olması ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak yatırım maliyetlerinin azalması nedeniyle stratejik bir konuma yükselmiştir. Fotovoltaik sistemlerin verimliliğindeki artış ve kurulum sürelerinin görece kısa olması, güneş enerjisinin hem gelişmiş, hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygın biçimde kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Şen, 2013). Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla yüksek güneşlenme süresi ve yıllık küresel güneş radyasyonu değerlerine sahip ülkeler arasında yer almaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayımlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verilerine göre, Türkiye'nin teknik güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir (ETKB, 2023). Buna karşın, mevcut güneş enerjisi sistemleri kurulu gücünün teorik ve teknik potansiyelin gerisinde kaldığı görülmektedir. Bu durumun temel nedenleri arasında yatırım kararlarının çoğunlukla teknik fizibilite ile sınırlı kalması, bölgesel farklılıkların yeterince dikkate alınmaması ve güneş enerjisi yatırımlarının ekonomi üzerindeki etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla analiz edilememesi yer almaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemi yatırımları çoğunlukla enerji arz güvenliği bağlamında ele alınırken, bu yatırımların ekonomik büyüme, istihdam, enerji ithalatı ve cari denge üzerindeki etkileri ikincil planda kalmaktadır (Yılmaz & Uslu, 2020).

Literatürde yer alan çalışmalar, yenilenebilir enerji yatırımlarının ekonomik büyümeyi desteklediğini, istihdam yaratma kapasitesine sahip olduğunu ve enerji ithalatına bağımlılığı azalttığını ortaya koymaktadır (Kaygusuz, 2012). Ancak bu çalışmaların önemli bir bölümü, güneş enerjisi yatırım potansiyelinin belirlenmesi ile ekonomik etkilerin analizini aynı model çerçevesinde birlikte ele almamıştır. Bu bağlamda, yatırım potansiyelinin mekânsal, teknik ve ekonomik boyutlarıyla bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi literatürde önemli bir gereksinim olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Tunceli ilindeki güneş enerjisi yatırım potansiyeli, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Best–Worst Method (BWM) ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amaçları; güneş enerjisi yatırımları için mekânsal açıdan uygun alanların belirlenmesi ve bu yatırımların bölgesel ekonomi ile sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, teknik, çevresel ve ekonomik kriterler dikkate alınarak kriter ağırlıkları BWM yöntemiyle hesaplanmış; elde edilen ağırlıklar CBS ortamında bütünleştirilerek Tunceli ili için güneş enerjisi yatırım uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın özgün yönü, güneş enerjisi yatırımlarını yalnızca teknik uygunluk açısından değil, bölgeye özgü topoğrafik yapı, çevresel hassasiyetler ve sosyo-ekonomik koşulları birlikte değerlendiren BWM tabanlı bölgesel bir karar destek modeli geliştirmesidir. Bu yönüyle çalışma, bölgesel ölçekte geliştirilen özgün karar destek yaklaşımı sayesinde sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulmasına ve bölgesel kalkınmanın desteklenmesine katkı sağlamakta, aynı zamanda literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Kavramsal Çerçeve

Enerji, ekonomik büyümenin sürdürülmesi, sanayileşmenin desteklenmesi ve toplumsal refahın artırılması açısından temel üretim faktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Nüfus artışı, kentleşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte enerji talebinin sürekli yükselmesi, enerji kaynaklarının etkin kullanımını ve sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Bu kapsamda enerji kaynakları, yenilenebilirlik özelliklerine göre yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki temel grupta değerlendirilmektedir (Keleş vd., 2015). Yenilenemeyen enerji kaynakları; kömür, petrol, doğal gaz ve nükleer enerji gibi oluşum süreçleri milyonlarca yıl süren ve mevcut tüketim

düzeyinde kısa sürede yenilenemeyen kaynaklardan oluşmaktadır (Dincer & Rosen, 2011; IEA, 2022). Özellikle sanayi devriminden itibaren fosil yakıtlar, küresel ekonomik büyümenin temel enerji kaynağı olmuş ve ülkelerin sanayileşme süreçlerine önemli katkılar sağlamıştır (Kaygusuz, 2012). Bununla birlikte fosil yakıtların yoğun kullanımı, sera gazı emisyonlarının artmasına, hava kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olurken, sınırlı rezervlere sahip olmaları enerji arz güvenliği açısından önemli riskler ortaya çıkarmaktadır (Sadorsky, 2012; Kaya ve Gür, 2018). Nükleer enerji ise yüksek üretim kapasitesi ve düşük karbon emisyonu avantajına sahip olmasına rağmen güvenlik riskleri, yüksek yatırım maliyetleri ve radyoaktif atıkların yönetimi nedeniyle tartışmalı enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Dincer & Rosen, 2011; ETKB, 2023). Fosil yakıt kullanımının çevresel ve ekonomik etkileri, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik ilginin artmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçler içerisinde sürekli yenilenebilen, çevresel etkileri görece düşük ve tükenme riski bulunmayan enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır (REN21, 2023; IEA, 2022). Bu kaynakların yaygınlaştırılması yalnızca karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamamakta; aynı zamanda enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın desteklenmesi açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır (Kaya, 2021; UNDP, 2021; Yılmaz, 2020).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle ile dalga ve deniz enerjisi ön plana çıkmaktadır (REN21, 2023). Bu enerji türleri arasında güneş enerjisi, teknolojik gelişmelere bağlı olarak yatırım maliyetlerinin düşmesi, çevre dostu yapısı ve yaygın uygulanabilirliği nedeniyle stratejik önem kazanmıştır. Güneşten elde edilen ışının fotovoltaiik ve termal sistemler aracılığıyla enerjiye dönüştürülmesi esasına dayanan güneş enerjisi, işletme sürecinde karbon emisyonu oluşturmaması ve yerli enerji kaynağı niteliği taşıması bakımından diğer enerji kaynaklarına göre önemli avantajlar sağlamaktadır (Şen, 2013). Türkiye'nin coğrafi konumu, yüksek güneşlenme süresi ve yıllık güneş radyasyonu değerleri dikkate alındığında güneş enerjisinin ülkenin enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (ETKB, 2023). Diğer yenilenebilir enerji kaynakları da enerji sistemlerinin çeşitlendirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Rüzgâr enerjisi düşük işletme maliyetleriyle dikkat çekerken (ETKB, 2022; Yılmaz, 2019), jeotermal enerji sürekli üretim kapasitesi sayesinde enerji arzının sürekliliğine katkı sağlamaktadır (MTA, 2021; Kaygusuz, 2010). Biyokütle enerjisi atıkların değerlendirilmesini mümkün kılarak çevresel sürdürülebilirliği ve kırsal kalkınmayı desteklemekte (Demirbaş, 2009; TÜBİTAK, 2020), hidroelektrik enerji ise yüksek üretim kapasitesiyle elektrik üretiminde önemli bir paya sahip olmasına rağmen çevresel etkileri nedeniyle dikkatli planlama gerektirmektedir (DSİ, 2021; Uslu, 2018). Bunun yanında dalga ve deniz enerjisi henüz gelişme aşamasında olmakla birlikte geleceğin alternatif enerji kaynakları arasında değerlendirilmektedir (TÜBİTAK MAM, 2021; Arıkan, 2017). Yenilenebilir enerji kaynakları yalnızca çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından değil, enerji arz güvenliğinin artırılması, dışa bağımlılığın azaltılması ve bölgesel ekonomik kalkınmanın desteklenmesi bakımından da stratejik bir öneme sahiptir. Bu çerçevede, özellikle güneş enerjisi yatırımlarının teknik, çevresel ve ekonomik boyutları birlikte değerlendirilerek planlanması, sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulmasında temel yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Dünya’da Yenilenebilir Enerji kaynaklarının Mevcut Durumu

Bu bölümde Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerjinin mevcut durumu rakamlar ile özetlenmiştir.

Dünya’da Yenilenebilir Enerji kaynaklarının Mevcut Durumu

Yenilenebilir enerji kaynakları, iklim değişikliğiyle mücadele, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda küresel enerjinin temel bileşenlerinden biri

hâline gelmiştir. Son yıllarda özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinde yaşanan teknolojik gelişmeler ve maliyet düşüşleri, yenilenebilir enerji yatırımlarının dünya genelinde hızlanmasına yol açmıştır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre 2024 yılı itibarıyla küresel yenilenebilir enerji kurulu gücü 4.448 GW seviyesine ulaşmış ve bir önceki yıla göre yaklaşık %15,1 oranında artış göstermiştir (IRENA, 2025). Bu artış, 585 GW'lık net kapasite eklemesiyle bugüne kadarki en yüksek yıllık büyüme olarak değerlendirilmektedir (Enerdata, 2025).

Küresel büyümede en büyük pay güneş ve rüzgâr enerjisine aittir. 2024 yılında yalnızca güneş enerjisinde 450 GW'ın üzerinde yeni kapasite devreye alınmış ve bu artış toplam yenilenebilir kapasite artışının yaklaşık üçte ikisini oluşturmuştur (IRENA, 2025). Rüzgâr enerjisinde ise yaklaşık 110 GW'lık bir artış gerçekleşmiş, özellikle kara rüzgâr santralleri bu büyümenin temel belirleyicisi olmuştur. Hidroelektrik enerji küresel yenilenebilir kapasite içinde önemli bir paya sahip olmayı sürdürmekle birlikte yeni kurulumlarda daha sınırlı bir artış göstermektedir. Jeotermal ve biyokütle gibi diğer kaynaklar ise daha düşük paylara sahip olmakla birlikte istikrarlı bir büyüme eğilimi içerisindedir (IRENA, 2025).

Bölgesel olarak incelendiğinde, yenilenebilir enerji kapasite artışlarının büyük ölçüde Asya kıtasında yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle Çin, 2024 yılında yaklaşık 370 GW yeni yenilenebilir enerji kapasitesi ekleyerek küresel artışın yaklaşık %64'ünü tek başına karşılamıştır (Enerdata, 2025). Böylece Çin'in toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü yaklaşık 1.890 GW seviyesine ulaşmıştır. Avrupa Birliği (AB), yenilenebilir enerji dönüşümünde önemli bir aktör olmaya devam etmekte olup 2024 itibarıyla toplam kurulu gücü yaklaşık 848 GW seviyesine ulaşmıştır (Strategic Energy, 2025). AB'de yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketimindeki payı %25,2 seviyesindedir (Eurostat, 2025). Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 2024 yılında devreye alınan yeni elektrik üretim kapasitesinin yaklaşık %90'ı yenilenebilir kaynaklardan oluşmuştur (EIA, 2024). Yenilenebilir enerji küresel ölçekte elektrik üretiminde giderek daha merkezi bir rol üstlenmekte ve yeni kurulumlarda açık ara lider konuma yükselmektedir. Ancak COP28 hedefleri doğrultusunda 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin üç katına çıkarılması için mevcut büyüme hızının artırılması gerektiği görülmektedir.

Türkiye'de Yenilenebilir Enerji kaynaklarının Mevcut Durumu

Türkiye, son yıllarda yenilenebilir enerji sektöründe önemli bir dönüşüm süreci yaşamaktadır. Artan enerji talebi, enerji arz güvenliği ve fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji yatırımları hız kazanmıştır. 2025 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücü yaklaşık 121,8 GW seviyesine ulaşmış ve bunun yaklaşık %60–62'si yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuştur (Daily Sabah ile AA; SolarQuarter, 2025). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji yaklaşık 32,3 GW kapasite ile en büyük paya sahiptir (Daily Sabah ile AA, 2025). Güneş enerjisi ise son yıllarda en hızlı büyüyen kaynak haline gelmiş ve 2025 itibarıyla yaklaşık 24,7 GW kurulu güce ulaşarak doğal gazı geride bırakıp ikinci sıraya yükselmiştir (SolarQuarter, 2025; TaiyangNews, 2025). Rüzgâr enerjisi kapasitesi yaklaşık 14,5 GW seviyesine ulaşmış olup özellikle batı ve iç bölgelerdeki yatırımlarla gelişimini sürdürmektedir. Jeotermal enerji yaklaşık 1,7 GW, biyokütle enerjisi ise yaklaşık 2,3 GW seviyesindedir (Daily Sabah ile AA, 2025).

Türkiye'de yenilenebilir enerji kapasitesi 2000 yılına kıyasla yaklaşık 4–5 kat artmış ve toplam kurulu güç içindeki payı önemli ölçüde yükselmiştir (EEA, 2025). Bu gelişmede devlet teşvikleri, YEKA projeleri ve lisanssız üretim düzenlemeleri önemli rol oynamaktadır. Türkiye ayrıca 2035 yılına kadar güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesini toplam 120 GW seviyesine çıkarmayı hedeflemektedir (Invest in Türkiye, 2025).

Güneş enerjisi Türkiye'de en hızlı büyüyen yenilenebilir kaynaklardan biri olup 2025 yılı

itibarıyla yaklaşık 24,7 GW kurulu güce ulaşmıştır. Bu kapasite toplam elektrik kurulu gücünün %20'sinden fazlasını oluşturmakta ve güneş enerjisini doğal gazın önüne geçirerek ikinci büyük elektrik üretim kaynağı konumuna taşımaktadır (TaiyangNews, 2025; Daily Sabah, 2025). Türkiye'nin yıllık ortalama 2.741 saat güneşlenme süresi ve 1.527 kWh/m²-yıl radyasyon değeri, güneş enerjisi potansiyelini desteklemektedir (ETKB, 2024).

Bölgesel olarak Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahipken, Marmara ve Ege bölgeleri sanayi yoğunluğu nedeniyle yatırım açısından öne çıkmaktadır. Türkiye'de güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi yaklaşık 35 TWh seviyesine ulaşmış olup toplam üretimin %6–7'sini oluşturmaktadır (IEA, 2024; Ember, 2025). Bu durum, güneş enerjisinin Türkiye enerji sisteminde giderek daha stratejik bir konuma geldiğini göstermektedir. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları özellikle hidroelektrik ve güneş enerjisi öncülüğünde hızlı bir gelişim göstermekte olup, bu süreç ülkenin enerji güvenliği, dışa bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine önemli katkılar sağlamaktadır.

YÖNTEM

Güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı, tarımsal üretimde enerji maliyetlerinin azaltılması ve sürdürülebilir üretim modellerinin desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda çalışmada Tunceli ilinde güneş enerjisi sistemleri (GES) için en uygun alanların belirlenmesi hedeflenmiştir. Artan enerji talebi ve sürdürülebilir kaynaklara yönelimin giderek güçlenmesi doğrultusunda, Tunceli'nin güneş enerjisi potansiyeli çeşitli kriterler temelinde analiz edilmiştir. GES değerlendirilmesinde kullanılacak kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Best Worst Method (BWM) tercih edilmiştir. BWM, Rezaei (2015) tarafından geliştirilen ve karar vericinin sınırlı sayıda karşılaştırma yapmasına olanak tanıyan, tutarlılığı yüksek bir ağırlıklandırma yöntemidir. Yöntem, özellikle karmaşık karar problemlerinde öznel yargıların neden olduğu tutarsızlıkları azaltması ve daha güvenilir sonuçlar üretmesi nedeniyle literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır.

BWM'nin temel yaklaşımı, karar problemini oluşturan kriterler arasından en önemli (Best) ve en az önemli (Worst) kriterlerin belirlenmesine dayanmaktadır. Bu aşamada karar verici, kriter setini bütüncül olarak değerlendirerek göreceli önemi en yüksek ve en düşük olan kriterleri seçmektedir. Daha sonra, en iyi kriterin diğer kriterlere göre tercih düzeyi ile diğer kriterlerin en kötü kritere göre tercih düzeyleri ayrı ayrı belirlenmektedir. Bu karşılaştırmalar, genellikle 1–9 aralığında tanımlanan bir önem ölçeği kullanılarak yapılmaktadır.

Elde edilen karşılaştırma değerleri doğrultusunda, kriter ağırlıkları doğrusal optimizasyon temelli bir matematiksel model yardımıyla hesaplanmaktadır. Modelin amacı, kriter ağırlıkları arasındaki maksimum sapmayı minimize ederek en tutarlı ağırlık setini elde etmektir. Bu optimizasyon süreci sayesinde, karar vericinin yargılarındaki olası tutarsızlıklar kontrol altına alınmakta ve ağırlıkların güvenilirliği artırılmaktadır. BWM'nin sunduğu tutarlılık ölçütü, yöntemin sonuçlarının geçerliliğinin değerlendirilmesine de imkân tanımaktadır. Bu çalışmada BWM'nin tercih edilmesinin temel nedenleri; klasik ikili karşılaştırma yöntemlerine kıyasla daha az veri girişi gerektirmesi, karar verici üzerindeki bilişsel yükü azaltması ve daha yüksek tutarlılık oranları sunmasıdır. Ayrıca BWM, enerji yatırımları gibi çok sayıda teknik, çevresel ve ekonomik kriterin bir arada değerlendirilmesini gerektiren çalışmalarda etkin bir karar destek aracı olarak öne çıkmaktadır. Tunceli iline özgü bölgesel koşullar dikkate alındığında, BWM'nin sunduğu esnek ve güvenilir yapı, kriter ağırlıklarının belirlenmesi açısından uygun görülmüştür. Çalışmada, güneş enerjisi yatırımlarına ilişkin kriterlerin göreceli önem düzeyleri BWM kullanılarak hesaplanmış; elde edilen ağırlıklar, yatırım uygunluğunun değerlendirilmesi ve bölgesel analizlerin gerçekleştirilmesinde temel girdi olarak kullanılmıştır.

Uygun alanların belirlenmesinde, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarından biri olan En İyi-En Kötü Yöntemi (Best-Worst Method, BWM), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilmiştir. GES yer seçimi çok disiplinli bir süreç olduğundan, kriterlerin değerlendirilmesinde farklı uzmanlık alanlarından uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bu kapsamda, Tunceli ile ilişkili ilgili kamu kurum ve kuruluşlarından ve konuya ilişkin uzmanlardan veriler toplanmıştır. Uzmanlar tarafından doldurulan değerlendirme formları doğrultusunda kriterlerin öncelik ağırlıkları belirlenmiş ve elde edilen veriler BWM yaklaşımına uygun olarak analiz edilmiştir. Hesaplama süreci, LINGO 19.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece, güneş enerjisinin tarımsal üretimde etkin biçimde kullanılabileceği alanların sistematik ve bilimsel bir yaklaşımla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bölümde, çalışma alanı kapsamlı biçimde tanıtılmakta; ayrıca GES yer seçimi için uygulanan ÇKKV yaklaşımı ile araştırma kapsamında dikkate alınan kriterler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Uygun alanların belirlenmesinde, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarından biri olan En İyi-En Kötü Yöntemi (Best-Worst Method, BWM), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilmiştir. GES yer seçimi çok disiplinli bir süreç olduğundan, kriterlerin değerlendirilmesinde farklı uzmanlık alanlarından uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bu kapsamda, Tunceli ile ilişkili ilgili kamu kurum ve kuruluşlarından ve konuya ilişkin uzmanlardan veriler toplanmıştır. Uzmanlar tarafından doldurulan değerlendirme formları doğrultusunda kriterlerin öncelik ağırlıkları belirlenmiş ve elde edilen veriler BWM yaklaşımına uygun olarak analiz edilmiştir. Hesaplama süreci, LINGO 19.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece, güneş enerjisinin tarımsal üretimde etkin biçimde kullanılabileceği alanların sistematik ve bilimsel bir yaklaşımla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bölümde, çalışma alanı kapsamlı biçimde tanıtılmakta; ayrıca GES yer seçimi için uygulanan ÇKKV yaklaşımı ile araştırma kapsamında dikkate alınan kriterler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Karar verme genel olarak, mevcut seçenekler arasından en uygun alternatifin seçilmesi süreci olarak tanımlanabilir. Bu süreçte çoğu zaman birden fazla kriter dikkate alındığından, söz konusu problemler Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) çerçevesinde ele alınmaktadır. ÇKKV yaklaşımında çeşitli kriterler belirlenmekte ve farklı bakış açılarına göre değerlendirilmektedir. Bu kriterler, karar verme sürecine yön veren kurallar, ölçütler ve standartları temsil etmektedir. ÇKKV yöntemleri, özellikle işletmecilik ve bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan karar destek araçları arasında yer almaktadır. Bu yöntemler, karar verme sürecini daha sistematik ve rasyonel bir yapıya kavuşturarak alınan kararların kalitesini ve güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, ÇKKV'nin en önemli güçlü yönlerinden biri, birbiriyle çelişen kriterleri içeren karmaşık problemlerin etkin biçimde ele alınmasına olanak sağlamasıdır (Zavadskas ve Turskis, 2010).

Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, bir karar probleminin amacı doğrultusunda en uygun ve en etkin çözümün belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu tür problemlerde optimum sonuca ulaşabilmek için belirli aşamaların izlenmesi gerekmektedir. İlk olarak mevcut seçenekler arasından en uygun alternatif belirlenir. Ardından alternatifler, tanımlanan kriterlere göre değerlendirilerek sıralanır ve benzer özellik gösterenler gruplandırılır. Son aşamada ise uygulanabilir alternatifler arasında bir öncelik sıralaması oluşturularak en iyi çözüme ulaşırlar (Aslan, 2017). Karar verme süreçlerine sistematik bir çerçeve sunan ÇKKV yöntemleri literatürde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu yöntemler arasında En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM) ve ARAS yöntemi önemli bir yere sahiptir. Özellikle En İyi-En Kötü Yöntemi, diğer tekniklere kıyasla daha yeni bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada kriter ağırlıkları En İyi-En Kötü Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Çakır ve Can, 2019).

En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM), 2015 yılında Jafar Rezaei tarafından önerilen bir Çok Kriterli Karar Verme tekniğidir. Bu yöntem, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde temel olarak ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Tüm kriterlerin birbirleriyle ayrı ayrı karşılaştırılması yerine, daha az sayıda karşılaştırma gerektirmektedir. Bu sayı, n kriter için $2n-3$ şeklinde ifade edilmektedir. Yöntemin ilk aşamasında “en iyi” ve “en kötü” kriterler belirlenmektedir. Daha sonra bu referans kriterler diğer

kriterlerle ikili olarak karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmalarda 1 ile 9 arasında değişen bir ölçek kullanılmaktadır. Ölçekte 1 değeri iki kriterin eşit öneme sahip olduğunu, 9 değeri ise önem düzeyleri arasında çok büyük bir fark bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca BWM, “en iyiden diğerlerine” ve “diğerlerinden en kötüye” olmak üzere iki özel vektör aracılığıyla tutarlılık kontrolü gerçekleştirmekte ve elde edilen ağırlıkların güvenilirliğini sağlamaktadır (Rezaei ve diğerleri, 2016; Rezaei, 2020). Uygulama adımları aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir.

Adım 1: Değerlendirilecek kriterler belirlenmektedir. Karar verme sürecinde yer alan kriterler $c_1, c_2, \dots, c_n$ şeklinde gösterilmektedir.

Adım 2: Belirlenen kriterler arasından en iyi (en önemli ya da en çok tercih edilen) ve en kötü (en az önemli ya da en az tercih edilen) kriter seçilmektedir. Bu aşamada herhangi bir ikili karşılaştırma yapılmamaktadır.

Adım 3: En iyi kriter ile diğer kriterler arasındaki önem farkını göstermek amacıyla 1–9 ölçeği kullanılır. “En İyiden Diğerlerine” vektörü aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır.

$$A^B = (\alpha^{B_1}, \alpha^{B_2}, \dots, \alpha^{B_n}) \quad (1)$$

Burada α^{B_j} , en iyi kriter B’nin j kriterine göre tercih derecesini ifade etmektedir. Bir kriterin kendisiyle karşılaştırılması durumunda değer 1 olarak kabul edilir ve $\alpha^{BB} = 1$ şeklinde gösterilmektedir.

Adım 4: Diğer kriterlerin en kötü kritere göre farkını ifade etmek amacıyla yine 1–9 ölçeği kullanılmaktadır. “Diğerlerinden En Kötüye” vektörü aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$A^W = (\alpha^{W_1}, \alpha^{W_2}, \dots, \alpha^{W_n}) \quad (2)$$

Burada α_j^W , j kriterinin en kötü kriter W’ye göre tercih derecesini göstermektedir.

Adım 5: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ değerleri hesaplanmaktadır. Gerekli dönüşümler sonrasında problem aşağıdaki minimizasyon modeli ile ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned} \left| \frac{W_B}{W_j} - \alpha_{Bj} \right| &\leq \xi, \forall j \\ \left| \frac{W_j}{W_W} - \alpha_{jW} \right| &\leq \xi, \forall j \end{aligned}$$

Belirli bir alanda enerji üretimine yönelik uygun lokasyonların seçilmesi kritik öneme sahip bir konudur. Güneş panelleri, dalga enerjisi sistemleri ya da rüzgâr türbinleri gibi farklı enerji üretim teknolojileri söz konusu olduğunda, kurulum için uygun yer seçimi temel bir rol oynamaktadır. Nitekim enerji tesislerinin uygun alanlara kurulması; verimlilik, uzun vadeli enerji arzı, güvenlik ve erişilebilirlik gibi unsurları doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle literatürde özellikle yer seçimine odaklanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Yıldız vd.; Taktak ve İl, 2018; Yalçın ve Yüce, 2020; Mokarram, 2020; De Luis-Ruiz vd., 2024; Özcanlı vd.; Meral, 2022; Saldamlı vd., 2023).

Güneş enerji santralleri (GES) için yer seçimi kriterleri genel olarak dört ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar; topoğrafik ve doğal çevre kriterleri, sosyoekonomik ve çevresel kriterler, teknik ve altyapısal kriterler ile konumsal (mekânsal) kriterlerdir. Topoğrafik ve doğal çevre kriterleri; güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, eğim, yükselti, bakı, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve litoloji ile yıllık ortalama sıcaklık, bağıl nem ve yıllık ortalama yağış gibi değişkenleri kapsamaktadır. Sosyoekonomik ve çevresel kriterler; arazi maliyeti, kurulum maliyeti, yerleşim merkezlerine uzaklık, koruma alanlarına yakınlık, kuş göç yolları, barajlara uzaklık ve fay hatlarına mesafe gibi unsurları içermektedir. Teknik ve altyapısal kriterler ise enerji iletim hatlarına ve kara yollarına uzaklık gibi faktörlerden oluşmaktadır. Son olarak konumsal kriterler, çalışma alanının coğrafi konumu ile bölgesel

yerleşim özelliklerini kapsamaktadır. Bu sınıflandırma, GES yer seçimi sürecinde çevresel, ekonomik ve teknik boyutların dengeli ve kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Güneş Radyasyonu: Güneş radyasyonu, fotovoltaik (PV) enerji santralinin enerji üretim potansiyelini belirleyen temel faktördür. Radyasyon miktarının artması, panel verimliliği ile enerji çıktısını doğrudan artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency-IEA-2021) raporuna göre yüksek güneş radyasyonuna sahip alanlar yatırımın geri dönüş süresini kısaltmakta ve sistem verimliliğini artırmaktadır (Shorabeh vd., 2022).

Güneşlenme Süresi: Gün ve yıl boyunca alınan güneş ışığı miktarını ifade etmektedir. Bu durum enerji üretim kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Uzun güneşlenme süreleri, özellikle güney ve iç bölgelerde PV yatırımlarını ekonomik ve teknik açıdan daha avantajlı hale getirmektedir (Langer vd., 2022).

Eğim: Arazi eğimi, güneş panellerinin optimum açıyla yerleştirilmesi açısından önemlidir. Çok dik ya da aşırı düz alanlar kurulum maliyetlerini artırabilmekte ve enerji üretim verimliliğini düşürebilmektedir. Optimum eğim analizlerinin PV verimliliğini %5–10 oranında artırabildiği belirtilmektedir (Effat ve El-Zeiny, 2022).

Bakı (Yönelim): Bakı, arazi yüzeyinin güneşe göre yönelimini ifade etmektedir. Panellerin güneye ya da maksimum güneş radyasyonu alan yöne yerleştirilmesi enerji verimliliğini artırmaktadır. Bu faktör, özellikle kuzey yarımkürede enerji üretiminin optimize edilmesinde önemli rol oynamaktadır (Shorabeh vd., 2022).

Yükselti: Yükselti, atmosferik koşulları ve alınan güneş radyasyonu miktarını etkilemektedir. Yüksek rakımlı alanlar daha temiz hava ve daha yüksek radyasyon avantajı sunabilmektedir. Ancak erişim ve kurulum maliyetleri de yükselmektedir. Bu nedenle PV yer seçiminde verimlilik ve maliyet birlikte değerlendirilmektedir (Langer vd., 2022).

Yıllık Ortalama Sıcaklık: Panel verimliliği sıcaklığa duyarlıdır. Aşırı sıcaklık enerji üretimini azaltabilmektedir. Uygun sıcaklık aralıkları, sistemin uzun vadeli verimliliğini ve dayanıklılığını desteklemektedir (IEA, 2021).

Bağıl Nem: Yüksek nem oranı panel yüzeyinde yoğunlaşmaya neden olarak verimliliği azaltabilmektedir. Ayrıca bakım gereksinimlerini artırmakta ve korozyon riskini yükseltmektedir. Bu nedenle nem değerleri PV alan uygunluğu değerlendirmelerinde dikkate alınmaktadır (Effat ve El-Zeiny, 2022).

Yıllık Ortalama Yağış: Yağış miktarı enerji üretimini dolaylı olarak etkilemektedir. Aşırı yağış panel yüzeyinde kirlenmeye ve sel riskine yol açabilmektedir. Kurak ve yarı kurak bölgeler genellikle PV kurulumları için daha uygun kabul edilmektedir (Shorabeh vd., 2022).

Arazi Kullanımı: Mevcut arazi kullanım biçimi, PV yatırımlarının uygulanabilirliğini belirlemektedir. Tarım, orman veya yoğun yerleşim alanları sosyal ve çevresel kaygılar nedeniyle sınırlı kullanım alanlarıdır. Boş ya da ekonomik değeri düşük araziler daha uygun görülmektedir (Langer vd., 2022).

Arazi Maliyeti: Arazi fiyatları yatırım maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Düşük maliyetli arazilerin kullanılması yatırımın ekonomik sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Bu kriter genellikle ekonomik analizlerle birlikte değerlendirilmektedir (IEA, 2021).

Kurulum Maliyeti: Arazi yapısı, eğim, ulaşılabilirlik ve altyapı durumu PV tesis kurulum maliyetlerini belirlemektedir. Düz ve erişilebilir alanlar daha düşük maliyet avantajı sağlamaktadır (Effat ve El-Zeiny, 2022).

Enerji İletim Hatlarına Uzaklık: Bir PV tesisinin elektrik şebekesine bağlanabilmesi için iletim hatlarına yakın olması gerekmektedir. Uzak mesafeler altyapı ve enerji iletim maliyetlerini artırdığından önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir (Shorabeh vd., 2022).

Yollara Uzaklık: Ulaşım altyapısı, tesisin inşası ve bakım faaliyetleri açısından kritik öneme sahiptir. Uzak alanlar lojistik maliyetleri artırmakta ve bakım süreçlerini zorlaştırmaktadır. Yol ağı ile entegrasyon, PV tesislerinin uygulanabilirliğini belirleyen önemli unsurlardan biridir (Langer vd., 2022).

Yerleşim Merkezlerine Uzaklık: Enerji talebi genellikle kent merkezlerinde yoğunlaşmaktadır. Yerleşim alanlarına yakınlık, iletim kayıpları ve altyapı maliyetleri üzerinde etkili olmaktadır. Bununla birlikte sosyal ve çevresel etkiler de dikkate alınmalıdır (IEA, 2021).

Barajlara Uzaklık: Baraj ve su kaynaklarına yakın alanlar, su yönetimi ve çevresel riskler nedeniyle çoğu zaman kısıtlı kullanım alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle PV planlamasında güvenlik tampon bölgeleri dikkate alınmaktadır (Shorabeh vd., 2022).

Fay Hatlarına Uzaklık: Deprem riski taşıyan alanlarda PV yatırımları önemli güvenlik sorunları oluşturabilmektedir. Altyapı güvenliği ve yatırımın sürdürülebilirliği açısından fay hatlarından uzak bölgeler tercih edilmektedir (Effat ve El-Zeiny, 2022).

Bu çalışmada kullanılan değişkenler; enerji üretim kapasitesi, yatırım maliyeti, güvenlik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından PV alan uygunluğunu belirlemektedir. Literatürde bu kriterler genellikle Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile CBS tabanlı uygunluk analizleri kullanılarak ağırlıklandırılmakta ve en uygun alanların belirlenmesinde değerlendirilmektedir (Shorabeh vd., 2022; Langer vd., 2022; Effat ve El-Zeiny, 2022).

BULGULAR

Bu bölümde, Tunceli ilindeki tarımsal işletmelerde kullanılmak üzere güneş enerjisi sistemlerine yönelik uygunluk haritası oluşturulmuştur. Karar verme sürecinin karmaşıklığını yönetmek ve kriterlerin göreceli önem düzeylerini belirlemek amacıyla, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden biri olan En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM) kullanılmıştır. Jafar Rezaei tarafından 2015 yılında geliştirilen bu yöntem, klasik ikili karşılaştırma yaklaşımlarına (örneğin Analitik Hiyerarşi Süreci) kıyasla daha az veri girdisi gerektirmekte ve daha yüksek tutarlılık sağlamaktadır. BWM’de karar verici, kriter kümesi içerisinde “En İyi” ve “En Kötü” kriterleri belirlemekte; diğer kriterler yalnızca bu iki referans kriter üzerinden karşılaştırılmaktadır. Bu yaklaşım, değerlendirme sürecindeki öznelliği azaltırken matematiksel optimizasyon modeli sayesinde elde edilen ağırlıkların güvenilirliğini artırmaktadır.

Tunceli özelinde gerçekleştirilen analizde, bölgenin dağlık topoğrafyası ve engebeli morfolojik yapısı kriterlerin hiyerarşik sıralamasında belirleyici olmuştur. İlin yüksek güneş enerjisi potansiyeli nedeniyle “Güneş Radyasyonu (0,190)” en kritik kriter olarak belirlenmiştir. Teknik verimliliğin yanı sıra, yatırımın ekonomik uygulanabilirliğini doğrudan etkileyen lojistik faktörler de modelde güçlü biçimde dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, engebeli arazide kurulum ve enerji iletim maliyetlerini minimize etmek amacıyla “Enerji İletim Hatlarına Uzaklık (0,150)” ve “Yollara Uzaklık (0,110)” kriterlerine diğer çevresel ve fiziksel faktörlere göre daha yüksek ağırlıklar verilmiştir. Bu değerlendirme, özellikle tarımsal işletmeler açısından enerji maliyetlerinin azaltılması ve sürdürülebilir üretim hedeflerinin desteklenmesi bakımından önem taşımaktadır (Tablo 1). Tablo 1’de sunulan BWM sonuçlarına göre, enerji üretiminin temel belirleyicileri olan Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süresi (0,090) ile altyapı erişilebilirliğini temsil eden yol ve enerji iletim hattı kriterleri, toplam ağırlığın %50’sinden fazlasını oluşturmaktadır. Bu durum, Tunceli’de güneş enerjisi yatırımlarında hem iklimsel

potansiyelin hem de altyapısal erişilebilirliğin belirleyici unsurlar olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, Eğim (0,065) ve Arazi Kullanımı (0,070) gibi fiziksel kısıtlar orta düzeyde ağırlıklandırılmış olup, yer seçiminde dengeleyici faktörler olarak değerlendirilmiştir. Tablo incelendiğinde, yatırım maliyetleri ve işletme kolaylığı üzerinde doğrudan etkili olan altyapı kriterlerinin, iklimsel faktörlerin hemen ardından geldiği görülmektedir. Bu sonuç, özellikle dağlık ve ulaşımı zor alanlarda maliyet etkin güneş enerjisi santrali kurulumu açısından erişilebilirliğin kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, Yükselti (0,010) ve Yıllık Ortalama Yağış (0,015) gibi kriterlerin yer seçimi üzerindeki sınırlayıcı etkilerinin nispeten düşük olduğu belirlenmiş ve bu nedenle modelde en düşük ağırlıkları aldığı görülmüştür. Bu bulgu, Tunceli koşullarında güneş enerjisi sistemlerinin uygunluk değerlendirmesinde topoğrafik ve iklimsel mikro farklılıklardan ziyade, güneşlenme potansiyeli ile altyapısal erişimin daha baskın belirleyiciler olduğunu göstermektedir.

Tablo 1

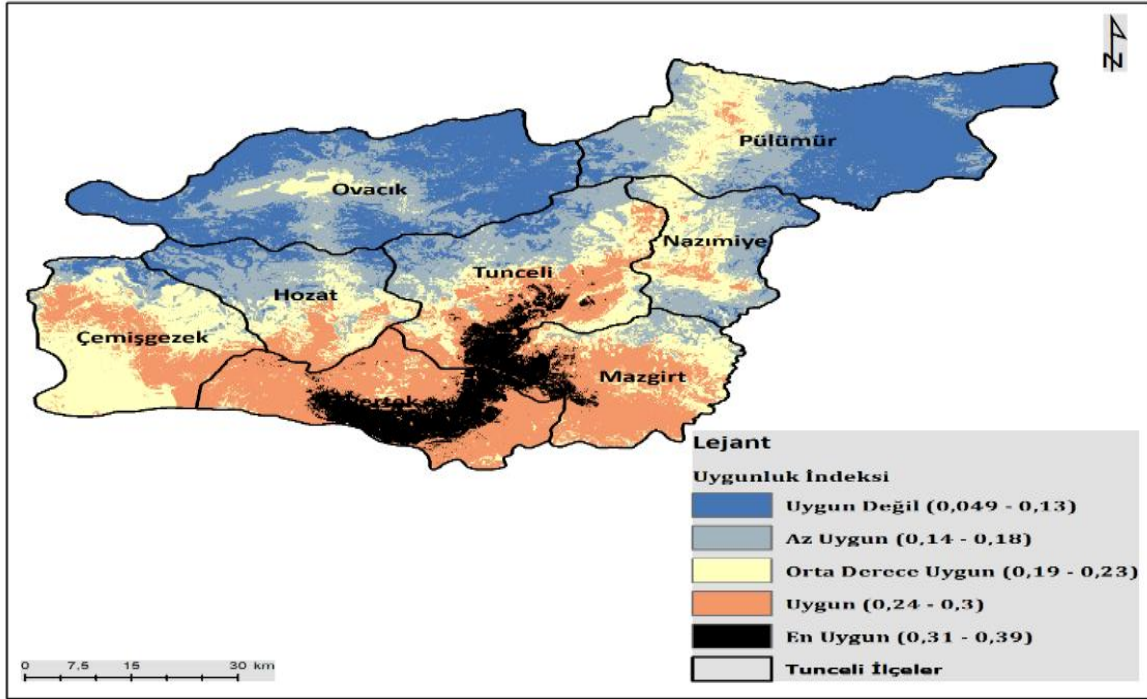
Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Kullanılan Kriterler ve Ağırlık Değerleri

Kriter Adı	Ağırlık Değeri	Kriter Adı	Ağırlık Değeri
Güneş Radyasyonu	0.1900	Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.0450
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	0.1500	Barajlara Uzaklık	0.0400
Yollara Uzaklık	0.1100	İnşaat Maliyeti	0.0350
Güneşlenme Süresi	0.0900	Bakı (Yön)	0.0300
Arazi Kullanımı	0.0700	Bağıl Nem	0.0250
Eğim	0.0650	Fay Hatlarına Uzaklık	0.0200
Arazi Maliyeti	0.0550	Yıllık Ortalama Yağış	0.0150
Kent Merkezlerine Uzaklık	0.0500	Yükseklik	0.0100

Elde edilen BWM sonuçlarına göre enerji üretiminin temeli olan radyasyon ve "Güneşlenme Süresi (0.090)" kriterleri ile altyapı erişilebilirliği (yol ve enerji hatları) toplam ağırlığın %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. "Eğim (0.065)" ve "Arazi Kullanımı (0.070)" gibi fiziksel kısıtlayıcılar ise yer seçiminde dengeleyici unsurlar olarak orta düzeyde ağırlıklandırılmıştır. Tablo incelendiğinde yatırım maliyetini ve işletme kolaylığını etkileyen altyapı kriterlerinin (Yol ve ENH), iklimsel faktörlerin hemen ardından geldiği görülmektedir. Bu durum ulaşımın zor olduğu dağlık alanlarda santral kurulumunun maliyet etkinliği açısından kritik olduğunu göstermektedir. Öte yandan Yükseklik (0.0100) ve Yağış (0.0150) gibi kriterlerin, yer seçimi üzerindeki kısıtlayıcı etkisinin diğer faktörlere kıyasla daha düşük olduğu ve bu nedenle modelde en düşük ağırlığı aldıkları görülmektedir (Tablo). Hesaplanan bu global ağırlık değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında "Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay)" analizine entegre edilerek nihai uygunluk haritası üretilmiştir. Hesaplanan bu global ağırlık değerleri CBS ortamında "Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay)" analizine entegre edilerek nihai uygunluk haritası üretilmiştir. Analiz sonucunda çalışma alanı; "En Uygun", "Uygun", "Orta Derece Uygun", "Az Uygun" ve "Uygun Değil" olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 1).

Şekil 1

Tunceli İli Güneş Enerjisi Yatırımlarına Uygunluk Haritası



Şekil 1’de sunulan uygunluk haritası, Tunceli ilinde güneş enerjisi sistemleri yatırımları açısından alanların uygunluk düzeylerini beş sınıf altında göstermektedir: *uygun değil*, *az uygun*, *orta derece uygun*, *uygun* ve *en uygun*. Uygunluk indeks değerleri, Best–Worst Method (BWM) ile ağırlıklandırılan kriterlerin CBS ortamında bütünleştirilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Harita incelendiğinde, en uygun ve uygun alanların ağırlıklı olarak ilin güney ve güneybatı kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle Mazgirt, Pertek ve Çemişgezek ilçelerinin belirli bölümleri, yüksek uygunluk indeks değerleri (0,31–0,39 aralığı) ile güneş enerjisi yatırımları açısından öne çıkmaktadır. Bu alanların yüksek uygunluk göstermesinde; daha düşük eğim değerleri, güneşlenme potansiyelinin görece yüksek olması, yerleşim ve çevresel kısıtlardan uzaklık gibi kriterlerin etkili olduğu değerlendirilmektedir. Buna karşılık, Ovacık ve Pülümür ilçelerinin büyük bir kısmı “uygun değil” veya “az uygun” sınıflarında yer almaktadır. Bu durum, söz konusu bölgelerin dağlık topoğrafyaya sahip olması, eğim değerlerinin yüksekliği ve çevresel koruma alanlarının yaygınlığı ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca kuzey kesimlerde güneşlenme süresinin görece daha düşük olması da uygunluk indeksini sınırlandıran faktörler arasında yer almaktadır. İl merkezi ve çevresinde ise uygunluk değerlerinin parçalı bir dağılım gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu durum, yerleşim alanları, altyapı kısıtları ve arazi kullanım türlerinin yatırım uygunluğunu sınırlayıcı etkilerinden kaynaklanmaktadır. Ancak yerleşim alanları dışındaki bazı bölgelerde orta derece uygun ve uygun sınıflarının bulunması, il merkezine yakın alanlarda kontrollü ve ölçekli yatırımların mümkün olabileceğine işaret etmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen uygunluk haritası, Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımlarının mekânsal olarak homojen bir dağılım göstermediğini, aksine bölgesel farklılıkların yatırım kararları üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, çalışmanın bölgesel ölçekli olmasının önemini desteklemekte ve yerel koşullara duyarlı karar destek yaklaşımlarının gerekliliğini açık biçimde göstermektedir. BWM tabanlı çok kriterli karar verme yaklaşımı ile elde edilen uygunluk haritası, Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımlarının ilçe bazında belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. İlçeler arasındaki bu farklılaşma; topoğrafik yapı, güneşlenme

potansiyeli, arazi kullanımı, çevresel kısıtlar ve altyapı olanakları gibi kriterlerin mekânsal dağılımından kaynaklanmaktadır.

Mazgirt, Pertek ve Çemişgezek ilçeleri, uygunluk indeks değerleri açısından ilin en avantajlı bölgeleri olarak öne çıkmaktadır. Bu ilçelerde “uygun” ve “en uygun” sınıflarının geniş alanlar kaplaması, söz konusu bölgelerin nispeten daha düşük eğim değerlerine, daha yüksek güneşlenme süresine ve yerleşim alanlarından uzak geniş arazi varlığına sahip olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Özellikle Pertek ve Çemişgezek ilçeleri, ulaşım altyapısına görece yakınlıkları sayesinde yatırım maliyetlerini azaltıcı bir avantaja sahiptir.

Tunceli Merkez ilçesi, uygunluk açısından heterojen bir yapı sergilemektedir. Yerleşim alanları ve çevresel kısıtların yoğunluğu nedeniyle merkezde geniş ölçekli yatırımlar sınırlı olmakla birlikte, yerleşim dışındaki bazı bölgelerde orta derece uygun ve uygun sınıflarının varlığı dikkat çekmektedir. Bu durum, merkez ilçede küçük ve orta ölçekli güneş enerjisi yatırımlarının mümkün olabileceğine işaret etmektedir. Buna karşılık Ovacık ve Pülümür ilçeleri, büyük ölçüde “uygun değil” ve “az uygun” sınıflarında yer almaktadır. Bu ilçelerdeki yüksek eğim değerleri, dağlık topografya ve koruma alanlarının yaygınlığı, güneş enerjisi yatırımlarının mekânsal uygunluğunu sınırlandırmaktadır. Nazımiye ve Hozat ilçeleri ise genel olarak orta derece uygun sınıfta yer almakta olup, belirli alanlarda sınırlı ölçekli yatırımlar için potansiyel barındırmaktadır. Bu sonuçlar, güneş enerjisi yatırımlarının Tunceli genelinde homojen bir dağılım göstermediğini ve ilçe bazlı planlamanın zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımlarının hayata geçirilmesi, yalnızca enerji üretimi açısından değil, aynı zamanda bölgesel ekonomik kalkınma açısından da önemli etkiler yaratma potansiyeline sahiptir. Öncelikle bu yatırımlar, inşaat ve işletme aşamalarında yerel istihdam olanakları yaratarak işsizlik oranlarının azaltılmasına katkı sağlayabilir. Özellikle Mazgirt, Pertek ve Çemişgezek gibi yatırım açısından uygun ilçelerde, bu etkinin daha belirgin olması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, güneş enerjisi yatırımları yerel gelir artışı, arazi kira gelirleri ve belediye vergi gelirleri yoluyla yerel ekonomiyi canlandırıcı bir rol üstlenmektedir. Enerji üretiminin yerel kaynaklara dayalı olması, enerji arz güvenliğini artırırken, uzun vadede enerji maliyetlerinin düşmesine de katkı sağlayabilmektedir. Bu durum, tarım ve hizmet sektörleri başta olmak üzere bölgedeki diğer ekonomik faaliyetler için dolaylı bir rekabet avantajı yaratmaktadır. Özellikle sanayi altyapısının sınırlı olduğu Tunceli gibi illerde, yenilenebilir enerji yatırımları ekonomik çeşitlenme açısından stratejik bir araç niteliğindedir. Güneş enerjisi yatırımlarının artması, ilin dışa bağımlılığını azaltırken, bölgesel kalkınma politikaları ile uyumlu bir büyüme modeli sunmaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımlarının potansiyeli Best–Worst Method (BWM) tabanlı çok kriterli karar verme yaklaşımı ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, güneş enerjisi yatırımlarının Tunceli genelinde mekânsal olarak homojen bir dağılım göstermediğini; özellikle Mazgirt, Pertek ve Çemişgezek ilçelerinin yatırım açısından daha yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşılık Ovacık ve Pülümür ilçelerinde topoğrafik ve çevresel kısıtlar nedeniyle yatırım uygunluğunun sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının ilçe bazlı ve bölgeye özgü planlanmasının zorunlu olduğunu göstermektedir. Çalışmada Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımlarının BWM ve CBS temelli uygunluk analizinden elde edilen bulgular ışığında; bölgesel ve sektörel etkiler dikkate alınarak SWOT analizi yapılmıştır. SWOT analizi sonuçlarına göre,

Güçlü Yönler (Strengths)

- Enerji sektörü açısından, güneş enerjisinin yerel ve yenilenebilir bir kaynak olması, ilin enerji arz güvenliğini artırmakta ve dışa bağımlılığı azaltmaktadır.
- Tarım sektörü açısından, güneş enerjisi yatırımları sayesinde sulama sistemlerinde enerji maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olmakta; bu durum tarımsal üretimde verimlilik artışına katkı sağlamaktadır.
- Hizmet sektörü açısından, yatırım sürecinde oluşan lojistik, bakım-onarım ve teknik hizmet talebi, yerel işletmeler için yeni ekonomik fırsatlar yaratmaktadır.
- İstihdam açısından, özellikle yatırım ve kurulum aşamalarında yerel iş gücüne yönelik talep artmakta, bu durum kırsal alanlarda gelir çeşitliliğini desteklemektedir.
- BWM ve CBS entegrasyonu sayesinde sektörler arası etkileşimlerin mekânsal olarak analiz edilebilmesi, yatırım kararlarının daha rasyonel ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır.

Zayıf Yönler (Weaknesses)

- Sanayi sektörü açısından, Tunceli’de enerjiye dayalı üretim altyapısının sınırlı olması, güneş enerjisinin sanayiye doğrudan entegrasyonunu kısıtlamaktadır.
- Tarım sektörü açısından, tarımsal araziler ile enerji yatırımları arasında arazi kullanımı çatışması riski bulunmaktadır.
- Hizmet sektörü açısından, teknik bilgi ve uzmanlık gerektiren bakım ve işletme hizmetlerinde yerel kapasitenin yetersiz kalması dışa bağımlılığı artırabilmektedir.
- İstihdam açısından, nitelikli iş gücünün sınırlı olması, yaratılan istihdamın sürekliliğini ve katma değerini azaltma riski taşımaktadır.
- Altyapı ve şebeke bağlantı eksiklikleri, sektörler arası sinerji oluşturulmasını zorlaştırmaktadır.

Fırsatlar (Opportunities)

- Enerji sektöründe, güneş enerjisinin yaygınlaşmasıyla birlikte Tunceli’nin yenilenebilir enerji üretim merkezi olarak konumlandırılması mümkündür.
- Tarım sektöründe, tarım–enerji entegrasyonu (örneğin tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı) sayesinde üretim maliyetlerinin azaltılması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesi sağlanabilir.
- Hizmet sektöründe, enerji yatırımlarına bağlı olarak danışmanlık, teknik servis ve bakım hizmetleri gibi yeni alt sektörlerin gelişmesi mümkündür.
- İstihdam açısından, mesleki eğitim ve yerel kapasite geliştirme programları ile genç nüfus için yeni iş alanları oluşturulabilir.
- Bölgesel kalkınma ajansları ve devlet teşvikleri, sektörler arası etkileşimi güçlendirecek projelerin hayata geçirilmesini desteklemektedir.

Tehditler (Threats)

- Enerji sektöründe, mevzuat ve teşvik politikalarındaki belirsizlikler, yatırımcıların uzun vadeli planlama yapmasını zorlaştırabilmektedir.
- Tarım sektörü açısından, yanlış alan seçimi durumunda tarımsal üretim alanlarının zarar görme riski bulunmaktadır.

- Sanayi ve hizmet sektörleri açısından, yatırımların beklenen ekonomik ölçeğe ulaşamaması durumunda çarpan etkisinin sınırlı kalması olasıdır.
- İstihdam açısından, geçici istihdamın kalıcı iş olanaklarına dönüşmemesi, sosyal beklentilerin karşılanamamasına yol açabilir.
- Çevresel hassasiyetler ve toplumsal kabul süreçlerinin yeterince yönetilememesi, sektörler arası çatışmalara neden olabilmektedir.

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, güneş enerjisi yatırımlarının Tunceli gibi sanayi altyapısı sınırlı iller için alternatif bir kalkınma aracı niteliği taşıdığı görülmektedir. Bu yatırımlar, inşaat ve işletme aşamalarında yerel istihdam yaratmakta, arazi kira gelirleri ve yerel vergi gelirleri aracılığıyla bölgesel ekonomiye doğrudan katkı sağlamaktadır. Ayrıca enerji üretiminin yerel kaynaklara dayalı olması, uzun vadede enerji maliyetlerini düşürerek tarım ve hizmet sektörleri üzerinde dolaylı bir çarpan etkisi oluşturmaktadır. Bu yönüyle güneş enerjisi yatırımları, Tunceli ekonomisinin çeşitlendirilmesi ve kırılgan yapısının güçlendirilmesi açısından stratejik bir araç olarak değerlendirilebilir.

SONUÇ

Çalışmanın sürdürülebilirlik boyutu, 2050 yılı karbon emisyon hedefleri çerçevesinde ayrıca önem kazanmaktadır. Türkiye'nin ve uluslararası toplumun 2050 net sıfır karbon hedefleri doğrultusunda, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminden kademeli olarak uzaklaşılması gerekmektedir. Bu bağlamda güneş enerjisi yatırımları, Tunceli ilinde karbon salımını azaltıcı etkisiyle yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliği destekleyen bir politika aracı olarak öne çıkmaktadır. Yerel ölçekte üretilecek temiz enerji, hem karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamakta hem de gelecekte olası karbon vergileri ve emisyon maliyetlerine karşı bölgesel ekonomiyi daha dirençli hâle getirmektedir.

Bununla birlikte Tunceli ili, zengin biyolojik çeşitliliği, doğal peyzajı ve koruma altındaki alanları ile çevresel açıdan hassas bir bölgedir. Bu nedenle güneş enerjisi yatırımlarının plansız ve kontrolsüz biçimde hayata geçirilmesi, bölgenin doğal yapısının zarar görmesi riskini beraberinde getirebilir. Bu çalışma kapsamında elde edilen uygunluk haritaları, çevresel kısıtların yatırım kararlarına entegre edilmesinin önemini açık biçimde ortaya koymuştur. Dolayısıyla güneş enerjisi yatırımları, Tunceli'de doğayı koruyan, arazi kullanım çatışmalarını minimize eden ve küçük–orta ölçekli dağıtık üretim modellerini önceleyen bir anlayışla planlanmalıdır.

Bu çerçevede geliştirilen politika önerileri aşağıda sunulmaktadır:

1. Bölgesel ve ilçe bazlı enerji planlaması benimsenmelidir. Güneş enerjisi yatırımları, Tunceli genelinde tek tip bir yaklaşımla değil; ilçe bazlı uygunluk analizlerine dayalı olarak planlanmalıdır. Özellikle yüksek uygunluk gösteren ilçelerde yatırım önceliği verilmelidir.
2. Ekonomik sürdürülebilirlik odaklı teşvik mekanizmaları geliştirilmelidir. Yerel yatırımcıları ve kooperatifleri destekleyen finansman modelleri oluşturularak, güneş enerjisi yatırımlarının bölge ekonomisi içinde kalıcı katma değer yaratması sağlanmalıdır.
3. 2050 net sıfır karbon hedefleri yerel enerji politikalarına entegre edilmelidir. Tunceli ili için uzun vadeli bir düşük karbonlu enerji yol haritası hazırlanmalı ve güneş enerjisi yatırımları bu hedeflerin temel bileşeni olarak ele alınmalıdır.
4. Doğal alanların korunması öncelikli ilke olmalıdır. Koruma alanları, tarım arazileri ve ekolojik hassas bölgeler kesin olarak yatırım dışı bırakılmalı; çevresel etki değerlendirme süreçleri yatırım kararlarının merkezinde yer almalıdır.

5. Dağıtık ve küçük ölçekli enerji üretim modelleri teşvik edilmelidir. Büyük ölçekli santral yatırımları yerine, tarımsal sulama, kamu binaları ve yerel işletmeler için çatı ve arazi tipi küçük ölçekli sistemler önceliklendirilmelidir.

Sonuç olarak bu çalışma, Tunceli ilinde güneş enerjisi yatırımlarının ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve 2050 karbon emisyon hedefleri doğrultusunda bütüncül bir politika yaklaşımı ile ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bilimsel temellere dayalı karar destek modelleri kullanılarak geliştirilecek bu yaklaşım, hem bölgesel kalkınmayı destekleyecek hem de Tunceli'nin doğal yapısının korunmasına katkı sağlayacaktır.

Etik Beyan

Bu çalışma danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Esra PEKER tarafından yürütülen Büşra Öner'in Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde tamamlanan yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Etik Kurul Onayı

Çalışmada etik onay gerekmemektedir.

Çıkar Çatışması

Çıkar çatışması söz konusu değildir.

REFERANSLAR

- Demirbaş, A. (2009). Biofuels: Securing the planet's future energy needs. London, England: Springer.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2021). Faaliyet raporu 2021. Ankara, Türkiye: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2011). Exergy: Energy, environment and sustainable development (2nd ed.). Oxford, England: Elsevier.
- Ember. (2025). Global Electricity Review 2025. London, England: Ember.
- Enerdata. (2025). Global Energy Trends 2025. Grenoble, France: Enerdata.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Enerji görünümü. Ankara, Türkiye: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). Ankara, Türkiye: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Türkiye güneş enerjisi istatistikleri. Ankara, Türkiye: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- European Environment Agency. (2025). Renewable energy in Europe. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency.
- Eurostat. (2025). Renewable energy statistics. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- International Energy Agency. (2021). World Energy Outlook 2021. Paris, France: International Energy Agency.
- International Energy Agency. (2022). World Energy Outlook 2022. Paris, France: International Energy Agency.
- International Energy Agency. (2024). Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026. Paris, France: International Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency. (2025). Renewable Capacity Statistics 2025. Abu Dhabi, United Arab Emirates: International Renewable Energy Agency.
- Kalkınma Bakanlığı. (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019–2023). Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı.
- Kaya, H., & Bayraktar, Y. (2021). Kamu teşvik mekanizmalarının yenilenebilir enerji kaynakları üzerine etkisi: AB ülkeleri ve Türkiye’de güneş enerjisine yönelik dinamik panel veri analizi. *Sosyoekonomi*, 29(48), 181–204. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2021.02.10>
- Kaya, K., Şenel, M. C., & Koç, E. (2018). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, 13(3), 219–234.
- Kaygusuz, K. (2010). Jeotermal enerji ve uygulamaları. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Kaygusuz, K. (2012). Enerji ve sürdürülebilir kalkınma. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Keleş, R., Hamamcı, C., & Çoban, A. (2015). Çevre politikası (8. baskı). Ankara: İmge Kitabevi.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2021). Jeotermal enerji raporu. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Mokarram, M., Mokarram, M. J., Khosravi, M. R., Saber, A., & Rahideh, A. (2020). Determination of

the optimal location for constructing solar photovoltaic farms based on multi-criteria decision system and Dempster–Shafer theory. *Scientific Reports*, 10, 8200.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65165-z>

U.S. Energy Information Administration. (2024). Electric Power Monthly. Washington, DC: U.S. Department of Energy.

Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Increasing global energy demand, climate change, and the 2050 net-zero emission targets have made renewable energy planning a critical component of sustainable development strategies. In this context, solar energy investments have gained strategic importance due to their environmental benefits and economic potential. However, investment decisions require not only technical feasibility but also a comprehensive evaluation of environmental, economic, and spatial factors. This study focuses on determining suitable locations for solar energy investments in Tunceli Province and assessing their potential contributions to regional development through an integrated decision-support framework.

Method: The study employs an integrated Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) approach combining the Best–Worst Method (BWM) and Geographic Information Systems (GIS). BWM is used to determine the relative importance of technical, environmental, and economic criteria with a high level of consistency and reduced pairwise comparison burden. The derived criteria weights are then incorporated into a GIS-based weighted overlay analysis to generate spatial suitability maps. Data were obtained from expert evaluations and relevant institutional sources. The methodology enables the transformation of complex, multi-dimensional investment criteria into a structured spatial decision-making model.

Findings: The results indicate that solar energy investment suitability in Tunceli Province is not spatially homogeneous. High suitability zones are mainly concentrated in the districts of Mazgirt, Pertek, and Çemişgezek, where favorable solar radiation, moderate slope conditions, and relatively accessible infrastructure prevail. In contrast, Ovacık and Pülümür districts exhibit low suitability due to steep topography and environmental constraints. The findings show that solar radiation (0.190), energy transmission line proximity (0.150), and road accessibility (0.110) are the most influential factors in determining suitability levels. The results also demonstrate that infrastructure-related criteria play a role almost as significant as climatic factors in investment decisions.

Discussion: The findings emphasize the importance of integrating spatial, environmental, and economic dimensions in renewable energy planning. The heterogeneity of suitability across districts highlights the necessity of location-specific investment strategies rather than uniform regional policies. The study further reveals that infrastructure accessibility and geographic conditions significantly influence investment feasibility. From a regional development perspective, solar energy investments have the potential to create employment opportunities, reduce energy costs, and diversify the local economy. However, environmental sensitivities and topographic constraints must be carefully considered to avoid inefficient land use and ecological degradation.

Conclusion: This study demonstrates that Tunceli Province holds significant potential for solar energy investments, but this potential is highly dependent on spatial and environmental conditions. The integration of BWM and GIS provides a robust decision-support framework for identifying optimal investment areas. The results support the view that renewable energy planning should be conducted at a local scale, considering both physical geography and socio-economic structure. In line with 2050 carbon neutrality targets, solar energy investments in Tunceli can contribute to sustainable regional development while reducing environmental impacts.