

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ YER SEÇİMİ İÇİN İKİ AŞAMALI BİR MODEL
ÖNERİSİ: TUNCELİ ÖRNEĞİ**

Yunus Emre AYKAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammet GÜL

TUNCELİ- 2020

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ YER SEÇİMİ İÇİN İKİ AŞAMALI BİR MODEL
ÖNERİSİ: TUNCELİ ÖRNEĞİ**

Yunus Emre AYKAÇ
(18110901105)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammet GÜL

TUNCELİ- 2020

....../....../2020

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza
Yunus Emre AYKAÇ

Danışman

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının başından sonuna kadar benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, iyi niyetini ve hoşgörüsünü her zaman üzerimde hissettiğim saygıdeğer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Muhammet GÜL' e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimimde hocam olan aynı zamanda tez jürisinde yer alan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Erkan ÇELİK' e ve teknik konularda yardımını esirgemeyen tez konusunda yaşadığım aksaklık ve problemlerin çözümünde yanımda yer alan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Melih YÜCESAN' a teşekkür ederim

Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan aileme ve Prof. Dr. Erdal YILDIRIM' a ayrıca teşekkür ederim.

Yunus Emre AYKAÇ
TUNCELİ-2020



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI AÇISINDAN TUNCELİ'NİN POTANSİYELİ	7
2.1. Tunceli'nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli	7
2.2. Tunceli'nin Biyokütle Potansiyeli	9
2.3. Tunceli'nin Hidroelektrik Santral Potansiyeli	10
3. GÜNEŞ SANTRALİ YER SEÇİMİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	11
3.1. Güneş Santrali Yer Seçimi Kriterleri.....	12
3.1.1. Toprak yapısı ve zemin.....	12
3.1.2. Fay hattı	13
3.1.3. Rekreasyon	15
3.1.4. Heyelan.....	16
3.1.5. Eğim.....	17
3.1.6. Güneş radyasyonu.....	17
3.1.7. Yükseklik.....	24
3.1.8. Yön	25
3.1.9. Trafo merkezlerine uzaklık.....	25
3.2. Literatür Araştırması.....	26
4. MATERYAL VE METOT	31
4.1. Tunceli İli Genel Özellikleri ve Coğrafi Altyapısı	31
4.2. Materyal.....	32
4.3. Metot.....	33
4.3.1. En iyi-en kötü yöntemi	33
4.3.2. TOPSIS yöntemi.....	34
4.3.3. VIKOR yöntemi	36
4.3.4. SAW (Basit toplamli ağırlıklandırma) yöntemi	37
4.3.5. Gri ilişkisel analiz (GRA) yöntemi.....	37
4.3.6. ELECTRE yöntemi.....	39
4.3.7. Metotun bütünsel gösterimi	41
5. SAYISAL SONUÇLAR	43
5.1. En İyi-En Kötü Yöntemi ile Güneş Santrali Yer Seçimi Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi	43
5.2. TOPSIS Uygulaması.....	45
5.3. VIKOR Uygulaması	48
5.4. SAW uygulaması.....	49
5.5. GRA Uygulaması	50
5.6. ELECTRE Uygulaması	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
7. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tunceli 50 metrelik rüzgâr hızı dağılımı.....	9
Şekil 2.2.	Tunceli ili rüzgâr kapasite faktörü.....	9
Şekil 3.1.	Tunceli fiziki haritası.....	12
Şekil 3.2.	Tunceli bölgesi diri fay haritası.....	14
Şekil 3.3.	Tunceli bölgesi diri fay haritası.....	14
Şekil 3.4.	Tunceli ili korunan alanlar haritası.....	15
Şekil 3.5.	Tunceli ve çevre iller heyelan haritası.....	16
Şekil 3.6.	Tunceli ili eğim haritası.....	17
Şekil 3.7.	Tunceli güneş radyasyonu haritası.....	18
Şekil 3.8.	Aylık global radyasyon değerlerinin aylara göre değişimi.....	19
Şekil 3.9.	Aylık global radyasyon değeri ve aylık güneşlenme süreleri.....	19
Şekil 3.10.	Pertek ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	20
Şekil 3.11.	Merkez ilçe güneş radyasyon değerleri	20
Şekil 3.12.	Çemişgezek ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	21
Şekil 3.13.	Hozat ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	21
Şekil 3.14.	Mazgirt ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	22
Şekil 3.15.	Nazımiye ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	22
Şekil 3.16.	Ovacık ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	23
Şekil 3.17.	Pülümür ilçesi güneş radyasyon değerleri.....	23
Şekil 3.18.	Tunceli ili yükseklik haritası.....	24
Şekil 3.19.	Tunceli ili bakı haritası.....	25
Şekil 3.20.	Tunceli ili elektrik hattı ve trafo merkezi haritası.....	26
Şekil 4.1.	Tunceli ili yer bulduru haritası.....	31
Şekil 5.1.	En iyi-diğerleri matrisi değerlendirmesi.....	43
Şekil 5.2.	Diğerleri-en kötü matrisi değerlendirmesi.....	44
Şekil 5.3.	İdeal/Negatif ideal çözüm değerleri.....	47
Şekil 5.4.	TOPSİS yakınlık katsayı değerleri.....	48
Şekil 5.5.	ELECTRE sonuçları.....	57

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1.	Önceki çalışmalar.....	30
Tablo 4.1.	Değerlendirmede kullanılan 1-5 skalası.....	32
Tablo 4.2.	Tunceli ilçelerinin kriterlere göre değerlendirilmesi.....	32
Tablo 4.3.	BWM tutarlılık indeksi.....	34
Tablo 5.1.	Kriter ağırlıkları.....	44
Tablo 5.2.	Karar matrisi.....	45
Tablo 5.3.	Normalize edilmiş karar matrisi.....	46
Tablo 5.4.	Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi.....	46
Tablo 5.5.	İdeal/Negatif ideal çözümden uzaklıklar.....	47
Tablo 5.6.	Normalize edilmiş karar matrisi.....	48
Tablo 5.7.	Lokasyonların S ve R değerleri.....	49
Tablo 5.8.	V değerlerine göre Q değerinin değişimi.....	49
Tablo 5.9.	Normalize edilmiş karar matrisi (SAW uygulaması)	50
Tablo 5.10.	Alternatif lokasyonlar için ağırlıklı toplam değerleri.....	50
Tablo 5.11.	Normalize edilmiş karar matrisi (GRA uygulaması)	51
Tablo 5.12.	$\Delta_{0i}(k)$ değerleri.....	51
Tablo 5.13.	Katsayı matrisi.....	52
Tablo 5.14.	GRA ilişkisel dereceler.....	52
Tablo 5.15.	Normalize edilmiş karar matrisi (ELECTRE uygulaması)	53
Tablo 5.16.	Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi.....	53
Tablo 5.17.	Uyum ve uyumsuzluk setleri.....	54
Tablo 5.18.	Uyum (C) matrisi.....	56
Tablo 5.19.	Uyumsuzluk (D) matrisi.....	56

ÖZET

Dünyada ve ülkemizde gelişmekte olan endüstri ile birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların çevreye verdiği büyük zararlar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden bir tanesi de ülkemizde potansiyeli oldukça yüksek olan güneş enerjisidir. Panel maliyetlerinin yüksek olması ve yapılacak güneş enerjisi santral yatırımının geri dönüş süresinin uzun olması sebebiyle güneş enerjisi santralının kurulacağı yer yatırımın fizibilitesi için hayati öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Tunceli için kurulabilecek bir güneş enerji santrali için iki aşamalı birçok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) modeli geliştirmektir. Bu bağlamda, ilk olarak literatür taranarak ve uzman görüşleri alınarak, yer seçimini etkileyen faktörler toprak yapısı ve zemin, fay hattı, rekreasyon, heyelan, eğim, güneş radyasyonu, yükseklik, yön ve trafo merkezlerine uzaklık olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler, En İyi En Kötü Yöntemi (BWM) ile ağırlıklandırılmıştır. Birçok ÇÖKV yönteminde bütün kriterleri içeren bir karşılaştırma matrisinine ihtiyaç duyulmasına rağmen, BWM’de daha az sayıda karşılaştırma matrisine ihtiyaç duyulmaktadır. BWM’de karşılaştırmalar en iyi ve en kötü temel alınarak gerçekleştirildiğinden karar vericilerin daha güvenilir bir ikili karşılaştırma yapmasına imkan sağlamaktadır. İkincil olarak, ağırlıklandırılmış kriterlere göre 8 alternatif lokasyon (Tunceli Merkez, Pülümür, Ovacık, Mazgirt, Hozat, Çemişgezek, Nazımiye, Pertek) arasından en uygun yer seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu ikincil aşamada 5 farklı ÇÖKV metodu kullanılmıştır. Bunlar TOPSIS, VIKOR, SAW, GRA ve ELECTRE’dir. BWM sonuçlarına göre; güneş radyasyonu faktörü 0.334 ağırlık değeri ile en önemli faktör olurken, fay hattı faktörü 0.038 ağırlık değeri ile en az önemli faktör olarak belirlenmiştir. Yer seçim sonuçlarına göre; Pertek ilçesi 5 metodun tamamında en uygun yer olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın, güneş enerjisi santrali lokasyon seçiminde komşu bölgeler için faydalı bir kılavuz ve diğer alanlarda da lokasyon seçimi problemi için bir rehber sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerji santrali, yer seçimi, ÇÖKV, BWM, Tunceli

ABSTRACT

A two-stage decision-making model for the location selection of a solar power plant: Case of Tunceli, Turkey

With the developing industry over the world and in our country, the need for energy is increasing day by day. The importance of renewable energy sources is increasing day by day due to the great damage caused by fossil fuels to the environment. One of the most important of these is solar energy, which has a very high potential in our country. Due to the high cost of panels and the long return period of the solar power plant investment to be made, the location where the solar power plant will be established is of vital importance for the feasibility of the investment. This study aims to develop a two-stage multi-attribute decision-making (MADM) model for a solar power plant for Tunceli. In this context, initially, by searching the literature and taking expert opinions, the factors affecting the location selection were determined as soil structure and ground, fault line, recreation, landslide, slope, solar radiation, elevation, orientation and distance to power substations. These criteria were weighted by the Best-Worst Method (BWM). Although many MADM methods require a comparison matrix that includes all criteria, fewer comparison matrices are needed in BWM. Since the comparisons in BWM are based on the best and the worst criterion, it enables decision makers to make a more reliable pair wise comparison. Secondly, the most suitable location was selected among eight alternative locations (Tunceli Center, Pülümür, Ovacık, Mazgirt, Hozat, Çemişgezek, Nazımiye, Pertek) according to the weighted criteria. In the second stage, five different MADM methods were used. These are TOPSIS, VIKOR, SAW, GRA and ELECTRE. According to the BWM results; while solar radiation factor was the most important factor with a weight value of 0.334, the fault line factor was determined as the least important factor with a weight value of 0.038. According to the location selection results; Pertek district has been determined as the most suitable location with respect to all five methods. This study is expected to provide a useful guide for neighboring regions in solar power plant location selection and location selection problems in other areas.

Keywords: Solar power plant, location selection, MADM, BMW, Tunceli

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynakları yaşamın sürdürülebilir olması için oldukça önemlidir. Dünya üzerinde enerji üretimi genellikle fosil yakıtla dayalı iken, gün geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte fosil yakıtlar yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadırlar. Fosil yakıt kullanımı, çevreye yaydığı sera gazı ve diğer zehirli atıklarla ekolojik dengenin bozulmasına ve geri dönüşü olmayan çevresel zararlara sebep olmaktadır. Artan nüfus ve endüstrileşme, enerjiye olan ihtiyacı arttırdıkça temiz enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Hem kirliliğin önüne geçmek hem de artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, genişletilmeye ve geliştirilmeye devam etmektedir.

Türkiye, her ne kadar Kyoto Protokolü'nün emisyon ticaretine konu olan esneklik mekanizmalarından yararlanamıyorsa da bu mekanizmalardan bağımsız olarak işleyen, çevresel ve sosyal sorumluluk ilkesi çerçevesinde kurulmuş Gönüllü Karbon Piyasası'na yönelik projeler 2005 yılından beri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır (URL-1, 2020). Karbon piyasası, hem küresel ısınmanın önüne geçilebilmesini hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı planlamaktadır.

Gönüllü Karbon Piyasaları; hükümetlerin iklim değişikliği ile mücadele hedefleri ve politikalarından bağımsız olarak geliştirilmiş, iş dünyasından yerel yönetimlere, sivil toplum kuruluşlarından bireylere kadar ilgili her kesimin karbon denkleştirme maksadıyla katılım sağlayabileceği niteliğe sahiptir. İklim değişikliği ve etkileri konusunda artan kamuoyu bilinci ve karbon denkleştirmenin güvenilir bir önlem stratejisi olduğu gerçeğinin kabul görmesi bu piyasaların son yıllarda hızla gelişmesini sağlamıştır. Bu piyasada ticareti yapılan emisyon sertifikalarına Gönüllü Emisyon Azaltım (Voluntary Emission Reduction-VER) sertifikası adı verilmektedir. Faaliyetleri çerçevesinde oluşturdukları sera gazı emisyonlarını dengelemek isteyen firmalar emisyon miktarlarını hesaplayarak bu emisyonlarını azaltmak ve dengelemek için emisyon azaltma sağlayan projelerin üretmiş oldukları karbon sertifikalarını sosyal sorumluluk prensibi çerçevesinde satın almaktadırlar (Kurtulmuş, 2018).

Bu çerçevede değerlendirildiğinde; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi gibi çevreye çok az zarar veren veya hiç zarar vermeyen doğal yenilenebilir kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynakların en büyük dezavantajı, enerji üretim maliyetlerinin halen fosil yakıt kullanan

enerji tesislerin üretim maliyetinden oldukça fazla olmasıdır. Bu yüzden, yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlarla mücadelesi oldukça zorlu geçmektedir. Ülkemizde kullanılan, birincil enerji kaynağı halen %55,66 ile fosil yakıtlardır. 2019 verilerinde güneş enerjisinin payı %0.06 ile halen oldukça azdır (URL-2, 2019).

Dünya üzerinde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirildiğinde rüzgâr enerjisi, kullanımı giderek artan ve potansiyeli yeni keşfedilmiş tükenmez bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr potansiyeli bakımından ülkemiz potansiyeli yüksek ülkelerden sayılabilir. Türkiye’de rüzgâr santrallerinin yıllık elektrik üretimindeki payı %7,4’dür (TÜREB, 2019). Rüzgâr enerjisi üretimi gün geçtikçe de artmaya devam etmektedir. Kurulum açısından en önemli kriterler bölgenin rüzgâr hızı ve yoğunluğu, bölgenin eğimi ve elektrik şebekesine olan uzaklık olarak sıralanabilir.

Diğer bir alternatif yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz, organik atıklardan elde edilen gazın, membranlarda depolanıp gaz türbinleri aracılığıyla işlenip yakılması ve elde edilen buharın türbinleri çevirmesi yolu ile elde edilir. Organik atıkların bolca bulunması sebebiyle kullanım alanı geniştir. Dünyadaki tesislerin %80’i Çin’de %10’u ise Hindistan, Nepal ve Tayland’da bulunmaktadır. Avrupa’nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaza ve tesis sayısına bakılacak olursa bu noktada Almanya 2.200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Bu ülkeyi 70 tesis ile İtalya takip etmektedir. Almanya’da biyogaz tesislerinin yapımı 1993 yılından itibaren artmış ve yine aynı yıldan günümüze kadar 139 tesisten 2.200 tesise kadar yükselmiştir (Buğutekin, 2007).

Öte yandan jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ve yeryüzündeki havzalardan beslenen sularla potansiyelini oluşturan birikmiş ısının meydana getirdiği sıcaklıkları bölgesel olarak değişen ve bünyesinde daha çok erimiş mineral tuzlar ve gazlar içeren, su ve buhardan oluşan hidrotermal bir kütledir. Yeraltındaki bazı granit gibi sert kayaların oluşturduğu sistemler de bünyelerinde su içermemesine rağmen bir jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilir (Arslan, 2006). Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2018 yılı sonu verilerine göre 14.9 GWe düzeyindedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir. Elektrik dışı kullanım ise 70.000 MWt’ı aşmış olup dünyada doğrudan kullanım uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise ABD, Çin, İsveç, Belarus ve Norveç’tir (URL-3, 2020).

Hidroelektrik enerjisi ise akan suyun yüksek bir eğimle hızının artırılıp türbinlere çarptırılması prensibine dayanır. Bu sayede suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülmüş olur. Elektrik enerjisi üretiminde, fosil ve nükleer yakıtlı termik, jeotermal

ve doğalgazlı santraller yanında hidroelektrik santrallerin (HES) yenilenebilir ve puant çalışma gibi iki önemli özelliği vardır. HES ilk yatırım maliyeti yönünden de doğalgaz santrali dışında diğer termik ve nükleer santrallerle rekabet edecek konumdadır. İşletilmesi ekonomiktir ve çevrecidir (Mutlu, 2013).

Yenilenebilir kaynaklardan bahsederken, gelecekte daha fazla kullanım alanına sahip olması beklenen hidrojen enerjisini atlayamayız. Fosil yakıtlar sadece alevli yanma prensibiyle çalışmaktadır. Hidrojen yakıtı ise; alevli yanmaya, katalitik yanmaya, doğrudan buhar üretimine ve yakıt hücreleri ile elektrik dönüşümüne elverişli bir yakıttır. Ayrıca, hibritleşebilir olmasından dolayı kolayca depolanabilmektedir. Kolay depolanabilir olması ve akışkan olması nedeniyle, gelecek dönemlerde hızlı bir şekilde fosil yakıtların yerini alabileceğini söyleyebiliriz.

Dünya da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün katlanarak artmaktadır. Dünyada, eski konjonktürde gelişmiş ülkeler üretebildiği ve kullandığı enerji miktarına göre sınıflandırılırken, son yıllarda bu sınıflandırmanın içerisine özellikle gelişmiş ülkelerin kriterlendirilmesinde, üretilen enerjinin yüzde kaçının yenilenebilir enerji olduğu bileşeni de eklenmiştir. Kullanılan toplam enerjide yenilenebilir enerji yüzdesi dünya ülkeleri arasında gelişmişliğin göstergelerinden biri haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları dünya enerji talebini karşılama potansiyeline sahiptir. Biyokütle, hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerji hizmetleri sağlayabilen yerli kaynaklardır. Petrol ve gaz fiyatlarında dalgalanma devam ederken, güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin maliyetleri son 30 yılda önemli ölçüde düşmektedir, bu nedenle yenilenebilir enerji tabanlı sistemlere geçiş giderek büyümektedir (Herzog ve ark, 2001).

Güneş enerjisi, bu yenilenebilir enerji kaynaklarından en öne çıkanıdır. Özellikle 2010 ve 2020 yılları arasında teknolojik gelişmelerle birlikte kurulum maliyetleri ilk maliyetlerin yarısına kadar düşmüştür. Bu düşüş güneş enerjisi yatırımlarını hızlandırmıştır. Fakat kurulum maliyetleri açısından halen fosil yakıt tesislerinden yüksektir. Bu maliyet yüksekliğinin getirdiği dezavantajı ortadan kaldırmak veya minimize etmek için güneş santralinin kurulacağı lokasyon çok iyi seçilmelidir. Lokasyon seçimi verimlilik açısından çok önemlidir.

Bu tez çalışması ile güneş enerji santrali yer seçimi için çok ölçekli bir karar metodolojisi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilecek Çok Ölçekli Karar Verme (ÇÖKV) metodolojisi ile Tunceli ili Merkez ilçesi dahil olmak üzere sekiz ilçe alternatif

lokasyonlar olarak ele alınacak ve bunlardan en uygunu seçilmeye çalışılacaktır. Bu çalışmanın, güneş enerjisi santrali lokasyon seçiminde komşu bölgeler için faydalı bir kılavuz ve diğer alanlarda da yer seçimi problemi için bir rehber niteliği taşıması amaçlanmaktadır.

Güneş santrali yatırımına karar verildiğinde, izlenecek ilk adım, bu doğal kaynaktan yani güneşten faydalanılacak en uygun yeri bulmak olacaktır. Her güneşin olduğu araziye uygun arazi gözüyle bakmak, yapılacak santralin geleceğini olumsuz etkileyecek yanlış kararlar doğuracaktır. İyi bir yatırım kararı için, geleceği öngörülebilir ve yatırımın hızlıca geri dönebileceği, uygun bir yer bulmak, hem ilk kurulum safhasında harcanan maliyeti düşürecek hem de kurulum sonrası yaşayabileceğimiz sorunları minimuma indirecektir.

Kurulum yapılacak araziden maksimum verim elde etmek için, ÇÖKV metotlarından ve Coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) faydalanılmaktadır. Araziden maksimum verimi elde ederken kurulacak olan santralin yaşanılabilirlikten etkilenmemesi için Tunceli ili için hazırlanmış olan fay hattı ve heyelan haritalarından faydalanılmıştır. Kurulacak güneş santrali, yüksek maliyetli bir yatırım olduğu için bu kıstasların göz ardı edilmesi, günün birinde yatırım için geri dönüşü mümkün olmayan zararlara yol açabilir. Kurulacak santralin doğal afetlerden etkilenmemesinin yanında, yüksek performans göstermesi de oldukça önemlidir. Geçmiş yılların meteorolojik verilerine bakıldığında, Tunceli ili ışıınım miktarı bakımından Türkiye'nin iyi ışıınım alan illerinden bir tanesidir. Bu ışıınım miktarından maksimum verim elde edilebilmesi için, santralin bulunduğu lokasyon güney meyilli olmalıdır. Arazinin sel ve taşkınlardan etkilenmemesi ve güneşten maksimum faydalanabilmesi için arazi bir miktar eğimli olmalıdır. Araziyi gölgelendirebilecek ağaç, bina gibi dış etmenlerden yeteri kadar uzak olmalıdır. Doğu Anadolu bölgesi için en önemli problemlerden biri de kar yağışıdır. Bölgenin yüksek rakımlı bölgelerinde karın yerde kalma süresi oldukça uzundur. Bu yüzden yüksek rakımlı yerlerde kurulum yapılması verim açısından olumsuz sonuçlara sebebiyet verebileceği unutulmamalıdır. Yapılacak yatırımın kredilendirilebilmesi ve sigortalandırılabilmesi için iyi bir fizibilite çalışması yapılması şarttır. İyi bir arazi seçimi yapılmadan yapılacak yatırımların geri dönüş sürelerinin oldukça uzun olabileceği ve doğal afetlere maruz kalabileceği unutulmamalıdır. Bu yüzden, santral yatırımı için en önemli sorun yer seçimi problemidir.

Bu tez çalışmasında Tunceli için bu problemin çözümünde 8 ilçe değerlendirilecek ve en uygun lokasyon belirlenecektir. Yer seçimi modeline girdi sağlamak için ilk olarak literatür taranmış ve uzman görüşleri alınmıştır, yer seçimini etkileyen faktörler toprak

yapısı ve zemin, fay hattı, rekreasyon, heyelan, eğim, güneş radyasyonu, yükseklik, yön ve trafo merkezlerine uzaklık olarak belirlenmiştir. Birçok kriterin saha seçimini etkileyebileceği göz önüne alındığında, ÇÖKV yöntemlerinin uygulanması, karar sürecinde kilit faktörleri göz önünde bulundurarak, fayda ölçekli güneş enerji santrali için yer seçimini kolaylaştırabilmektedir. Çeşitli ÇÖKV yöntemleri veri gereklilikleri ve Karar Vericilerin (KV) hedefleri ve özelliklerine göre farklılık gösterir (Al-Garni ve ark., 2018). CBS, mekansal bir karar destek sistemi geliştirmek için coğrafi bilgilerin kullanılması potansiyelini göstermektedir. CBS'nin diğer tekniklerle entegrasyonu, politika yapıcılarının seçimlerini iyileştirmeleri ve çeşitli öznel ve çelişkili kriterleri göz önünde bulundurarak seçeneklerini optimize etmeleri için daha iyi bir fikir edinilebilir. CBS tabanlı ÇÖKV, en uygun yerleri elde etmek literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır (Merrouni vd. 2018; Al-Garni ve Awasthi, 2017). Bu bağlamda bu çalışmada CBS sistemlerinin sunduğu haritalar kullanılarak ÇÖKV modellerine girdi sağlanmıştır. Güneş santrali yer seçimi kriterleri En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method-BWM) ile ağırlıklandırılmıştır. BWM, 2015 yılında Dr. Jafar Rezaei (Delft Teknoloji Üniversitesi) tarafından geliştirilen ÇÖKV yöntemidir. BWM, sağlık, bilişim, mühendislik ve tarım gibi çeşitli karar verme alanlarında kullanılabilir. Prensip olarak, amacı bir dizi alternatif arasından bir alternatif seçmek olan her problemde, bu yöntem kullanılabilir. Bir karar verici veya bir grup karar verici tarafından kullanılabilir. BWM'nin belirgin özellikleri, çoğu mevcut ÇÖKV yöntemine kıyasla: (i) daha az ikili karşılaştırma verisi gerektirir (Özellikle Analitik Hiyerarşi Sürecine'ne göre); (ii) daha tutarlı sonuçlara yol açar, bu da daha güvenilir sonuçlar ürettiği anlamına gelir. Doğrusal olmayan bir model içeren orijinal BWM ve ayrıca doğrusal bir model içeren basitleştirilmiş BWM, iki ayrı makale olarak yayınlanmıştır (Rezaei, 2015; 2016). BWM'de karşılaştırmalar en iyi ve en kötü temel alınarak gerçekleştirildiğinden karar vericilerin daha güvenilir bir ikili karşılaştırma yapmasına imkân sağlamaktadır. Ayrıca referans karşılaştırmaları için 1-9 arası sayılar kullanıldığı için karar vericilerin karşılaştırma matrislerini oluşturması kolay olmaktadır.

Alternatif lokasyonların (Tunceli Merkez, Pülümür, Ovacık, Mazgirt, Hozat, Çemişgezek, Nazımiye, Pertek) ağırlıklandırılan kriterlere göre değerlendirmesi 5 farklı ÇÖKV yöntemi ile yapılmıştır. Bunlar TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981), VIKOR (Opricovic, 1998), SAW (Churchman ve Ackoff, 1954), GRA (Tzeng ve Tsaur, 1994) ve ELECTRE (Roy, 1968)' dir. Önerilen bu iki aşamalı metodolojinin (kriter ağırlıklandırma ve yer seçimi kararının verilmesi) literatüre şu açılardan katkı sağlaması öngörülmektedir.

(1) Tunceli için adapte edilebilir bir güneş santrali yer seçimi modeli kurulmuştur. (2) BWM yöntemi ile 5 farklı ÇÖKV metodu birleştirilerek güneş santrali yer seçiminde kullanılmıştır. Bu problem için literatürde ilk defa bu yöntemler birlikte kullanılmıştır. (3) Başta Tunceli ili için olmak üzere bölge illeri ve ülkemiz için, adapte edilebilir, bütünsel ve özgün bir metodoloji geliştirilerek ve gerçek verilerle uygulanabilirliği test edilmiştir. (4) Kriter ağırlıklarının değişimi ile yer seçimi kararının değişimi durumu değerlendirilmiş yani bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.



2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI AÇISINDAN TUNCELİ’NİN POTANSİYELİ

Tez çalışması, güneş enerjisi ve güneş santrali yer seçimi problemi ile ilgili olsa da Tunceli’nin rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle potansiyelleri oldukça cezbedicidir. Bu yüzden bu tez çalışmasında Tunceli’nin diğer potansiyel enerji kaynaklarından da bahsedilmiştir. Tunceli’nin yenilenebilir kaynaklarının oldukça çeşitli olmasında bulunduğu coğrafi konum oldukça önemli rol oynamaktadır. Yüksek eğimli akarsuları, oldukça yüksek bir hidroelektrik potansiyel vaat etmektedir. Tepelik bölge yapısı, rüzgâr potansiyelinin de önemli ölçüde olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda hayvancılık ve tarıma dayalı ekonomisi, biyokütle potansiyelinin de olduğunu kanıtlamaktadır.

Bu kadar fazla kaynak çeşitliliğine sahip Tunceli, kaynaklar doğru ve verimli kullanıldığı takdirde Türkiye’nin en önemli yenilenebilir enerji üretim üslerinden biri haline gelebilir. Bu yüzden Tunceli ilinin güneş bazlı yenilenebilir enerji analizi yapılırken bu yüksek potansiyelli kaynaklarından da detaylı bahsedilmelidir.

2.1. Tunceli’nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Atmosferde meydana gelen basınç farklılıklarının havada oluşturduğu hareketlilik sonucu bir kinetik enerji ortaya çıkar. Bu kinetik enerjiye, rüzgâr enerjisi denilmektedir. Rüzgâr enerjisi, geçmişte eski bir enerji kaynağıdır. Bu enerjinin; tahıl öğütmede, jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi üretiminde ve su pompalamada yoğun ve geniş kullanım alanları vardır (Grogg,2005).

Yelkencilik, rüzgâr enerjisinden yararlanılan ilk kullanım alanı olarak kayıtlara geçmiştir. Mezopotamya devletleri arasında Dicle ve Fırat üzerinde ve Umman ile Kuzeybatı Hindistan arasında ticaret amaçlı mal taşımak için yelkenli taşıma araçlarından yararlanıldığını gösteren birçok kanıt mevcuttur (Swift-Hook, 2012). 21.yy’ da fosil yakıtlar ucuz olmasına rağmen enerji güvenliği, çevre kirliliği, küresel ısınma ve fosil yakıtların tükenecek olması rüzgâr enerjisine olan eğilimin artmasına neden olmuştur. Rüzgâr enerjisi sektörü senelik %30 büyümeyle gelişmeye devam etmektedir. Rüzgâr enerjisi, kullanımı ülkemizde her geçen sene artmaktadır. Rüzgâr türbini yer seçiminde dikkat edilecek oldukça fazla nokta vardır. Rüzgâr hızı ve yoğunluğu, pürüzlülük miktarı, enerji nakil hatlarına

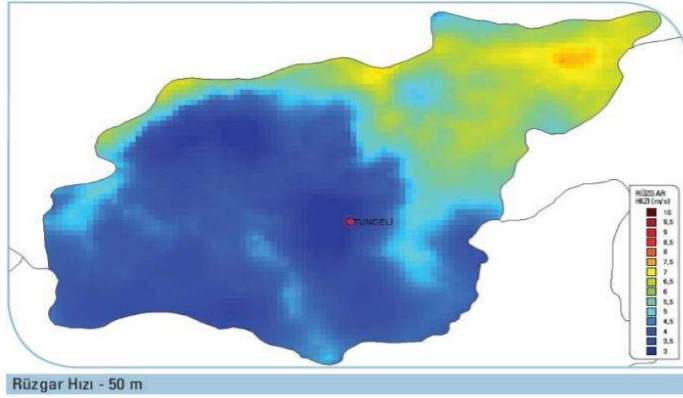
yakınlık, yollar ve akarsulara uzaklık gibi iyi bir yer seçiminde bu değişkenlerin tümü yorumlanmalıdır. Gauss algoritması ile çözüme ulaşılmalıdır.

Rüzgâr, santralinin kurulacağı yerin seçiminde, yeterli rüzgâr potansiyeli ve arazi olanağından başka; iletim hattına uzaklığı, trafo gücü, sit alanı veya doğal koruma, milli park alanı olup olmaması, yakınında uzun mesafeli alıcı-verici antenler ve link hatları bulunmaması gibi özellikler önem kazanmaktadır (Cebeci & Gençoğlu, 2001).

Rüzgâr hızı dağılımı, türbin kurulumu için uygun lokasyon belirlenirken en önemli parametrelerden biridir. Sonuçta bir türbin kurulacaksa bu türbini döndürecek olan rüzgâr kuvveti olacak, bu yüzden belirli bir hızın üzerinde rüzgârın esmesi, yapılacak olan rüzgâr türbini yatırımının kendini hızlı bir şekilde amorti edip, kazançlı bir yatırım haline gelmesi için oldukça önemlidir. Rüzgâr potansiyeli haritalarının 50 metrelik hazırlanmasının nedeni günümüzde kullanılan birçok rüzgâr türbininin, kule yüksekliğinin ortalama 50 metre olmasıdır. Türbinlerin bu denli yüksek tasarlanmasının en önemli sebebi ise rüzgâr hızının yerden yükseklik arttıkça artıyor olmasıdır. Ekonomik açıdan kazançlı bir rüzgâr türbini kurulumu için, rüzgâr hızının 7m/s den hızlı esmesi istenmektedir. Rüzgâr türbinlerinin birçoğu, yaklaşık 3m/s rüzgâr hızında devreye girebilmekte 10-11 m/s hızlarda maksimum üretime kavuşmaktadır. Birçok insanda aşırı hızlı esen rüzgârın, üretilen enerji miktarını artıracak yönünde bir kanı olmasına rağmen, aşırı hızlı esen rüzgarlarda türbin kendini emniyete alıp çalışmasını durdurmaktadır. Bir rüzgâr türbinin verimli çalışabilmesi için en önemli kriter, rüzgâr hızı değeridir. Rüzgâr, hızı belirli aralıklar arasında olmalıdır ve sürekli olmalıdır.

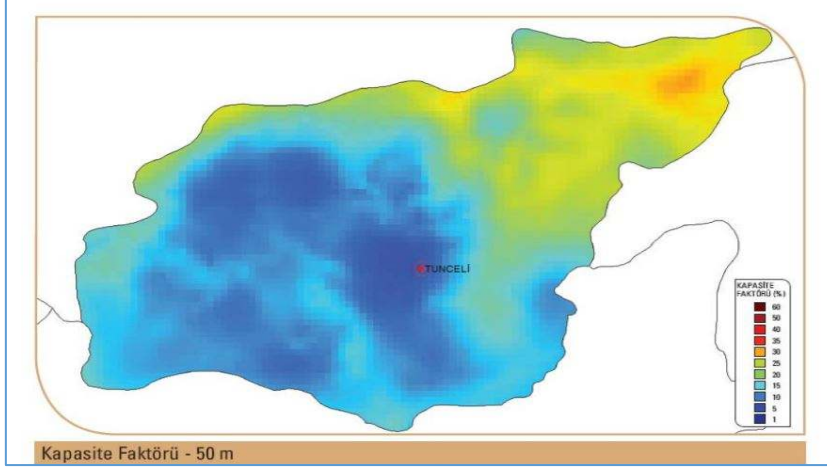
Kapasite faktörü, türbinin gücü ile yıllık üreteceği enerji miktarı arasında bir ilişki kurar. İyi bir yatırım için kapasite faktörü %30 ve üzerinde olmalıdır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilen Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) haritaları incelendiği takdirde, rüzgâr hızı ve kapasite faktörü yorumlandığında Tunceli ilinin kuzeybatısında değerlendirilebilir bir rüzgâr enerji potansiyelinin olduğu gözükmektedir.

RÜZGAR HIZ DAĞILIMI – 50 metre



Şekil 2.1. Tunceli ili 50 metrelik seviyede rüzgâr hızı dağılımı (URL-4, 2020)

KAPASİTE FAKTÖRÜ DAĞILIMI – 50 metre



Şekil 2.2. Tunceli ili rüzgâr kapasite faktörü (URL-5, 2020)

2.2. Tunceli'nin Biyokütle Potansiyeli

Tarım atıkları, hayvansal atıklar ve organik atıklar, oksijensiz bir ortamda fermente edilerek bir gaz açığa çıkarılmaktadır. Daha sonra bu gaz jeneratörlere iletilerek ateşleme sistemi ile kullanılarak yakılmaktadır, bu işlem sonucunda, ortaya hem ısı hem de elektrik enerjisi çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısı, birçok ülkede sera ısıtmasında ve köylerin ısınmasında kullanılmaktadır. Elektrik ise dağıtım hattına iletilerek kullanılmaktadır.

Ülkemizde bu yenilenebilir kaynağın kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Tunceli ili özelinde, biyokütle potansiyeli incelendiğinde, her ne kadar tarım ve hayvancılık en önemli geçim kaynağı olsa da yoğun bir hayvan potansiyeli ve nüfus potansiyeli olmaması

sebebiyle, yüksek ölçekli bir biyokütle tesisinin işletilmesi fazla mantıklı değildir. Fakat nüfusta ve hayvancılıkta oluşabilecek değişimler sonrası bu potansiyel değişebilir.

Kısacası Tunceli ili, küçük ölçekli biyokütle yatırımlarına uygundur. Fakat büyük ölçekte yapılacak bir tesisi besleyecek ve sürekli enerji üretmesini sağlayacak potansiyele henüz sahip değildir.

2.3. Tunceli'nin Hidroelektrik Santral Potansiyeli

Yüksek hızla akan suyun kinetik enerjisinden faydalanılarak, bu suyun su türbinlerini döndürmesiyle elektrik enerji eldesi prensibine dayanan enerji türüne hidroelektrik denir. Tunceli coğrafyasında kullanılabilecek iki tür hidroelektrik santral tipi vardır. Bunlardan biri nehir tipi hidroelektrik santraller bir diğeri de baraj tipi hidroelektrik santrallerdir.

Hidroelektrik için en önemli kaynak akarsular ve çaylardır. Tunceli ili incelendiğinde, coğrafyasında bolca akarsu, dere, çay olduğu görülecektir. Bu kaynaklara örnek verecek olursak; Munzur Suyu, Mercan Deresi, Pülümür Çayı, Peri Suyu ve Tahar Çayıdır. Bir hidroelektrik santral için, büyük potansiyellere sahip kaynaklardır. Hatta hidroelektrik için Tunceli'nin en yüksek yenilenebilir enerji potansiyelinin olduğu alan diyebiliriz.

Hidroelektrik santrallerden yüksek enerji elde edebilmek için, suyun türbinlere yüksek bir hızla çarpması gerekmektedir. Suyun türbinlere yüksek hızla çarpabilmesi içinde, yüksek bir eğimden gelmesi gerekmektedir. Tunceli'nin yüksek ve eğimli dağlarının arasından akan akarsular ve çaylar doğal olarak enerji üretimi için bu elverişli ortamı hazırlamaktadır.

3. GÜNEŞ SANTRALİ YER SEÇİMİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye yıllık, 1400 ile 1900 kWh/m² değişen güneş radyasyonu ile dünya da güneş enerjisinden en iyi faydalanma potansiyeline sahip ülkelerden biridir. Güneş radyasyonu, ülkenin kuzey bölgelerinde 1400 kWh/m² radyasyon değerlerine kadar düşmektedir. Türkiye'nin güney kısımlarında ise bu radyasyon değeri 1900 kWh/m² dolaylarına kadar artmaktadır. Lokasyonlar arasındaki metrekareye düşen radyasyon miktarındaki bu fark yatırımın geri dönüşünün hızlı olabilmesi için bizi olabilecek en iyi lokasyonu seçmeye zorlamaktadır.

Türkiye'de ilk güneş santrali, 2011 yılında İstanbul'da kurulmuştur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayınlanan ilk Lisanssız Elektrik Enerjisi Üretimi Yönetmeliği ile devlet tarafından 10 yıllık elektrik alım taahhüdü verilmiştir. Lisanssız elektrik üretimi izinli güneş santrallerinin yanı sıra, lisanslı güneş enerjisi santralleri de kurulabilmektedir. Bu santraller, öncelikle ön lisans alıp bir senelik güneş ölçümü yapmaktadırlar. Güneş ölçümü sonucu müspet görülen başvurulara lisanslı elektrik üretim izini verilmektedir. Bu izin, devlete 49 yıllığına elektrik satış garantisi vermektedir. 2019 yılının ortalarında yayınlanan son Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliğinde, santral kurulumlarında öz tüketim şartı getirilmiştir. Kurulum yapacak olan şahıslar ve firmaların faturalarında yazan kurulu güç miktarı kadar santral kurabileceği belirtilmiştir. Bu yeni yönetmelikle beraber, ev tipi 10 kW miktarına kadar olan güneş santrallerinin izin süreçleri kolaylaştırılmıştır. İzin süreçlerinin kolaylaştırılmasıyla birlikte güneş enerjisi herkes tarafından faydalanılabilecek bir enerji türü haline gelmiştir.

Panel maliyetlerinin yüksek olması ve yapılacak güneş enerjisi santral yatırımının geri dönüş süresinin uzun olması sebebiyle güneş enerjisi santralinin kurulacağı yer yatırımın fizibilitesi için hayati öneme sahiptir. Yer seçimi problemi için literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda da vurgulanan birçok kriter bulunmaktadır. Literatürün detaylıca ele alınmasından önce yer seçimi kriterleri ele alınacaktır.

ve Hozat olduğu gerek sahada yapılan incelemeler gerekse topoğrafik haritalar ile tespit edilmiştir.

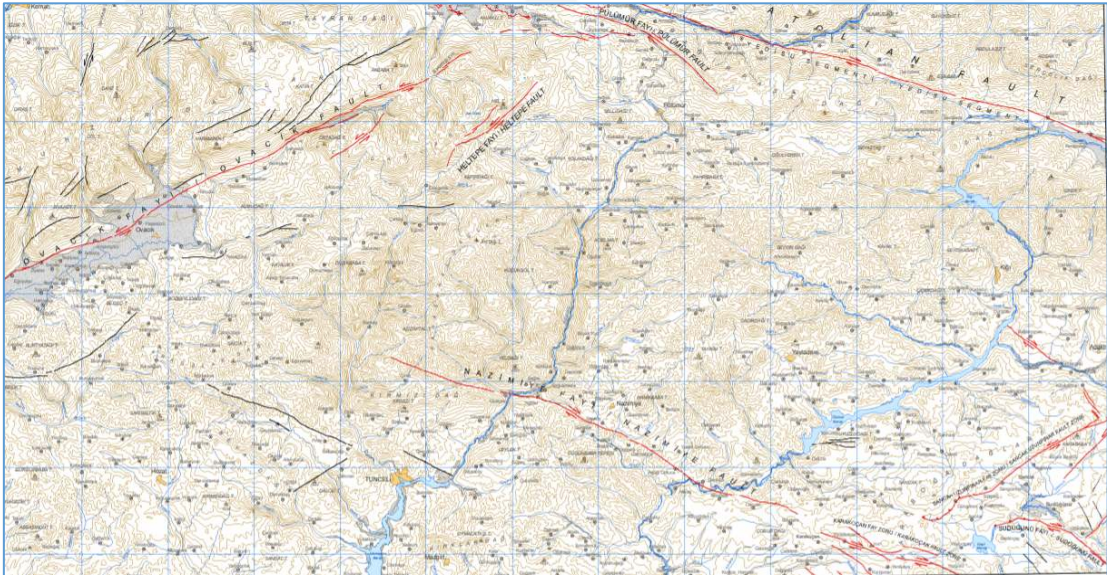
3.1.2. Fay hattı

Tunceli ili ve çevresinde bulunan iller, aktif fay hatlarına sahip olduklarından dolayı güneş enerjisi santrali kurulumu yapılacak olan arazi, fay hattından uzak ve olası afetlerden etkilenmeyecek bir bölgede olmalıdır. Afet anlarında da sürekli enerjiye ihtiyaç duyulacağı ve yapılacak yatırımın doğal bir afetle heba olmaması için arazi seçiminde bu kıstası değerlendirmek oldukça önemlidir. 2020 yılında Tunceli'ye komşu vilayet olan Elâzığ ilinde gerçekleşen ve Tunceli'de hissedilen, 6.8 Richter (URL-6,2020) ölçeğindeki deprem, bölgede ve Tunceli'de büyük çaplı deprem olabileceği gerçeğini gözler önüne sermiştir.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) kurumundan elde edilen haritalarda, Şekil 3.2 incelendiğinde kırmızı ile belirtilen Heltepe, Pülümür, Nazımiye, Ovacık aktif fay hatlarında olası afetlere karşı santral kurulumu sakıncalıdır. MTA haritalarından bir diğeri Şekil 3.3 incelendiğinde Nazımiye, Ovacık ve Pülümür ilçelerinin de fay hatları açısından sakıncalı bölgeler olduğu bu bölgelerde fay hatlarına yakın kurulacak tesislerin gelecek dönemler için olası riskler barındırdığı gözlemlenmektedir. Bunun haricindeki 5 ilçede gelecek dönemlerde büyük depremler yaratabilecek fay hatları olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.2. Tunceli bölgesi diri fay haritası (URL-7, 2020)

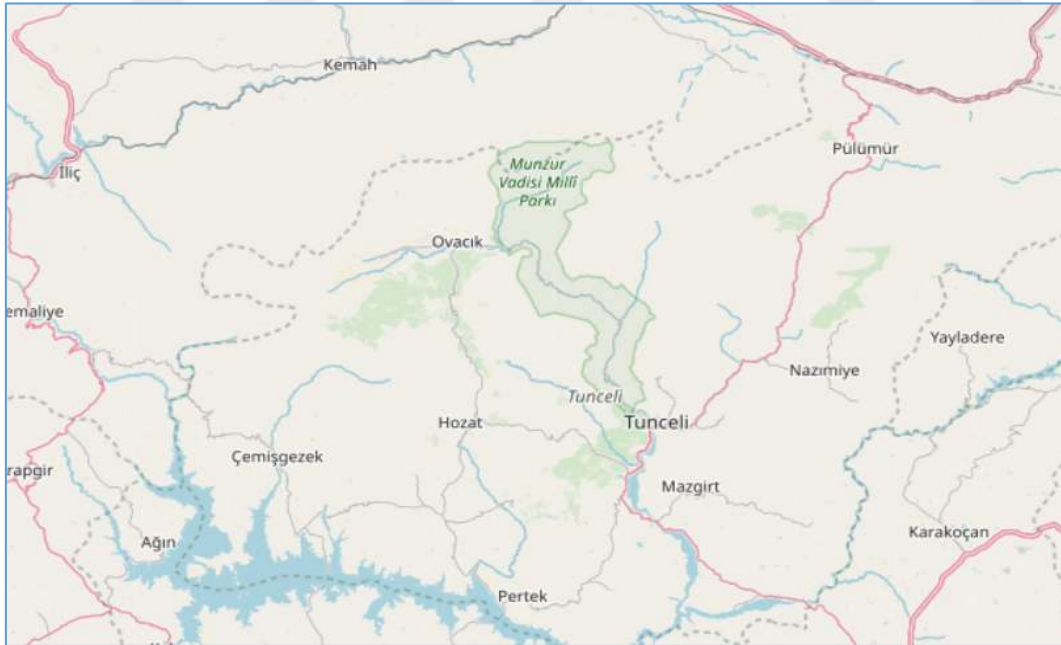


Şekil 3.3. Tunceli bölgesi diri fay haritası (URL-8, 2020)

3.1.3. Rekreasyon

Turistik alanlar, kültürel ve dini olarak değerli alanlarda yenilenebilir enerji santrallerinin kurulmaması gerekmektedir. Bu değişkenin göz ardı edilmesi, santral kurulum sürecini ve maliyetini olumsuz etkileyecektir. Türkiye enerjiye ihtiyacı olduğu kadar, turizm faaliyetlerine de ihtiyaç duymaktadır. Tunceli ili, doğal tabiat varlıkları nedeniyle en yüksek turist potansiyeline sahip illerden birisidir. 2017 yılında Tunceli'yi ziyaret eden turist sayısı, bir önceki yıla göre 3 kat artmıştır (Tunceli valiliği, 2020). Şekil 3.4 incelendiğinde 764,599.19 hektarlık Tunceli ilinin 47,343.68 ha miktarının korunmakta olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzölçüm, %6.19'luk bir arazi miktarına tekabül etmektedir (DKMP, 2018).

Tunceli ilinin en önemli doğal miraslarından biri olan Munzur vadisi, korunan bir alan milli park oluşu sebebiyle bu bölgelerde güneş santrali kurulumu yasaktır. Bu sebeple Merkez, Ovacık ve Nazımiye ilçesinin bir kısmı korunan alanlar statüsünde olduğu için güneş santrali inşa etmek yasalarla engellenmiştir. Diğer ilçelerde korunan alanlar ve sit alanları mevcuttur fakat bu alanlar göz önünde bulundurulmayacak kadar küçüktür.

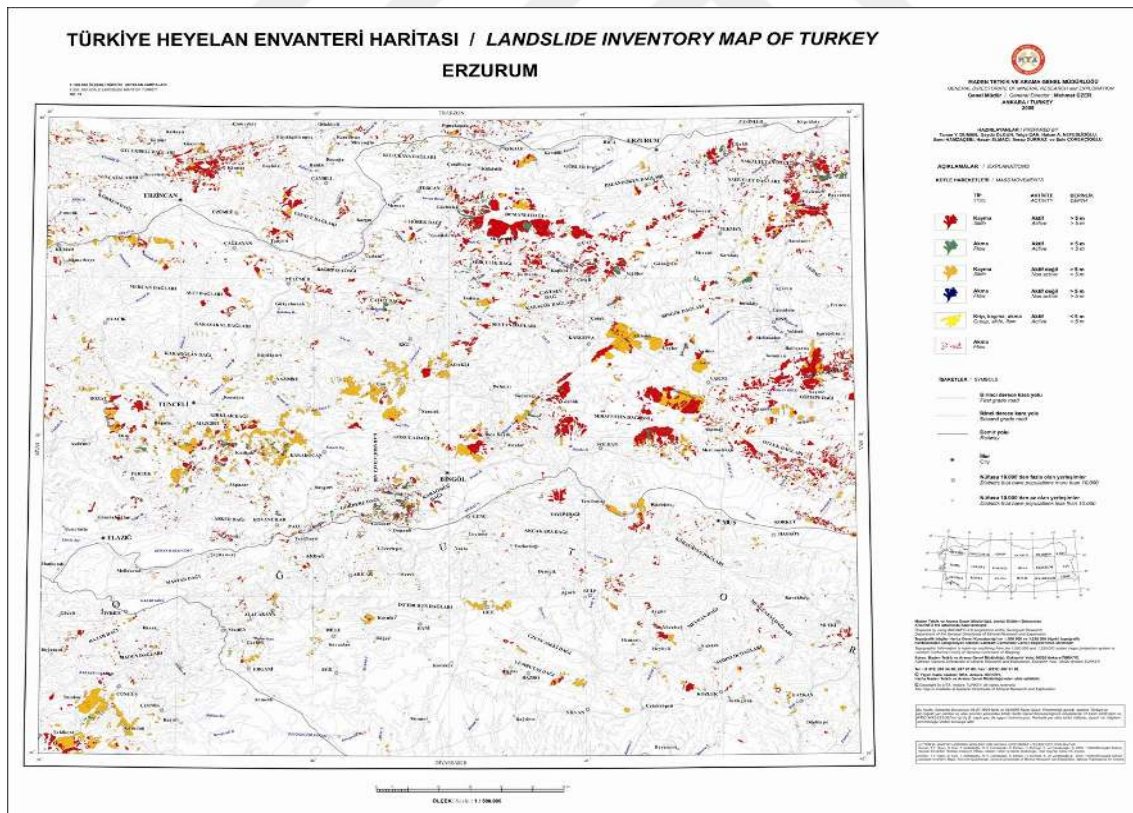


Şekil 3.4. Tunceli ili korunan alanlar haritası (URL-9, 2020)

3.1.4. Heyelan

Tunceli ili sarp engebeli ve eğimli bir arazi yapısına sahiptir. Tunceli ilinin bu engebeli arazi yapısı heyelan riskini de yanında getirmektedir. MTA kurumunun hazırlamış olduğu heyelan riskli yerler haritası heyelan riskinin bulunduğu bölgeleri açıkça belirtmiştir. Heyelan bölgelerinde güneş enerjisi santrali kurulması, santralin geleceği açısından büyük soru işaretlerine sebebiyet verecektir. Heyelan riski hem santral projesini kredilendirirken hem de santralin sigortalanması sürecinde oldukça büyük soru işaretlerine neden olacaktır. Alttaki heyelan haritasında heyelan riski fazla olan yerler kırmızı ile heyelan riskinin biraz daha az olduğu yerler ise sarı ve yeşil renk tonlarıyla gösterilmiştir.

MTA tarafından hazırlanan harita Şekil 3.5 incelendiğinde Hozat, Çemişgezek, Merkez ve Mazgirt bölümünde heyelan tehlikesi olan alanların sık ve fazla olduğu görülmektedir. Diğer ilçelerde kuruluma engel olabilecek tehlike düzeyinde ve heyelan tehlikesi fazla olan alan bulunmamaktadır.

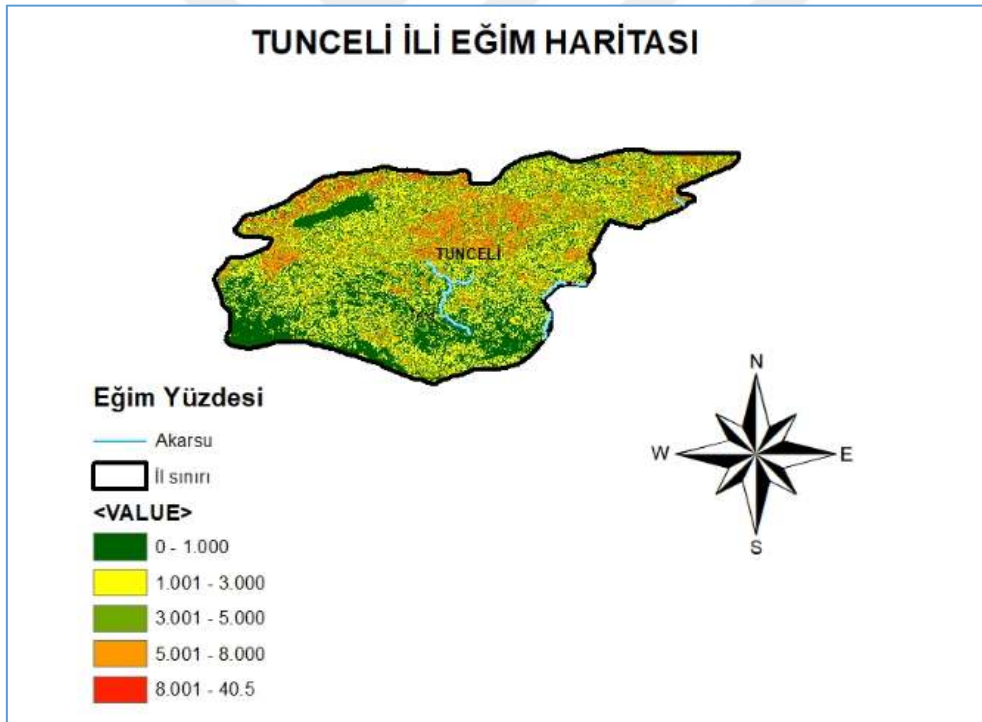


Şekil 3.5. Tunceli ve çevre iller heyelan haritası (URL-10, 2020)

3.1.5. Eğim

Güneş enerjisi santrali kurulumlarında, güneşten maksimum fayda sağlanabilmesi için arazinin güneye bakması istenir. Güneş enerjisi santralının eğiminin minimum %1 maksimum %3 olması istenir (Hang ve ark, 2008). Meyilli olmayan araziler, su tahliyesi sebebiyle tercih edilmezler. Arazinin, en azından %1 meyilli olması istenir.

Tunceli ilinin eğim haritası incelendiği takdirde Şekil 3.6, büyük kısmının %1 ile %3 eğim aralığında olduğu ve şartları sağladığı gözlemlenmiştir. Eğimin yüksek olduğu turuncu ve kırmızı alanların az olduğu gözlemlenmiştir. Harita incelendiğinde eğimi en uygun ilçelerin Çemişgezek, Pertek, Mazgirt ve Hozat olduğu gözlemlenmiştir. Merkez, Pülümür, Ovacık ve Nazımiye ilçelerinin diğer ilçe grubuna nazaran daha eğimli arazi yapılarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

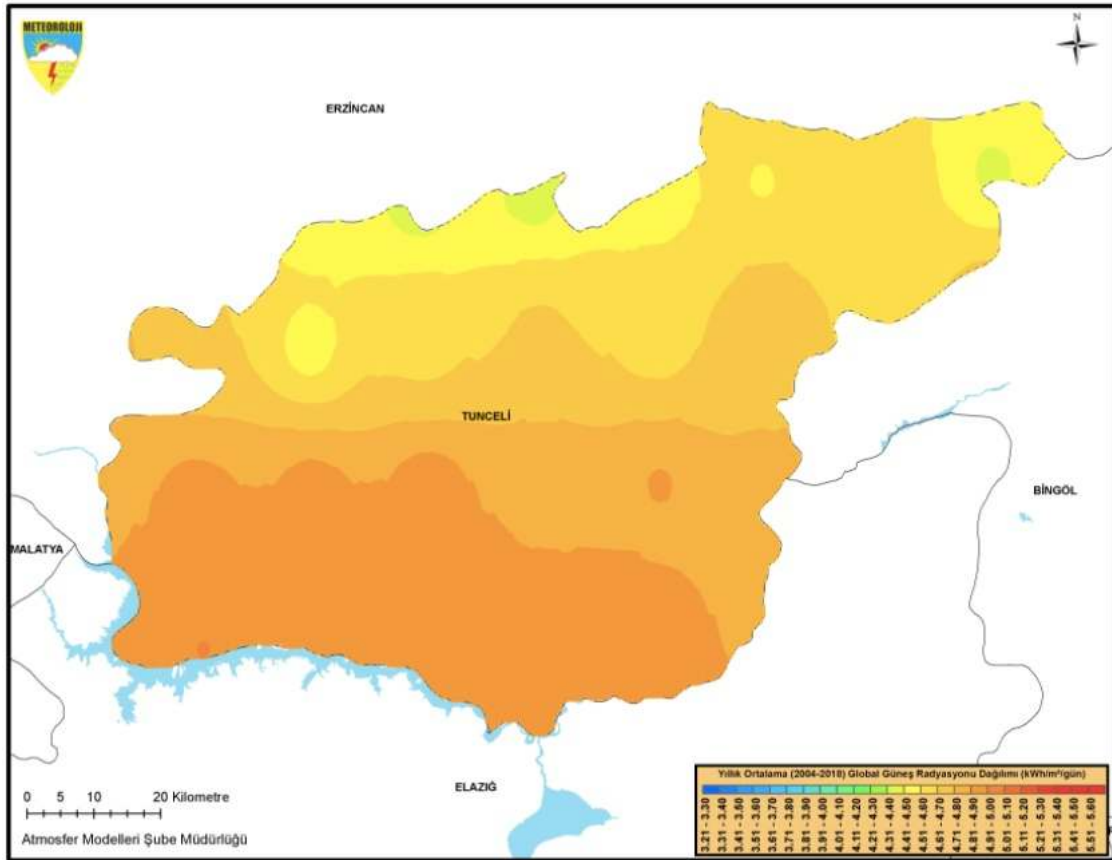


Şekil 3.6 Tunceli ili eğim haritası

3.1.6. Güneş radyasyonu

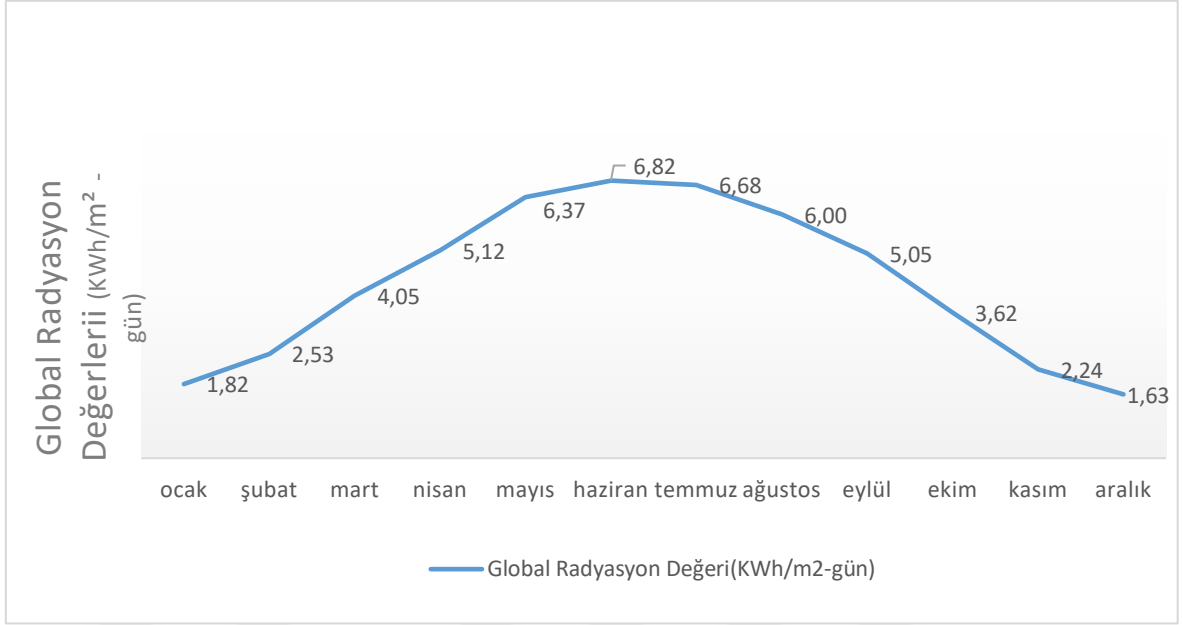
Güneş enerji santralının en önemli hammaddesi güneştir, en önemli seçim kriterlerinden biri de yıllık radyasyon miktarıdır. Türkiye'nin güneyine gidildikçe, coğrafi

nedenlerden dolayı güneş radyasyonu miktarı artmaktadır. Güneş radyasyonu seçim kriteri, diğer kriterlerle yorumlandığında, Tunceli için en uygun santral konumu seçilecektir. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan güneş enerjisi potansiyeli haritası gözlemlendiğinde Şekil 3.7, Tunceli'nin yıllık radyasyon miktarının 1550 ile 1750 kWh/ m²-yıl arasında değişmektedir. Bu değerler, Tunceli'de yüksek bir güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

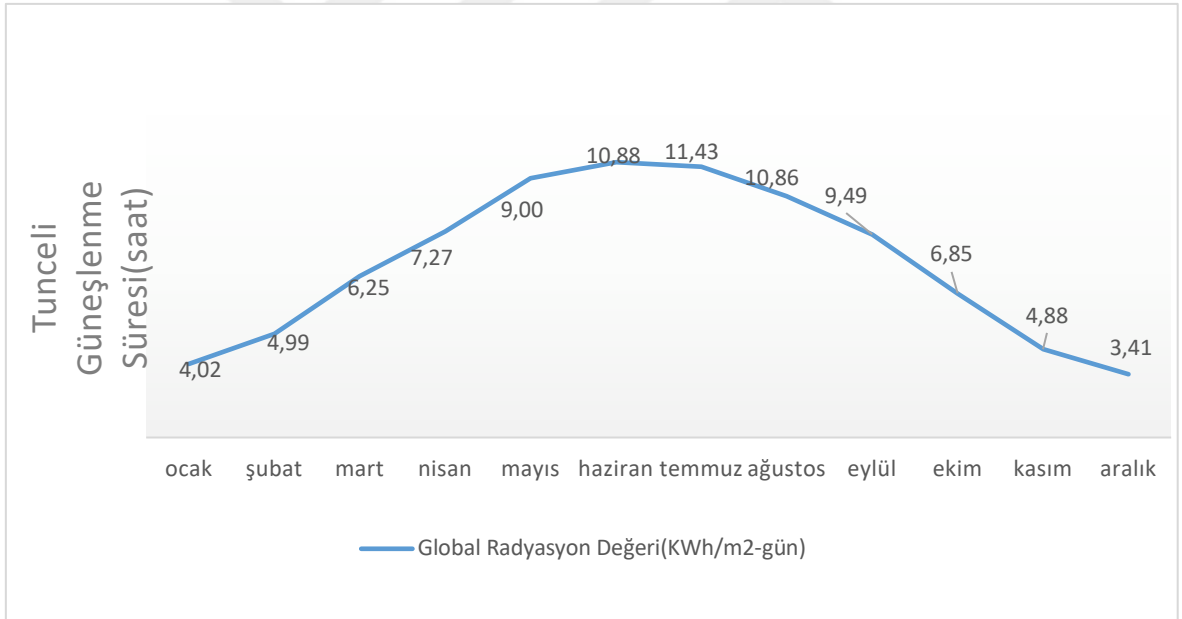


Şekil 3.7. Tunceli güneş radyasyonu haritası (URL-11, 2020)

Altta verilen haritalar ve tablolarda, Tunceli ilinin yıllık güneşlenme süresi ve radyasyon miktarı açıkça gözükabilmektedir. Şekil 3.8'de verilen Tunceli global radyasyon verileri ve güneşlenme süreleri incelendiğinde, en fazla enerji veriminin haziran, temmuz aylarında en az verimin ise ocak ve aralık aylarında gerçekleştiği açıkça gözlemlenmektedir. Bu aylarda gerçekleşen değişimler Türkiye'nin bulunduğu coğrafik konumla ilgilidir.

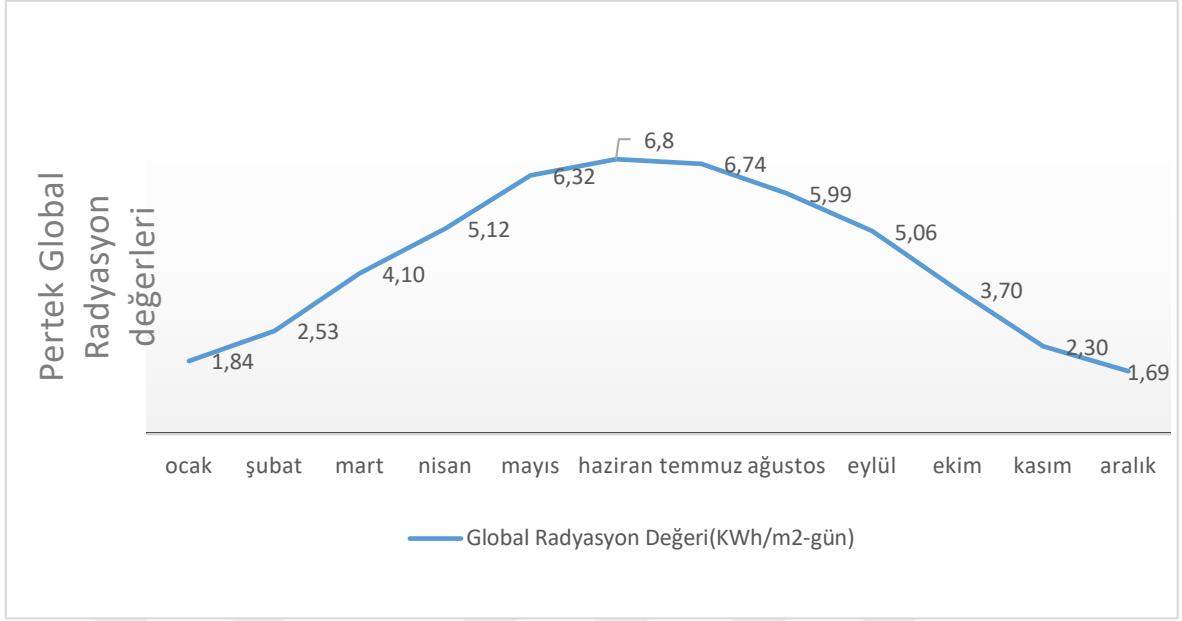


Şekil 3.8. Aylık global radyasyon değerlerinin aylara göre değişimi (URL-12, 2020)



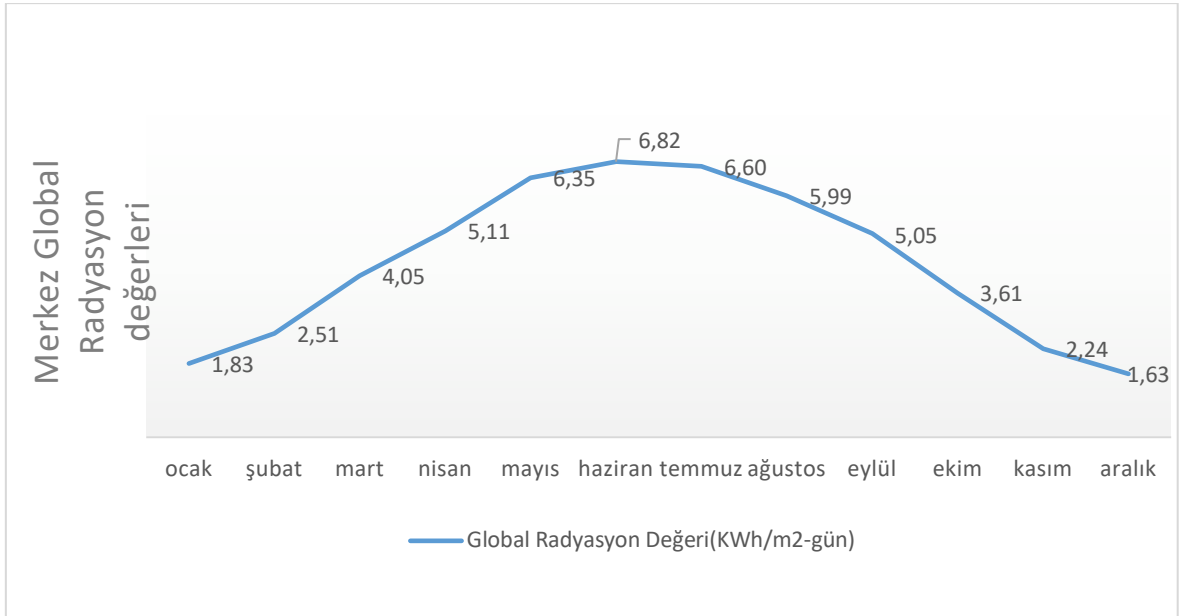
Şekil 3.9. Aylık global radyasyon değeri ve aylık güneşlenme süreleri (URL-13, 2020)

Pertek ilçesinin radyasyon değerleri incelendiğinde radyasyonun en yüksek olduğu ayların haziran ve temmuz ayları olduğu gözlemlenmektedir. 12 aylık radyasyon değerinin ortalamasının 4,35 kWh/ m² -gün olduğu hesaplanmıştır.



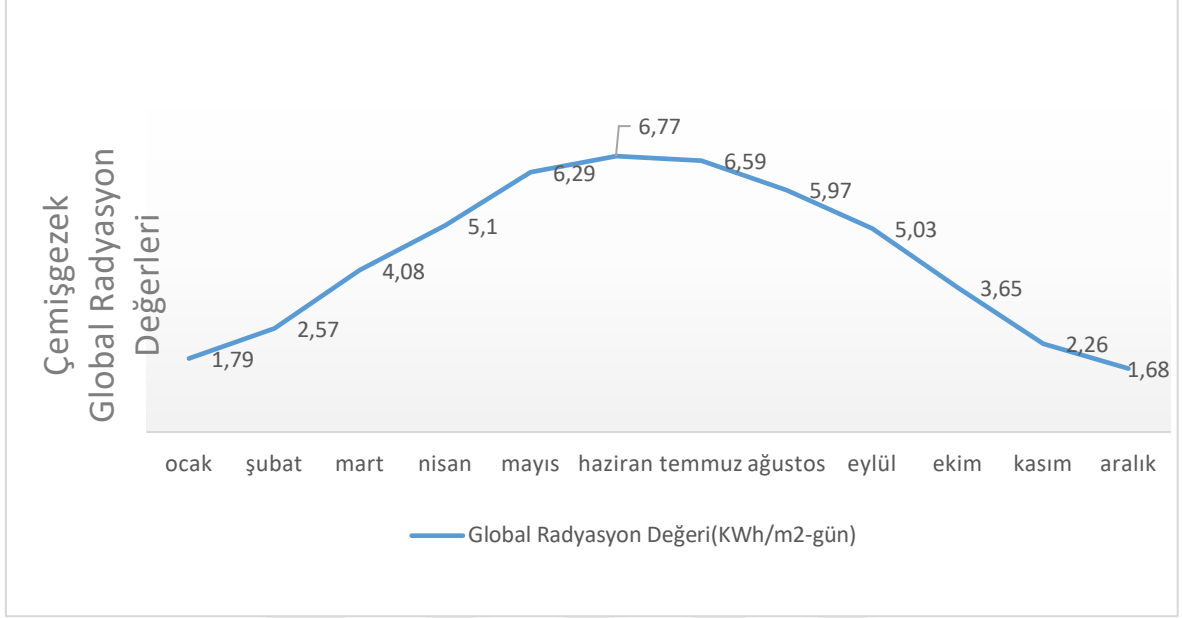
Şekil 3.10. Pertek ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-14, 2020)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yapılan 12 aylık radyasyon ölçümlerine göre Şekil 3.11 Tunceli merkez ilçesinin ortalama 4,315 kWh/ m² - gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.



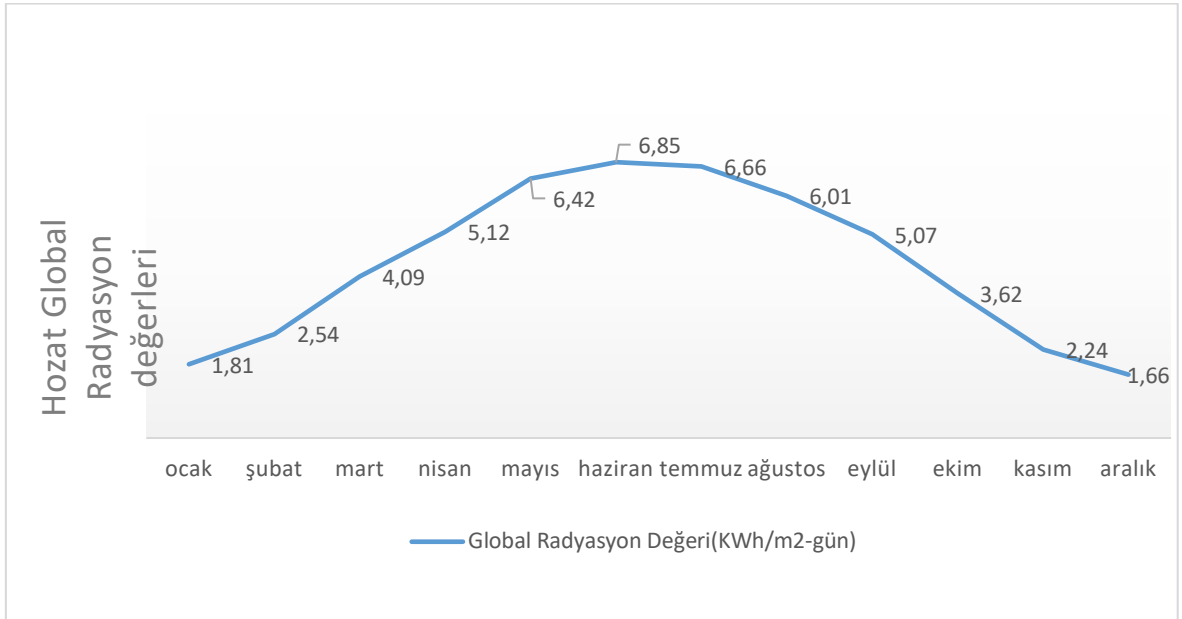
Şekil 3.11. Merkez ilçe güneş radyasyon değerleri (URL-15, 2020)

Çemişgezek ilçesinin 12 aylık radyasyon değerleri değerlendirildiğinde Şekil 3.12 yıllık ortalama 4,3075 kWh/ m² -gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.



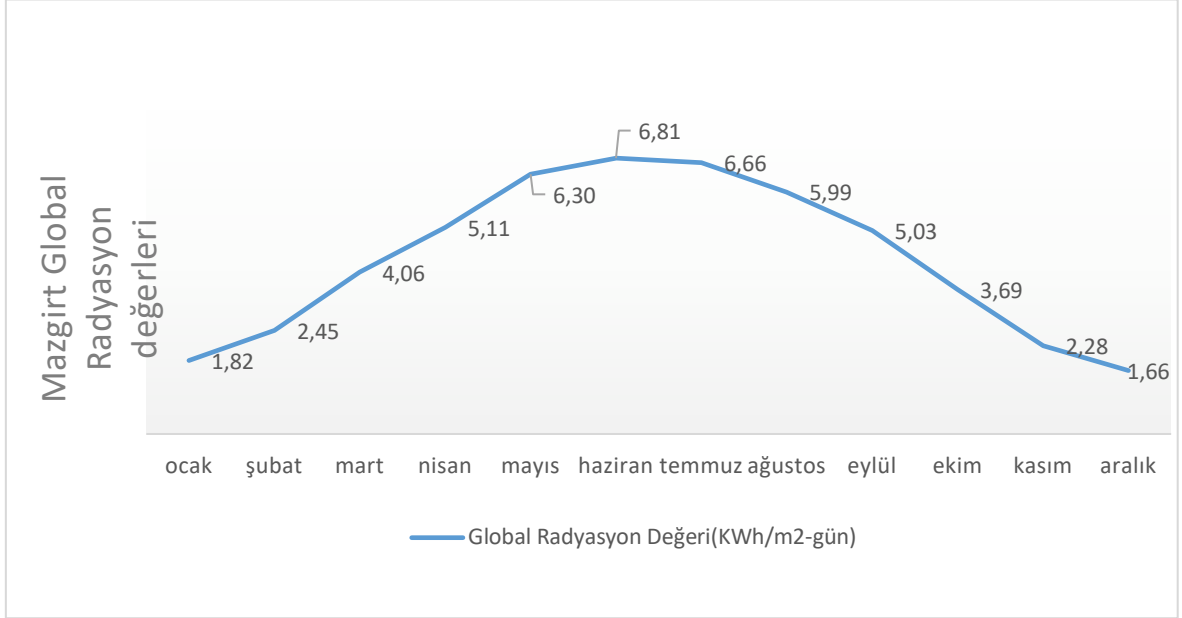
Şekil 3.12. Çemişgezek ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-16, 2020)

Hozat ilçesinin aylık global radyasyon verileri Şekil 3.13 incelendiği takdirde yıllık ortalama 4,34 kWh/ m² -gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.



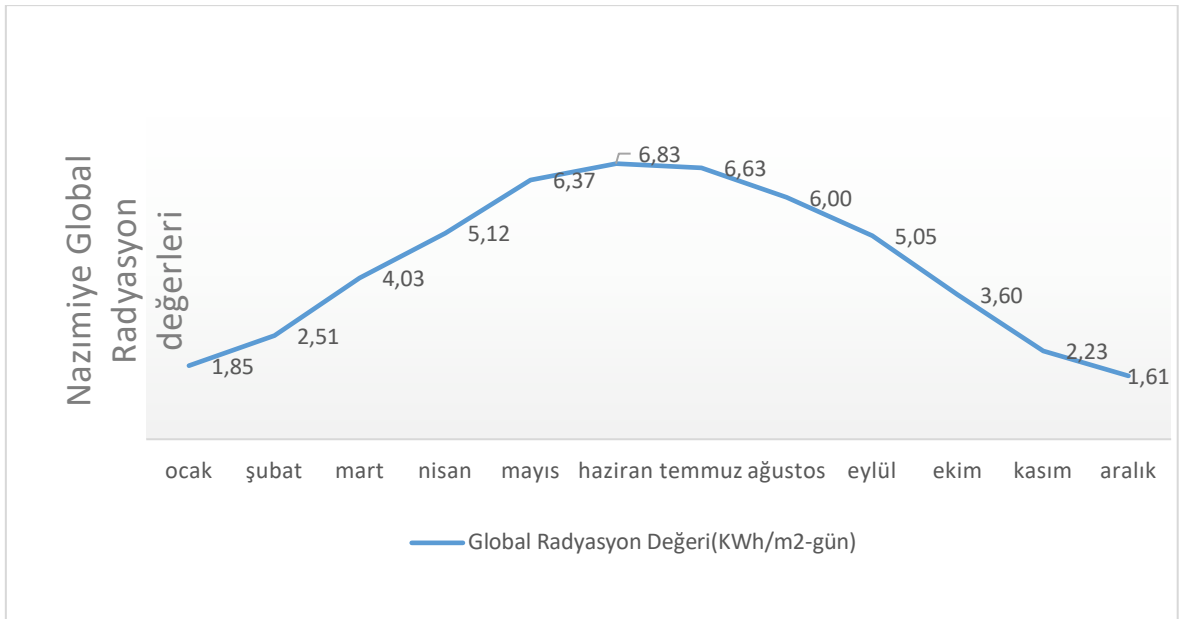
Şekil 3.13. Hozat ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-17, 2020)

Mazgirt ilçesinin aylık global radyasyon verileri Şekil 3.14 incelendiği takdirde yıllık ortalama 4,32 kWh/ m²-gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.



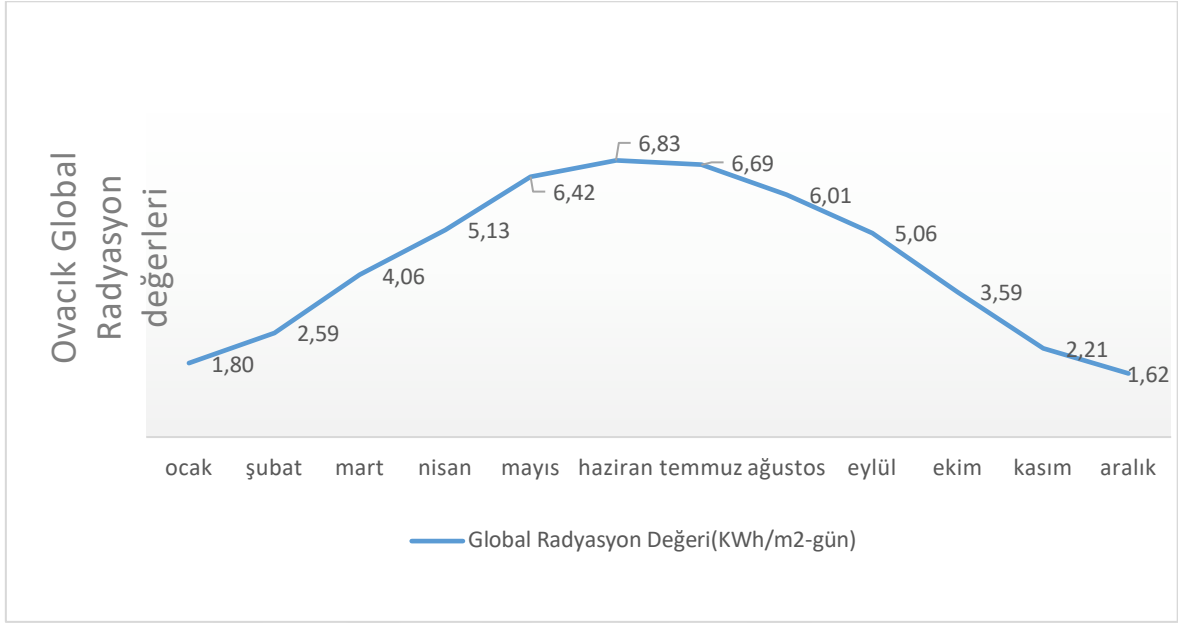
Şekil 3.14. Mazgirt ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-18, 2020)

Nazımiye ilçesinin aylık global radyasyon verileri Şekil 3.15 incelendiği takdirde yıllık ortalama 4,319 kWh/ m² -gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.



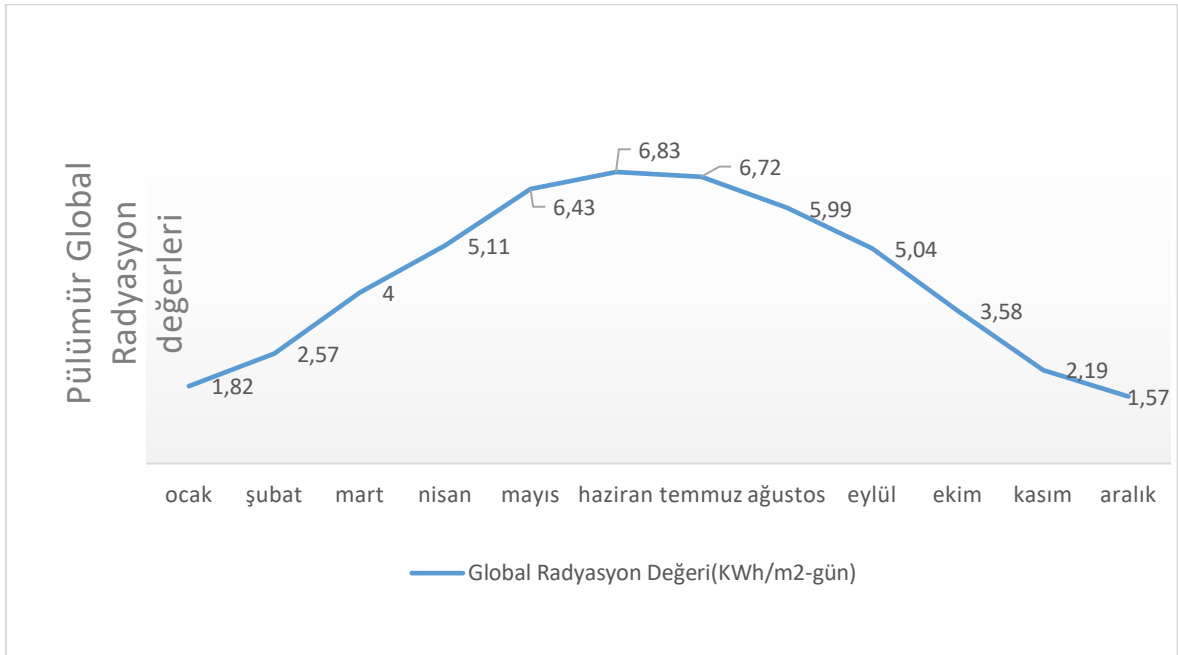
Şekil 3.15. Nazımiye ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-19, 2020)

Ovacık ilçesinin aylık global radyasyon verileri Şekil 3.16 incelendiği takdirde yıllık ortalama $4,33 \text{ kWh/ m}^2$ -gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3.16. Ovacık ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-20, 2020)

Pülümür ilçesinin aylık global radyasyon verileri Şekil 3.17 incelendiği takdirde yıllık ortalama $4,32 \text{ kWh/ m}^2$ -gün radyasyon değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.

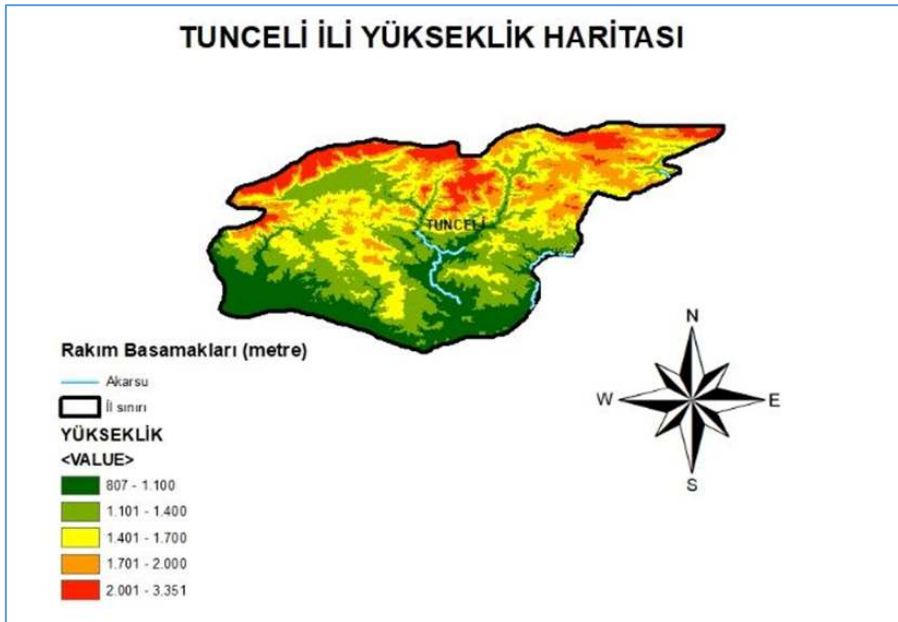


Şekil 3.17. Pülümür ilçesi güneş radyasyon değerleri (URL-21, 2020)

Radyasyon haritası incelendiğinde Tunceli ilinde lokasyon seçiminde en önemli kriter olan radyasyon değerinin en yüksek radyasyon değerinden en düşüğüne sırasıyla; Pertek, Ovacık, Hozat, Mazgirt, Pülümür, Nazımiye, Merkez ve en düşük radyasyon oranıyla Çemişgezek olmuştur. Yapılan hesaplamalarda Pülümür ve Nazımiye ilçelerinin birbirine eşit radyasyon miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

3.1.7. Yükseklik

CBS sistemleri kullanılarak Tunceli ilinin izohips haritalarından ve Digital Elevation Model (DEM) verilerinden yükseklik haritası elde edilmiştir. 1400 metre ile 3.351 metre arası olan sarı, turuncu ve kırmızı bölgelerin karlı gün sayısı dikkate alınarak, santral kurulumu açısından sakıncalı olabileceği tespit edilmiştir. Tunceli'nin kuzey ve kuzeydoğu bölümlerinde rakımın yüksek olduğu CBS aracılığıyla oluşturulan haritada Şekil 3.18 gözlemlenmektedir. CBS haritası yorumlandığında Pülümür, Ovacık ve Hozat'ın yüksek rakım nedeniyle kar ile kaplı gün sayısının fazla olacağı öngörülmektedir. Merkez, Pertek, Çemişgezek, Nazımiye ve Mazgirt ilçelerinde rakımın daha düşük olması nedeniyle daha uygun bir coğrafik altyapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

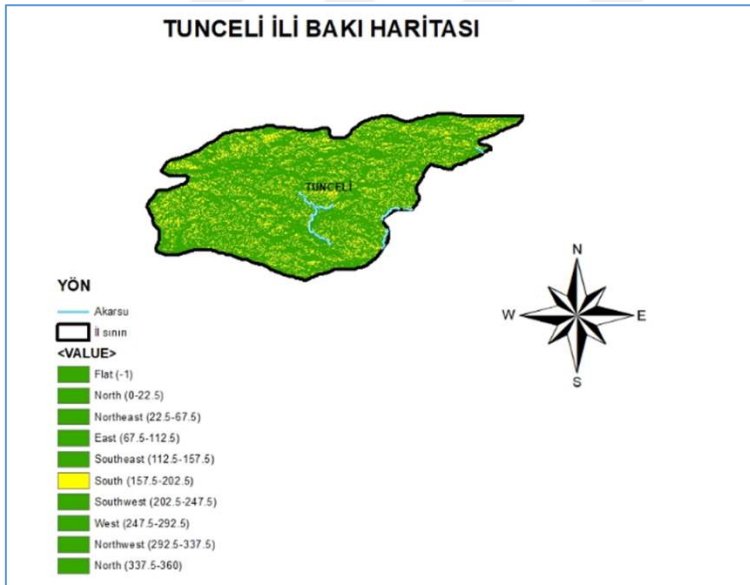


Şekil 3.18. Tunceli ili yükseklik haritası

3.1.8. Yön

Güneş santralinin kurulum yönü, sistemin kurulacağı yerin konumuna göre belirlenir. Türkiye gibi kuzey yarım kürede yer alan ülkelerde güneş paneli güneye doğru yönlendirilir. Ülkemizin bulunduğu konumdan dolayı, güneşten maksimum verim için Tunceli ve ülkemizin her şehrinde, güneş paneli güney yönüne doğru bakmalıdır. Sabit sistemler güney yönlü tasarlanırken, gelişen teknoloji ile birlikte güneş takip cihazları santral verimliliği için kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistem sayesinde, bir mikro denetleyici tarafından güneş radyasyon ölçümleri yapıp panellerin en uygun yöne bakması sağlanmaktadır. Maliyetleri şu anda yüksek olan bu sistemlerin gelecek yıllarda daha fazla kullanılması beklenmektedir.

CBS kullanılarak sistemin en iyi şartlarda çalışacağı yön sarı renkle belirtilmiştir (Şekil 3.19). Sarı renk güney yönünü göstermektedir. Kuzey yarım kürede bulunan ülkelere güneş takip cihazı kullanılmadığı sürece, sabit sistemlerin güneşten en çok faydalanacağı yön güney yönüdür. Güney yöne bakan arazilerin Tunceli genelinde neredeyse homojen dağıldığı gözlenmektedir.



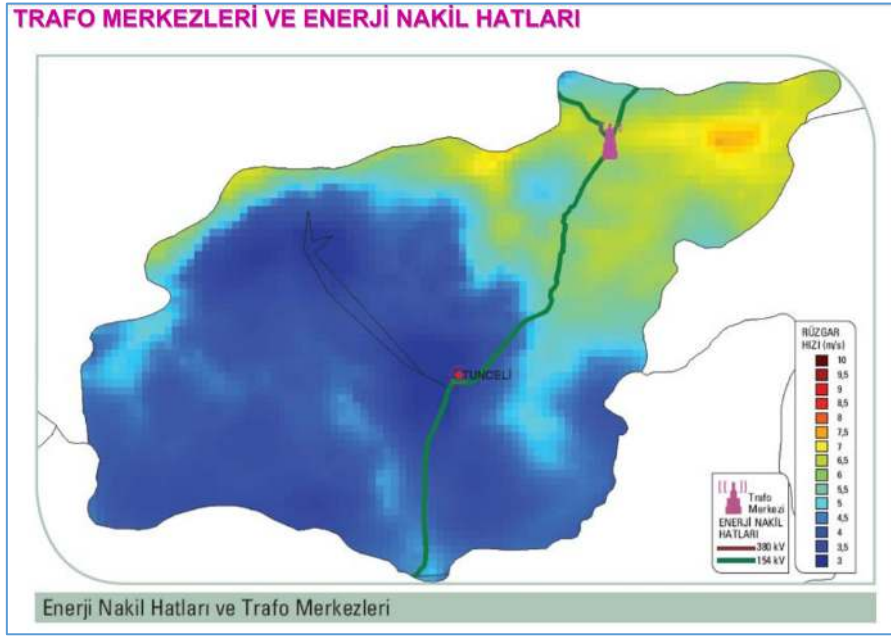
Şekil 3.19. Tunceli ili bakı haritası

3.1.9. Trafo merkezlerine uzaklık

Güneş santrali kurulumlarında elektrik üretimi kadar iletimi ve taşınması da oldukça önemlidir. Bu yüzden kurulacak güneş santralinin trafo merkezine yakın olması

gerekmektedir ve elektrik hattının, üretilen bu enerjiyi kapasite problemi olmadan anlık ihtiyaç olan yere taşınması oldukça mühimdir.

Şekil 3.20 incelendiğinde, Tunceli ilinin tek trafo merkezinin Pülümür ilçesinde olduğu görülmektedir. Enerji nakil hattının, Pertek ilçesinden Merkeze ulaşp oradan Pülümür ilçesinde son bulduğu tespit edilmiştir. Enerji nakil hattı açısından en uygun ilçelerin; Pertek, Merkez ve Pülümür ilçeleri olduğu görülmüştür. Trafo merkezi açısından en uygun yerin ise sadece Pülümür ilçesi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.20. Tunceli ili elektrik hattı ve trafo merkezi haritası (URL-22, 2020)

3.2. Literatür Araştırması

Literatürde yer seçimi ile ilgili oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Literatürde bulunan çalışmalarda yer seçimi için birbirine benzer ve farklı kriterler işlenmiş, çeşitli yöntemlerle sonuca ulaşılmıştır. Faktörlerin lokasyondan lokasyona neden farklı olduğu incelendiğinde bunun nedeninin araştırma yapılan bölgeler arasındaki coğrafi farklar ve elektrik piyasası ile ilgili kanunların birbirinden farklı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda her çalışmada kriterler belirlenip ağırlıklandırılırken, fayda performans oranının bölgesel değişkenlere göre farklılık gösterdiğine ulaşılmıştır.

CBS tabanlı bir yaklaşımla belirlenen değişkenler değerlendirilmiştir (Marques-Perez ve ark, 2020). Promethee ve AHP yöntemleri ile sonuca varılmıştır.

İran’da yapılan bu çalışmada ÇÖKV yöntemleri kullanılarak ekonomik, çevresel, sosyal, risk kriterleri eşliğinde en uygun yer seçiminden bahsedilmiştir (Ghasempoura ve ark, 2019).

Bu çalışmada Umman’da kurulabilecek bir güneş santralinin en verimli şekilde enerji üretebilmesi için teknik, ekonomik ve çevresel şartlar bulanık mantık ve ÇÖKV yöntemleri kullanılarak işlenmiş ve uygun olabilecek lokasyonlar bulunmuştur (Charabi ve Gastli, 2011).

Güney İngiltere’nin enerji verimliliğini en üst seviyede kullanılabilmesi için yapılmış bu çalışmada rüzgar ve güneş santralleri açısından en uygun yerlerin AHP ve ÇÖKV yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Karar mekanizmasında kullanılan değişkenler; Tarımsal alanlar, tarihi yerler, peyzaj unsuru önemli yerler, eğim, yön, iletim hattına uzaklık, taşıma yollarına uzaklık kullanılmıştır (Watson ve Hudson, 2015).

Hem arazi ve hem de arazi özelliklerinden yola çıkılarak, Adıyaman Besni ilçesinde kurulabilecek güneş santrali ele alınmıştır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Güneş Enerjisi Santrali (GES) yapılabilecek alanlar, GES için yapılması gereken işlemler adımları incelenmiştir (Solğun, 2019).

Türkseven (2019), bu çalışma ile Eskişehir’de güneş enerji santrali için uygun olan alanların Çok Kriterli Karar Verme metotlarından Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak CBS yardımıyla analiz edilip. Kurulu olan güneş santrallerinin uygunluğu değerlendirilmiştir.

Akçay (2019), Ekonomik, teknik, sosyal ve coğrafi ana kriterler ve alt kriterler yardımı ile en iyi alternatif lokasyonu seçmek için hibrit bir AHP- TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile bulunmuş ve alternatifler TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Çalışmada Mersin’in güneş enerjisi santrali için en iyi alternatif yer olduğu tespit edilmiştir.

Amerika’nın Colorado eyaletinde solar potansiyel, ideal arazi örtüsü, popülasyon yoğunluğu, yola uzaklık, korunan alanlar, iletim hattına uzaklık değişkenleri baz alınarak CBS modellemesi ile ÇÖKV yöntemleri kullanılarak en uygun bölgeler tespit edilmiştir (Janke, 2010).

Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanlar AHP yöntemi kullanılarak CBS ile haritalanmıştır. Konya ilinde yapılan bu çalışmada yerleşim yerlerine uzaklık, arazi kullanımı, eğim, trafo merkezine uzaklık, iletim hatlarına uzaklık, yol ve demiryoluna

uzaklık gibi çeşitli kıstaslar kriterlendirilmiştir. Bu kriterlerden yola çıkılıp CBS, ÇÖKV ve AHP yöntemleri kullanılarak en uygun güneş santrali lokasyonları bulunmuştur (Uyan, 2016).

(Iva Gašparovi'c, 2019), Hırvatistan'da yapılan bu çalışmada en uygun lokasyon seçiminde iklimsel, jeolojik, mekânsal ve çevresel faktörler kullanılmıştır. Bu faktörler kullanılarak CBS ve AHP yardımı ile bir sonuca varılmıştır

(Nazari ve ark, 2018) İran'da yapılan bu çalışmada tarihi alanlar, korunan alanlar, doğal yaşama uzaklık, ana yola uzaklık ve iletim hattına uzaklık değişkenleri göz önünde bulundurulmuştur. ÇÖKV ve TOPSİS ile en iyi lokasyon belirlenmiştir.

(Wang ve ark, 2020) Vietnam'ın mekong deltası için yapılan bu çalışmada lokasyon seçiminde sıcaklık, rüzgar hızı, güneşli saat sayısı ve yükseklik kriterleri baz alınmıştır. Bu kriterler bulanık analitik ağ süreci ve veri analiz yöntemleri kullanılarak sonuçlandırılmıştır.

(Lee ve ark, 2017), Tayvan'da yapılan bu çalışmada arazi maliyeti, panel maliyeti, onarım ve tamir maliyeti, alan kullanışlılığı, altyapı maliyeti, popülasyon yoğunluğu, toprak kalitesi, hava, tarımsal etki, gelecekte büyüme kapasitesi kriterleri göz önünde bulundurularak bir çalışma yapılmıştır. Bu kriterler VIKOR yöntemi ve Bulanık Mantık yardımıyla değerlendirilerek Tayvan'daki en iyi lokasyon seçilmiştir.

(Jun ve ark, 2013), Çin'de yapılan bu araştırmada ELECTRE yöntemi kullanılarak hibrit güneş ve rüzgâr santrali için lokasyon seçimi yapılmıştır.

(Brewer ve ark, 2014), Amerika'da yapılan bu çalışmada yollara olan uzaklık, solar radyasyon, nehirlerle uzaklık, eğim, iletim hatlarına uzaklık değişken olarak belirlenmiş CBS kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

(Wu ve ark, 2019), Çin'de yapılan bu çalışmada güneşli gün sayısı, ortalama sıcaklık, iletim hattına uzaklık, su kaynaklarına uzaklık, yola uzaklık, toprak yapısı ve jeoloji, çevreye olan etki, bölgesel ekonomiye katkısı, emisyonu olan faydası gibi değişkenler baz alınarak PROMETHEE yöntemiyle sonuca ulaşılmıştır.

(Yousefi ve ark, 2018), İran'da yapılan bu çalışmada değişken olarak yollara uzaklık, faylara olan uzaklık, kente uzaklık, eğim, yükseklik toprak kullanımı, korunan alanlar, nehire uzaklık, güneşli gün sayısı baz alınmıştır. CBS ve bulanık mantık ile sonuca varılmıştır.

(Akkas ve ark, 2016), Türkiye'de yapılan bu tez çalışmasında İç Anadolu bölgesinde kurulacak güneş santrali için en uygun yer seçiminde ÇÖKV yöntemlerinden; AHP, TOPSİS, VIKOR, ELECTRE yöntemleri kullanılmıştır.

(Fang ve ark, 2018), Çin’de yapılan bu çalışmada 10 mw boyutunda yapılacak güneş santrali için kriterler belirlenmiş ve ÇÖKV yöntemi ile en uygun yer seçilmiştir.

(A. Tunc, 2019), Ülkemizde İstanbul ele alınarak yapılan bu çalışmada CBS, AHP ve ÇÖKV yöntemi kullanılmıştır.

(Rogna, 2020), İtalya’da yapılan bu çalışmada büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için en optimal yer seçilen beş kriter yardımı ile seçilmiştir. Ayrıca ÇÖKV yöntemlerinden de faydalanılmıştır.

(Sindhu ve ark, 2017), Hindistan’da yapılan bu çalışmada çok kriterli karar verme methodu, AHP, TOPSİS yöntemleri kullanılmıştır.

(Asadi ve Houssein, 2019), Doğu Azerbeycan’da yapılan bu çalışmada ÇÖKV yöntemleri ve CBS kullanılarak bölgedeki rüzgâr ve güneş enerjisi santrali kuruluma uygun yerler tespit edilmiştir.

(Tablo 3.1)’de önceki yapılan çalışmalar incelenmiş ve gruplandırılmıştır. Kriterlerin ülkelerin bulunduğu coğrafik yapıya ve yönetmeliklere göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Tunceli için yapılan bu tez çalışmasında geçmişte yapılan çalışmalar ile benzer kriterler kullanılacağı gibi bunun yanında Tunceli iline özel olan bazı risklerde göz önünde bulundurulmuştur. Bu riskler, göz önünde bulundurulmadan yapılacak yatırımın santral üzerinde geri dönüşü olmayacak afetlere ve kazalara yol açacağı bilinmelidir.

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, santral kurulumu yer seçiminde CBS ve ÇÖKV yöntemlerinden faydalandığı görülmektedir. Tunceli ili özelinde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Güneş potansiyeli yüksek, Tunceli ili için böyle bir çalışmanın bulunmamasından dolayı yapılan çalışmanın Tunceli ve ülke ekonomisi açısından kıymetli olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 3.1. Önceki çalışmalar

Çalışma	Uygulanılan Ülke/Şehir	Metot	Dikkate alınan yer seçim kriterleri
(Kereush ve Perovych, 2017)	Ukrayna	ÇÖKV, AHP	Solar radyasyon, eğim, yön, iletim hatlarının kapasitesi, nüfusa yakınlık, işletmelere yakınlık, hava sıcaklık ortalaması, çok katlı evlere uzaklık, yerleşim yerine yakınlık, arazi örtüsü, kıyı şeridinde uzaklık, korunan alanlar, yüksek rakımlı bölgeler
(Lee ve ark, 2017)	Herhangi	FANP, VIKOR	Hava durumu, nüfus yoğunluğu, alt yapı maliyeti, panel maliyeti, arazi maliyeti, toprak kalitesi, gelecek için tesisin büyütülebilmesi
(Wang ve ark, 2020)	Vietnam	ÇÖKV, FAHP, TOPSIS	Sıcaklık, güneşli saat, nem, ana yola uzaklık, potansiyel talep, elektrik hattına uzaklık, konstrüksiyon maliyeti, yönetim maliyeti, ekolojik durum, rakım
(Nazari ve ark, 2018)	İran-Mahalat	CBS, Bulanık mantık	Tarımsal kapasite, eğim, arazinin yönü, ana yola uzaklık, iletim hatlarına uzaklık, şehre uzaklık, trafo merkezine uzaklık, solar radyasyon potansiyeli, ortalama sıcaklık
(Yimen ve Dagbasi, 2019)	Kamerun	ÇÖKV, Retscreen, AHP	Eğim, tarımsal kapasite, yön, elektrik hattına uzaklık, köye uzaklık, trafoya uzaklık, solar radyasyon, ortalama sıcaklık, ortalama rüzgar hızı, karbon tasarrufu, konutlara uzaklık
(Iva Gašparovi'c, 2019)	Hırvatistan	CBS, AHP	Yerleşim yerine uzaklık, yola uzaklık, demiryoluna uzaklık, elektrik hattına uzaklık, arazi örtüsü
(Charabi ve Gastli, 2010)	Umman	CBS, ÇÖKV, Bulanık mantık	Solar radyasyon, araziye erişim, Arazi kullanımı, eğim, yön, hassas alanlar, toz riski, hatta uzaklık,
(Janke, 2010)	Colarado	ÇÖKV, CBS	Solar potansiyel, ideal arazi örtüsü, popülasyon yoğunluğu, yola uzaklık, korunan alanlar, iletim hattına uzaklık
(Asakereh ve ark, 2017)	İran-Khuzestan	CBS, Bulanık mantık, AHP	Korunan alanlar, su kaynağına uzaklık, eğim, tarım alanları, yola uzaklık, yerleşim bölgesine uzaklık
(Güçlüer ve Batuk, 2011)	Konya	ÇÖKV, CBS	Havalimanına uzaklık, trafo merkezine uzaklık, fay hattına uzaklık, kuş göç yoluna uzaklık, enerji nakil hattına uzaklık, nehirlere uzaklık, çevre koruma alanları, eğim, şehirseller alanlar
(Uyan, 2016)	Konya	ÇÖKV, AHP, CBS	Yerleşim yerlerine uzaklık, arazi kullanımı, eğim, trafo merkezine uzaklık, iletim hatlarına uzaklık, yol ve demiryoluna uzaklık
(Yousefi ve ark, 2018),	İran	CBS, Bulanık mantık	Yollara uzaklık, faylara olan uzaklık, kente uzaklık, eğim, yükseklik toprak kullanımı, korunan alanlar, nehirlere uzaklık, güneşli gün sayısı
(Wu ve ark, 2019)	Çin	PROMETHEE	Güneşli gün sayısı, ortalama sıcaklık, iletim hattına uzaklık, su kaynaklarına uzaklık, yola uzaklık, toprak yapısı ve jeoloji, çevreye olan etki, bölgesel ekonomiye katkısı, emisyonu olan faydası
(Brewer ve ark, 2014),	Amerika	CBS	Yollara olan uzaklık, solar radyasyon, nehirlere uzaklık, eğim, iletim hatlarına uzaklık

4.2. Materyal

Tezin, Bölüm 3’de verilen her bir kritere ait haritalar ve sayısal değerler ışığında yer seçimi probleminin çözümünde kullanılacak veri oluşturulmuştur. Bu veride yer alan çoğu kriter için 5’li dilsel skala kullanılarak değerler üretilmiştir. Güneş radyasyonu kriteri için son 10 yılın değerlerinin ortalaması alınarak nümerik bir veri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan skala Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu skala 1 ile 5 arası olup 1 değeri çok kötü, 2 değeri kötü, 3 değeri normal, 4 değeri iyi, 5 değeri ise çok iyi olarak gruplandırılmıştır. Neticede elde edilen ve ÇÖKV metodları ile yer seçim probleminin çözümünde kullanılacak veri seti Tablo 4.2’deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.1. Değerlendirmede kullanılan 1-5 skalası

Dilsel ifade	Karşılık gelen sayısal değer
Çok iyi	5
İyi	4
Normal	3
Kötü	2
Çok kötü	1

Tablo 4.2. Tunceli ilçelerinin kriterlere göre değerlendirilmesi

Kriter/ Alternatif yer	Merkez	Pülümür	Ovacık	Mazgirt	Hozat	Çemişgezek	Nazımiye	Pertek
Toprak	Çok iyi	Kötü	İyi	Çok iyi	Kötü	Çok iyi	İyi	Çok
Fay hattı	Çok iyi	Kötü	Kötü	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Kötü	Çok
Rekreasyon	Kötü	Çok iyi	Çok	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Kötü	Çok
Heyelan	Kötü	İyi	İyi	Kötü	Kötü	Kötü	İyi	İyi
Eğim	Kötü	Normal	Normal	İyi	Normal	Çok iyi	Normal	Çok
Güneş	4,3150	4,3200	4,3300	4,3200	4,3400	4,3075	4,3190	4,3500
Yükseklik	Normal	Kötü	Kötü	Normal	Kötü	İyi	Normal	İyi
Yön	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
Trafo	İyi	Çok iyi	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	İyi

4.3. Metot

4.3.1. En iyi-en kötü yöntemi

En iyi ve en kötü yöntemi (BWM), Rezaei (2015) tarafından önerilen bir ÇÖKV yöntemidir. BWM, oldukça tutarlı ve güvenilir sonuçlar veren çok yapılandırılmış bir ikili karşılaştırma sağlar. Bunun yanı sıra tam bir ikili karşılaştırma matrisi yerine iki adet mukayese vektörü kullanır. Bunlar en iyi-diğer ve diğer-en kötü matrisleridir. Bu durum, analist ve karar vericiden daha az zaman alarak daha az veri toplama çabası anlamına gelir. Bu metot, kesirleri kullanan yöntemlere kıyasla yalnızca tam sayı değerlerini kullanır (Rezaei ve ark. 2016). BWM'nin uygulama aşamaları aşağıdaki gibidir.

1. Adım: Bu adımda, karar kriter kümesi belirlenir. Bir karara varmak için kullanılması gereken kriterleri ($c_1, c_2, \dots, c_n$) olarak ele alıyoruz.

2. Adım: En iyi (örneğin en çok arzu edilen, en önemli) ve en kötü (örneğin en az istenen, en az önemli) kriterler belirlenir. Bu adımda, karar verici genel olarak en iyi ve en kötü kriterleri belirler. Bu aşamada karşılaştırma yapılmaz.

3. Adım: 1 ile 9 arasında bir skala kullanılarak diğer tüm kriterlere göre en iyi kriterin tercihi belirlenir. En iyi-Diğerleri matrisi $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ şeklinde ifade edilebilir.

Burada a_{Bj} en iyi kriter B 'nin diğer j kriterine üstünlüğünü göstermektedir. Burada $a_{BB} = 1$ olduğunu da ayrıca belirtmek gereklidir.

4. Adım: 1 ile 9 arasında bir skala kullanılarak diğer tüm kriterlere göre en kötü kriterin tercihi belirlenir. Diğerleri-En kötü matrisi $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$ şeklinde ifade edilebilir.

Burada a_{jW} j kriterinin en kötü kriter W 'ye üstünlüğünü göstermektedir. Burada $a_{WW} = 1$ olduğunu da ayrıca belirtmek gereklidir.

5. Adım: Bu adımda optimal kriter ağırlıkları ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$) bulunur.

Kriterler için optimal ağırlık, her bir w_B/w_j ve w_j/w_W çifti için $w_B/w_j = a_{jW}$ 'ye sahip olduğumuz ağırlıktır. Bunları tüm j 'ler adına karşılamak için, maksimum mutlak farkların $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ ve $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$ tüm j 'ler için minimize edildiği bir çözüm bulunmalıdır. Ağırlıklar için olumsuz olmama ve toplam koşulu dikkate alındığında matematiksel problem aşağıdaki şekilde düzenlenebilir:

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\}$$

a.k.a

$$\sum w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \text{ tüm } j\text{'ler için}$$

Problem aşağıdaki şekilde dönüştürülmelidir:

$$\min \xi$$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \text{ tüm } j\text{'ler için}$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi \text{ tüm } j\text{'ler için}$$

$$\sum w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{ tüm } j\text{'ler için}$$

Problem çözerken, en uygun ağırlıklar $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ ve ξ^* hesaplanır. Daha sonra tutarlılık oranı tutarlılık indeksi ile hesaplanır (Tablo 4.3). Buradan, ξ^* ne kadar büyükse, tutarlılık oranı o kadar yüksek ve karşılaştırmalar o kadar az güvenilir hale geldiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.3. BWM tutarlılık indeksi

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık indeksi	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

4.3.2. TOPSIS yöntemi

Çok ölçekli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS en iyi alternatifi belirlemek için 1981 yılında (Hwang ve Yoon, 1981) tarafından geliştirilmiştir. Pozitif ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktası vardır. Bu yöntemde pozitif olan ideal çözüme en yakın seçenek belirlenir. Bu çözümde maliyet minimuma fayda oranı maksimuma çıkar. Negatif ideal çözüm ise çözüme en uzak seçeneği belirler. Pozitif ideal çözümün tam tersi maliyet maksimum fayda minimum çıkar. Yöntemin uygulanması için

minimum iki adet karar seçeneği şarttır. Karışık olmayan ve pek fazla matematiksel model içermeyen bir analizde TOPSIS kullanım kolaylığı açısından birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle işletme kuruluş yeri seçimi, maden sahası araştırmalarında ve tedarikçi değerlendirilmesi gibi birçok konuda yaygın olarak kullanılmaktadır. TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir.

1. Adım: Karar matrisi kullanılarak normalize edilmiş karar matrisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J a_{ij}^2}} \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(4.1)

a_{ij} , i seçeneğinin j ölçütüne göre mevcut performansını göstermektedir.

2. Adım: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi, normalize edilmiş matris ile kriter ağırlıklarının çarpılmasıyla Eşitlik 4.2 yardımıyla elde edilir:

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(4.2)

3. Adım: Pozitif ideal çözüm değerleri ve negatif ideal çözüm değerleri belirlenir.

$$A^+ = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

(4.3)

4. adım: Her bir alternatifin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerlerine olan uzaklıkları hesaplanır.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

(4.4)

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

5. Adım: Her alternatif için TOPSIS yakınlık katsayısı hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (4.5)$$

6. Adım: Analiz sonunda alternatiflerin sıralaması yakınlık katsayısı değerlerinin azalan sıraya göre karşılaştırılması ile belirlenir.

4.3.3. VIKOR yöntemi

VIKOR metodu, çok kriterli kompleks sistemlerin optimizasyonu için geliştirilmiş bir yöntemdir. VIKOR yöntemi esasen, alternatifler ışığında ve değerlendirme kriterleri ile bir uzlaşık çözümün tespit edilmesidir. Bu çözüm ideal çözüme en yakın çözümdür. Uzlaşık çözüm ifadesi, alternatifler için çok kriterli bir sıralama indeksi meydana getirilerek, belirli koşullar altında ideal çözüme en yakın kararın verilmesidir. Her alternatifin karar verme kriterleri ile değerlendirildiğini varsayarsak, ideal olan alternatife yakınlıkları kıyaslanarak uzlaşık sıralamaya ulaşılır. Bu yöntem ile aynı zamanda karar verici grubun sonuç üzerinde etkili olması sağlanır. Karar vericinin, ideal çözüme en yakın çözümü kabul etmesi çözüme ulaşılabilmesi için önemlidir.

1. Adım: Tüm kriterlerin en iyi f_i^* ve en kötü f_i^- değerleri belirlenir.

2. Adım: Her bir alternatif için S_j ve R_j , değerleri hesaplanır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)$$

(4.6)

$$R_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)$$

3. Adım: Her bir alternatif için Q_j değeri $j = 1, 2, \dots, n$, S_j ve R_j kullanılarak hesaplanır.

$$Q_j = v \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1-v) \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

(4.7)

Burada, $S^* = \min_j S_j$, $S^- = \max_j S_j$, $R^* = \min_j R_j$, $R^- = \max_j R_j$ ve $v \in [0,1]$

özniteliklerin çoğunluğunun karar verme stratejisinin ağırlığıdır.

4. Adım: Değerlere göre ve azalan sırayla alternatifler sıralanır (S, R ve Q Sıralaması yapılır).

5. Adım: Aşağıdaki iki şart sağlınırsa en düşük Q (minimum) değeri ile A_1 alternatifi uzlaşık bir çözüm olarak ortaya çıkar.

Birinci şart: Kabul edilebilir avantaj $Q_{A_2} - Q_{A_1} \geq DQ$ bulunan ikinci alternatif Q ; $DQ = 1/(n-1)$ en iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belli bir farkın olduğunun kanıtlanması gerekir.

İkinci şart: Kabul edilebilir bir karar vermede Alternatif A_1 aynı zamanda S ve/veya R ile en iyi sıralanan olmalıdır. Bu uzlaşık çözüm, karar verme sürecinde bize yardım edecektir. Çoğunluk kurallarıyla oylama yapılabilir. ($v > 0.5$) gereklidir. Uzlaşma için $v \approx 0.5$, veto içinde ($v < 0.5$) kabul edilir. Burada v , karar verme stratejisinin ağırlığıdır. Koşullardan biri karşılanmazsa, aşağıdakilerden oluşan bir dizi uzlaşma çözümü önerilir:

- Eğer ikinci şart sağlanamazsa A_1 ve A_2 alternatifleri
- Eğer birinci şart sağlanmıyorsa $A_1, A_2, \dots, A_N$ alternatifleri dikkate alınarak eşitlik şu şekilde elde edilir. $Q_{A_N} - Q_{A_1} < DQ$ ilişkisinden belirlenir.

Uzlaşık çözüm kümesinde Q değerlerine göre sıralama yapılır. En iyi alternatif minimum Q değerine sahip alternatiflerden biridir.

4.3.4. SAW (Basit toplamli ağırlıklandırma) yöntemi

Churchman ve Ackoff bu yöntemi ilk olarak 1954 yılında kullanmıştır (Churchman ve Ackoff, 1954). Basit Toplamli Ağırlıklandırma (SAW) yöntemi çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en iyi bilinen ve en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Oldukça basit olması sebebiyle çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntem olduğu söylenebilir. Özellikle tek boyutlu karar verme problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu yüzden ağırlıklandırılan değerlerin aynı birimde olması önemlidir. Bu yöntemde her alternatife bir değer atfedilir. Bu değerlerin ağırlıklı toplamı bulunur. Alternatiflerin verilen değerlere göre değerlendirilmesi yapılır. Değerlerin önem ağırlığı belirlenir, ağırlıklı kısmi değerleri toplanır ve bir sonuca ulaşılır. Bu sonuçlar arasında en büyük değerli alternatif en iyisi olarak seçilir.

4.3.5. Gri ilişkisel analiz (GRA) yöntemi

GRA, Çinli Profesör Deng tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde bilginin bir kısmı bilinir bir kısmı ise bilinmez. Bilinen kısım ile ilgili çözümler ortaya konulur bilinmeyen

kısım ile ilgili hiçbir çözüm tanımlanamaz. GRA en iyi çözümü bulmaya çalışmaz ancak iyi ve uygun bir çözüm geliştirebilir. Bu yöntem çeşitli mühendislik ve yönetim alanlarında kullanılmıştır (Deng, 1982).

6 adımda sonuca ulaşan GRA'nın uygulama adımları ise şu şekildedir.

1. Adım: Çok ölçekli karar verme yöntemlerinin ilk adımı olan karar matrisi oluşturulur.

2. Adım: Tüm ÇÖKV metodlarında olduğu gibi verilerin normalize edilme işlemi yapılır (Eşitlik 4.8, 4.9, 4.10).

- Eğer değişkenin yüksek değerde olması karar için iyi ise (fayda kriteri ise)

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (4.8)$$

- Eğer değişkenin düşük değerde olması karar için iyi ise (maliyet kriteri ise)

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (4.9)$$

- Eğer ideal değer karar için iyi ise (optimallik durumu)

$$x_i(k) = 1 - \frac{x_i^0(k) - x^0}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (4.10)$$

3. Adım: x^0 serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Eşitlik 4.11'de tanımlanmış olsun.

$$x_i = (x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.11)$$

4. Adım: k, n uzunluğundaki serideki k. sırayı gösterebilir. $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k. noktadaki gri ilişkisel katsayı olup Eşitlik 4.12, 4.13, 4.14, ve 4.15'e göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{max}} \quad (4.12)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (4.13)$$

$$\Delta_{min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (4.14)$$

$$\Delta_{max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (4.15)$$

$\xi \in (0,1)$ arasında bir katsayıdır. $j = 1,2, \dots, m; k = 1,2, \dots, n$. ξ işlevi, Δ_{0i} ile Δ_{max} arasındaki farkı ayarlamaktadır. Çalışmalar ξ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir.

5. Adım: Gri ilişki derecesi hesaplanır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (4.16)$$

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir. Bu durum Eşitlik 4.17'e göre hesaplanır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) (w_i(k)) \quad (4.17)$$

4.3.6. ELECTRE yöntemi

İlk ELECTRE (Elimination et choix traduisant la realite) yöntemi, Avrupalı danışmanlık şirketi SEMA'nın belirli bir gerçek dünya problemi ile ilgili çalışmalarını rapor eden (Benayoun ve ark 1966) tarafından ortaya atılmıştır. Ancak ilk dergi makalesi, (Roy,1968)'in yöntemi ayrıntılı olarak tanımladığı 1968 yılında yayınlanmıştır. Daha sonra bu metot, ELECTRE I olarak adlandırılmıştır. Metot, her bir değerlendirme faktörü için ikili üstünlük kıyasına dayanır. Her bir ölçütün verimlilik ve önem ölçüsü tespit edilir. Belirlenen verimlilik ölçüsü üzerinden her seçenek değerlendirilir. Karar vericinin en önemli görevi uyumluluk ve uyumsuzluk limitlerini belirlemesidir. Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir.

1. Adım: Karar matrisinin normalizasyonu yapılır. Fayda Eşitlik 4.18 ve maliyet Eşitlik 4.19 kriterleri için aşağıdaki dönüşüm kullanılır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (4.18)$$

$$r_{ij} = \frac{1/a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (1/a_{kj})^2}} \quad (4.19)$$

2. Adım: Sütunlardaki normalleştirilmiş karar matrislerini ilişkili ağırlıklarla çarpılır. Ağırlıklı ve normalleştirilmiş karar matrisi şu şekilde elde edilir:

$$V_{ij} = r_{ij} * w_j \quad j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.20)$$

w_j kriter ağırlıklarını göstermektedir. Ve $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 'dir.

3. Adım: Uyum ve uyumsuzluk seti belirlenir.

$$C(p, q) = \{j, v_{pj} \geq v_{qj}\} \quad (4.21)$$

$$D(p, q) = \{j, v_{pj} < v_{qj}\} \quad (4.22)$$

4. Adım: Uyum ve uyumsuzluk matrisleri hesaplanır.

$$C_{pq} = \sum_{j \in C_{pq}} w_j / \sum_{j=1}^n w_j \quad \text{where } 0 \leq C_{pq} \leq 1 \quad (4.23)$$

$$D_{pq} = \sum_{j \in D_{pq}} |v_{pj} - v_{qj}| / \sum_{j=1}^n |v_{pj} - v_{qj}| \quad \text{where } 0 \leq D_{pq} \leq 1 \quad (4.24)$$

5. Adım: Uyum ve uyumsuzluk dominant matrisi aşağıdaki formülasyon ile belirlenir.

$$\bar{D} = \sum_{k=1, k \neq l}^m \sum_{l=1, l \neq k}^m D_{pq} / m(m-1) \quad (4.25)$$

6. Adım: Uyum ve uyumsuzluk değerleri hesaplanır.

$$C_p = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m C_{pk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m C_{kp} \quad (4.26)$$

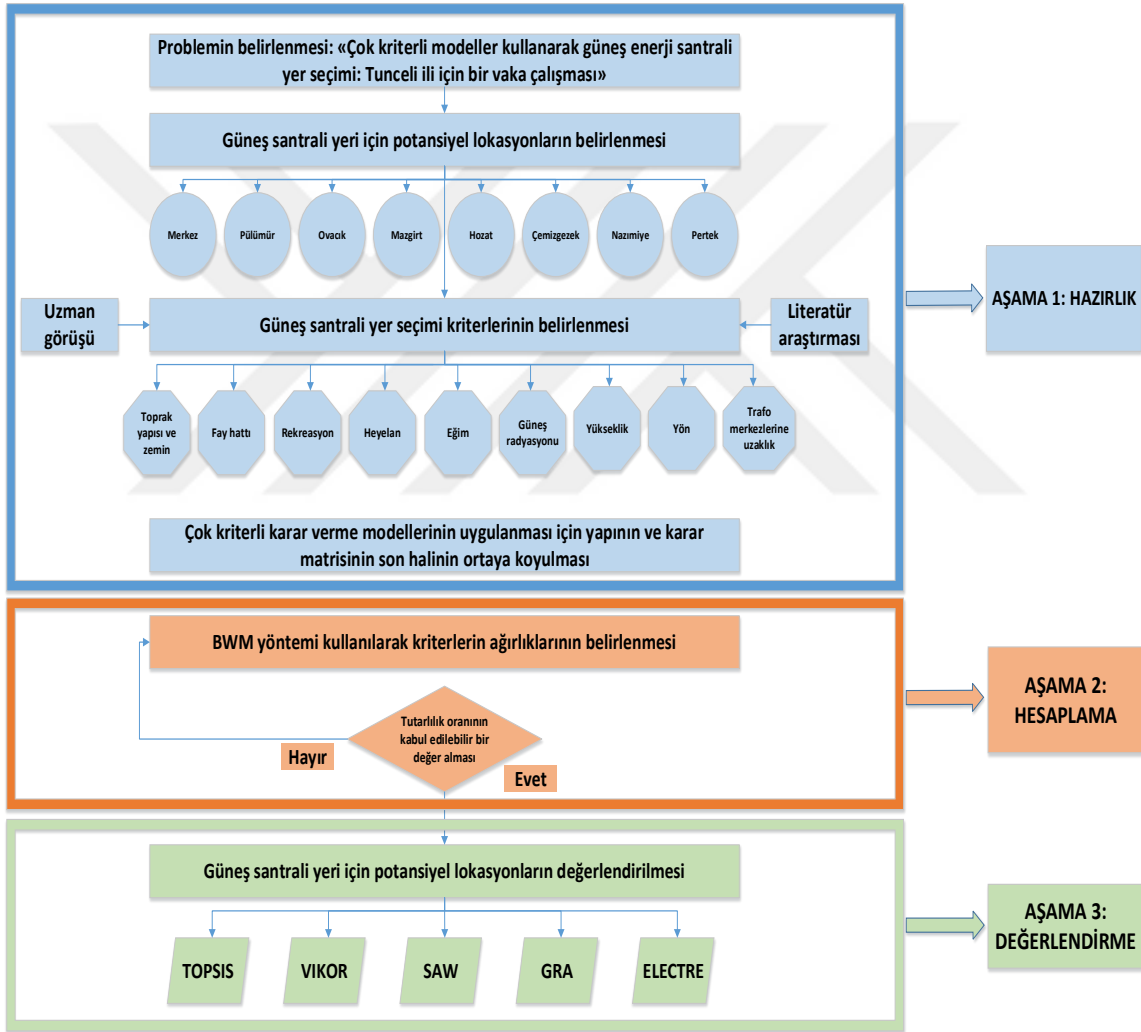
$$D_p = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m D_{pk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m D_{kp} \quad (4.27)$$

ELECTRE II'nin nihai sıralaması Eşitlik 4.28 ile belirlenir.

$$Son\ sıralama = C_p - D_p \quad (4.28)$$

En iyi seçenek, dominant değerin maksimum olması ve uyumsuzluk değerinin minimumda olması koşulunu sağlamalıdır.

4.3.7. Metotun bütünsel gösterimi



Metot bütünsel olarak ele alınırsa 1. aşamada hazırlık evresi bulunuyor. Bu aşamada potansiyel lokasyonlar belirlenip uzman görüşü ve literatür taraması ile elde edilen verilerle yer seçimi kriterleri belirlenmiş ve ÇÖKV modelleri uygulanarak karar matrisi elde edilmiştir.

Kullanılan metottun 2.aşamasında ise BWM yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Tutarlılık oranı kabul edilebilir bulunmuş ve hesaplamalar yapılmıştır.

Metottun 3.aşamasında değerlendirme yapılmıştır. 2.aşamada elde edilen hesaplamalar potansiyel lokasyonların değerlendirilmesi için TOPSİS, VİKOR, SAW, GRA ve ELECTRE yöntemleriyle değerlendirilmiştir.



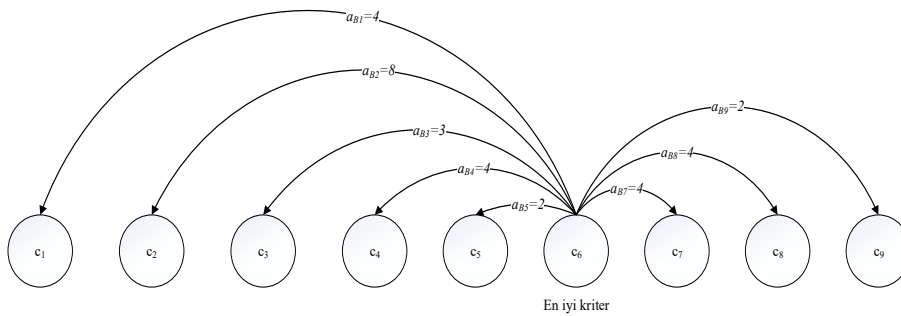
5. SAYISAL SONUÇLAR

5.1. En İyi-En Kötü Yöntemi ile Güneş Santrali Yer Seçimi Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi

1. Adım: Bu adımda, güneş santrali yer seçiminde doğrudan etkisi bulunan kriterlerin belirlenmesinden oluşur. ($c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9$) kriterleri sırasıyla toprak yapısı ve zemin, fay hattı, rekreasyon, heyelan, eğim, güneş radyasyonu, yükseklik, yön ve trafo merkezlerine uzaklık kriterlerini ifade etmektedir.

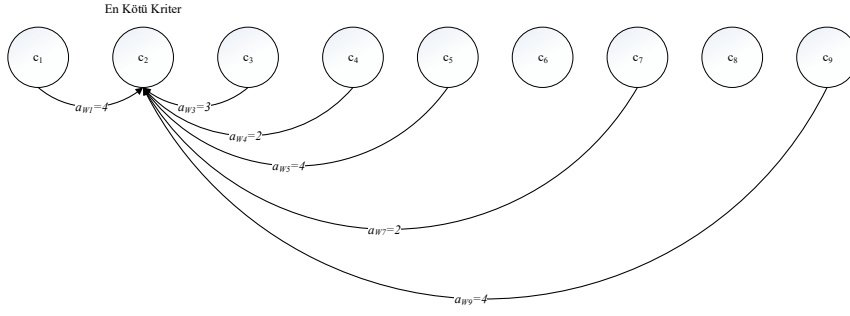
2. Adım: En iyi (örneğin en çok arzu edilen, en önemli) ve en kötü (örneğin en az istenen, en az önemli) kriterler belirlenmiştir. Yapılan bu değerlendirme en iyi kriter (c_6 : Güneş radyasyonu) ve en kötü kriter (c_2 : Fay hattı) olarak belirlenmiştir.

3. Adım: Bu adımda en iyi kriter ile diğer kriterler arasında karşılaştırma yapılarak En iyi-Diğerleri matrisi $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, a_{B3}, a_{B4}, a_{B5}, a_{B7}, a_{B8}, a_{B9})$ oluşturulur. Kriterlerin önemi birbirine çok yakın ya da eşitse 1 değerini, kriterler arasında arasındaki önem farkı büyük ise 9 değerini alır. En iyi kriter c_6 ve en kötü kriter c_2 olarak belirlendiğinden matristeki en büyük karşılaştırma değeri $a_{B2} = 8$ ' dir. Yapılan diğer karşılaştırmalar Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. En iyi-Diğerleri matrisi değerlendirmesi

4. Adım: Bu adımda en kötü kriter ile diğer kriterler arasında karşılaştırma yapılarak En kötü-Diğerleri matrisi $A_W = (a_{W1}, a_{W3}, a_{W4}, a_{W5}, a_{W7}, a_{W8}, a_{W9})$ oluşturulur. Bu aşamada en kötü ile en iyi arasında bir değerlendirme yapılmaz. Yapılan karşılaştırmalar Şekil 5.2' de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Diğerleri- En kötü matrisi değerlendirmesi

5. Adım: Bu adımda Rezaei (2015) prosedürü izlenerek matematiksel model aşağıdaki gibi oluşturulur.

$\min \xi$

a. k. a

$$\left| \frac{c_6}{c_1} - 4 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_6}{c_2} - 8 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_6}{c_3} - 3 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_6}{c_4} - 4 \right| \leq \xi,$$

$$\left| \frac{c_6}{c_5} - 2 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_6}{c_7} - 4 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_6}{c_8} - 4 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_6}{c_9} - 2 \right| \leq \xi,$$

$$\left| \frac{c_1}{c_2} - 4 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_3}{c_2} - 3 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_4}{c_2} - 2 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_5}{c_2} - 4 \right| \leq \xi,$$

$$\left| \frac{c_7}{c_2} - 2 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_8}{c_2} - 2 \right| \leq \xi, \left| \frac{c_9}{c_2} - 4 \right| \leq \xi$$

$$c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6 + c_7 + c_8 + c_9 = 1$$

$$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9 \geq 0$$

Oluşturulan model Lingo 19.0 programında çözdürülmüş ve Tablo 5.1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.1. Kriter ağırlıkları

Kriter	Ağırlık
ξ	1
c_1	0,113
c_2	0,038
c_3	0,084
c_4	0,068
c_5	0,113
c_6	0,334
c_7	0,068
c_8	0,068
c_9	0,113

ξ değeri ve Tablo 4.3’de Tutarlılık Endeksi kullanılarak tutarlılık hesabı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Tutarlılık\ Oranı = \frac{\xi}{Tutarlılık\ Endeksi} \quad (4.19)$$

Yapılan en büyük değerlendirme $a_{B2} = 8$ olduğundan tablodan 4,47 değeri seçilir ve tutarlılık oranı 0,223 olarak hesaplanır.

5.2. TOPSIS Uygulaması

Tunceli bölgesi için güneş tarlası yer seçimi probleminin ikinci aşamasında, alternatif lokasyonlardan en uygun olanının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden ilki TOPSIS metodudur. TOPSIS metodunda ilk olarak karar matrisi belirlenir. Burada Tablo 5.2’de verilen dilsel ifadeler 1-5 skalası kullanılarak sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Bu skalada verilen Çok İyi “5” değerini ifade ederken Çok Kötü “1” değerini göstermektedir. Diğer değerler bu aralıkta birer artışı olarak ifade edilmiş ve dönüşüm bu şekilde yapılmıştır. Burada “Güneş Radyasyonu” kriterine ait verilerin dilsel ifadelerle verilmediğine ve nümerik olarak son on yılın ortalama değerleri hesaplanarak elde edildiğine dikkat edilmelidir. Oluşturulan karar matrisinin son hali Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Karar matrisi

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezlerine uzaklık
Merkez	5	5	2	2	2	4.315	3	4	4
Pülümür	2	2	5	4	3	4.320	2	4	5
Ovacık	4	2	1	4	3	4.330	2	4	3
Mazgirt	5	5	5	2	4	4.320	3	4	3
Hozat	2	5	5	2	3	4.340	2	4	3
Çemişgezek	5	5	5	2	5	4.308	4	4	3
Nazımiye	4	2	2	4	3	4.319	3	4	3
Pertek	5	5	5	4	5	4.350	4	4	4

Tablo 5.2’de verilen değerler, Eşitlik 4.1 kullanılarak normalize karar matrisi, Tablo 5.3’de verildiği şekliyle elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Normalize edilmiş karar matrisi

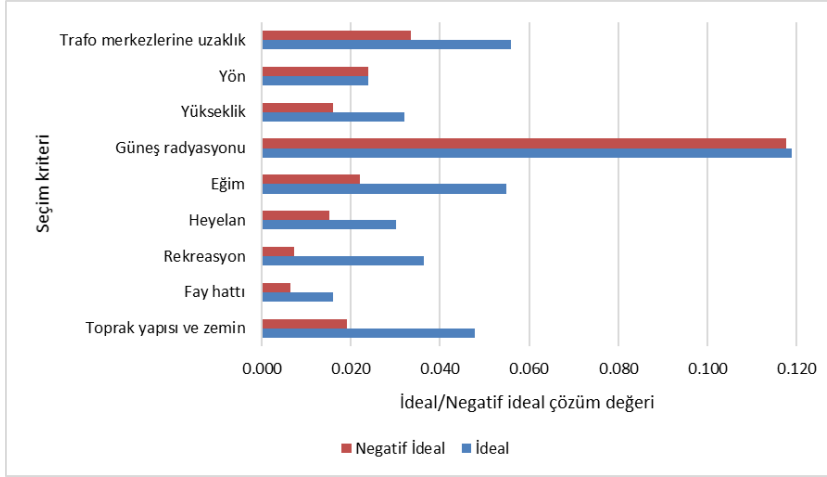
Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezlerine uzaklık
Merkez	0.423	0.427	0.173	0.224	0.194	0.353	0.356	0.354	0.396
Pülümür	0.169	0.171	0.432	0.447	0.291	0.353	0.237	0.354	0.495
Ovacık	0.338	0.171	0.086	0.447	0.291	0.354	0.237	0.354	0.297
Mazgirt	0.423	0.427	0.432	0.224	0.389	0.353	0.356	0.354	0.297
Hozat	0.169	0.427	0.432	0.224	0.291	0.355	0.237	0.354	0.297
Çemişgezek	0.423	0.427	0.432	0.224	0.486	0.352	0.475	0.354	0.297
Nazımiye	0.338	0.171	0.173	0.447	0.291	0.353	0.356	0.354	0.297
Pertek	0.423	0.427	0.432	0.447	0.486	0.356	0.475	0.354	0.396

Daha sonra, Tablo 5.3’de elde edilen değerler ile BWM metodu uygulanarak elde edilen kriter ağırlıkları çarpılarak ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Bu hesaplamada Eşitlik 4.2 yardımıyla yapılır. Tablo 5.4, elde edilen ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisini göstermektedir.

Tablo 5.4. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreas yon	Heyelan	Eğim	Güneş radyas yonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezlerine uzaklık
Merkez	0.048	0.016	0.015	0.015	0.022	0.118	0.024	0.024	0.045
Pülümür	0.019	0.006	0.036	0.030	0.033	0.118	0.016	0.024	0.056
Ovacık	0.038	0.006	0.007	0.030	0.033	0.118	0.016	0.024	0.034
Mazgirt	0.048	0.016	0.036	0.015	0.044	0.118	0.024	0.024	0.034
Hozat	0.019	0.016	0.036	0.015	0.033	0.118	0.016	0.024	0.034
Çemişgezek	0.048	0.016	0.036	0.015	0.055	0.118	0.032	0.024	0.034
Nazımiye	0.038	0.006	0.015	0.030	0.033	0.118	0.024	0.024	0.034
Pertek	0.048	0.016	0.036	0.030	0.055	0.119	0.032	0.024	0.045

Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi değerleri elde edilmesinden sonra, her bir kriter için, ideal ve negatif ideal çözüm değerleri belirlenmiştir. Bunun için Eşitlik 4.3 kullanılmıştır. Her bir kriter için ideal ve negatif ideal çözüm değerleri Şekil 5.1’de sunulmuştur.



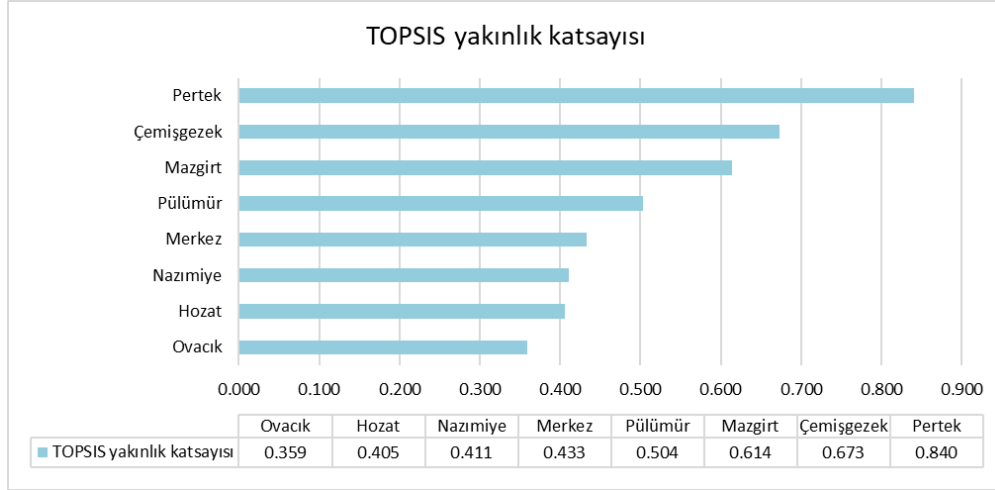
Şekil 5.3. İdeal/Negatif ideal çözüm değerleri

Sonraki adımda, ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin her bir elemanının ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanır. Burada Eşitlik 4.4 yardımıyla bu uzaklıklar belirlenmiş ve Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. İdeal/Negatif ideal çözümden uzaklıklar

Lokasyon	İdeale uzaklık	Negatif İdeale uzaklık
Merkez	0,045	0,034
Pülümür	0,041	0,041
Ovacık	0,048	0,027
Mazgirt	0,030	0,048
Hozat	0,048	0,033
Çemişgezek	0,027	0,056
Nazımiye	0,041	0,029
Pertek	0,011	0,059

Son olarak Eşitlik 4.5 kullanılarak TOPSIS yakınlık katsayısı hesaplanır. Bu değer, nihai TOPSIS skorunu ifade etmekle birlikte, bu değerın yüksek olması (1’e yakın) seçilmesi muhtemel alternatifi, düşük olması (0’a yakın) seçilmemesi muhtemel alternatifi ifade etmektedir. Şekil 5.2’de Tunceli için güneş tarlası yer seçimi problemimize ait nihai TOPSIS yakınlık katsayısı değerleri verilmiştir. Buna göre, Pertek ilçesi 0,840 değeri ile güneş tarlası yer seçimi için belirlenen kriterler altında en uygun lokasyon olarak tespit edilirken, 0,359 değeri ile Ovacık en uygun olmayan lokasyon olarak tespit edilmiştir. Seçim öncelik sıralaması Pertek, Çemişgezek, Mazgirt, Pülümür, Merkez, Nazımiye, Hozat ve Ovacık şeklinde ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.4. TOPSIS yakınlık katsayısı değerleri

5.3. VIKOR Uygulaması

Tunceli ili güneş potansiyelinin değerlendirilmesinde ikinci olarak kullandığımız metot VIKOR yöntemidir. Bu yöntemde en önemli şey uzlaşım'dır. Tablo 5.6'da elde edilen değerler ışığında en uygun ilçe tespit edilecektir. İlk adımda normalleştirilmiş performans matrisi VIKOR yönteminde belirttiğimiz eşitlikler kullanılarak karar matrisinden oluşturulur. İkinci adımda değerler S_j and R_j , ilişkisine göre hesaplanır. Aşağıdaki veriler elde edilir

Tablo 5.6. Normalize edilmiş karar matrisi

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezlerine uzaklık
Merkez	0,000	0,000	0,063	0,067	0,113	0,275	0,033	0,000	0,056
Pülümür	0,113	0,037	0,000	0,000	0,075	0,235	0,067	0,000	0,000
Ovacık	0,037	0,037	0,084	0,000	0,075	0,157	0,067	0,000	0,113
Mazgirt	0,000	0,000	0,000	0,067	0,037	0,235	0,033	0,067	0,113
Hozat	0,113	0,000	0,000	0,067	0,075	0,078	0,067	0,000	0,113
Çemişgezek	0,000	0,000	0,000	0,067	0,000	0,334	0,000	0,000	0,113
Nazımiye	0,037	0,037	0,063	0,000	0,075	0,243	0,033	0,000	0,113
Pertek	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056

Tablo 5.7. Lokasyonların S ve R değerleri

Lokasyon	S Değerleri	R Değerleri
Merkez	0,609	0,275
Pülümür	0,529	0,235
Ovacık	0,572	0,157
Mazgirt	0,555	0,235
Hozat	0,514	0,113
Çemişgezek	0,514	0,334
Nazımiye	0,604	0,243
Pertek	0,056	0,056

3.adımda Q değerleri hesaplanır. $v=0$ kabul edilir 0.1 arttırılarak $v=1$ değerine kadar tüm Q değerleri hesaplanırsa en uygun yerin tüm v değerleri için Pertek ilçesi olduğu görülecektir.

Tablo 5.8. v değerlerine göre Q değerinin değişimi

Lokasyon	Q değeri										
	$v=0$	$v=0,1$	$v=0,2$	$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,5$	$v=0,6$	$v=0,7$	$v=0,8$	$v=0,9$	$v=1$
Merkez	0,788	0,809	0,830	0,851	0,873	0,894	0,915	0,936	0,958	0,978	1,000
Pülümür	0,646	0,667	0,688	0,709	0,730	0,751	0,772	0,792	0,813	0,834	0,855
Ovacık	0,363	0,420	0,477	0,534	0,591	0,648	0,705	0,763	0,820	0,877	0,933
Mazgirt	0,646	0,672	0,697	0,723	0,749	0,774	0,800	0,825	0,851	0,877	0,902
Hozat	0,204	0,266	0,329	0,391	0,454	0,517	0,579	0,642	0,704	0,767	0,829
Çemişgezek	1,000	0,983	0,966	0,949	0,932	0,914	0,897	0,880	0,863	0,846	0,828
Nazımiye	0,674	0,706	0,738	0,769	0,801	0,833	0,864	0,896	0,928	0,959	0,991
Pertek	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

VIKOR yöntemi sonuçları incelendiği takdirde en uygun lokasyonun tüm v değerleri için Pertek ilçesi olduğu görülecektir. Maksimum grup faydası (v) değerlerine göre diğer ilçelerin sıralamaları değişkenlik göstermesine rağmen Pertek sonucu tüm v değerlerinde aynıdır.

5.4. SAW uygulaması

SAW metodunu uygularken ilk olarak karar matrisi normalize edilir. Burada her bir ilgili değer (her alternatif lokasyonun her bir kritere bağlı değeri), değerlendirilen kriter sütunundaki tüm alternatif lokasyonların maksimum değerine bölünerek normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur (Tablo 5.9). Daha sonra her bir alternatif lokasyonun değerlerinin

ağırlıklı toplamı bulunur. Bu sonuçlar arasında en büyük değerli alternatif lokasyon en uygun olarak belirlenir. Tablo 5.10’da ağırlıklı toplam değerleri verilmiştir.

Tablo 5.9. Normalize edilmiş karar matrisi (SAW Uygulaması)

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezle rine uzaklık
Merkez	1,000	1,000	0,400	0,500	0,400	0,992	0,750	1,000	0,800
Pülümür	0,400	0,400	1,000	1,000	0,600	0,993	0,500	1,000	1,000
Ovacık	0,800	0,400	0,200	1,000	0,600	0,995	0,500	1,000	0,600
Mazgirt	1,000	1,000	1,000	0,500	0,800	0,993	0,750	0,750	0,600
Hozat	0,400	1,000	1,000	0,500	0,600	0,998	0,500	1,000	0,600
Çemişgezek	1,000	1,000	1,000	0,500	1,000	0,990	1,000	1,000	0,600
Nazımiye	0,800	0,400	0,400	1,000	0,600	0,993	0,750	1,000	0,600
Pertek	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,800

Tablo 5.10. Alternatif lokasyonlar için ağırlıklı toplam değerleri

Lokasyon	Ağırlıklı toplam değeri
Merkez	0,803
Pülümür	0,826
Ovacık	0,759
Mazgirt	0,860
Hozat	0,771
Çemişgezek	0,915
Nazımiye	0,792
Pertek	0,975

Tablo 5.10’den da görüleceği üzere en yüksek skora sahip alternatif olan Pertek (0,975) ilçesi güneş enerji santrali için en uygun lokasyon olurken, en az uygun lokasyon ise (0,759) değeri ile Ovacık ilçesi belirlenmiştir.

5.5. GRA Uygulaması

Probleme GRA’ın uygulanması aşamasında Bölüm 4.3.5’de detayları verilen adımlar takip edilmiştir. Bu bağlamda ilk adım olarak karar matrisi oluşturulur. Diğer yöntemlerin

uygulanması aşamasında karar matrisi sunulduğundan bu aşamada yeniden verilmesi gerekmemektedir. Daha sonra normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu normalizasyon Eşitlik 4.8 kullanılarak yapılır. Zira burada değerlendirilen tüm kriterler fayda kriteri halindedir. Tablo 5.11’de normalize edilmiş matris bulunmaktadır. Üçüncü adımda $\Delta_{oi}(k)$ değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 5.12’de verilmiştir. Devamında katsayı matrisi hesaplanır. Tablo 5.12’de katsayı matrisi verilmiştir.

Tablo 5.11. Normalize edilmiş karar matrisi (GRA uygulaması)

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezleri ne uzaklık
Merkez	1,000	1,000	0,250	0,000	0,000	0,176	0,500	1,000	0,500
Pülümür	0,000	0,000	1,000	1,000	0,333	0,294	0,000	1,000	1,000
Ovacık	0,667	0,000	0,000	1,000	0,333	0,529	0,000	1,000	0,000
Mazgirt	1,000	1,000	1,000	0,000	0,667	0,294	0,500	0,000	0,000
Hozat	0,000	1,000	1,000	0,000	0,333	0,765	0,000	1,000	0,000
Çemişgezek	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000
Nazımiye	0,667	0,000	0,250	1,000	0,333	0,271	0,500	1,000	0,000
Pertek	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500

Tablo 5.12. $\Delta_{oi}(k)$ değerleri

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezleri ne uzaklık
Merkez	0,000	0,000	0,750	1,000	1,000	0,824	0,500	0,000	0,500
Pülümür	1,000	1,000	0,000	0,000	0,667	0,706	1,000	0,000	0,000
Ovacık	0,333	1,000	1,000	0,000	0,667	0,471	1,000	0,000	1,000
Mazgirt	0,000	0,000	0,000	1,000	0,333	0,706	0,500	1,000	1,000
Hozat	1,000	0,000	0,000	1,000	0,667	0,235	1,000	0,000	1,000
Çemişgezek	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000
Nazımiye	0,333	1,000	0,750	0,000	0,667	0,729	0,500	0,000	1,000
Pertek	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500

Tablo 5.13. Katsayı matrisi

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreasyon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezleri ne uzaklık
Merkez	1,000	1,000	0,400	0,333	0,333	0,378	0,500	1,000	0,500
Pülümür	0,333	0,333	1,000	1,000	0,429	0,415	0,333	1,000	1,000
Ovacık	0,600	0,333	0,333	1,000	0,429	0,515	0,333	1,000	0,333
Mazgirt	1,000	1,000	1,000	0,333	0,600	0,415	0,500	0,333	0,333
Hozat	0,333	1,000	1,000	0,333	0,429	0,680	0,333	1,000	0,333
Çemişgezek	1,000	1,000	1,000	0,333	1,000	0,333	1,000	1,000	0,333
Nazımiye	0,600	0,333	0,400	1,000	0,429	0,407	0,500	1,000	0,333
Pertek	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500

Son olarak her bir alternatif lokasyon için GRA ilişki derecesi hesaplanır. Tablo 5.14’de bu değerler ve sıralama sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.14. GRA ilişkisel dereceler

Lokasyon	GRA İlişki Derecesi	Sıralama
Merkez	0,528	6
Pülümür	0,592	3
Ovacık	0,524	7
Mazgirt	0,558	5
Hozat	0,585	4
Çemişgezek	0,654	2
Nazımiye	0,505	8
Pertek	0,941	1

GRA yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.14 incelendiğinde en uygun lokasyonun Pertek (GRA ilişki derecesi: 0,941) olduğu görülmektedir. Pertek ilçesinden sonra sırası ile Çemişgezek (GRA ilişki derecesi: 0,654), Pülümür (GRA ilişki derecesi: 0,592), Hozat (GRA ilişki derecesi: 0,585), Mazgirt (GRA ilişki derecesi: 0,558), Merkez (GRA ilişki derecesi: 0,528), Ovacık (GRA ilişki derecesi: 0,524) ve Nazımiye (GRA ilişki derecesi: 0,505) gelmektedir. Kurulumu en elverişsiz bölge olarak ise Nazımiye bulunmuştur.

5.6. ELECTRE Uygulaması

Yöntem her bir değerlendirme faktörü için ikili üstünlük kıyasına dayanır. İlk aşamada karar matrisinin normalizasyonu Tablo 5.15 yapılır. Daha sonra sütunlardaki normalleştirilmiş karar matrisi değerleri ilgili kriter ağırlıklarıyla çarpılır. İkinci aşamada ağırlıklı ve normalize edilmiş karar matrisi Tablo 5.15’de verilmiştir.

Tablo 5.15. Normalize edilmiş karar matrisi (ELECTRE uygulaması)

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreas yon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezlerine uzaklık
Merkez	0,423	0,427	0,173	0,224	0,194	0,353	0,356	0,354	0,396
Pülümür	0,169	0,171	0,432	0,447	0,291	0,353	0,237	0,354	0,495
Ovacık	0,338	0,171	0,086	0,447	0,291	0,354	0,237	0,354	0,297
Mazgirt	0,423	0,427	0,432	0,224	0,389	0,353	0,356	0,354	0,297
Hozat	0,169	0,427	0,432	0,224	0,291	0,355	0,237	0,354	0,297
Çemişgezek	0,423	0,427	0,432	0,224	0,486	0,352	0,475	0,354	0,297
Nazımiye	0,338	0,171	0,173	0,447	0,291	0,353	0,356	0,354	0,297
Pertek	0,423	0,427	0,432	0,447	0,486	0,356	0,475	0,354	0,396

Tablo 5.16. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi (ELECTRE uygulaması)

Lokasyon/ Karar kriteri	Toprak yapısı ve zemin	Fay hattı	Rekreas yon	Heyelan	Eğim	Güneş radyasyonu	Yükseklik	Yön	Trafo merkezlerine uzaklık
Merkez	0,047	0,047	0,019	0,025	0,022	0,039	0,040	0,039	0,044
Pülümür	0,019	0,019	0,048	0,050	0,032	0,039	0,026	0,039	0,055
Ovacık	0,038	0,019	0,010	0,050	0,032	0,039	0,026	0,039	0,033
Mazgirt	0,047	0,047	0,048	0,025	0,043	0,039	0,040	0,039	0,033
Hozat	0,019	0,047	0,048	0,025	0,032	0,039	0,026	0,039	0,033
Çemişgezek	0,047	0,047	0,048	0,025	0,054	0,039	0,053	0,039	0,033
Nazımiye	0,038	0,019	0,019	0,050	0,032	0,039	0,040	0,039	0,033
Pertek	0,047	0,047	0,048	0,050	0,054	0,040	0,053	0,039	0,044

Üçüncü aşamada ise uyum ve uyumsuzluk setleri belirlenir (Tablo 5.17). Her ikili alternatif kıyaslaması için (C) ve uyumsuzluk (D) kümeleri oluşturulur. İlçelerin numaralandırılması şu şekildedir. 1-Merkez, 2-Pülümür, 3-Ovacık, 4-Mazgirt, 5-Hozat, 6-Çemişgezek, 7-Nazımiye, 8-Pertek olmak üzere numaralandırılmıştır. Bu uyum ve uyumsuzluk kümelerine örnek verecek olursak; C (1,2) Merkez ilçe ile Pülümür kıyaslamasını gösterirken D (3,4) Ovacık ilçesi ile Mazgirt kıyaslamasını gösterir.

Tablo 5.17. Uyum ve uyumsuzluk setleri

C(1,2)	1,2,7,8	D(1,2)	3,4,5,6,9
C(1,3)	1,2,3,7,8,9	D(1,3)	4,5,6
C(1,4)	1,2,4,7,8,9	D(1,4)	3,5,6
C(1,5)	1,2,4,6,8,9	D(1,5)	3,5,6,8
C(1,6)	1,2,4,6,8,9	D(1,6)	3,5,7
C(1,7)	1,2,3,7,8,9	D(1,7)	4,5,6
C(1,8)	1,2,8,9	D(1,8)	3,4,5,6,7
C(2,1)	3,4,5,6,8,9	D(2,1)	1,2,7
C(2,3)	2,3,4,5,7,8,9	D(2,3)	1,6
C(2,4)	3,4,6,8,9	D(2,4)	1,2,5,7
C(2,5)	1,3,4,5,7,8,9	D(2,5)	2,6
C(2,6)	3,4,6,8,9	D(2,6)	1,2,5,7
C(2,7)	2,3,4,5,6,8,9	D(2,7)	1,7
C(2,8)	3,4,8,9	D(2,8)	1,2,5,6,7
C(3,1)	4,5,6,8	D(3,1)	1,2,3,7,9
C(3,2)	1,2,4,5,6,7,8,	D(3,2)	3,9
C(3,4)	4,6,8,9,	D(3,4)	1,2,3,5,7
C(3,5)	1,4,5,7,8,9	D(3,5)	2,3,6
C(3,6)	4,6,8,9	D(3,6)	1,2,3,5,7
C(3,7)	1,2,4,5,6,8,9	D(3,7)	3,5,7
C(3,8)	4,8	D(3,8)	1,2,3,5,6,7,9
C(4,1)	1,2,3,4,5,6,7,8,	D(4,1)	9
C(4,2)	1,2,3,5,6,7,8,	D(4,2)	4,9
C(4,3)	1,2,3,5,7,8,9	D(4,3)	4,6

Tablo 5.17. Devamı

C(4,5)	1,2,3,4,5,7,8,9	D(4,5)	6
C(4,6)	1,2,3,5,6,7,8,9	D(4,6)	4
C(4,7)	1,2,3,5,6,7,8,9	D(4,7)	4
C(4,8)	1,2,3,8	D(4,8)	4,5,6,7,9
C(5,1)	2,3,4,5,6,8	D(5,1)	1,7,9
C(5,2)	1,2,3,5,6,7,8	D(5,2)	4,9
C(5,3)	2,3,5,6,7,8,9	D(5,3)	1,4,5,7,8,9
C(5,4)	2,3,4,6,8,9	D(5,4)	1,5,7
C(5,6)	2,3,4,6,8,9	D(5,6)	1,5,7
C(5,7)	2,3,5,6,8,9	D(5,7)	1,4,7
C(5,8)	2,3,8	D(5,8)	1,4,5,6,7,9
C(6,1)	1,2,3,4,5,7,8	D(6,1)	6,9
C(6,2)	1,2,3,5,7,8	D(6,2)	4,6,9
C(6,3)	1,2,3,5,7,8,9	D(6,3)	4,6
C(6,4)	1,2,3,4,5,7,8,9	D(6,4)	6
C(6,5)	1,2,3,4,5,7,8,9	D(6,5)	6
C(6,7)	1,2,3,5,7,8,9	D(6,7)	4,6
C(6,8)	1,2,3,5,7,8	D(6,8)	4,6,9
C(7,1)	3,4,5,6,7,8	D(7,1)	1,2,9
C(7,2)	1,2,4,5,7,8	D(7,2)	3,6,9
C(7,3)	1,2,3,4,5,7,8,9	D(7,3)	6
C(7,4)	4,7,8,9	D(7,4)	1,2,3,5,6
C(7,5)	1,4,5,7,8,9	D(7,5)	2,3,6
C(7,6)	4,6,8,9	D(7,6)	1,2,3,5,7
C(7,8)	4,8	D(7,8)	1,2,3,5,6,7,9
C(8,1)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	D(8,1)	-
C(8,2)	1,2,3,4,5,6,7,8	D(8,2)	9
C(8,3)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	D(8,3)	-
C(8,4)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	D(8,4)	-
C(8,5)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	D(8,5)	-
C(8,6)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	D(8,6)	-
C(8,7)	1,2,3,4,5,6,7,8,9	D(8,7)	-

4. adımda uyum ve uyumsuzluk matrisleri hesaplanır. Uyum ve uyumsuzluk matrisleri sırasıyla Tablo 5.18 ve Tablo 5.19’da verilmiştir.

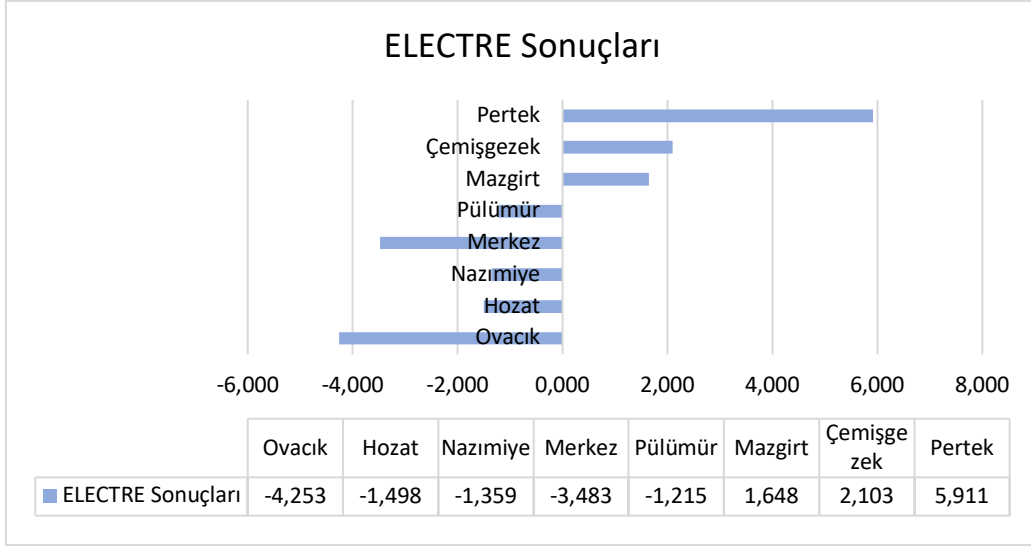
Tablo 5.18. Uyum(C) matrisi

C matrisi	Merkez	Pülümür	Ovacık	Mazgirt	Hozat	Çemişgezek	Nazımiye	Pertek	Toplam
Merkez		0,444	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,444	4,222
Pülümür	0,667		0,778	0,556	0,778	0,556	0,778	0,444	4,556
Ovacık	0,444	0,778		0,444	0,667	0,444	0,778	0,222	3,778
Mazgirt	0,889	0,778	0,778		0,889	0,778	0,889	0,444	5,444
Hozat	0,667	0,778	0,778	0,667		0,667	0,667	0,333	4,556
Çemişgezek	0,778	0,667	0,778	0,889	0,889		0,778	0,667	5,444
Nazımiye	0,667	0,667	0,889	0,444	0,667	0,444		0,222	4,000
Pertek	1,000	0,889	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		6,889
Toplam	5,111	5,000	5,666	4,666	5,555	4,555	5,555	2,777	
Net	-0,888	-0,444	-1,888	0,777	-1,000	0,888	-1,555	4,111	

Tablo 5.19. Uyumsuzluk (D) matrisi

D matrisi	Merkez	Pülümür	Ovacık	Mazgirt	Hozat	Çemişgezek	Nazımiye	Pertek	Toplam
Merkez		0,519	0,333	0,820	0,431	0,870	0,422	1,000	4,397
Pülümür	0,416		0,249	0,493	0,169	0,494	0,170	0,500	2,494
Ovacık	0,736	0,325		0,572	0,398	0,572	0,204	0,717	3,526
Mazgirt	0,235	0,250	0,284		0,238	0,329	0,242	0,575	2,155
Hozat	0,059	0,131	0,143	0,424		0,372	0,289	0,625	2,046
Çemişgezek	0,020	0,333	0,144	0,140	0,163		0,328	0,329	1,460
Nazımiye	0,225	0,155	0,006	0,573	0,254	0,622		0,855	2,802
Pertek	-	0,007	-	-	-	-	-		
Toplam	1,802	1,722	1,161	3,026	1,656	3,261	1,656	4,602	
Net	2,594	0,771	2,365	-0,871	0,498	-1,214	-0,196	-1,800	

ELECTRE yöntemi ile elde edilen sonuçlar Şekil 5.5 incelendiği takdirde en uygun lokasyonun Pertek olduğu gözlemlenmektedir. En iyi lokasyon açısından diğer yöntemler ile paralellik arz etmektedir. Pertek ilçesinden sonra sırası ile Çemişgezek, Mazgirt, Pülümür, Nazımiye, Hozat, Merkez ve Ovacık gelmektedir. Kurulumu en elverişsiz bölge ise Ovacık olarak bulunmuştur. Bu sonuç diğer yöntemlerle kıyaslandığı takdirde benzer olduğu görülecektir.



Şekil 5.5. ELECTRE sonuçları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tunceli ili baz alınarak yapılan bu çalışmada çözüme ulaşmak için dokuz kriter seçilmiştir. Dünyada ve ülkemizde önceki çalışmalar incelendiğinde, sonuca ulaşmak için kıstas aldığımız dokuz kriterin yanı sıra birçok farklı kriterin yer seçiminde kullanıldığı görülmektedir. Bu kriterlerin, ülkemize ve Tunceli iline uygulanabilirliği incelendiğinde hem coğrafik olarak hem de lisanslı ve lisanssız elektrik üretim mevzuatı bakımından uygun olmadığına ve yer seçimi sonucunda önemli bir değişiklik sağlamayacağına ulaşılmıştır. Bu kıstaslar sonucunda seçilebilecek en iyi dokuz kriter belirlenmiştir. Bu kriterler seçilirken var olan ve oluşturulan coğrafik ve afet haritalarından faydalanılmıştır. Bunun haricinde resmi makamlardan elde edilen sayısal verilerde kriterlerin değerlendirilmesine yardımcı olmuştur. Eldeki veriler işlendiğinde, en uygun lokasyonun Pertek ilçesi olduğu bulunmuştur. Pertek ilçesi diğer ilçelerle kıyaslandığı takdirde hem doğal afetlerin sebebiyet vereceği geri dönüşü olmayan zararların daha düşük olması bakımından hem de yüksek radyasyon verimi ile yatırımın geri dönüşünün hızlı olması sebebiyle en uygun lokasyondur. Diğer yedi ilçenin radyasyon veriminin Pertek ilçesinden düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra geriye kalan yedi ilçenin coğrafik olarak Pertek ilçesine göre uygun olmadığı bazı kriterler açısından daha iyi olmasına rağmen yekün de Pertek ilçesinin en iyi lokasyon olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada arazi üzerine ve çatı üzerine kurulumu gerçekleşecek güneş santrallerinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için yer seçiminde izlenecek yollar ve yöntemler gösterilmiştir. Küresel ısınmayla beraber gıda üretimi ve bu gıdanın üretimi için gerekli araziler, verimli veya verimsiz ayrımına bakılmaksızın önem kazanmaktadır. Güneş enerjisi piyasasının, gün geçtikçe gelişmesiyle beraber dünyada örneği bulunan fakat ülkemizde makro bir örneği bulunmayan su üstüne kurulu yüzer güneş santralleri için benzer bir çalışma yapılabilir. Yüzer güneş santralleri, arazi kurulumu güneş santrallerine göre su yardımıyla güneş paneli ve komponentlerine yaptığı doğal soğutma nedeniyle daha verimli ve tarımsal arazileri kullanmayıp su buharlaşmasının önüne geçtiği için daha çevrecidir. Tunceli'nin su potansiyeli incelendiğinde oldukça fazla sayıda hidroelektrik santral bulunduğu görülecektir. Bu hidroelektrik santraller ve bünyesinde kurulacak güneş santralleri, santralin kapasite faktörünü artıracak ve kullanılmayan alanları verimli hale getirecektir. Hidroelektrik santrallerle bir arada çalışacak güneş enerjisi santralleri şu an dünya da oldukça fazla uygulanan ve ülkemizde de yakın gelecekte uygulanacak olan hibrit

santrallerin en güzel örnekleridir. Tez çalışması geliştirilebilir ve gelecek teknolojilerle korele hale getirilip yeni tespitlerde bulunulabilir.

Tez çalışmasında, Tunceli'nin en uygun ilçesi seçilmiştir. Bunun haricinde Tunceli'nin CBS ortamında hazırlanan verilerinden ve haritalarından faydalanılarak en uygun yer daha özele indirgenip parsel bazında yer seçiminde bulunulabilir. Yenilenebilir diğer kaynaklar için bu tip bir yer seçimi uygulaması yapıp özellikle Tunceli ilinde muhtemel değerlendirilebilir potansiyeli olan rüzgâr, biyogaz ve hidroelektrik bakımından çeşitli kaynaklar oluşturulabilir.

Bu tez çalışması hem güneş enerjisi açısından hem de diğer yenilenebilir kaynakları değerlendirmesinden dolayı Tunceli ilinde yenilenebilir enerji yatırımı yapacaklar için eşsiz bir kaynaktır. Bu tez sayesinde yenilenebilir enerji yatırımı yapacak gerçek ve tüzel kişiler Tunceli ili muhtemel potansiyelleri hakkında fikir sahibi olacak ve gelecekte yapılması planlanan yatırımlara kılavuzluk edecektir. Ayrıca tez çalışmasında bahsedilen diğer yenilenebilir kaynakları için gelecekte yapılabilecek çalışmalara zemin hazırlamaktadır. Bu çerçevede değerlendirildiğinde hem gelecekte yapılabilecek bilimsel çalışmalar hem de yatırımlar için rehber niteliğindedir.

7. KAYNAKLAR

- Akçay, M.**, 2019. AHP-TOPSIS hibrit yöntemi ile Türkiye’de güneş enerjisi santrali için yer seçimi. *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 57s.
- Akkaş, O. P., Erten, M.Y., Cam, E., İnanç, N.**, 2017. Optimal site selection for a solar power plant in the Central Anatolian Region of Turkey. *International Journal of Photoenergy*, 4(2):9-11.
- Al Garni, H.Z., Awasthi, A.**, 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206:1225–1240.
- Al Garni, H.Z., Awasthi, A., Ramli, M.A.M.**, 2018. Optimal design and analysis of grid-connected photovoltaic under different tracking systems using HOMER. *Energy Conversion and Management*, 155:42–57.
- Arslan, E.**, 2006. Jeotermal enerjiden yararlanılarak kuyu içi eşanjörü yardımıyla konut ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 23s.
- Asadi, M., PourHossein, K.**, 2019. Wind and solar farms site selection using geographical information system (GIS), based on multi criteria decision making (MCDM) methods: A case-study for East-Azerbaijan. *Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG)*, 1-6.
- Asakereh, A., Soleymani, M., Sheikhdavoodi, M.J.**, 2017. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*, 155:342-353.
- Benayoun, R., Roy, B., Sussman, B.**, 1966. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. *Note de travail*, 49.
- Brewer, J., Ames, D. P., Solan, D., Lee, R., Carlisle, J.**, 2015. Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable energy*, 81:825-836.
- Buğutekin, A.**, 2007. Atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi. *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 85-87s.
- Charabi, Y., Gastli, A.**, 2011. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9):2554-2561.
- Churchman, C. W., Ackoff, R. L.**, 1954. An approximate measure of value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2):172-187.
- Deng, J.**, 1982. System and control letter. *Control Problems of Grey System*, 1(5):288-94.

- Fang, H., Li, J., Song, W., 2018.** Sustainable site selection for photovoltaic power plant: An integrated approach based on prospect theory. *Energy Conversion and Management*, 174:755-768.
- Gašparović, I., Gašparović, M., 2019.** Determining optimal solar power plant locations based on remote sensing and GIS methods: A case study from Croatia. *Remote Sensing*, 11(12):1481.
- Gençoğlu, M., Cebeci, M., 2001.** Dünya’ da ve Türkiye’ de Rüzgar Enerjisi. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir.
- Ghasempour, R., Nazari, M.A., Ebrahimi, M., Ahmadi, M.H., Hadiyanto, H., 2019.** Multi-criteria decision making (MCDM) approach for selecting solar plants site and technology: A review. *International Journal of Renewable Energy Development*, 8(1).
- Grogg, K., 2005.** Harvesting the wind: The physics of wind turbines. *Physics and Astronomy Comps Papers*, 7.
- Güçlüer, D., Batuk, F., 2011.** Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS-ÇÖKA yöntemi ile belirlenmesi. *13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Hang, Q., Jun, Z., Xiao, Y., Junkui, C., 2008.** Prospect of concentrating solar power in China-the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9):2505–2514.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981.** Methods for multiple attribute decision making. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 58–191.
- Janke, J. R., 2010.** Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10):2228-2234.
- Jun, D., Tian-tian, F., Yi-sheng, Y., Yu, M., 2014.** Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on ELECTRE-II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35:194-204.
- Kereush, D., Perovych, I., 2017.** Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. 7:18-22.
- Kurtulmuş, S., 2018.** Gönüllü karbon piyasası. *Türeb dergisi*, 3(15):38-40.
- Lee, A.H., Kang, H.Y., Liou, Y.J., 2017.** A hybrid multiple-criteria decision-making approach for photovoltaic solar plant location selection. *Sustainability*, 9(2):184.
- Marques-Perez, I., Guaita-Pradas, I., Gallego, A., Segura, B., 2020.** Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS. *Journal of Cleaner Production*, 1(2):2-6.

- Mutlu, E.**, 2013. Türkiye’de yenilenebilir enerji ekonomisi ve Ankara iline ait SWOT analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 62s.
- Nazari, M.A., Aslani, A., Ghasempour, R.**, 2018. Analysis of solar farm site selection based on TOPSIS approach. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development (IJSESD)*, 9(1):12-25.
- Opricovic, S.**, 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Master Thesis*, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 5-21s.
- Rezaei, J.**, 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53:49–57.
- Rogna, M.**, 2020. A first-phase screening method for site selection of large-scale solar plants with an application to Italy. *Land Use Policy*, 9(10):39-48.
- Roy, B.**, 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8):57-75.
- Sindhu, S., Nehra, V., Luthra, S.**, 2017. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73:496-511.
- Solğun, N.**, 2019. Coğrafi bilgi sistemleri ile güneş enerji santrali kurulabilecek alanların belirlenmesi: Adıyaman Besni örneği. *Yüksek lisans tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 51s.
- Tunc, A., Tuncay, G., Alacakanat, Z., & Sevimli, F. S.**, 2019. Gıs Based Solar Power Plants Site Selection Using Analytic Hierarchy Process (AHP) In Istanbul, Turkey. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- TÜREB**, 2019. Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu; 9.
- Türkseven, S.**, 2019. Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Destek Sisteminin Uygulanması (Eskişehir İli Örneği), Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, *Yüksek lisans tezi*, Eskişehir.
- Tzeng, G. H., & Tsaor, S. H.**, 1993. Application of multicriteria decision making to old vehicle elimination in Taiwan. *Energy & Environment*, 4(3):268-283.
- URL-1**, 2020. <https://iklim.csb.gov.tr/gonullu-karbon-piyasalari-i-4391>. 09 Mayıs 2020.
- URL-2**, 2019. <https://www.iklimhaber.org/2019daelektrikuretimiazaldikomurhalabirinci kaynak/>. 01 Haziran 2020.
- URL-3**, 2020. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>. 12 Haziran 2020.

- URL-4, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/TUNCELI-REPA.pdf>. 09 Mart 2020.
- URL-5, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/TUNCELI-REPA.pdf>. 09 Mart 2020.
- URL-6, 2020. <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>. 09 Temmuz 2020.
- URL-7, 2020. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmisdirifayharitalari/divrigi.pdf>. 21 Mayıs 2020.
- URL-8, 2020. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/yenilenmisdirifayharitalari/erzincan.pdf>. 21 Mayıs 2020.
- URL-9, 2020. <http://veri.tarimorman.gov.tr/maps/30>. 27 Mayıs 2020.
- URL-10, 2020. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/1-500000-heyelan-haritalari/erzurum_paftasi_heyelan_haritasi.jpg. 17 Mart 2020.
- URL-11, 2020. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=tunceli. 25 Eylül 2020.
- URL-12, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 22 Nisan 2020.
- URL-13, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 27 Mart 2020.
- URL-14, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 21 Ocak 2020.
- URL-15, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 14 Mayıs 2020.
- URL-16, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 14 Mart 2020.
- URL-17, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 12 Şubat 2020.
- URL-18, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 27 Ocak 2020.
- URL-19, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 07 Nisan 2020.
- URL-20, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 09 Şubat 2020.
- URL-21, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/62.aspx>. 03 Ocak 2020.
- URL-22, 2020. <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/TUNCELI-REPA.pdf>. 27 Mayıs 2020.
- Uyan, M., 2017. Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4).
- Wang, C. N., Viet, V. T. H., Ho, T. P., Nguyen, V. T., & Husain, S. T., 2020. Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Mekong Delta Region of Vietnam. *Energies*, 13(16):4066.

- Watson, J. J., & Hudson, M. D.,** 2015. Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31.
- Wu, Y., Zhang, B., Wu, C., Zhang, T., & Liu, F.,** 2019. Optimal site selection for parabolic trough concentrating solar power plant using extended PROMETHEE method: A case in China. *Renewable Energy*, 143:1910-1927.
- Yimen, N., & Dagbasi, M.,** 2019. Multi-Attribute Decision-Making: Applying a Modified Brown–Gibson Model and RETScreen Software to the Optimal Location Process of Utility-Scale Photovoltaic Plants. *Processes*, 7(8):505.
- Yousefi, H., Hafeznia, H., & Yousefi-Sahzabi, A.,** 2018. Spatial site selection for solar power plants using a GIS-based boolean-fuzzy logic model: a case study of Markazi province, Iran. *Energies*, 11(7):1648.