

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
İŞLETME ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YER  
SEÇİMİNİN AHP-VİKOR HİBRİT YÖNTEMİ İLE  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Esra DEMİRKIRAN GÖBELOĞLU  
ORCID: 0000-0002-6814-7741**

**Enstitü Anabilim Dalı : İşletme  
Enstitü Bilim Dalı : Üretim Yönetimi ve Pazarlama**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Cahit UNGAN  
ORCID: 0000-0003-2041-1344**

**AĞUSTOS - 2024**

Esra DEMİKİRAN GÖBELOĞLU tarafından hazırlanan “Türkiye’de Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçiminin Ahp-Vikor hibrit yöntemi ile değerlendirilmesi” başlıklı bu tez, 11/07/2024 tarihinde Sakarya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Mustafa Cahit UNGAN  
*Sakarya Üniversitesi*

**Jüri Üyeleri:** Prof. Dr. Selami ÖZCAN  
*Yalova Üniversitesi*

Dr. Öğr. Üyesi Metin BAYRAM  
*Sakarya Üniversitesi*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>SAKARYA</b><br>ÜNİVERSİTESİ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>T.C.</b><br><b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ</b><br><b>İŞLETME ENSTİTÜSÜ</b><br><b>TEZ SAVUNULABİLİRLİK VE ORJİNALLİK</b><br><b>BEYAN FORMU</b> | Sayfa: 1/1                                                                                      |
| Öğrencinin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                           |                                                                                                 |
| Adı Soyadı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | :                                                                                                                                         | Esra DEMİRKIRAN GÖBELOĞLU                                                                       |
| Öğrenci Numarası                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | :                                                                                                                                         | Y106004058                                                                                      |
| Enstitü Anabilim Dalı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | :                                                                                                                                         | İşletme                                                                                         |
| Enstitü Bilim Dalı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | :                                                                                                                                         | İşletme P.R.(İ.Ö.)                                                                              |
| Programı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | :                                                                                                                                         | Yüksek Lisans                                                                                   |
| Tezin Başlığı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | :                                                                                                                                         | TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YER SEÇİMİNİN AHP-VIKOR HİBRİT YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ |
| Benzerlik Oranı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | :                                                                                                                                         | % 8                                                                                             |
| <p>Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim. Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının benzerlik oranının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.</p> <p>..... / ..... / 20....<br/>İmza<br/>Öğrenci</p>   |                                                                                                                                           |                                                                                                 |
| <p>Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim. Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen öğrenciye ait tez çalışması ile ilgili gerekli düzenleme tarafımda yapılmış olup, yeniden değerlendirilmek üzere gsbtez@sakarya.edu.tr adresine yüklenmiştir. Bilgilerinize arz ederim.</p> <p>..... / ..... / 20....<br/>İmza<br/>Danışman</p> |                                                                                                                                           |                                                                                                 |
| <p><b>Uygundur</b><br/>Danışman<br/>Unvanı / Adı-Soyadı: Prof. Dr. Mustafa Cahit UNGAN<br/>Tarih: ..... / ..... / 20....<br/>İmza:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                           |                                                                                                 |
| <input type="checkbox"/> Kabul Edilmiştir<br><input type="checkbox"/> Reddedilmiştir<br>EYK Tarih ve No: ..... / ..... / 20.... ..... / .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Enstitü Birim Sorumlusu Onayı</b>                                                                                                      |                                                                                                 |

## ÖNSÖZ

Türkiye'de güneş enerjisi santrali yer seçiminin AHP- VIKOR hibrit yöntemi ile değerlendirilmesi başlıklı tezimin yazılması aşamasında, bana destek olan ve çalışmamı titizlikle takip eden, insancıl yaklaşımıyla tez aşamasında süreci kolaylaştıran çok değerli danışmanım Prof. Dr. Mustafa Cahit UNGAN hocama değerli katkı ve emekleri için içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca katkıları için Arş. Gör. Mehmet Oğuzhan Kalem' e ve Doç. Dr. Emrah Özsoy hocalarıma da teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tezimi hazırlama aşamasında çalışmalarımda rehber olan ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve hep yanımda olan eşim Ömer Mustafa GÖBELOĞLU ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak Yüksek lisans tez aşamamda daha fazla ilgilenmek eğlenmek ve oynamak için kimi zaman ihmal ettiğim, canım kızım Beyza GÖBELOĞLU' na bana olan anlayışı ve sabrı için teşekkür ediyorum.

**Esra DEMİKİRAN GÖBELOĞLU**

**11.07.2024**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| KISALTMALAR .....                                                              | iv        |
| TABLOLAR .....                                                                 | v         |
| ŞEKİLLER .....                                                                 | vii       |
| ÖZET.....                                                                      | ix        |
| ABSTRACT .....                                                                 | x         |
| <br>                                                                           |           |
| GİRİŞ .....                                                                    | 1         |
| <b>BÖLÜM 1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ve YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI .....</b>     | <b>5</b>  |
| 1.1. Sürdürülebilirlik Kavramı .....                                           | 5         |
| 1.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve Enerji .....                                   | 6         |
| 1.3. Yenilenebilir Enerji Açısından Sürdürülebilir Kalkınma .....              | 7         |
| 1.4. Türkiye'nin Sürdürülebilir Enerji Politikaları .....                      | 7         |
| 1.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....                                     | 9         |
| 1.5.1. Güneş Enerjisi .....                                                    | 11        |
| 1.5.2. Rüzgâr Enerjisi .....                                                   | 12        |
| 1.5.3. Hidrolik Enerji .....                                                   | 13        |
| 1.5.4. Jeotermal Enerji .....                                                  | 15        |
| 1.5.5. Biyokütle Enerjisi .....                                                | 17        |
| 1.5.6. Okyanus Enerjisi .....                                                  | 18        |
| <b>BÖLÜM 2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ .....</b>                 | <b>20</b> |
| 2.1. Elektrik Üretiminde Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kullanımı .....            | 23        |
| 2.2. Elektrik Üretiminde Kullanılan Güneş Enerjisi Teknolojileri .....         | 24        |
| 2.2.1. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri .....                                   | 25        |
| 2.2.2. Isıl Güneş Teknolojileri .....                                          | 29        |
| <b>BÖLÜM 3. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TESİSİ YER SEÇİMİ .....</b>                  | <b>34</b> |
| 3.1. Güneş Enerjisi Üretim Tesisi Seçiminde Önemli Kriterler .....             | 34        |
| 3.2. Güneş Enerjisi Üretim Tesisi Seçiminde Etkili Mevzuatın İncelenmesi ..... | 37        |
| 3.3. Literatür Araştırması .....                                               | 40        |
| <b>BÖLÜM 4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ .....</b>                      | <b>44</b> |
| 4.1. Çok Kriterli Karar Verme Adımları .....                                   | 45        |
| 4.1.1. Amaçların Belirlenmesi .....                                            | 45        |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2. Kriterlerin Belirlenmesi, Kriter Setinin Oluşturulması .....             | 46        |
| 4.1.3. Alternatiflerin Belirlenmesi, Alternatif Setinin Oluşturulması .....     | 47        |
| 4.1.4. Alternatiflerin Kriterlere Göre Değerlendirilmesi .....                  | 47        |
| 4.1.5. Genel Değerlendirme ve Karar Verme .....                                 | 47        |
| 4.1.6. Karar İncelemesi, Hassaslık Analizi .....                                | 47        |
| 4.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) .....                                     | 48        |
| 4.3. VIKOR Yöntemi .....                                                        | 52        |
| <b>BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                         | <b>58</b> |
| 5.1. Problemin Tanımı .....                                                     | 58        |
| 5.2. Çalışmada Kullanılacak Yazılım Seçimi .....                                | 58        |
| 5.3. Ana Kriterler, Alt Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi .....       | 59        |
| 5.3.1. Ekonomik Kriterler .....                                                 | 59        |
| 5.3.1.1. Arazi Maliyeti .....                                                   | 60        |
| 5.3.1.2. Enerji Nakil İletim Hattına Mesafe .....                               | 60        |
| 5.3.1.3. Bölgesel Teşvikler .....                                               | 61        |
| 5.3.2. Teknik Kriterler .....                                                   | 63        |
| 5.3.2.1. Güneşlenme Süresi .....                                                | 63        |
| 5.3.2.2. Sıcaklık .....                                                         | 65        |
| 5.3.2.3. Arazi Işınım Miktarı .....                                             | 67        |
| 5.3.2.4. Eğim .....                                                             | 69        |
| 5.3.3. Coğrafi Kriterler .....                                                  | 71        |
| 5.3.3.1. Fay Hatlarına Olan Uzaklık .....                                       | 71        |
| 5.3.3.2. Yağış Miktarı .....                                                    | 72        |
| 5.3.3.3. Karlı Gün Sayısı .....                                                 | 73        |
| 5.3.4. Sosyal Kriterler .....                                                   | 74        |
| 5.3.4.1. Yerleşim Alanına Uzaklık .....                                         | 74        |
| 5.3.4.2. İş Gücü .....                                                          | 76        |
| 5.4. AHP Yöntemi ile Çözüm .....                                                | 77        |
| 5.4.1. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması .....                                   | 78        |
| 5.4.2. Kriterlerin Değerlendirilmesi .....                                      | 79        |
| 5.4.3. Kriterlere Ait Tutarsızlıkların İncelenmesi .....                        | 81        |
| 5.4.4. Alt Kriterlere Ait Ağırlıkların Bulunması .....                          | 81        |
| 5.4.5. Alt Kriterlere Ait Ağırlıkların Alternatif İllere Göre Kıyaslaması ..... | 83        |

|                                                                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.5. AHP-VIKOR Hibrit Çözümü .....                                                                                                  | 88         |
| 5.5.1. Karar Verme Matrisinin Oluşturulması .....                                                                                   | 89         |
| 5.5.2. En Kötü ve En iyi Kriterlerin Belirlenmesi .....                                                                             | 90         |
| 5.5.3. Normalizasyon Matrisinin Oluşturulması ve Ortalama ( $S_j$ )/ En Kötü Grup Skorları ( $R_j$ ) Değerlerinin Belirlenmesi..... | 90         |
| 5.5.4. Ağırlıklandırılmış Normalize Matris Oluşturulması $Q_j$ Değerinin Hesaplanması .....                                         | 91         |
| 5.5.5. Koşulların Sağlanması ve Alternatiflerin Sıralaması .....                                                                    | 91         |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                                                                       | <b>92</b>  |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                                                                                               | <b>95</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                                                | <b>103</b> |

## KISALTMALAR

|              |                                                |
|--------------|------------------------------------------------|
| <b>ABD</b>   | : Amerika Birleşik Devletleri                  |
| <b>CBS</b>   | : Coğrafi Bilgi Sistemleri                     |
| <b>CSB</b>   | : Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı         |
| <b>ÇKKV</b>  | : Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri          |
| <b>ENH</b>   | : Enerji Nakil Hattı                           |
| <b>ETKB</b>  | : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı          |
| <b>EÜAŞ</b>  | : Türkiye Elektrik Üretim A.Ş                  |
| <b>EWEA</b>  | : European Wind Energy                         |
| <b>FV</b>    | : Fotovoltaik                                  |
| <b>GEPA</b>  | : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası            |
| <b>GES</b>   | : Güneş Enerji Santrali                        |
| <b>MGM</b>   | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü                  |
| <b>MW</b>    | : Megawatt                                     |
| <b>NSEB</b>  | : Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar             |
| <b>PVGIS</b> | : Photovoltaic Geographical Information System |
| <b>TDK</b>   | : Türk Dil Kurumu                              |
| <b>TEİAŞ</b> | : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi       |
| <b>TJD</b>   | : Türkiye Jeotermal Derneği                    |
| <b>VD</b>    | : Ve Diğerleri                                 |
| <b>YEGM</b>  | : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü         |
| <b>YEKA</b>  | : Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları         |

## TABLÖLAR

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1:</b> Yenilenebilir Enerji Çeşitleri .....                                           | 10 |
| <b>Tablo 2:</b> Enerji Kaynaklarının Doğaya Bıraktığı Kirlilik Miktarı .....                   | 11 |
| <b>Tablo 3:</b> Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kaynaklarının Dağılımı .....                      | 23 |
| <b>Tablo 4:</b> Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....                                       | 44 |
| <b>Tablo 5:</b> AHP Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....                                  | 49 |
| <b>Tablo 6:</b> AHP Karar Matrisi.....                                                         | 50 |
| <b>Tablo 7:</b> AHP Karşılaştırma Şeması .....                                                 | 50 |
| <b>Tablo 8:</b> Boyutuna Göre Kıyaslama Matrislerindeki RI değerleri.....                      | 52 |
| <b>Tablo 9:</b> Uzman Profili Tablosu.....                                                     | 55 |
| <b>Tablo 10:</b> Güncel Rayiç Bedeli Tablosu .....                                             | 57 |
| <b>Tablo 11:</b> Bölgesel Teşvik Bölgeleri.....                                                | 59 |
| <b>Tablo 12:</b> Bölgesel Teşviklerde Sağlanan Destek Unsurları.....                           | 59 |
| <b>Tablo 13:</b> Bölgesel Puanlama Tablosu.....                                                | 60 |
| <b>Tablo 14:</b> Güneş Enerji Potansiyelinin Puanlara Göre Sınıflandırılması.....              | 66 |
| <b>Tablo 15:</b> Eğimin Derecelere Göre Sınıflandırılması .....                                | 67 |
| <b>Tablo 16:</b> Alternatif İllere Göre Eğitim Puanlaması .....                                | 67 |
| <b>Tablo 17:</b> Fay Hatlarına Uzaklığın Derecelere Göre Sınıflandırılması.....                | 69 |
| <b>Tablo 18:</b> Depremsellik Tablosu .....                                                    | 69 |
| <b>Tablo 19:</b> Nevşehir/Avanos (1959-2022) Toplam Aylık Yağış Miktarı Ortalaması .....       | 70 |
| <b>Tablo 20:</b> Bilecik /Bozüyük (1959-2022) Toplam Aylık Yağış Miktarı Ortalaması.....       | 70 |
| <b>Tablo 21:</b> İstanbul/Bahçelievler (1959-2022) Toplam Aylık Yağış Miktarı Ortalaması ..... | 70 |
| <b>Tablo 22:</b> Yıllık Yağış Alan Miktarı Toplamı(mm).....                                    | 70 |
| <b>Tablo 23:</b> Yıllık Ortalama Kar Yağış Miktarı(mm).....                                    | 71 |
| <b>Tablo 24:</b> Yerleşim Merkezlerine Olan Mesafesi Değerlendirme Tablosu .....               | 72 |
| <b>Tablo 25:</b> Yerleşim Alanlarına Mesafe .....                                              | 72 |
| <b>Tablo 26:</b> 2020 Yılı TÜİK TR41 Bölgesel İşgücü Göstergeleri .....                        | 73 |
| <b>Tablo 27:</b> 2020 Yılı TÜİK TR71 Bölgesel İşgücü Göstergeleri .....                        | 73 |
| <b>Tablo 28:</b> 2020 Yılı TÜİK TR10 Bölgesel İşgücü Göstergeleri .....                        | 74 |
| <b>Tablo 29:</b> 2020 Yılı TÜİK İşgücü Göstergeleri .....                                      | 74 |
| <b>Tablo 30:</b> Ana Kriterler Kıyaslama Matrisi .....                                         | 77 |
| <b>Tablo 31:</b> Kriter Özellikleri ve Ağırlıklarının Eklendiği Karar Matrisi.....             | 86 |
| <b>Tablo 32:</b> En Kötü ( fi-) ve En İyi ( fi*) Kriter Değerlerinin Belirlenmesi .....        | 87 |

## TABLÖLAR DEVAMI

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 33:</b> $S_j$ ve $R_j$ Değerleri.....                   | 87 |
| <b>Tablo 34:</b> $Q_j$ Değerleri.....                            | 88 |
| <b>Tablo 35:</b> Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi..... | 88 |



## ŞEKİLLER

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1: Türkiye’de Enerji Ekosisteminin Yapısı .....                                            | 8  |
| Şekil 2: Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası.....                                            | 12 |
| Şekil 3: Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyeli Haritası .....                                        | 13 |
| Şekil 4: Hidroelektrik Santrali .....                                                            | 14 |
| Şekil 5: Jeotermal Enerji.....                                                                   | 12 |
| Şekil 6: Türkiye Jeotermal Kaynaklar Uygulama Haritası.....                                      | 13 |
| Şekil 7: Biyokütle Enerjisinin Çevrim Yöntemleri .....                                           | 15 |
| Şekil 8: Okyanus Enerjisi .....                                                                  | 16 |
| Şekil 9: Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Fotolvolatik Sistem Şeması.....                             | 18 |
| Şekil 10: Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotolvolatik Sistem Şeması.....                          | 19 |
| Şekil 11: Fotovoltaik Enerji Sistemleri .....                                                    | 23 |
| Şekil 12: Global Radyasyon Değeri-Türkiye (KWh/m <sup>2</sup> -gün).....                         | 32 |
| Şekil 13: Güneş Enerji Santrali ile İlgili Yasalar.....                                          | 35 |
| Şekil 14: AHP ile Çözümleme Yapılabilmesi İçin Gereken Aşamalar .....                            | 46 |
| Şekil 15: İdeal ve Optimum Çözümler .....                                                        | 49 |
| Şekil 16: VIKOR Yöntemi Uygulama Şeması .....                                                    | 51 |
| Şekil 17: İdeal Güneş Enerjisi Santrali Lokasyon Seçimindeki Ana ve Alt Kriterler<br>Şeması..... | 56 |
| Şekil 18: Nevşehir/Avanos Enerji Nakil Hattı Haritası.....                                       | 58 |
| Şekil 19: İstanbul/ Bahçelievler Güneşlenme Süresi.....                                          | 61 |
| Şekil 20: Nevşehir/ Avanos Güneşlenme Süresi .....                                               | 61 |
| Şekil 21: Bilecik/ Bozüyük Güneşlenme Süresi .....                                               | 62 |
| Şekil 22: Nevşehir/ Avanos İklim Grafiği .....                                                   | 63 |
| Şekil 23: Bilecik/ Bozüyük İklim Grafiği.....                                                    | 63 |
| Şekil 24: İstanbul/ Bahçelievler İklim Grafiği.....                                              | 64 |
| Şekil 25: İstanbul/ Bahçelievler Global Radyasyon Değerleri .....                                | 65 |
| Şekil 26: Nevşehir/ Avanos Global Radyasyon Değerleri .....                                      | 65 |
| Şekil 27: Bilecik/ Bozüyük Global Radyasyon Değerleri .....                                      | 66 |
| Şekil 28: Bilecik / Bozüyük Eğim Haritası-ARCGIS.....                                            | 67 |
| Şekil 29: Nevşehir / Avanos Eğim Haritası-ARCGIS.....                                            | 68 |
| Şekil 30: Türkiye Bölgelere Göre Deprem Haritası .....                                           | 69 |
| Şekil 31: Türkiye Yıllık Ortalama Karlı Gün Sayısı .....                                         | 70 |
| Şekil 32: AHP Hiyerarşisi .....                                                                  | 75 |

## ŞEKİLLER DEVAMI

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 33: Çalışmanın AHP Modeli .....                                              | 76 |
| Şekil 34: Kriterlerin İkili Karşılaştırması Çıktısı.....                           | 77 |
| Şekil 35: Ana Kriterlerin Kıyaslaması Sonucu Elde Edilen Ağırlık Değerleri .....   | 78 |
| Şekil 36: Tutarsızlık Değerlendirme Sonuç Raporu.....                              | 78 |
| Şekil 37: Super Decision Ekonomik Kriterler Kıyaslama Ekran Görüntüsü .....        | 79 |
| Şekil 38: Super Decision Teknik Kriterler Kıyaslama Ekran Görüntüsü.....           | 79 |
| Şekil 39: Super Decision Coğrafi Kriterler Kıyaslama Ekran Görüntüsü.....          | 79 |
| Şekil 40: Super Decision Sosyal Kriterler Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....      | 80 |
| Şekil 41: Super Decision Arazi Maliyeti Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....        | 80 |
| Şekil 42: Super Decision Enerji Nakil Hattı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü.....     | 81 |
| Şekil 43: Super Decision Bölgesel Teşvik Karşılaştırma Ekran Görüntüsü.....        | 81 |
| Şekil 44: Super Decision Güneşlenme Süresi Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....     | 81 |
| Şekil 45: Super Decision Sıcaklık Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....              | 82 |
| Şekil 46: Super Decision Arazi Işınımı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....         | 82 |
| Şekil 47: Super Decision Fay Hattı Uzaklık Karşılaştırma Ekran Görüntüsü.....      | 83 |
| Şekil 48: Super Decision Eğim Karşılaştırma Ekran Görüntüsü.....                   | 83 |
| Şekil 49: Super Decision Yağış Miktarı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....         | 84 |
| Şekil 50: Super Decision Karlı Gün Sayısı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü.....       | 84 |
| Şekil 51: Super Decision Yerleşim Alanına Uzaklık Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .. | 85 |
| Şekil 52: Super Decision İş Gücü Karşılaştırma Ekran Görüntüsü.....                | 85 |
| Şekil 53: Super Decision Alternatif İller Karşılaştırma Ekran Görüntüsü .....      | 85 |

## ÖZET

Demirkıran Göbeloğlu, E. (2024). *Türkiye'de güneş enerjisi santrali yer seçiminin AHP-VIKOR hibrit yöntemi ile değerlendirilmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi.

Enerji, insanlığın var olmasıyla birlikte ortaya çıkan ve her geçen gün büyüyen bir ihtiyaçtır. Elektrik ise, ikincil enerji kaynaklarının en önemlilerinden biridir. Enerjiye olan talep çağımızda nüfus artışına ve üretimdeki artışa bağlı olarak giderek artmaktadır. Fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkileri ve sınırlı olması sebebinden dolayı dünyada yeni enerji kaynaklarına olan ilgili pozitif yönde ivmelenmektedir. Güneş enerjisi de hem sürdürülebilirlik hem de kullanımının çok olmasından dolayı yenilenebilir kaynaklarda ilk sıralarda yer almaktadır.

Ülkemiz güneş enerjisi kullanımını artırarak enerjide dışa bağımlılığını azaltılabilir. Güneş enerji potansiyeli atlası, Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin kurulması için uygun yerlerin belirlenmesinde kullanılabilir ancak bu atlas sadece güneşlenme süresi ve radyasyon gibi değerlerle oluşturulmuştur. Bu değerlerle oluşturulan bir atlas tek başına yeterli olmamakla birlikte yer seçimi ile ilgili çeşitli kriterler analiz edilerek daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Santralin kurulacağı yeri doğru bir şekilde karar vermek elde edilecek verim için önem arz etmektedir. GES kurulum maliyetleri yüksektir. GES kurulum maliyetinin yüksek olması nedeniyle kurulum fizibilite çalışmaları çok önemlidir. Fizibilite çalışmalarında kullanılan parametreler arasında yer seçimi ilk sırada yer almaktadır. GES için uygun sahaların seçimi, teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri dikkate alan bölgesel bir değerlendirmeyi de beraberinde gerektirir.

Bu çalışmada güneş enerjisi santrali kurulabilecek üç lokasyon ele alınmış ve bu illerden optimum olanına karar vermek için çok kriterli karar verme yönteminden faydalanılmıştır. Ana kriterler olarak ekonomik, sosyal, teknik ve coğrafi kriterler belirlenmiş ve alt kriterler olarak, enerji nakil hattı uzaklık, bölgesel teşvikler, arazi maliyeti, güneşlenme süresi, arazi ışınlam miktarı, eğim, sıcaklık, fay hatlarına uzaklık, yağış miktarı, yerleşim alanına uzaklık, karlı gün sayısı ve işgücü olarak tanımlanmıştır. 12 adet alt kriterlere göre en optimum yeri seçmek için AHP-VIKOR hibrit yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları bulunmuş ve VIKOR yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Nevşehir bu çalışmada, güneş enerjisi santrali kurulumu için en optimum lokasyon sonuca ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi Santrali, Güneş Enerjisi, Yer Seçimi, Yenilenebilir Enerji

## ABSTRACT

Demirkıran Göbeloğlu, E. (2024). *Evaluation of solar power plant site selection using the AHP-VIKOR hybrid method in Turkey* (Unpublished master's thesis). Sakarya University.

Energy is a need that emerged with the existence of humanity and is growing day by day. Electricity is one of the most important secondary energy sources. Today, due to population growth and increased production, the demand for energy is also increasing. Due to the negative effects of fossil fuels on the environment and their limited nature, the interest in new energy sources in the world is gaining positive momentum. Solar energy is among the top renewable resources due to its sustainability and high usage.

Our country can reduce its dependence on foreign energy by increasing solar energy. The solar energy potential atlas can be used to determine suitable places for establishing solar power plants in Turkey. However, this atlas was created only with values such as duration of sunshine and radiation. Although an atlas created with these values is insufficient, more accurate results can be obtained by analyzing various criteria related to site selection. In order to obtain as much solar energy as possible, it is essential to choose the location of the solar power plant. SPP (Solar Power Plant) installation costs are high. Installation feasibility studies are critical due to the high cost of SPP installation. Site selection is the first of the parameters used in feasibility studies. Selecting suitable sites for the SPP requires a regional assessment considering technical, economic, social, and environmental aspects.

This study, three locations where solar power plants can be established were discussed and the multi-criteria decision-making method was used to decide the optimum one among these provinces. Economic, social, technical and geographical criteria were determined as main criteria and as sub-criteria, distance to energy transmission line, regional incentives, land cost, sunshine duration, amount of land radiation, slope, temperature, distance to fault lines, amount of precipitation, distance to residential area, profitable day and labor force is defined. AHP-VIKOR hybrid method was used to select the most optimum location according to 12 sub-criteria were defined under these main criteria. The criteria weights were found using the AHP method, and the alternatives were ranked using the VIKOR method. The research concluded that Nevşehir is the best location for the solar power plant.

**Keywords:** Solar Power Energy, Solar Power, Site Selection, Renewable Energy

## GİRİŞ

Enerji kavramı geçmişten günümüze yüzyıllardır günlük yaşamda kullanılmıştır. Önceki zamanlarda ısınma ve yiyecekleri pişirme amacıyla kullanılmış olup, sonrasında ise buhar makinesinin icadıyla daha önem kazanmıştır (Akçay, 2019). O zaman en önemli enerji kaynağı kömür iken daha sonrasında petrol bulunmuştur. İnsanlar petrol kaynağının güce dönüşümünü öğrenerek onu kullanmaya başlamışlardır.

Enerji aslında temelinde hayatın sürdürülebilmesi için gerekli olan temel ihtiyaçların biri olarak tanımlanabilir. Günlük hayatımızda ana ihtiyaç olan güç olarak konumlanmıştır. Bununla birlikte günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının büyük bir kısmının tükenbilir ve sınırlı kullanımının olduğu bilinmektedir.

Politikalar büyüme ve güçlü olma odağı üzerine kurulmakta ve bunun doğal bir sonucu olarak toplumda sürekli bir tüketim hali yaşanmaktadır. Ancak içerisinde bulunduğumuz dünya yaşanılmaz ve sürdürülemez hale gelirse en güçlü ülkelerin dahi hayatta kalamaması öngörülmektedir.

Elektrik, toplumsal yapının ortak ihtiyacının gerekli bir parçasıdır. Tüketicilerin enerjiyi yeterli, sürekli, düşük maliyetli ve güvenilir bir şekilde kullanabilmesi için temel bir enerji politikası olması gerekir.

Pek çok birincil enerji kaynağı elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Ülkemizde elektrik üretiminin büyük kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Günümüzde ise enerji üretiminde artık önceliğin yenilenebilir enerji kaynaklarına verilmesi gerekmektedir. Böylelikle iklim değişikliğinin olumsuz sonuçları da indirgenmiş olur.

Günümüzde artan nüfus ve talep nedeniyle elektriğe olan ihtiyacın artmış olup yeni kaynaklar arayışı içerisinde girilmiştir. Sürdürülebilir ve çevreye zararının olmaması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları oldukça avantajlı bir seçenek haline gelmiştir. Bu nedenle de önemleri gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynakları için teşvik paketleri oluşturulmakta ve yapılması için kolaylıklar sağlanmaktadır (Akçay, 2019).

Yenilenebilir enerji çeşitleri, jeotermal enerji, hidrolik enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi ve okyanus enerjisi gibi birçok çeşidi bulunur. Bunların içinden güneş enerjisi temiz ve atığı olmayan önemli enerji kaynaklarından. Üretimi dünyada oldukça yaygın ve hızlı bir şekilde büyüme göstermektedir (Akkaş vd., 2017).

1970'ten buyana Dünya'da güneş enerjisinden elektrik üretiminde yararlanılması konusundaki çalışmalar ivme kazanmıştır. Güneş enerji santrallerinin (GES) kurulumu diğer yenilenebilir enerji santrallerine oranla daha az zamanda tamamlanabilmektedir. (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2022).

Almanya Avrupa ülkelerinde güneş enerjisi üretiminde üst sıralarda yer alır. 2017 yılında Almanya'nın toplam yenilebilir enerji kaynaklarından ürettiği enerji fosil yakıtlardan ürettiği enerjiden ilk kez daha fazla olmuştur. 2020'de ise yenilenebilir enerji kaynaklarındaki üretim, Almanya'nın elektrik tüketimine %46 kaynak oluşturmuştur (Yeşil Ekonomi, 2021).

Türkiye'nin toplam elektrik üretimi Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) istatistiklerine göre, 2023 Ocak itibari ile 99.734 MW'dir. Hem ekonomik sebeplerden hem de iklim değişikliği ile mücadele için ülkemizde yerli kaynak kullanımına yönelmiştir. Türkiye'nin, elektrik üretiminde önemli yer tutan yenilenebilir enerji kaynakları, kapasitesinin 53.787 MW'ını oluşturmuştur. 2023 Ocak ayı verilerine göre, güneş enerjisinin toplam kullanılan güç içindeki oranı %7,55'e, yenilenebilir enerjideki oranı ise %14'e çıkmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santral sayısı 2022 Aralık sonu itibarıyla 8.482'ye çıkmıştır (TEİAŞ, 2022).

19 Şubat 2022 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanmış Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan raporda “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile binalarda yenilenebilir enerji zorunluluğu 1 Ocak 2023 tarihinde başlamıştır. Normal binalara göre enerji verimliliği daha çok olan “Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB)” anlayışına geçiş, kademeli olarak zorunlu hale getirilmiştir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı [CSB], 2023).

Yönetmeliğe göre 5 bin metrekareden daha büyük binaların enerji performans grubunun en az “B” olacak biçimde olması ve tüketilen sarfiyatın en az yüzde beş' ini yenilenebilir enerji kaynaklarından temin etmeleri 1 Ocak 2023'ten itibaren zorunlu hale getirilmiştir (CSB, 2023).

Elektrik üretimi amacı ile güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi karar vericiler için birçok alternatifler içeren ve farklı tercihler taşıyan karmaşık bir karar problemidir. Çünkü bu seçim arazi kullanımı, coğrafya, trafo merkezlerine uzaklık, arazi hava koşulu vb. sosyal, çevresel ve ekonomik birçok kriteri içinde barındıran kompleks birçok süreçten oluşmaktadır.

## **Çalışmanın Amacı**

Türkiye’de GES kurulumuna elverişli birçok lokasyon olduğundan ve güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu bir ülke olmamız sebebiyle günümüzde bununla alakalı birçok çalışma yapılmaktadır. GES kurulması için yalnızca güneş enerjisi potansiyeli ölçütünü kullanarak arazi seçmek yeterli olmayabilir. Diğer önemli kriterler de hesaba mutlaka katılmalıdır. GES’lerin kurulabileceği konumların tespiti için öncelikle hangi ölçütlerin değerlendirmeye alınacağı uzmanları ile belirlenmelidir. Bu çalışmada kullanılan kriterler ekonomik, teknik, coğrafik ve sosyal ana başlıklar altında 12 adet alt kriter de toplam üç il için belirlenmiştir.

Çalışmanın ana amacı İstanbul, Nevşehir ve Bilecik illerinde verimin en fazla seviyede olduğu optimum güneş enerjisi santrali kurulabilecek lokasyonun belirlenmesidir. Santral için optimum yer seçim kriterleri karar verilirken verimlilik, ekonomik, coğrafik ve sosyal faktörler açısından uygun lokasyon seçimi şartları dikkate alınarak uygulanmıştır.

## **Çalışmanın Önemi**

Araştırma konusu günümüzde oldukça güncel bir konudur. Bu sebepten diğer çalışmalara da öncülük yapacağı düşünülmektedir.

Literatür incelendiğinde güneş enerjisi santralleri için uygun yer seçim karar süreçlerinde yalnızca güneş enerjisi potansiyeli verisinin ve ortak birkaç verinin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Fakat güneş enerjisi santralleri verimliliği ve çevresel, sosyal ve ekonomik etmenler dikkate alınarak, yapılan iki aşamalı analizler neticesinde uygun alan olarak belirlenen alternatif lokasyonlar değerlendirildiğinde, güneş enerjisi santralleri için optimum yer seçiminde güneş enerjisi potansiyeli haritasının tek başına yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler ile ilgili kriterler ve karar faktörleri birlikte düşünülerek iki aşamalı metodoloji uygulanmış olup, verimlilik çeşitli ana faktörler ile ele alınmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar ve uzman görüşlerinden faydalanılması ile uygun yer seçimi kararının ekonomik, teknik, sosyal ve coğrafik olarak çok yönlü ele alınması sağlanmıştır.

## **Çalışmanın Yöntemi**

AHP ve VIKOR bu çalışmada kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleridir. ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemini uygulamada Super Decisions programı kullanılmıştır. Yalnız AHP ve yalnız VIKOR yöntemini kullanan birçok çalışmalar literatür incelendiğinde karşımıza çıkmaktadır. Fakat iki yöntemin bütünleşik olarak kullanıldığı

Çalışmaların oldukça sınırlı olduğu ve kriter sayılarının da yetersiz kaldığı gör÷lmektedir. Çalışmada bu iki yöntemin tercih edilme sebeplerine gelecek olursak; AHP' nin yöneylem araştırmalarında en sık kullanılan ve güvenilir bir ÇKKV tekniğı olması ve yöntemin halen daha güncel olması, VIKOR yönteminin kullanılmasının en önemli nedeni ise; farklı bir karar verme yaklaşımından faydalanılarak iki çalışmanın da sentezlenmesidir. Çalışmanın önemi güneş enerji santrali yer seçiminde AHP ve VIKOR yöntemlerinin birlikte kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Uygulama bölümünde enerji sektöründen dört uzmanın görüşü GES kurulumunda dikkate alınması gereken önemli etmenler ve bu çalışmada belirlenmiş olan alanlar ile ilgili detaylı bilgiler alınarak faktörlerin bu alandaki etkisi kıyaslanarak veriler alınmıştır. Super Decisions programında bu veriler girilmiştir. Kriterlerin birbiri arasındaki önem dereceleri belirlenerek Super Decisions programında sonuçlar elde edilmiştir. İkinci yöntem olarak ise VIKOR Microsoft Excel yardımıyla uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar AHP ve VIKOR yöntemlerinde kıyaslamalı olarak incelenmiştir. İki farklı birleşik karar verme yönteminin kullanılması, bu iki yönteme göre de tutarlı ve aynı sonuçların elde edilmesi ileride yapılacak olan çalışmalara, alınacak güneş enerji santrali yatırımlarına doğru bir rehber kaynak olabilmesi açısından önemlidir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde; sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynakları kavramları ile yenilenebilir enerji çeşitlerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, Güneş enerji sistemleri ve teknolojileri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, Güneş enerji santrali yer seçimi, Çok kriterli karar verme yöntemleri ve konu ile ilgili mevzuatlar ile literatür araştırması ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, AHP ve VIKOR yöntemleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Son bölümde de; bu bilgiler uygulamalı halde pekiştirilip anlatılarak analizlere yer verilmiş olup sonuçlar öneriler ile desteklenmiştir.

# **BÖLÜM 1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ve YENİLENEBİLİR ENERJİ**

## **KAYNAKLARI**

Günümüzde sürdürülebilirlik tanımı, işletmeler açısından önemli bir kavram halinde kendine yer bulunmaktadır. Şirketler arası rekabet artık sadece üretilen mal ile sınırlı olmayıp, gelişen teknoloji ile işletmelerin performansı sadece finansal kriterlere göre değil, çevreye ve topluma karşı olan sorumluluklarına göre de ölçülmektedir (Tüyen, 2019).

### **1.1. Sürdürülebilirlik Kavramı**

Sanayileşme düşüncesiyle doğan üretim sürecinde, kaynakların sınırsız ve kontrol dışı kullanılması neticesinde, 1970'li yıllarda işletmecilerin üretime yönelik kaygılarının arttığı görülmektedir. Washington Mutabakatı ile uygulanan neoliberal politikalar sonucunda, dünyadaki ekonomik yenilenme ve büyüme 1980'li yıllardan itibaren yeniden ivme kazanmaya başlamıştır. Birleşmiş Milletler tarafından 1987'de yayınlanan “Ortak Geleceğimiz” isimli Bruntland Raporu ile 1992 yılında Rio Konferansında alınan kararlar sürdürülebilirlik ve çevreye duyarlı üretim konularında alınan en önemli kararların başında gelmektedir (Tüyen, 2019). Bu görüşmelerde elde edilen kararlar, hükümet, sivil toplum kuruluşları üzerinde olduğu gibi, üreticiler üzerinde de olumlu bir etki oluşturmuştur (Redclift, 2005).

Sürdürülebilirlik kavramını, üreterek devamlı varlığını koruyabilme olarak ifade edilebilir. Amaç çevre ve doğaya karşı sorumlulukların bilincinde olmak ve gelecek nesle de temiz bir çevre bırakmaktır. (Tüyen, 2019).

17. yüzyıldan bu yana yaşanan sanayileşme olgusunun, dünyanın bazı ülkelerinde de olsa, önemli ekonomik gelişme sağladığı açıktır. Ülkelerinde kentleşme olgusuyla birlikte yeniden hızlı bir nüfus artış süreci yaşanmıştır (Beycur, 2022). Ancak kaynakların bu şekilde gereksiz fazla kullanımıyla sağlanan ekonomik kalkınmanın maliyeti yüksek olmuş, tabiatın ve tabii kaynakların yeterince korunamaması nedeniyle ekonomi kavramının yeniden düşünülmesi ve değerlendirilmesi gerektiği kaçınılmaz hale gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma, işletmeyi gelecekteki ortaklarının ihtiyaçlarını karşılama fırsatından yoksun bırakmadan, şirketlerin iç ve dış ortamındaki çıkarlarını karşılayan bir gelişme olarak ifade edilmektedir (Turan, 2022).

## 1.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve Enerji

Çevre ve enerji, Dünya’da ortak düşünölmeye başlanmış olup aslında bu durum kaçınılmaz bir zorunluluk olarak ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni ise; kalkınmayı devam ettirirken kalkınma ile çevre arasındaki ilişkiyi sürdürülebilir kılmaktır. Bu nedenle çevre ve kalkınma arasında anlamlı bir bağ olduğunu ortaya koyan sürdürülebilir kalkınma kavramına verilen önem günümüz ihtiyaçları karşısında giderek artmaktadır (Ekinci, 2022).

Sürdürülebilirlik kavramı birçok yönden ilişkilendirebilir. Doğal kaynak kullanımı, ve kirlilik önleme ile çevresel yönden; kar, maliyet düşürölmesi, ekonomik büyüme ile finansal yönden ilgilidir. Ayrıca iş etiğı ve işçi haklarının korunması gibi konularla ilgili de sosyal yönden ilişkilendirilmektedir (Önal, 2020).

21.yüzyıldan itibaren enerji kavramı sanayideki gelişmeler sonucunda önemli hale gelmeye başlamıştır. Enerjiye duyulan ihtiyaçlar araştırma ve geliştirme sonrası artmış olup enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değeri oldukça çok artış göstermiştir (Ekinci, 2022).

Değirmek gerekir ki, endüstriyel ve ekonomik gelişmeler insana birçok kolaylık sağlarken çevresel anlamda olumsuz yönler barındırmaktadır. Zaman içerisinde petrol, kömür ve doğal gaz gibi yenilenemeyen diğer bir deyişle kullanılmakla tükenen enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda çevrede yaşanan olumsuz etkiler görölmüş, enerji kaynakları ile çevre arasındaki ilişkinin öneminin farkına varılmıştır. Bu nedenle çevre sorunlarına karşı önlemler alınıp enerji tüketimi-çevre ikili ilişkisinin dengeli yürütölmesi adına devletler ulusal ve uluslararası düzeyde resmi adımlar atmaya başlamışlardır.

Bu kapsamda, günümüzde uygulanan hukuka uygun politikalar sonucunda enerji tüketimi ile çevre arasındaki uyum dengelenmeye başlanmıştır, ancak dengenin hala sağlanamamış olması nedeniyle daha ciddi önlemler alınmalıdır. Dünyamızda yaşanan ve yaşanmaya devam eden iklim değışikliği bu durumun en önemli göstergesi olup Dünya’nın ve insanlığın geleceğini önemli biçimde etkileyecek niteliktedir (Karaca ve Erdoğan, 2021).

Pearce kişi başına düşen tüketimin azalması ve refah seviyesinin düşmesinin ortaya çıktığı bir durumda sürdürülebilir bir kalkınma olmayacağından bahsetmiştir. Çünkü sürdürülebilirliğin amacı toplumun herhangi bir sistemin kesintiye uğramayacağı bir anlayıştır. (Tozar, 2006). Enerji politikası gelecek kuşaklar için temiz ve yaşanabilir bir

çevreyi güvence altına alacak biçimde sürdürülebilir olmak zorundadır. Sürdürülebilir kalkınma için ülkelerin, ilk önce enerji sektörüne çözüm aradığı gözükmektedir. Kalkınmasını tamamlamış bazı gelişmiş ülke deneyimlerini incelediğimizde elektrik üretimlerinin tamamına yakınının yerli ve temiz kaynaklardan sağlandığı görülmektedir. (Karaca ve Erdoğan, 2021).

### **1.3. Yenilenebilir Enerji Açısından Sürdürülebilir Kalkınma**

Ekonomik kalkınma düzeyi ile enerji tüketimi arasındaki ekonomik ilişki yapılan birçok çalışma ve istatistiklerle teyit edilmiştir (Ağır ve Kar, 2010). Günümüzde gelişmiş ülkelerin çoğu enerji tasarrufu ve verimliliği konusuna yönelmişlerdir. Endüstriyel toplumların bu yaklaşımı, enerji tüketimini mümkün olduğu kadar azaltarak, elektriği değerli bir girdi olarak alan en verimli üretim biçimini belirlemektedir (Arslan, 2022).

Enerji talebinin artması, elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan fosil kaynakların azalması ve çevrenin bozulması nedeniyle dünya çapında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artırmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma; kaliteli enerji ve sürekli olması ile birlikte değerlendirilmeli ve enerji ve kalkınma arasındaki konunun bu anlamda değerlendirilmesi gerekmektedir (Sağbaş ve Başbuğ, 2018, s. 42).

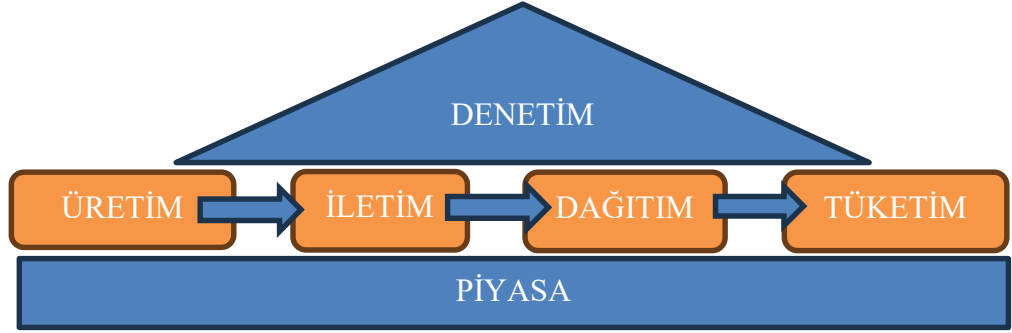
### **1.4. Türkiye'nin Sürdürülebilir Enerji Politikaları**

Bir ülkenin enerji politikasına karar verirken önemli olan yalnızca seçilen politika değil, aynı zamanda onun nasıl ve neden tercih etmiş olmasıdır. Politika oluşturma sürecinde karşılıklı görüşlerin alınması ve halkın görüşleri doğrultusunda kapsamlı ve sürdürülebilir politikaların geliştirilmesi, ulusal kalkınmaya büyük katkı sağlamış olacaktır (Urasoğlu, 2022).

Enerji sektörü; üretim, tedarik, piyasa, dağıtım, denetim ve tüketim başlıklarıyla gruplandırılan bir yapıdır. Şekil 1'de ülkemizdeki enerji sisteminin yapısı gösterilmiştir.

## Şekil 1

### *Türkiye’de Enerji Ekosisteminin Yapısı*



**Kaynak:** Ceylan ve Gürel (2021)

Türkiye açısından bakıldığında, sürdürülebilir kalkınmayı içeren bir politikasının zorunluluğunu açık bir şekilde göstermektedir. 2018 yılında Dünya Bankası tarafından yayınlanan iklim raporunda ülkemizde kişi başına düşen karbon miktarının 5,2 ton olduğu ve bu miktarın hedeflenen 2 ton karbon miktarından oldukça fazla olduğu belirtilmiştir (Tozar 2006; Onat 2018). Bu sorunun temel nedeni ise ülkede üretim ve tüketim faaliyetlerinde yoğun biçimde kullanılan fosil yakıtlardır. Bu nedenle ülkemizdeki sürdürülebilir kalkınma politikalarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür: (Karaca ve Erdoğan, 2021)

- Enerji ihtiyacını indirgeyen çevre dostu teknolojilerin kullanılması,
- Yerli enerji tüketiminin yaygınlaştırılması,
- Yeşil bina uygulamalarının yaygınlaştırılması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik politikalar geliştirilmesi,
- Çöplerden ve atık suların elektrik üretimine ağırlık verilmesidir.

2012-2023 dönemini kapsayan Enerji Stratejisi belgesi 20 Şubat 2012 tarih ve 28215 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Enerji verimliliği tanımı; dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin ortadan kaldırılması, sürdürülebilir enerji fiyat seviyelerinin korunması, iklim değişikliğine müdahalenin artırılması gibi milli hedefleri açıklayan bir terimdir (ETKB, 2023). Enerjinin üretimi ve dağıtımından nihai tüketime kadar her düzeyde yanlış kullanım ve israfın önlenmesi, enerji verimliliğine katkısının artırılması ve makro ve sektörel düzeyde enerji tüketiminin azaltılması, ülkemizin milli enerji politikasının öncelikli bileşenlerindendir. Enerji Verimliliği Stratejik Planı aşağıda belirtilen 7 temel amaç üzerine kurgulanmıştır:

- Enerji tüketimini ve enerji kayıplarının indirgenmesini sağlamak,
- Çevre dostu binaların artmasını teşvik etmek ve karbon emisyonunu azaltmak,
- Enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümünü sağlamak,
- Kamuda enerjiyi etkin kullanmak,
- Enerjisi verimli ürünlerin piyasaya geri dönüşümünü sağlamak,
- Toplu taşıma yönlendirmek ve fosil yakıtlı taşıtların kullanımını azaltmak,
- Kurumsal kapasiteyi, yapıları ve iş birliklerini arttırmak, ileri teknoloji kullanımını artırmak (ETKB, 2023).

Vergiler dışında devletin çevre dostu üretim yöntemlerine finansal teşvik sağlaması, Ar-Ge desteği vermesi, kota yükümlülüğü koyması ve uygun fiyat ve miktarda tarife desteği sağlaması da mümkündür. Temiz enerjilerin ülkemize sağladığı avantajları da göz önünde bulundurmalıdır. Böylece ülkeye ekonomik katma değer sağlamanın yanında istihdamın artırılması, ülke kalkınmasının sağlanması da olanaklı hale gelebilecektir (Karaca ve Erdoğan, 2021).

Türkiye'nin mevcut jeopolitik konumu dikkate alındığında enerji sektöründe Avrupa ile Asya arasında önemli bir enerji kavşağı konumundadır. Dolayısıyla mevcut ekonomik büyümeyi sürdürebilmek, sanayisinin enerji ihtiyacını ve güvenliğini karşılamak için önemli reformlar gerçekleştirmek zorundadır. Türkiye Cumhuriyeti hükümeti, Vizyon 2023 hedeflerini dikkate alarak yeni enerji yatırımlarının temellerini atarak 2013 yılında 6446 sayılı Kanunu çıkarmıştır (Yenilmez, 2020). Vizyon 2023'e göre Türkiye, enerji sektöründe yerli enerji kaynaklarının teşvik edilmesini ve yenilenebilir enerji oranının yüzde 30'a çıkarılmasını hedeflemektedir (Alcan vd., 2018).

Hedef, 2023-2011 yılları arasında Türkiye'nin enerji tüketimini en az %20 oranında azaltmaktır. Bu anlamda Enerji ve Kaynaklar Bakanlığı'nın 2012-2023 yıllarına ilişkin etkili stratejik belgesinde de belirtildiği gibi sürdürülebilir binaların teşvik edilmesi stratejik bir hedef olarak belirtilmiştir. Ayrıca Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'na göre 2033 yılına kadar birincil enerji tüketiminin azaltılmasıyla sağlanabilecek tasarruf 30,2 milyar ABD dolarıdır (ETKB, 2018). Güneş enerjisi santrallerinin kurulduğu bölgelere yönelik devlet teşvikleri bulunmaktadır (Sezal, 2017).

### **1.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji ve kullanımları sürdürülebilir kalkınmayla ile doğrudan bağlantılıdır. Enerji, yaşam ve ekonomik kalkınma açısından önemli bir değer unsurudur ve neredeyse

evrensel olarak tüm Dünya tarafından kabul edilmektedir. Pek çok çalışmada yenilenebilir enerjinin nükleer santral ve sahalardan kaynaklanan çevresel sorunlara çözüm sunduğu sonucuna varılmış olup, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları açısından çok fazla olanağa imkanı olduğunu çeşitli çalışmalar sonucu bildirilmiştir (Aslan, 2022).

Örnek verecek olursak, Aslan 2022’ deki çalışmasında yenilenebilir enerjinin Türkiye ekonomisine ve işletmelerde üretim stratejilerine etkisini araştırmış olup yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme ekonomisi açısından önemini vurgulamıştır (Aslan, 2022).

Sürdürülebilirlik kavramı, iklim değişikliğine bağlı olumsuz etkiler sebebiyle insanlık tarihinde hiç olmadığı kadar fazla önemli hissedilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, temiz çevre ve karbon nötr olmaları sayesinde bu önemi destekler niteliktedir (Yenilmez, 2020). Ülkemiz coğrafi yapısı sayesinde enerji kaynaklarından elektrik üretimi oldukça yüksek olduğundan dolayı gereken üretilerek ülke içerisindeki ihtiyacın önemli kısmı karşılanabilir ve fazlası dışarıya satılabilmektedir. Dolayısıyla, enerjide dışa bağımlılığın büyük oranda azalmasını sağlamaktadır (Delihasanlar vd., 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidro enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji bulunmaktadır. Okyanus ısı enerjisi dönüşümünü, dalga ve gelgit enerjisini içeren okyanus enerji kaynakları da yenilenebilir enerji kaynaklarındandır ama fazla ekonomik değillerdir ve teknolojileri hala geliştirilme aşamasındadır.

Bir enerji kaynağı, herhangi bir tükenme olmadan ve çevreye olumsuz herhangi bir etkisi olmadan yenilenebiliyor ve sürdürülebiliyorsa yenilenebilir olarak adlandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji, alternatif ve yeşil enerji olarak da isimlendirilebilmektedir. Tablo 1’de Yenilenebilir enerji çeşitleri belirtilmiştir.

**Tablo 1**

*Yenilenebilir Enerji Çeşitleri*

| Yenilenebilir Enerji Çeşitleri | Kaynak            |
|--------------------------------|-------------------|
| Güneş Enerjisi                 | Güneş             |
| Hidrolik Enerji                | Akarsu, nehir     |
| Rüzgar Enerjisi                | Rüzgar            |
| Biyokütle Enerjisi             | Biyolojik atıklar |
| Okyanus Enerjisi               | Okyanus, deniz    |
| Jeotermal Enerji               | Yeraltı suları    |
| Hidrojen Enerjisi              | Su                |

**Kaynak:** Arslan (2021)

Ekonomik kazançların yanında yenilenebilir enerji kaynak kullanımıyla sağlanabilecek diğer kazanç ise; çevre kalitesinde ve insan sağlığında yaşanacak iyileşmelerdir. (Aydiner, 2020). Tablo 2’de fosil ve yenilenebilir kaynakların atmosfere yaydığı kirlilik miktarları görülmektedir.

**Tablo 2**

*Enerji Kaynaklarının Doğaya Bıraktığı Kirlilik Miktarı*

|                         | Fosil Yakıtlar |        |            | Yenilenebilir Enerji |           |        |
|-------------------------|----------------|--------|------------|----------------------|-----------|--------|
|                         | Doğal gaz      | Linyit | Taş kömürü | Güneş                | Biyokütle | Rüzgar |
| <b>Karbondioksit(g)</b> | 400            | 1060   | 836        | 53                   | 83        | 8      |
| <b>Methane (mg)</b>     | 993            | 244    | 2554       | 100                  | 119       | 8      |
| <b>Azot (mg)</b>        | 353            | 1041   | 1309       | 112                  | 814       | 31     |

**Kaynak:** EWEA (2008)

### **1.5.1. Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki hidrojen gazını helyuma dönüştüren nükleer füzyon reaksiyonunun sonucunda oluşan oldukça güçlü bir enerjidir (Koç ve Kaya, 2015). Çevreye daha az zarar veren güneş enerjisi en uygun enerji kaynaklarından biridir ve güneş ışığının az olduğu ülkelerde bile faydalanılabilmektedir. Bu bağlamda fotovoltaiik yöntemler başta olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretimi en çok kullanılan yöntemdir. Kullanılan bir diğer özellik ise yerleşim yerlerine sıcak su sağlamak veya bu sıcak su ile evi ısıtmak için gerekli sistemlerin kurulmasıdır (Yayılı, 2021). Güneş panelleri ülkemizde de özellikle son yıllarda evlerde yaygın olarak kurulmakta olup ülkemizin 2023 için planlanan hedefleri arasında oldukça önem arz etmektedir (Bekar, 2020).

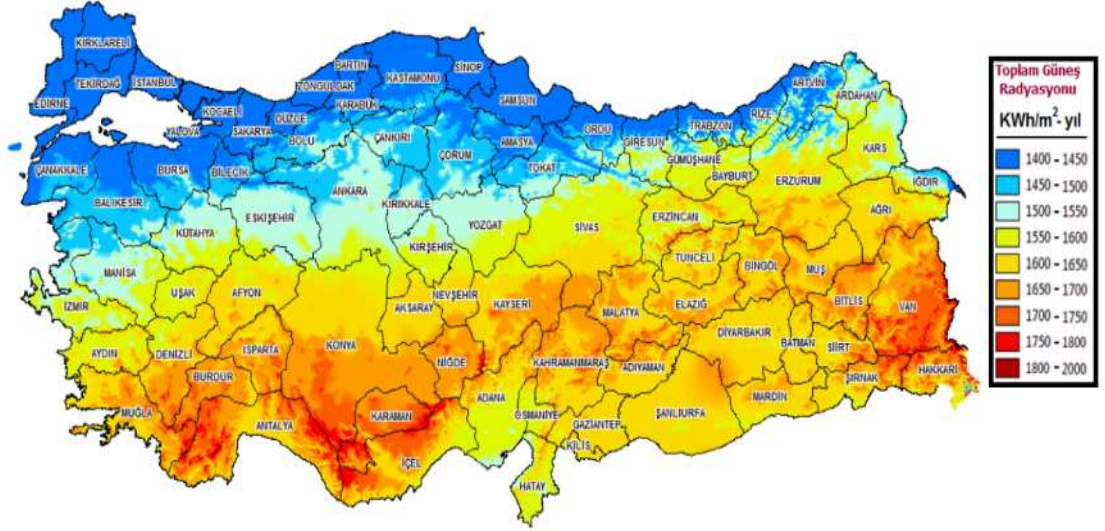
Dört mevsimin yaşandığı ülkemizde, yılın 114 günü güneşli olmaktadır. Güneş ışınlarının çoğu dik açıyla gelmekte ve bu yüzden sağlanan enerji verimliliği de yüksek olmaktadır. Araştırmalara göre yılda 2.737 saat güneş süresi bulunmaktadır (GEPA, 2023).

Güney Doğu Anadolu Bölgesi ülkemizde güneş enerjisinden an çok faydalanılan bölgedir. Sırasıyla bunu Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi izlemektedir. Güneşten elde edilen elektrik enerjisi sanayi, ısınma ve sulamada kullanılabilmektedir. Haziran ayı güneş enerjisinden en fazla elektrik üretilen olmasına karşın aralık ayı ise en düşük seviyede elektrik üretilen aydır (GEPA, 2023).

Güneşlenme süresi Türkiye’de güneyden kuzeye doğru gidildikçe azalmaktadır. Yatırım maliyetlerinin geri dönüşü daha kısa olacağından fazla ışınlam alan bölgelere güneş enerji santrali yatırımı yapmak gerekir (Yalılı, 2021).

## Şekil 2

### Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası



**Kaynak:** GEPA (2023)

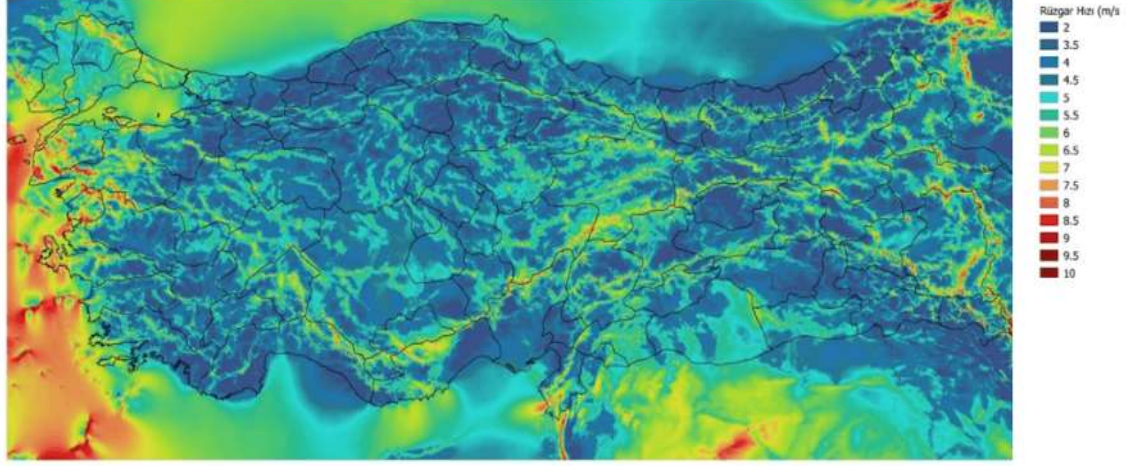
Şekil 2’de görüldüğü gibi Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’ na (GEPA) göre, Ülkemizin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.737 saat olup, yıllık ortalama 1.527 kWh/m<sup>2</sup>’ güneş enerjisi oluşmaktadır (ETKB, 2023).

#### 1.5.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi M.Ö. 400’den itibaren tekneleri hareket ettirmek, tahıl öğütmek, çiftliklerde su pompalamak için son zamanlarda ise elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Sadece ABD’de 1850’den beri suyu pompalamak için 6 milyondan fazla küçük yel değirmeni kullanılmaktadır.

### Şekil 3

#### *Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyeli Haritası*



**Kaynak:** ETKB (2023)

Şekil 3'te ülkemizin rüzgâr enerji potansiyeli haritası verilmiştir. Dünyada hızla gelişmekte olan bir enerji kaynağı da rüzgar enerjisidir. Çin 188 GW rüzgar gücü kapasitesi ile dünyada liderdir. 89 GW kapasite ile ABD ikinci sırada gelmektedir. (Aydın, 2020).

Rüzgar “bedava” ve yenilenebilir olmasına rağmen modern rüzgar türbinleri pahalıdır ve diğer güç üretim cihazlarına göre bariz dezavantajlara sahiptir. Bir dezavantajı sadece rüzgar estiğinde enerji üretebilmesi ve enerji çıktığında doğası gereği kararsız olmasıdır. Ayrıca rüzgar türbinleri çoğu zaman kurulu elektrik şebekelerinden uzakta olup, yeni yüksek gerilim hatlarının inşa edilmesini gerektirmektedir (Ateş, 2020).

Ülkemizde Marmara ve İç Anadolu Bölgesi'nde rüzgar enerjisi santrallerine sık rastlanmaktadır. Bu enerjiden elektrik üretilebilmesi için denize yakın olan büyük düzlüklere ihtiyaç vardır. Pervaneler sayesinde elektrik enerjisi elde edilmektedir. Ülkemiz konumu gereği dört bölgeden de rüzgara açık bir ülkedir. Bunun avantajı olarak da yüksek bir potansiyele sahiptir. Daha çok faydalanmak için kurulan santrallerin sayısı giderek artmaktadır (Gökkaya, 2022).

#### **1.5.3. Hidrolik Enerji**

Türbinler, akarsular ve su kütlelerinde serbest halde var olan mekanik enerjiyi dönen mil yardımı ile faydalı bir mekanik işe dönüştürmede yüzyıllardır kullanılmaktadır. Hidrotürbinin dönen parçasına çar adı verilir. Büyük barajlar su biriktirmek amacı ile akarsuların üzerine kurulur. Bu yapılara hidroelektrik santrali denir. Baraj inşa etmek

uzun ve büyük yatırım maliyeti gerektirse de bu barajlardan elektrik üretimi fosil yakıtlara kıyasla daha azdır (Ateş, 2020). Şekil 4'te örnek bir hidroelektrik santrali gösterilmektedir.

#### Şekil 4

##### *Hidroelektrik Santrali*



#### **Kaynak:** ETKB (2023)

İlk hidrolik türbin jeneratör ünitesi 1882'de ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'de kurulmuştur. Bunu 1883'te Kuzey İrlanda takip etmiştir. Aynı yıl Brezilya'daki iki jeneratör su çarkı yardımıyla çalıştırılmıştır. 2017 yılı itibari ile dünyanın yenilenebilir enerji kapasitesinin çoğu hidrolik enerjiden sağlanmaktadır. Hidrolik enerji bu gücün %73'ünü oluşturmaktadır ve fosil yakıtlar dahil olmak üzere elektriğin %17 si buradan üretilmektedir (Kanoğlu vd., 2022).

Hidroelektrik santrallerin çoğunda türbinler paralel olarak konumlandırılmaktadır. Bu sayede şirketler enerji talebinin az olduğu dönemlerde türbinlerden bazılarını kapatabilmektedir. Su biriktirme rezervuarı olan bir santrali kurmak oldukça pahalıdır ve vakit alır. Nehir kenarında kurulmuş bir sistemin aksine bir baraj depoladığı suyun tamamına yakını enerji üretiminde kullanabilir.

Hidroelektrik santral odasında türbinler ve jeneratörler bulunur. Regülatör, su giriş vanası, elektrik kontrol panosu ve atalet volanı gibi yardımcı ekipmanlar yer alabilir. Bunun yanında nehir santrallerinde daha az inşaat faaliyeti vardır. Daha kısa sürede inşa edilir. Daha az çevresel etkiye ve ilk yatırım maliyetine sahiptirler (Kanoğlu vd., 2022). Hidroelektrik santraller su hızının yüksek olduğu bölgelerde kurulmaktadır. Hidroelektrik

enerji üretiminin ana kaynağı su olduğundan, bu enerji uzun süre çevre dostu ve en ucuz enerji kaynağı olacağı beklenmektedir. Elektrik üretiminin yanında hidroelektrik santraller su ihtiyacının karşılanmasında, sel ve taşkın sorunlarının giderilmesinde, tarım arazilerinin sulanmasında önemli rol oynamaktadır. (Aydiner, 2020).

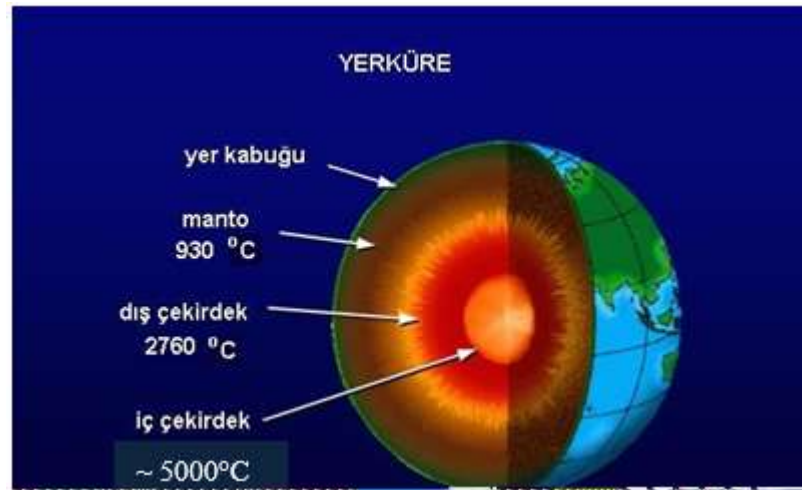
Dünyanın ilk hidroelektrik santrali Niagara Şelalesi'nde Nikola Tesla tarafından inşa edilmiştir. Türkiye'nin hidroelektrik kapasitesi 433 milyar kWh, hidroelektrik kapasitesi 216 milyar kWh, ekonomik hidroelektrik kapasitesi ise 140 milyar kWh/yıldır. Ülkemizde 2022 mayıs ayı itibari ile toplam elektrik üretiminde hidrolik enerjinin payı %34,3 olmuştur (ETKB, 2022; Kanoğlu vd., 2022).

#### 1.5.4. Jeotermal Enerji

Yer kürenin içinde bulunan ısı enerjisi jeotermal enerji denilmektedir. Isı topraktan sürekli olarak yağışla geri dönüştürülen suya aktarıldığı için yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Erkul, 2022). Kaynağı dünyanın çekirdeğidir ve yerin yaklaşık 6500 km derinliğindedir. Çekirdek ise bir iç çekirdek bir dış çekirdek olan magmadan oluşur. Jeotermal kaynaklar sıcaklıklarına ve birleşme özelliklerine göre gruplara ayrılırlar (Kanoğlu vd., 2022). Şekil 5'te yer kürenin katmalarından bahsedilmektedir.

#### Şekil 5

##### Jeotermal Enerji

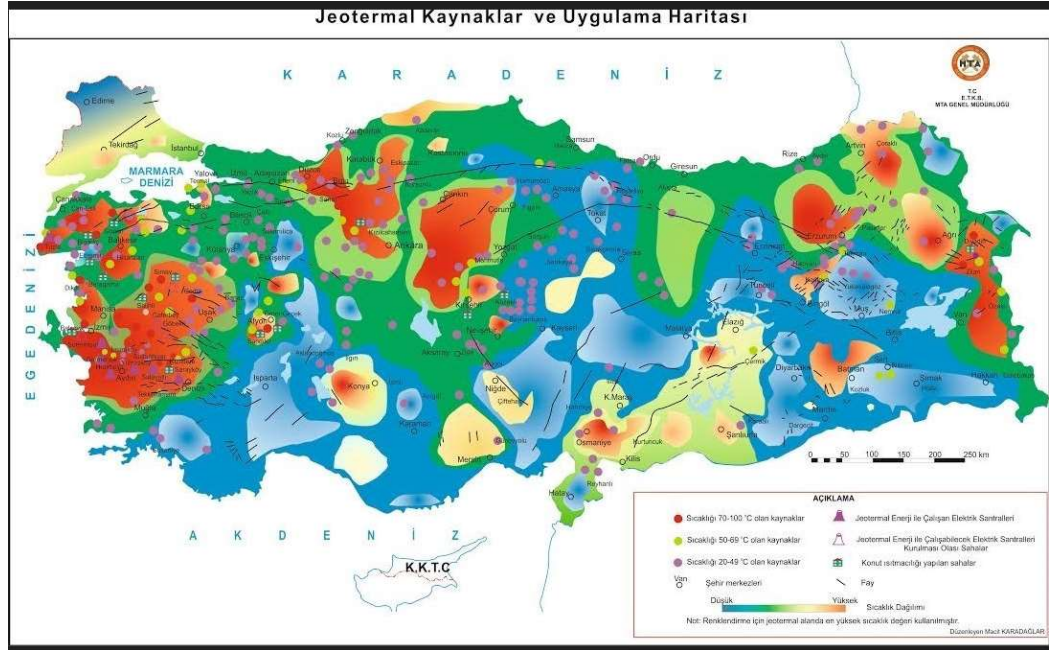


**Kaynak:** TJD (2023)

Şekil 6'da ülkemizdeki jeotermal kaynakların belirtildiği harita verilmiştir.

## Şekil 6

### Türkiye Jeotermal Kaynaklar Uygulama Haritası



**Kaynak:** ETKB (2023)

- Hidrotermal: Bunlar bilinen jeotermal alan olup sıvı karışım ve buhar fazında yüksek sıcaklıkta su içermektedir.
- Jeobasınçlı: Bu kaynaklar çok yüksek basınçlarda ve 150 °C – 180 °C arasında sıcak sıvı su içermektedir.
- Magma: Erimiş kaya da denilir. Genel olarak 650 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda aktif volkanların altında bulunur.
- Gelişmiş: Sıcak, kuru, kaya jeotermal sistemler olarak da adlandırılır. Bunlar doğal değildir. Buradaki düşünce, suyun yüksek basınçta kaya oluşumuna enjekte edilmesi ortaya çıkacak buharın yüzeye geri getirilmesidir. Kaya sıcaklığı 250 °C civarında olabilmektedir (Maltaş, 2017).

Bu dört jeotermal türünden sadece hidrotermal kaynaklardan yararlanılabilmektedir. Diğerlerinin yüksek enerji potansiyeli olmasına rağmen henüz uygulanabilir düzeyde enerji üretimi mümkün olmamıştır (Kanoğlu vd., 2022).

Dünyanın merkezine inildikçe sıcaklık yüzeye yakın her 100 m'de 3 °C artar ve bu artış magma tabakasına kadar devam eder. Ülkemizde 4000 metre derinliğe ulaşarak elde edilen jeotermal kaynakların güncel teknoloji ile ekonomik olarak kullanımı sağlanabilmektedir (Ceylan ve Gürel, 2021).

Jeotermal enerji santrallerinin ilk kurulum maliyeti diğer kömür ve nükleer santraller gibi yüksektir (Şener ve Uluca, 2009). İlk olarak 1900'lü yıllarda İtalya'da geliştirilen termal enerji, ülkemizde Manisa, Aydın ve Çanakkale bölgelerinde büyük bir kullanıma imkan sağlamaktadır (Kanoğlu vd., 2022; Ceylan ve Gürel, 2021).

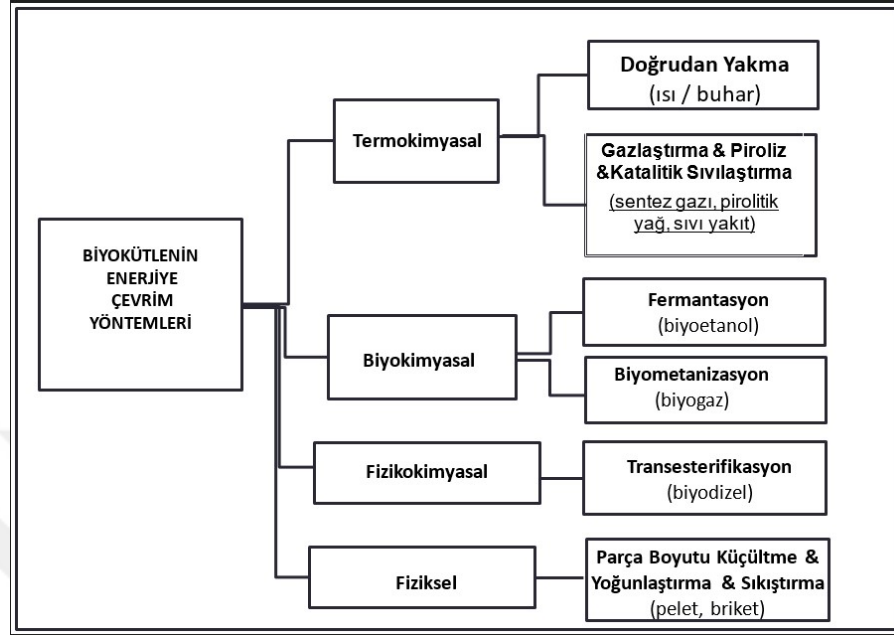
Jeotermal enerji, ülkemizde de çok fazla faydalanılabilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Fay hatlarından sızan sıcak su ve su buharı enerji üretiminde kullanabilmektedir. Ülkemiz oldukça geniş bir fay hattına sahiptir. Özellikle Marmara ve Bölgelerinde fay kırıkları hareketli olduğundan jeotermal kaynaklar oldukça çoktur. Bu sayede gelen sıcak su akıntıları dolayısıyla endüstriyel makineler kullanılır ve evlerin ısınma ihtiyacı giderilir.

#### ***1.5.5. Biyokütle Enerjisi***

Organik ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Genellikle zirai ürünler, orman ürünleriyle bunların kalıntılarından ve alglerden üretilmektedir. Tarım ürünlerinin ve ağaçların yetişmesi için uzun süre geçmesi gerekirken, bunlar dikim yoluyla yeniden yetiştirilebilir ve bundan dolayı biyokütle yenilenebilir bir enerji türü olarak dikkate alınır (Ateş, 2020). ABD'de tüketilen toplam enerji kaynaklarının yaklaşık yarısının biyokütleden olduğu bilinmektedir. Biyokütle enerjisinden ısıtma, soğutma, elektrik üretiminde faydalanılacağı gibi sağlık turizmi amaçlı da kullanılabilir. Genel olarak; su ve buharın sürekli olarak basınç altında yüzeye çıkardığı ısı enerji olarak tanımlanır (Öztürk, 2008). Şekil 7'de biyokütle enerjisinin elde edilme yöntemleri verilmiştir.

## Şekil 7

### Biyokütle Enerjisinin Çevrim Yöntemleri



**Kaynak:** ETKB (2023)

Sıvı ve gaz yakıtlar, katı yakıtlara kıyasla daha kullanışlı bir yakıt biçimidir. Bu sebepten orman ürünleri bazı işlemlerden geçirilerek genellikle sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülmektedir. Sıvı ve gaz yakıtlara dönüşümünde de elektrik ve kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıt biçimlerindeki enerji tüketimi söz konusudur. Fosil yakıt tüketimi de sera gazı emisyonlarını beraberinde getirmektedir. Bu yüzden biyokütlenin yenilenebilirliği güneş, jeotermal ve rüzgar gibi diğer kaynaklarda olduğu kadar verimli değildir (Kanoğlu vd., 2022). Bu yenilenebilir enerji çeşidi ülkemizde daha az kullanılmaktadır. Örnek verilecek olursa, ayçiçeği bitkisi dönüştürülerek biyodizel üretilir. Buna ilave mısır, buğday da biyodizel üretiminde kullanılır. Bu enerjisinin kazanımı için bu alanda araştırma geliştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir fakat maalesef ülkemiz bu konuda daha fazla gelişime ihtiyaç duymaktadır (Eskin, 2018).

#### 1.5.6. Okyanus Enerjisi

Dalga ve gelgitler sebebiyle okyanus ve sularda suyun kinetik ve potansiyel enerjisine dayanan mekanik enerji oldukça iyi miktarlarda olabilmektedir. Ayrıca okyanuslar suyun güneş enerjisiyle ısınması sonucunda ısı enerjisiye sahip olur. Ülkemizin üç yanının sularla çevrili olması sebebiyle, okyanus enerjisi açısından elverişli bir lokasyondadır (Büyükkız, 2019).

## Şekil 8

### *Okyanus Enerjisi*



**Kaynak:** Ceylan ve Gürel (2021)

Şekil 8’de kurulu bir okyanus enerjisi gösterilmiştir. Güneş enerjisinin soğurulması sebebiyle deniz ve okyanus yüzeylerindeki su daha sıcak derinlerdeki su daha soğuktur. Tropikal iklimde sıcaklık yüzeyde 28 °C’ye ulaşırken bu yerin 1 km altında 4 °C ‘ye kadar düşebilmektedir. Böylece okyanus, kaynak sıcaklığı 28 °C ve kuyu sıcaklığı 4 °C olan büyük bir ısı makinesi gibi düşünülebilir. Bu ısı makinesinin iki sıcaklığı birleştirip kaynak olarak kullanılmasına ve bu prensibe okyanus ısıl enerji dönüşümü (OIED) denir (Kanoğlu vd., 2022; Ceylan ve Gürel, 2021). Bu enerji çeşidi potansiyel ve kinetik enerji içermektedir (Kapluhan, 2014). Dünya yüzeyinin %70’ini kaplayan okyanuslar, dünyanın en büyük güneş toplayıcılarıdır . Sıcak ve soğuk su arasındaki sıcaklık farklılığından dolayı doğal termal enerji üretirler. Yüzey hareketinin ürettiği dalga kuvvetine gelgit enerjisi de denir (Eskin, 2018).

## BÖLÜM 2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

Solar enerji olarak da adlandırılan güneşten yeryüzüne gelen ışınlar sayesinde elektrik üretilmesine güneş enerjisi denir. Bu sistemde ana elektrik kaynağı güneş ışığıdır. Güneş panelinin yüzey kısmı güneş pili adı verilen parçacıklarla doludur (Türkseven, 2019). Söz konusu güneş pili iki katmandan oluşmaktadır: n-iletken silikon ve p-iletken silikon. Fotonlar panele çarparak voltaj oluşturur ve elektrik enerjisi açığa çıkarır. Güneş piline bir foton çarptığı zaman elektronlara yüklenen enerji seviyesi, yarı iletken malzemeden geçmesine olanak sağlayacak bir boyuta ulaşmaktadır. Bu sayede güneş ışınları panel yüzeyine çarpma kadar elektronlar iki farklı silikon katman arasında hareket etmektedir. Bu elektrik enerjisi üretir (Brewer, 2015).

Güneş ışığının enerjisini elektriğe çeviren teknolojiye güneş enerjisi teknolojisi denir. Güneş'teki çeşitli reaksiyonlarla üretilen enerjinin bir kısmı ışıma enerjisi olarak Dünya'ya düşer. Radyant enerjinin paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi işleminin güneş enerjisi teknolojisinin bir sonucu olduğuna inanılmaktadır. Hücrelerden oluşan bir güneş paneli, güneş ışığını toplar ve elektriğe dönüştürür. Güneş ışınlarından yararlanmak için birçok yöntem bulunmaktadır (Beycur, 2022).

En bilinen güneş enerjisi uygulamaları aşağıdaki gibidir; (Ceylan ve Gürel, 2021).

- Düzlemsel güneş kolektörleri; Ülkemizde oldukça bilinen bir yöntem olup, sıcak su temin etmede kullanılan sistemlerdir.
- Vakum tüplü güneş enerji sistemleri; aralarındaki havayı çıkarmak için birbirine kenetlenen iki silindirik cam tüpün ısıyla birleştirilmesiyle yapılır. Dış silindirin yüzeyine gelen güneş ışığı, aralarındaki vakum ortamından geçerek iç silindirin yüzeyi tarafından emilir.
- Trombe duvarı: Pasif bir güneş enerjisi sistemi olan Trombe duvarı cam ve hava kanalları ile kaplıdır. Gün boyunca, güneş ışınları termal kütleyi doğal sirkülasyon yoluyla ısıtır ve duvarların üstünde ve altında bulunan hava geçişlerindeki boşlukları açar. Geceleri, Trombe' nin duvarları depolanmış enerjiyi yansıtmaktadır.
- Geçişli hava paneli: Aktif güneş enerjili ısıtma ve havalandırma sistemidir. Termal güneş panelleri görevi gören güneşe bakan delikli duvarlardan oluşur.

Paneller binanın havalandırma sistemini önceden ısıtır. Ucuz bir yoldur. %70'e varan verimler elde edilebilir.

İki tür fotovoltaik sistem vardır: şebekeye bağlı ve şebeke dışıdır (Maltaş, 2017; Turan, 2022).

#### ➤ Şebekeye Bağlı (On Grid) Sistemler

Prensip olarak şebeke bağlantılı güneş sistemi, panellerin ürettiği elektrik enerjisini depolamaz veya kullanılmayan enerjiyi satmaz, üretildikten hemen sonra kullanır. Bu sistemde pano tarafından üretilen elektrik enerjisi inverter vasıtasıyla monofaze ya da trifaze çevrilerek alternatif akıma dönüştürülmektedir. Şehir şebeke hattına aktarım sağlanır. Bu sistem ile yüksek performanslı güç gerektiren binaların ve endüstriyel tesislerin güç taleplerini karşılayabilir. Sistemin otomatik mekanizması sayesinde güneş panellerinin ürettiği ekstra elektrik enerjisi doğrudan binaya aktarılıyor. Binada yeterli elektrik enerjisi olmasa bile gerekli miktarda elektrik enerjisi otomatik olarak şebekeden çekilir (Turan, 2022). Şekil 9' da on-grid sistem fotovoltaik sistem akışı verilmiştir.

#### Şekil 9

*Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Fotovoltaik Sistem Şeması*



**Kaynak:** MMO (2023)

### Avantajları:

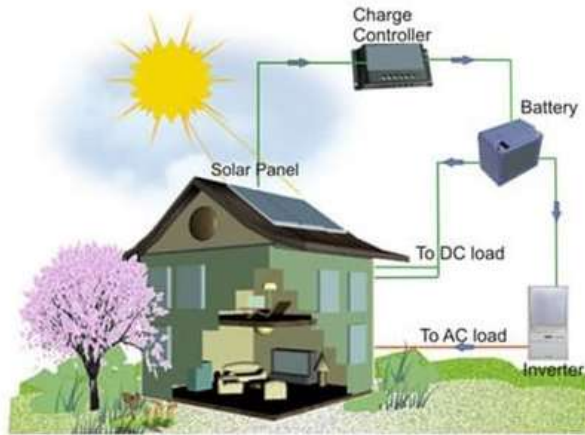
- Düşük maliyetli ve oldukça güvenli bir enerji kaynak sistemidir.
- Şebekedeki elektrik ihtiyacını algılayarak elektrik dağıtımını otomatik olarak düzenler.
- Kayıplar minimum, verim maksimumdur.
- Oldukça esnek ve pratik kurulumu vardır.
- İşletmeler kullanım fazlasını kamu ile mahsuplaştırarak kazanç sağlayabilmektedir.

### ➤ Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler

Bu sistem, şebekeden bağımsız olarak çalışmak ve elektrik üretimi sağlamak için akü kullanan bir sistemdir. Bu sistemler; güneş panelleri, bataryalar, invertörler ve şarj kontrol cihazlarından oluşmaktadır. Şebekeden bağımsız bir sistemdeki en önemli unsurlar akü ve şarj kontrol ekipmanıdır. Şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri çoğunlukla elektriğin olmadığı yerlerde kullanılır. Özellikle kırsal alanların, ulaşılması zor yaylaların, dağ kulübelerinin, baz istasyonlarının, çiftliklerin, tarlaların ve otoyol tabelalarının güç ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Bu sistem sayesinde bu tür lokasyonlardaki elektrik kesintilerine en optimum maliyetli çözüm gerçekleştirilir (Ceylan ve Gürel, 2021). Şekil 10’da Off-grid Fotovoltatik sistem akışı verilmiştir.

### Şekil 10

*Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltatik Sistem Şeması*



**Kaynak:** MMO (2023)

Sistemin ağ bağlantısı olmadan kullanıldığı dönem çok önemlidir. Güneş panellerinin güneş ışınlarının geliş açısına göre yerleştirilmesi bu sistemle elde edilen verimi arttırmaktadır. Şebekeden bağımsız bir sistem oluşturmak karmaşıktır ve mühendislik hizmetleri gerektirir. Bu sistem ile yüksek verim elde etmek çok detaylı teknik bilgi gerektirir. Bu nedenle güneş enerjisi sistemleri tecrübeli bir teknik ekip gerektirmektedir (Doğanay, 2021).

Avantajları:

- Maliyeti fazla olan kurulum ücretleri yoktur.
- Oldukça pratik ve kısa kurulumuna sahiptir.
- Şebekeye bağlı sistemlerin olmadığı yerlerde fiyat avantajlı ve çok kullanışlı bir metottur.

## 2.1.Elektrik Üretiminde Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kullanımı

Ülkemizin 2021 yılı faaliyet raporuna göre, 2021 yılı sonunda Türkiye'deki toplam kurulu güç 99.713 MW olmuştur. Bu rapora göre, güneş enerjisi üretimi, toplam kurulu gücün %7,87'sini oluşturmaktadır (Elektrik Üretim A.Ş. [EÜAŞ], 2023).

**Tablo 3**

*Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kaynaklarının Dağılımı*

| Elektrik Üretimi Anonim Şirketi |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| Kaynaklar                       | MWh                |
| Hidrolik                        | 55.549.254         |
| Doğal Gaz                       | 107.165.137        |
| İthal Kömür                     | 54.854.510         |
| Linyit+ Taş Kömürü              | 46.890.362         |
| Rüzgar                          | 31.135.760         |
| Güneş                           | 12.965.449         |
| Jeotermal                       | 10.831.657         |
| Biokütle                        | 6.327.382          |
| Sıvı Yakıtlar + Asfaltit        | 4.221.021          |
| Atık Isı                        | 865.321            |
| <b>TOPLAM</b>                   | <b>330.805.853</b> |

**Kaynak:** EÜAŞ (2022)

Tablo 3’te görüldüğü üzere 2021 yılında Türkiye’de 330.805.853 MWh elektrik üretilmiş olup güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı 12.965.449 MWh olmuştur. Ayrıca 2021 yılında üretilen elektriğin %3,92’i güneş enerjisinden sağlanmıştır (EÜAŞ, 2023).

Yıllık yenilenebilir enerji kurulu güç geliştirme verileri incelendiğinde, 2016 yılında 12,9 MW olan güneş enerjisi kurulu gücü, 2021 yılı sonunda 7.813 MW'a yükselmiştir. Güneş enerjisi kurulu gücünün beş yılda çok yüksek oranda büyüdüğü gözlemlenmiştir (EÜAŞ, 2023).

Ülkemizde elektrik üretimimizin 2022 'de yüzde 34,6'sı kömürden, yüzde 22,2'si doğalgazdan, yüzde 20,6'sı hidroelektrikten, yüzde 10,8'i rüzgardan, yüzde 4,7'si güneşten, yüzde 3'ü jeotermal, yüzde 3,7'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir (ETKB, 2023). Mart 2023 sonu itibarıyla mevcut kurulu kapasitemizin kaynağa göre dağılımı; Diğer kaynaklar arasında %30,3 hidroelektrik, %24,3 doğal gaz, %20,9 kömür, %11 rüzgar, %9,4 güneş, %1,6 jeotermal ve %2,5 diğer kaynaklar oluşturmaktadır (ETKB, 2023).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı' na göre 2019-2023 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi kurulu gücünün %59'dan %65'e çıkarılarak güneş enerjisi gücünü artırmak hedeflenmektedir. Aynı zamanda kapasitenin 5.063 mW'tan 2023 yılında 10.000 mW'a çıkarılacağı planlanmaktadır. 2019-2023 stratejik planına göre ülkemiz fotovoltaik enerji üretimi kurulu gücünü ikiye katlamayı hedefliyor ve enerji santrallerinde kullanılan ekipmanlar için milli ve milli üretim hedefleri belirlemektedir. Türkiye'de 2019'dan 2023'e kadar yaklaşık 5.000 MW kurulu güce sahip bir GES inşa edilmesi planlanmış olup 1 MW kapasiteli bir elektrik santralinin yaklaşık 2 hektar arazi gerektireceğini düşünüldüğünde 10.000 Hektarlık santral yapımına elverişli alanın ihtiyacı doğmuştur (EÜAŞ, 2023).

## **2.2.Elektrik Üretiminde Kullanılan Güneş Enerjisi Teknolojileri**

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için, enerji dönüşümünü sağlayan güneş pilleri kullanılır. Fototvoltaik pillere, güneş pilleri de denir. Doğrudan kendilerine çarpan güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneş pillerinin malzemesi ve kalitesi verimlilik derecesini belirler. Güneş pilleri seri veya paralel olarak bağlanmakta ve elde edilebilecek gücü artırmak için kullanılır. Birden fazla hücreyi birleştiren bir yapıya güneş modülü denir. Güneş modüllerinin verimliliği aşağıdaki gibi yapıya göre kategorize edilebilir (Özçelik, 2022):

- Amorf silisyum (%5 – 7)
- Bakır İndiyum diselenid (%10)

- Kristal silisyum (%15)
- Optik yoğunlaştırıcı hücreler (%17)
- Galyum arsenit (%30)

Günümüzde en çok tercih edilen panel tipi silikon bazlıdır. İki türü vardır: monokristal ve polikristal. Bu modüllerin ortalama ömürleri yaklaşık 20 yıldır, ancak bazı modüller 30 yıla kadar etkin bir şekilde kullanılabilir. Güneş pilleri tarafından üretilen elektrik enerjisi, bir güneş invertörü tarafından şebekeye hazır hale getirilir. Solar invertörler, güneş panellerinden elde edilen elektriğin kullanımını maksimum verimlilikle kontrol eder (Doğanay, 2021).

### ***2.2.1.Fotovoltaik Güneş Teknolojileri***

1839'da ilk kez Edmund Becquerel, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir. 1893'te, Becquerel'in fotovoltaik enerjiyi keşfinden kısa bir süre sonra, Charles Fritts bir selenyum plakayı ilk ince altın tabakasıyla kapladı. Charles Fritts ilk güneş panellerini böyle yaptı. Bell Laboratuvarlarında çalışan Amerikalı mucit Russell Ohl, 1941'de dünyanın ilk silikon bazlı güneş pilini icat etti ve patentini aldı. Ohl'un icadı, 1954'te aynı şirket tarafından silikon kullanılarak yeni güneş panellerinin üretilmesine yol açtı (Turhan ve Çetiner, 2012).

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, güneş pilindeki diyotların güneş ışığı ile temas etmesiyle gerçekleşir. Hiçbir aktarım mekanizması bu dönüşümün gerçekleşmesine katkıda bulunmaz. "Fotovoltaik" kelimesi, Alessandra Volt'tan esinlenerek "voltage" kelimesi ile Yunanca ışık anlamına gelen "photo" kelimesinin birleşiminden oluşmuştur ve Türkçe'de fotovoltaik olarak adlandırılır. Çalışma mantığı ise; elektrotlar, elektrotlar arasındaki voltajın, elektrolitin içine gerilim yaparak üzerinde oluşturduğu ışığa bağlı olduğu prensibine dayanır. Ayrıca 1876'da G.W. Adams ve R.E. Day selenyum kristalleri üzerinde çalışmışlardır (Ali vd., 2019).

FV diyotları 1914'te %1'lik bir enerji verimliliğine sahipti, ancak gerçekte FV ilk olarak 1954'te Chapin tarafından silikon kristaller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Chapin güneş enerjisini %6 verimle elektrik enerjisine çevirmektedir. Gerçek popülaritesi 1973'te artmaya başladı. Bu konuda dünya çapında kapsamlı araştırmalar yapılmakta, FV' nin verimliliğini artırmak için yürütülen araştırmalar ve daha da küçük yarı iletken

malzemelere ve ekonomik olarak üretilebilir ince film güneş pillerine olan ihtiyacı artırmaktadır (Wu vd., 2019).

Fotovoltaik teknoloji, fotoelektrik etkiye dayalı teknolojiyi kullanarak güneş ışığını elektriğe dönüştürmeyi mümkün kılar. Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirebilen silikon benzeri bir malzeme kullanılır. Bu duruma fotovoltaik etki denir. Bir fotovoltaik güneş pili, güneş ışığına maruz kaldığında doğru akım elektrik enerjisini doğrudan dönüştüren yarı iletken malzemelerden oluşan bir sistemdir. Yüzeyleri dikdörtgen, kare veya daireseldir. Ortalama güneş pili alanı 100 / 156 / 243 santimetre kare ve kalınlığı yaklaşık 0,2-0,4 mm'dir (Ali vd., 2019). Güneş pilleri, ışığa maruz kaldıklarında aralarında bir voltaj üretir ve fotovoltaik kuvvet prensibine göre çalışır. Güneş pilleri fotonları emer ve enerjilerini elektronlara dönüştürür. Bu dönüştürülen elektronlar, hücrenin arkasında ve önünde depolanır. Ortaya çıkan voltaj bir akım üretir. İstenilen gerilime ulaşmak için modül olarak dizilmiş hücreler birbirlerine seri bağlanırlar. Şekil 11'de bir fotovoltaik sistem örneği gösterilmektedir.

### Şekil 11

#### *Fotovoltaik Enerji Sistemleri*



Güneş enerjisinin %5 - %20 arasında elektrik enerjisine çevirebilir. Bu hız güneş pilinin yapısından kaynaklanmaktadır. Güneş pillerinin birçoğu seri veya paralel olarak bağlanır ve çıkışını artırmak için yüzeye yerleştirilmektedir. Bu sisteme güneş pili modülü denir. Modüller seri veya paralel bağlanarak watt cinsinden ölçülen enerji, çıkışta ihtiyaç duyulan güce bağlı olarak MW'a yükseltilebilir (Doğanay, 2021).

Güneş panellerinden elde edilen enerji, pil ve akümülatörlerde depolandığı için doğru akımdır. Bu doğru akımın evlerde ve sistemlerde kullanılabilmesi için inverter ile alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Enerji üretimi fotovoltaik modüller ile

sağlanmaktadır ancak fotovoltaiik modüllerden elde edilen elektrik de sisteme yerleştirilen sayaçlar ile şebekeye iletilebilmektedir. Santral sahibinin ürettiği enerji tüketimini aşarsa, dağıtım şirketi devletten aldığı bir garanti ile santral sahibine ödeme yapar(Maltaş, 2017).

Güneş paneli teknolojisi, kullanılan malzeme ve yapı türlerine göre çok çeşitlidir. Güneş modülleri için malzemenin doğru seçimi, üretilen güneş pilleri optimum maliyet ve verimlilik için oldukça öneme sahiptir. Silikon, güneş modüllerinin imalatında en bilinerek kullanılan malzemedir. Fotovoltaiik panel; birkaç farklı yöntem ile elde edilebilir (Turhan ve Çetiner 2012). Güneş modüllerinin imalatında kullanılan ana malzemeler kalın kristal malzeme ve ince film malzemedir (Ceylan ve Gürel, 2021).

**Monokristal fotovoltaiik paneller;** Bu çeşit panelde laboratuvar koşullarında %24 verim elde edilmektedir. Ticari modüller için verimlilik %15 ile %18 arasında olmaktadır. Uzun vadeli ve yüksek maliyetlidir. Bu maliyetin geri ödeme süresi dört ila altı yıldır. 20 yılda %7 verim kaybı vardır. Saf kristal gerektiğinden maliyeti yüksektir (Maltaş, 2017).

**Polikristal fotovoltaiik paneller;** Polikristal silikon için en yaygın üretim yöntemi dökümdür. Başlangıç malzemesi monokristal ve polikristal silikon için aynıdır. Arzu edilen saflık her ikisi için de aynıdır. Çözelti içindeki silikon bir kalıba dökülür ve soğumaya bırakılır. Döküm yöntemi ile polikristal silikon elde edilmiş olur.

**İnce film fotovoltaiik paneller;** Bu teknik ile solar modüller absorbe edici malzemeler kullanılarak ince hale getirilmektedir. Örneğin, şekilsiz silikon güneş modüllerinin absorpsiyon katsayısı, kristal silikon güneş modüllerinden daha yüksektir. İnce film teknolojisinin gelişmesiyle birlikte üretim maliyetlerinin düşürülmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Üretimleri ucuzdur, ancak verimlerin %7 ile %14 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Popülerleşmeden öndeki en büyük sorun da budur. Pazar payı sadece %7'dir. Bununla birlikte, laboratuvar koşullarında artan verim araştırılmaktadır (Maltaş, 2017).

**Amorf silisyum fotovoltaiik paneller,** Bu güneş panelleri; Güneş paneli üretiminin en önemlilerinden biridir. Schottky yapısında ilk defa uygulanan bu panel yerini p-i-n yapılarına devretmiştir. Bu tip panellerin verimliliği %5 ile %8 arasındadır (Ali vd., 2019). Dezavantajı ise deformasyon nedeniyle istenilen verime ulaşamamasıdır.

**Kadmiyum fotovoltaiik paneller,** 1.5eV yasak enerji aralığına sahip kadmiyum tellür, CdTe malzemesi yüksek soğurma katsayısı ile geniş alanlı güneş modülleri için kullanılan

ana malzemedir. Yaygın olarak heteroeklem diyotları imal etmek için CdTe ve CdS ile kombinasyon halinde kullanılır. CdTe güneş modülleri kullanılarak cm<sup>2</sup>'de %17 ve 8390 cm<sup>2</sup>'de %11 verimlilik elde edildi. Üretim maliyetleri düşüktür. Sadece sert cam kullanılabilir (Ceylan ve Gürel, 2021).

**Semikristal silisyum fotovoltaik paneller,** Yarı kristal silisyum paneller, küçük buz kristallerinden oluşmaktadır. Bu panellerin mukavemeti %14'tür ve silikon tane sınırlarının kaybına bağlıdır.

**Ribbon silisyum fotovoltaik paneller,** Malzeme kaybını azaltmak için bu paneller silikon katmanlardan yapılmıştır. Bu tip gelişen grupların laboratuvar koşullarındaki performans değerleri %13 ile %14 arasında değişmektedir. Güneş enerjisi sisteminin ana bileşenleri güneş panelleri, şarj kontrol cihazı, invertör ve pillerdir (Ceylan ve Gürel, 2021).

**Güneş paneli:** Güneş enerjisini toplamak ve güneş pilleri aracılığıyla bu enerjiden elektrik üretmek için teknolojiyi kullanan düz bir pencere gibi bir malzemedir. Suyu ısıtmak ve musluğa sıcak su sağlamak için pasif güneş panelleri kullanılır. Fotovoltaik güneş panelleri, seçilen bir yüzey üzerinde iletken görevi gören pozitif ve negatif katkılı kaplamalar kullanır. Fotonlar yüzeye çarpıp elektronları işe yaramaz hale getirene dek elektrik üretilir (Maltaş, 2017).

Güneş modülleri, güneş pillerinin yüzeyine ve yerleşimine bağlı olarak farklı kapasitelere sahiptir. Hücreler plakaya yerleştirildikten sonra, plakanın kendisi kapatılır ve içindeki hücreleri korumak için yansıtıcı olmayan cam ile kaplanır. Bu malzeme Güneş hücrelerini hasardan korur ve yansıtma, böylece güneş ışığı hücrelere girebilir (Akçay, 2019).

**Şarj Kontrol Cihazı:** Solar şarj regülatörü, temel olarak bir güneş panelini bir aküye bağlayan bir solar hücre şarj cihazıdır. Görevi, pilin şarj sürecini koordine etmek ve pilin doğru biçimde şarj edilmesini ya da en önemlisi aşırı şarj edilmemesini sağlamaktır. Şarj kontrolörleri, neredeyse tüm küçük şebeke dışı PV sistemlerinde kullanılır. Pile aşırı yüklenmek bu cihaz sayesinde engellenmiş olmaktadır. Ayrıca güneş kontrolörleri bağlı oldukları cihazları özellikle aşırı akımlardan korumakla görevlidirler.

**Bataryalar:** Güneş panelleri tarafından üretilen artan gücün depolanması için bir güneş enerjisi sistemine eklenen bir cihazdır. Piller, bulutlu günler veya elektrik kesintileri gibi yeterli gücün üretilmediği durumlarda sisteme güç sağlamak için depolanan bu enerjiyi kullanır. Güneş pillerinin amacı, üretilen güneş enerjisinden daha iyi faydalanmaktır.

**İnvertör:** Bir güneş invertörü, bir güneş paneli sisteminin, güneş paneli tarafından üretilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren bir bileşenidir. Alternatif akım, evsel ve endüstriyel cihazları çalıştırmak ve bunları ulusal elektrik şebekesine bağlamak için gereken standart akım akışıdır. Ülkeye göre değişir, ancak genellikle 120 ila 240 volt arasındadır (Ceylan ve Gürel, 2021).

**Çift Yönlü Elektrik Sayacı:** şebekeden tüketilen elektrik miktarını ve üretimden sonra şebekeye gönderilen elektrik miktarını ölçer. Onu diğer göstergelerden ayıran en büyük özellik, adından da anlaşılacağı gibi çift yönlü okunabilmesidir. Şebekenin tükettiğinden daha fazla elektrik üretilirse, dağıtım şirketi alacaklı olur (Maltaş, 2019).

Bir fotovoltaiik sistem tasarlanırken, öncelikle sistemin küresel radyal koordinatları belirlenir. Çünkü güneş pillerinin üretmesi gereken enerji, üzerlerine vuran güneştir. Işık yoğunluğu ve dalga boyu ile orantılıdır. Güneş radyasyonu yoğunluğu, atmosferik absorpsiyon/saçılma, su buharı/hava boylam ve enlem değişimleri mevsimsel, aylık, günlük ve saatlik olarak görüntülenebilmektedir. Bu sebeple hangi gün, hangi saat, hangi ay, hangi mevsim, hangi yoğunlukta en çok verim alınacağı bilinmelidir. Toprak ölçümleri için ölçüm istasyonları kurarak, sürekli ölçümler bir pirometre ile yapılır. Veriler program tarafından değerlendirilir ve gerekli bilgiler hesaplanır. Bunun için PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) olarak tanınmış Avrupa Birliği veri programından yararlanılmaktadır (Özgün, 2018).

### **2.2.2. Isıl Güneş Teknolojileri**

Güneş ışınları dünyamıza ulaştığında farklı şekillere bürünürler. Örneğin, güneş enerjisi ağaç yapraklarındaki klorofil tarafından hücresel yapılarda şekerler, selüloz ve albümin gibi enerji açısından zengin maddelere dönüştürülür. Güneş kolektörü, güneş ışınlarını ısı enerjisi olarak havaya veya sıvılara aktaran bir cihazdır. Bu toplayıcılar uzun yıllardır ısı üretmek için kullanılmaktadır.

Güneş enerjili ısı ve elektrik enerjisi üreten bu sistemlerden pasif veya aktif olarak faydalanılmaktadır (Ceylan ve Gürel, 2021).

### **Pasif Güneş Enerjisi Kullanımı**

Bu yöntemde, güneş enerjisinden özel ekipmanlar kullanılmaksızın faydalanılır. Bu kullanım yöntemleri aşağıdaki gibi örneklendirilebilir.

- Suyun güneş vasıtasıyla buharlaşması ve yağmurlar

- Karların erimesi
- Biyokütle üretimi
- Dünya ve atmosfer yüzeyinin ısıtılması
- Binaların aydınlatılması

Bu yöntem güneş enerjisinin endirekt yani dolaylı kullanımı denir (Özgün, 2018).

### **Aktif Güneş Enerjisi Kullanımı**

Bu uygulamada güneşten gelen ışınları absorbe etmek için özel ekipmanlar ve malzemeler kullanılmaktadır. Bu uygulamalara direkt yani doğrudan kullanım da denilir.

Güneş enerjisinin direkt kullanımına ilişkin bazı yöntemler şu şekilde sıralanabilir:

- Stirling sistem güç santralleri
- Güneş kolektörleri ile su ısıtılması
- Güneş enerjili güç santralleri
- Kullanım sıcak suyu ısıtılması
- Bölge ısıtılması
- Kullanma suyu ısıtılması
- Güneş kolektörü ile hava ısıtılması
- Elektrik üretilmesi için fotovoltaikler (Ceylan ve Gürel, 2021).

Isınma için güneş enerjisi kullanan sistemler binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler tipik olarak bir binanın çatısına kurulur ve içerideki sıvıyı ısıtmak için güneş enerjisini bir toplayıcı aracılığıyla kullanır. Isıtılan sıvı buharlaşır ve tanktaki suyu ısıtır. Sıcak su günlük hayatta ihtiyaç duyuldukça kullanılmaktadır.

Isıl güneş teknolojisi sistemleri, güneş enerjisi ısısından elektrik üretmede kullanılır. Güneş kuleleri bu sistemlere bir örnektir. Güneşten merkeze enerji aktaran heliostat adı verilen bir kule aynası bulunur. Alıcı kulenin en üst kısmındadır. Bazı güneş kulelerinde bu heliostatların motorları, ışınlarla birlikte hareket eder ve bu veri alıcıya iletilir. Bazı sistemlerde ise sabit heliostatlar bulunur. Kabul kulesinde tuz bulunur. Bu tuz sodyum veya potasyum nitrattır. Bu nitrat güneşten gelen ışınlar bir heliostat ve bir alıcı tarafından toplanır. Porsiyon tuzu ısıtılır ve ısıtılmış tuz tüpleri ile klasik buhar üretilir. Güç, türbine gönderilerek üretilir. Tuz eriği daha sonra buhar türbinlerinde kullanılır. Isı kaybeder ve soğur. Soğutulduktan sonra, soğuk tuz bir depolama tankına pompalanır. Soğuk tuz

alıcıya geri gönderilir (Yılmaz, 2019). Aktif güneş enerjisi kullanımında düşük sıcaklık sistemleri bulunmaktadır.

#### ➤ Düşük Sıcaklık Sistemleri

**Düzlemsel Güneş Kolektörleri:** Güneş enerjisini toplayarak ısı olarak sıvılara aktaran çeşitli tip ve şekillerdeki cihazlardır. Esas olarak sıcak su temini için kullanılır. Soğurucu plakanın yüzeyi genellikle koyu renklidir ve seçiciliği artırıcı bir madde ile kaplanabilir. Bölgenin enlemine bağlı olarak güneş maksimumunu kaydetmek için kollektörler belirli açılarda konumlandırılır. Güneş enerjisi kollektör sistemleri doğal sirkülasyon sistemleri ve pompa sistemleri olarak ikiye ayrılabilir. Bu sistemler yüzme havuzlarında, endüstriyel tesislerde ve müstakil evlerde su ısıtmak için kullanılır. Dünya çapında 30 milyon m<sup>2</sup>'den fazla güneş kollektörü kurulmuştur. Dünya'da Japonya, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Avustralya ve Yunanistan bulunmaktadır. Ülkemiz de, 18 milyon m<sup>2</sup> kurulu kolektör sayısı ile dünyada öncü ülkeler arasındadır (Tanış, 2019).

**Vakumlu Güneş Kolektörleri:** Bu sistemler, soğurucu yüzeye ulaşan enerjiyi artırmak için vakumlu cam tüp ve isteğe bağlı olarak metal veya cam reflektör kullanır. Çıkış sıcaklığı yüksek (100-120°C) olduğundan, düz plaka toplayıcıların kullanıldığı yerler, gıda dondurma ve bina soğutma gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilirler.

**Güneş Havuzları:** 90 santigrat derece sıcaklıkta sıcak su elde etmek için havuzun 5 metre derinliğinde su ile kaplanmış siyah tabanı güneş ışınımını yakalamak için kullanılmaktadır. Tuz konsantrasyonu yukarıdan aşağıya doğru artar. Yani üstte soğuk bir yüzey olsa bile havuzun tuzluluğa doymuş olan tabanı sıcak olacaktır. Eşanjöründen pompalanarak ısı olarak kullanılabilen sıcak su, elektrik üretmek için de kullanılabilir. Güneş havuzlarıyla ilgili araştırma ve uygulamaların çoğu İsrail'de yapılmaktadır.

**Güneş Bacaları:** Bu işlem, elektrik üretmek için güneşin termal etkisinden dolayı havanın hareketini kullanır. Güneşe maruz kalan şeffaf malzeme ile kaplı bir binanın içindeki zemin ve hava, ortam sıcaklığının üzerinde ısınır. Eğimli çatı ısınan havayı yükselterek çok yüksek olan hava akımını bacaya yönlendirerek bacada 15 m/s rüzgar hızıyla hava akımı oluşturur. Santral 30-100 MW güç çıkışına sahiptir. Bazı deneysel sistemler dışında hiçbir şey için geçerli değildir.

**Su Arıtma Sistemleri:** Sığ havzalardan oluşan sistemlerdir. Lavabonun üzerine eğimli şeffaf bir cam yüzey kapatılır. Su, kapaklar üzerinde yoğunlaşarak toplanır. Su arıtma

tanklarının araştırılması ve geliştirilmesi, ilk yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmeyi ve verimliliği artırmayı amaçlamaktadır.

**Ürün Kurutma ve Seralar:** Tarımsal alanlarda kullanılan uygulamadır. Bu sistemler dünyadaki kırsal alanlarda sınırlı kullanımdadır.

**Güneş Ocakları:** Pişirme için yansıtıcı malzeme ile çanak şeklinde veya kutu güneş ocağının odak noktasına ısı toplamak için kullanılır. Bu sistem uzak doğu ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (ETKB, 2018).

#### ➤ Yoğunlaştırıcı Sistemler

**Parabolik Oluk Kolektörler:** Bu kolektör, başka tekniklere göre oldukça bilinen bir tekniktir. Kolektör, kondansatör dizisinden oluşur. Kolektörün içindeki yansıtıcı bir yüzey, güneş enerjisini toplayıcının odak noktasından geçen siyah bir emici tüpe odaklar. Absorber tüpte ısı transfer sıvısı olarak enerji geri kazanımı için ısı transfer yağı kullanılır, ancak çevreyi kirletmeyen ve daha ucuz olan su kullanımına yönelik araştırmalar devam etmektedir (Yılmaz, 2019).

#### Parabolik Çanak Sistemler

Bu sitem, güneş ışınlarını odakta tutar. Termal enerji, uygun bir çalışma sıvısı kullanılarak yakınsak alandan elde edilebilir ve bir termodinamik çevrime beslenebilir veya yakınsak alana bağlı bir Stirling motoru kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Dish ve Stirling kombinasyonu, güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde yaklaşık %30'luk bir verimlilik sağlıyor. Diğer tekniklere göre avantajları ve dezavantajları ise aşağıdaki gibidir (Üçgül vd., 2019);

- Bu noktaya odaklama teknolojisi sayesinde ısı kaybı olmaz.
- Solar konsantrasyon oranı parabolik oluk için yaklaşık 80 ve kule teknolojisi için 1.000'e karşılık bu teknoloji için 15.000'dir.
- 10 kW için 1 milyon € yatırım gerektiren bu teknoloji çok maliyetlidir (Maltaş, 2017).

#### Merkezi Alıcı Sistemler

100 m<sup>2</sup>'den fazla yüzey alanına sahip aynalar, alıcı adı verilen yüksek ısı katsayılarına sahip kuleye monteli ısı eşanjörleri üzerinde güneş enerjisini yansıtan ve konsantre eden bireysel odaklı ve heliostat olarak adlandırılır (Bayraktar vd., 2023).

### **Fresnel Oluk Teknolojisi**

Bu teknoloji, diğer teknoloji gibi doğrusal yoğunlaşmalar üretir. Alıcının sabit bir yükseklikte olması ve yansıma işleminin güneşi takip edebilen bir dizi düz ayna aracılığıyla gerçekleşmesiyle parabolik bir çukurdan farklıdır. Sistemdeki alıcı reflektörden yaklaşık 10 m yukarıdadır. Bu yükseklikten dolayı optik verim parabolik oluk yoğunlaştırıcılardan daha düşüktür. Bunun nedeni, radyasyonun saçılmasından kaynaklanan yansıma kayıplarının çok büyük olmasıdır. Sonuç olarak, ısı verim de düşüktür (Köse vd., 2023).

### **Yoğunlaştırıcı Güneş Enerji Sistemleri**

Daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak amacıyla güneş enerji sistemi uygulamalarında kondenser kolektör sistemleri düzlemsel güneş kolektör sistemleri ile birlikte ele alınmaktadır. Güneş panellerinden düzlemsel olanlar için kullanılan terimler kondenser paneller için de geçerlidir. Ancak, daha karmaşık kondansatör toplayıcı teknolojisi, yeni tarifler oluşturmayı gerektirir. Yoğunlaşma oranı, güneş enerjisini toplayan bir yoğunlaştırıcıdaki önem arz eden kavramdır. Açıklık alanının ışık alma alanına oranı ise konsantrasyon oranı olarak tanımlanır (ETKB, 2018).

## BÖLÜM 3. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ TESİSİ YER SEÇİMİ

Güneş enerji santrallerinin yer seçimi kriterleri, santrallerin kurulum ve işletme aşamalarının yanı sıra elektrik üretim maliyetlerini de doğrudan ilgilendirmektedir. Yatırım yeri seçiminde santrallerin verimliliği, yasal düzenlemeler ve çevresel koşullar ilk sırada yer almaktadır. Kanun ve yönetmeliklerin sınırlandırma ve teşvik mekanizmalarını incelemek de oldukça önemlidir.

### 3.1. Güneş Enerjisi Üretim Tesisi Seçiminde Önemli Kriterler

Uygun güneş enerjisi santral seçimi, güneş enerjisi potansiyeli, arazi yapısı, arazi kullanım durumu, enerji nakil yerlerine alanlarına uzaklık, şebekeye yakınlığı, su kaynakları ve arazi maliyeti gibi temel kriterlere sahiptir. Aşağıda daha sonra detaylandırmak üzere önem arz eden kriterler hakkında bilgi verilmiştir.

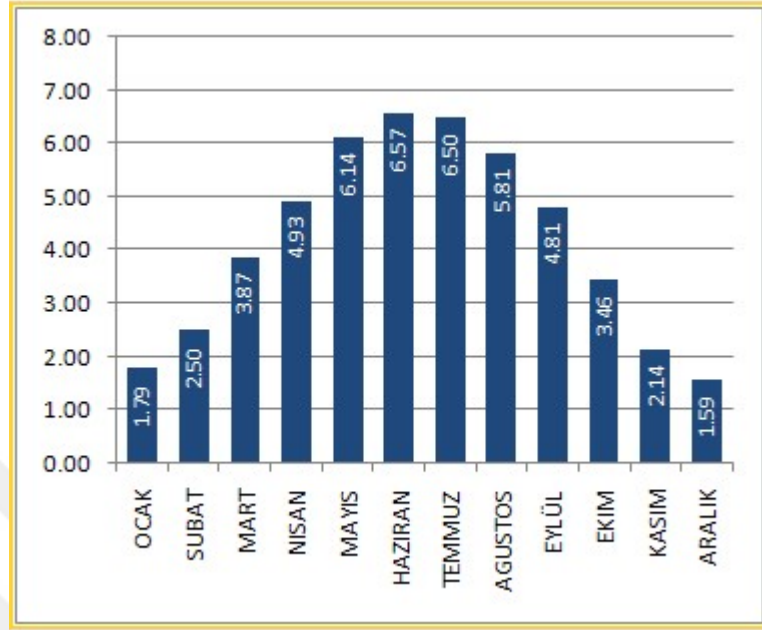
#### ➤ Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş enerjisi santralının verimini etkileyen temel koşullardan biri, santralin kurulu olduğu bölgede güneş enerjisi potansiyeli bulunmasıdır. Güneş enerjisi için ülke seçimi yapılırken esas olarak ülkenin güneş enerjisi potansiyeli baz alınmaktadır. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça avantajlıdır. Dünya güneş enerjisi sektörünün zirvesinde olan Almanya'dan daha fazla güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Arazi içerisindeki güneşlenme potansiyeline bakıldığında, seçilen ildeki güneşlenme süresi ne kadar uzun olursa o kadar çok enerji elde edilmektedir (Demirer, 2017).

Ülkemiz güneş radyasyonu konusunda oldukça zengin bir konumdadır. Ülkemizde yıllık toplam güneş ışıınım şiddeti  $1.527,46 \text{ kwh/m}^2$  dir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) 'ya göre güneş radyasyon değerleri aylık ortalama en az  $1,59 \text{ kwh/m}^2$ , en fazla  $6,57 \text{ kwh/m}^2$  dir (Yolcan ve Köse, 2020). Şekil 12 'de ülkemizdeki aylık ortalama global radyasyon değerleri görülmektedir. Buna göre en fazla radyasyonun olduğu ay Haziran ayıdır.

## Şekil 12

*Global Radyasyon Değeri-Türkiye (KWh/m<sup>2</sup>-gün)*



**Kaynak:** GEPA (2023)

### ➤ Arazi Yapısı

Arazinin yerini belirlemede önemli bir faktör, akarsulara veya nehirlerle yakın olup olmadığıdır. Bu durumda olası bir afet durumunda (heyelan, sel vb.) ekonomik kayıplar çok yüksek olabilir. Eğimli arazi de inşaatı zorlaştırır ve maliyetleri artırır. Panellerin dik yokuşlara montajı erozyona, drenaja ve statik sorunlara yol açabilir. Düz arazide panelin optimum açısını ayarlamak kolaydır, ancak eğimli arazide bu işlem daha da zorlaşır (Yolcan ve Köse, 2020).

Arazinin topoğrafik yapısındaki eğimi de santrallerin verimliliği açısından önemlidir. Bu konuda farklı kaynaklar farklı değerler verse de yer seçimi için olması gereken en optimum eğim değerinin %1-3 olduğu ve %3'ün üzerindeki lokasyonların verimli olmadığı kabul edilmektedir (Hang vd., 2008). Fakat farklı bir uygun seçenek bulunamazsa %5 eğime kadar uygun yer seçilebilir (Broesamle vd., 2000).

### ➤ Şebeke Bağlantı Mesafesi

Kurulacak güneş enerjisi santralının şebekeye olan bağlantı mesafesi de önemli bir kriterdir. Santralin elektrik şebekesine yakınlığı, yeni altyapı kurma ihtiyacını ortadan kaldırarak kurulum maliyetlerini düşürür. Enerji santrallerinin yüksek güç tüketimi olan

alanların yakınında inşa edilmesi, altyapı maliyetlerini azaltarak kurulum ve işletme maliyetlerini önemli oranda düşürmektedir (Brewer, 2015).

Bir diğer önemli konu ise şebeke bağlantı kapasitesi durumudur. Güneş santralinden uygun uzaklıkta bulunan şebeke bağlantısı, üretilen enerji miktarına uygun kapasitede olmalıdır. Kapasitenin uygun olmaması durumunda yeni bir şebeke bağlantısının aranması veya mevcut bir bağlantının uygun hale getirilmesi ek maliyetler doğuracaktır (Miller ve Lumby, 2012).

#### ➤ **Hava Şartları**

Ortam sıcaklığı, panel verimini etkileyen temel kriterlerden biridir. Panellerin optimum verimle elektrik enerjisi üretebilmesi için optimum sıcaklık aralığı 15 - 40 santigrat derecedir (Kereush, 2017). Arazi seçimi sırasında hava koşulları dikkate alınmalıdır. Seçilen arazide yıllık kar, sis ve yağışlı gün sayısı belirlenerek seçilen arazinin verimi azaltabilir ya da artırılabilir. Olası sorunların üstesinden gelmek için kadastro belgeleri ve ihale sözleşmeleri dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır. Ayrıca güneş enerji santralin tercih edileceği alanın, yerleşim yerlerinden, ekili alanlardan, doğal afet riski olan alanlardan uzak olması gerekmektedir (Akçay, 2019).

#### ➤ **Arazi Kullanım Durumu**

Uygun yer seçimi yapılırken verimini etkileyen en önemli faktörlerden biri kurulacak alanın arazi kullanımıdır. Seçilen alandaki doğal bitki örtüsü oluşumu gölgelemeyi artırır ve verimliliği azaltır. Eğer arazi tarıma çok verimli ise mevzuattaki şartı sağlamaz ve bu durumda güneş enerjisi santrali kurulmamalıdır (Miller ve Lumby, 2012).

#### ➤ **Enerji Tüketim Bölgelerine Mesafe**

Yer seçimini etkileyen bir diğer önemli kriter de santralin enerji tüketim alanlarına uzaklığıdır. Üretilen enerjinin uzak kullanım yerlerine iletilmesi enerji kaybına neden olup, verimliliği düşürmektedir (Aydın, 2009). Bu bakımdan büyük güneş enerjisi santrallerinin yeri seçilirken kırsal alanlar ile sanayi yerlerinden çok uzak lokasyonlar tercih edilmemelidir.

#### ➤ **Su Kaynaklarına Yakınlık**

Temiz ve sıg maden suyu kaynaklarına yakınlık, güneş enerjisi santrallerinin verimini etkileyen bir etkidir (Miller ve Lumby, 2012). Termik güneş enerjisi santralleri, tıpkı

geleneksel enerji santralleri gibi soğutma suyuna ihtiyaç duyar. Aynı zamanda güneş panellerinin verimliliği için düzenli temizlik işlemleri önemlidir.

Güneş santrallerinin ihtiyaç duyduğu su miktarı alanda içme suyu, sulama vb. amaçlarla kullanılabilir (Eroğlu, 2018). Yeni bir su ihtiyacı oluşması bölgedeki talebi karşılayamayabilir. Termik santrallerde kullanılan teknolojiye göre soğutma suyu şebekeye geri verilebilmektedir. Bölgedeki su kaynakları ve doğal hayatı açısından doğal olarak hassas olan alanlarda yer seçimi yapmaktan kaçınmak önemlidir (Saner, 2015).

#### ➤ **Karayoluna yakınlık**

Güneş enerjisi santrali kurulumlarına kolay ulaşım açısından değerlendirilen bir diğer unsur ise karayoluna olan uzaklıktır. Karayoluna uzak olan yer seçimi, yol yapım maliyetlerini de beraberinde getirmektedir. Bu sebeple santral ulaşım yerine yakın olmalıdır (Aslan, 2019).

Ayrıca güneş enerjisi santrallerinin yerleşimine karar verilirken, kurulum aşamasında ihtiyaç duyulan malzemelerin kolayca taşınabilmesi, inşaat işlerinden tasarruf edilebilmesi ve araçların güneş enerjisine kolayca ulaşabilmesi amacıyla ulaşım ağlarına yakın yerler seçilmelidir. Bu yaklaşım açısından ana trafik yollarının yakınlığı kadar yan yolların varlığı ve kullanılabilirliği de önemli ve gereklidir (Saner, 2015). Ayrıca güneş enerjisi santrallerinin yola olan mesafesi işletme aşamasındaki bakım ve onarım maliyetleri açısından önem arz etmektedir (Eroğlu, 2018). Güneş enerjisi santralının planlandığı bölgede yolların olmaması durumunda, yeni yolların yapılması ekstra maliyet getireceğinden tercih edilmeyen bir durumdur (Akçay, 2019).

#### ➤ **Arazi Maliyeti**

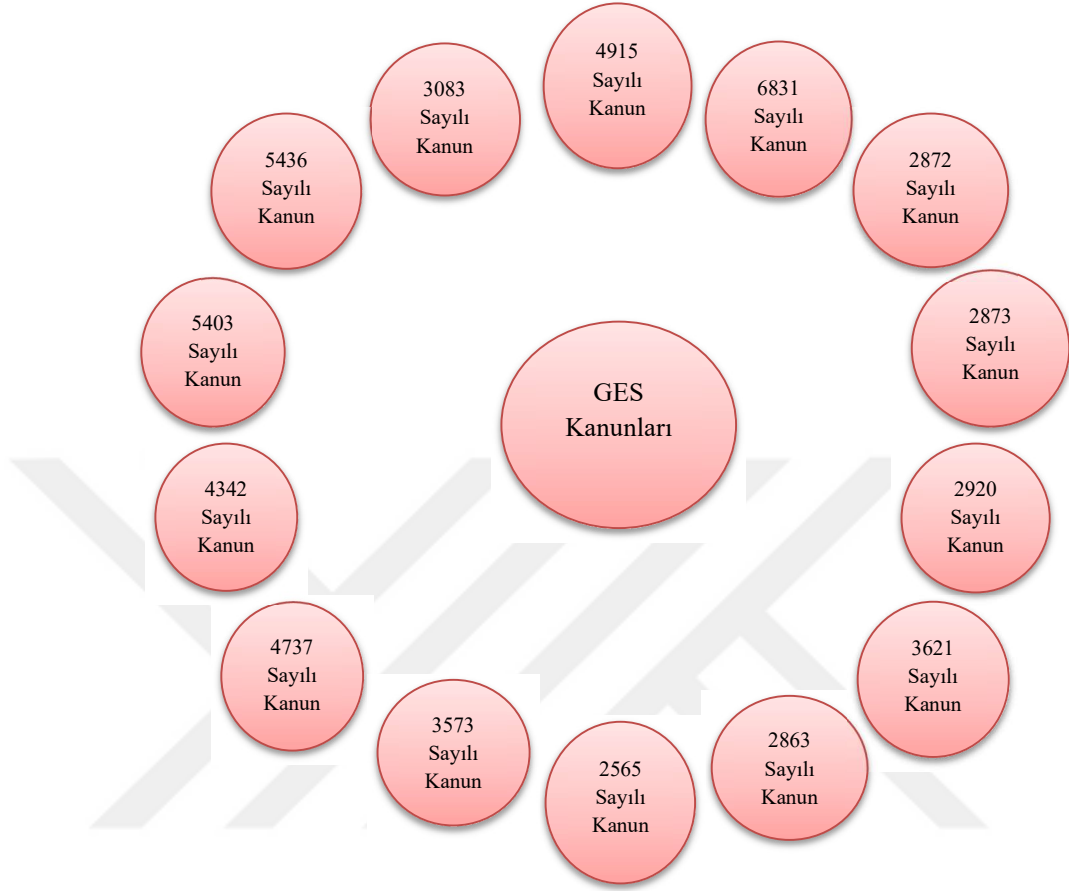
Güneş enerjisi santralının kurulacağı alandaki mülkiyet yapısı ve arazi fiyatları da önemli kurulum maliyeti faktörleri arasındadır. Uygun lokasyon yerinin seçiminde kurulum maliyetleri enerji üretim maliyetini etkilediğinden, arazi değeri düşük olan alanlar çoğunlukla elverişlidir (Miller ve Lumby, 2012: 59). Çok hisseli gayrimenkuller de büyük güneş enerjisi santralleri için önerilmez.

### **3.2. Güneş Enerjisi Üretim Tesisi Seçiminde Etkili Mevzuatın İncelenmesi**

Güneş Enerji Santrali Kurulumu ile ilgili kanunlardan kısaca Şekil 13'te bahsedilmiştir.

### Şekil 13

#### Güneş Enerji Santrali ile İlgili Yasalar



**Kaynak:** Mevzuat (2023)

#### ➤ Güneş Enerji Santrali Kurulumuna İlişkin Kanunlar

**5346 Sayılı Elektrik Enerjisi Üretimi Amacıyla Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımına İlişkin Kanun:** Bu kanun, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının artırılması, düşük maliyetli bir biçimde ekonomiye kazandırılmasını ve çevrenin korunmasını amaçlamaktadır (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2023).

**4737 Sayılı Endüstri Bölgeleri Kanunu:** Bu kanun, endüstri bölgelerinin kuruluş, yönetim ve işletim esaslarını düzenlemeyi amaçlamaktadır.

**2872 Sayılı Çevre Kanunu:** Bu kanun, tüm canlıların ortak mülkiyeti olan çevreyi sürdürülebilir bir çevre olarak korumayı amaçlamaktadır.

**6831 Sayılı Orman Kanunu:** Bu kanun, ormanlık alanlarda güneş enerjisi santrali yatırımını kısıtlamakta olup bunun yanı sıra kamu yararına olan alanların da uygun yatırımlar için kullanılabilmesini amaçlamaktadır.

**2873 Sayılı Milli Parklar Kanunu:** Bu kanun, milli park alanlarının seçimi, belirlenmesi, karakterlerinin bozulmadan korunmasına ilişkin esasları belirlemeyi amaçlamaktadır.

**4915 Sayılı Kara Avcılık Yasası:** Sürdürülebilir yabani hayat ve avlanabilen hayvanları ve yaban hayatını tabii ortamlarıyla korumayı amaçlar.

**4342 Sayılı Mera Kanunu:** Bu kanunun amacı öncelikle insanların tarım ve hayvancılık alanlarında gelişmelerine yardımcı olmak ve ortak mera kullanımlarını korumaktır. Ancak mera kalitesinin düşük olduğu alanlarda kamu yararını gözeterek bu alanlardaki güneş enerjisi santrallerinin niteliklerinin değiştirilmesine yönelik yasal süreci düzenlemektir.

**5403 Sayılı Arazi ve Toprak Koruma Kanunu:** Bu kanun miras yoluyla parçalanmayı önlemek ve tarımsal gelişmeyi sağlamak için tarım arazilerinin kullanım amacını düzenlemeyi amaçlamaktadır.

**3083 Sayılı Sulama Alanlarında Arazi Düzeni ile İlgili Arazi Reformu Kanunu:** Bu Kanunun amacı; toprağı verimli bir şekilde işlemek, işleyişini korumak, karlılığı artırmaktır.

**3573 Sayılı Zeytin Yetiştiriciliğinin Islahı ve Yabanilerin Aşılınması Hakkında Kanun:** Zeytincilik için uygun iklim ve toprağı uygun alanlarda zeytinliklerin kurulmasını sağlamak, mevcut zeytinliklerde ürün miktar ve kalitesini artırmak amacıyla oluşturulmuştur.

**2863 Sayılı Kültür Varlıklarını ve Doğayı Korumaya Dair Kanun:** Bu kanun, korunması gerekli taşınır ve taşınmaz varlıkların doğa ve kültürel varlıklarının tanımını, bunların hangi koşullarda korunduğunu nasıl düzenlemesi gerektiğini amaçlamaktadır.

**3621 Sayılı Kıyı Kanunu:** Bu kanun, deniz ve akarsu kıyıları ve buraların etkisindeki kıyıları doğal ve kültürel özellikleriyle gözetmek ve korumak amacıyla oluşturulmuştur.

**2565 Sayılı Askeri Yasak ve Güvenli Bölge Kanunu:** Bu kanun, anavatanın savunması, güvenliği ve gizliliğinin sağlanması için gerektiğinde askeri sınırların kurulmasını, kaldırılmasını veya genişletilmesini sağlar.

**2920 Sayılı Sivil Havacılık Kanunu:** Bu kanun, havacılık alanındaki faaliyetlerin ulusal çıkarlarımız ve uluslararası ilişkilerimize göre düzenlenmesini sağlamak ve hızlı gelişme sağlamayı amaçlamaktadır (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2023).

### 3.3. Literatür Araştırması

Ülkemizde ve uluslararası güneş enerjisi yer seçimi problemleri çeşitli araştırmalarda konu olarak ele alınmıştır. Bazı çalışmalarda Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) gibi tek bir yöntem kullanılırken bazılarında ise birden fazla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri kullanılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir;

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

Duman (2018), çalışmasında Batı Akdeniz bölgesinde güneş enerji santrali için uygun alanı yer seçimi için ÇÇKV metodlarından olan Best-Worst yöntemi (BWM) ile kriterleri belirlenmiş, Moora ve Topsis yöntemiyle de uygun tesis belirleme çalışması yapılmıştır.

Obut (2016), araştırma alanı olarak Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesini seçmiştir. Güneş enerjisi santrali uygun yer seçimi için enerji nakil hatlarına olan uzaklık, güneş enerjisi potansiyeli, arazi kullanımı, yola uzaklık ve bakı kriterlerini ele almıştır. Güneş enerjisi santralinin uygunluk analizi için çalışmada 12 adet veri katmanı belirlenmiştir ve Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında çok kriterli analizler yapılarak değerlendirilmiştir. Göksun bölgesinde 6 adet güneş enerjisi santrali seçilmiştir. Çalışma sonucuna göre konum seçimlerinin doğru olduğu görülmüştür.

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

Özdemir vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada GES kuruluş yer seçimi için yöntem olarak AHP ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR) yöntemlerini kullanmıştır. Van, Malatya, Kayseri, Antalya, İstanbul, Konya, Aksaray, Kocaeli, Burdur,

Nevşehir, Adana, Denizli ve Sinop illerini ele almıştır. Elektrik üretim kapasitesi, arsa metrekaresi fiyatı, terör olasılığı, deprem riski, güneş enerjisi sanayi bölgesine yakınlık gibi kriterlerin incelendiği bu çalışmada santral için en uygun il olarak Konya seçilmiştir.

Akkaş vd. (2017) tarafından yürütülen çalışmada GES için seçenek olarak Aksaray, Konya, Karaman, Nevşehir, Niğde illerini ele alınmış, AHP, İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSIS), Kriterler için Alternatifler Arasında İkili Üstünlük Karşılaştırması (ELECTRE) ve VIKOR yöntemleri uygulanmıştır. Güneş enerji potansiyeli, dağıtım merkezi kapasitesi ve yüzey eğimi kriterler olarak ele alınmış olup tüm yöntemler için en uygun il olarak Karaman seçilmiştir.

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

Uzunay (2022) yaptığı çalışmada Giresun ilinde CBS analizleri yaparak güneş enerjisi santrali uygun yer seçimi için en optimum yatırım kararını ele almıştır. Yapılan analizler sonucu uygun yerler Çamoluk, Şebinkarahisar ve Alucra ilçelerinde toplam 285.330 metrekareselik alan tespit edilmiş olup bu alanın 14.3 mW kapasiteli GES yatırımı yapılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Öztaş (2022) Konya ilinde en uygun GES yer seçimini yapabilecek alanı CBS kullanarak aynı zamanda En İyi En Kötü çok kriterli karar verme yöntemiyle bütünleşik bir yaklaşım sunmuştur. Bu çalışmada öncelikle seçilen etmenlerin En İyi En Kötü (BWM) Yöntemi ile önem seviyeleri belirlenmiş olup daha sonra aday bölgeler arasından en optimum lokasyonu tespit etmek için CBS kullanılmıştır. BWM (Best-Worst Method) yöntemindeki kriter ağırlıkları kullanılarak CBS programında analiz edilmiştir.

Türkiye dışında uluslararası düzeyde de yer seçimi problemleri konu olarak ele alınmıştır. Wu ve Geng (2014) teknik kullanılabilirlik, güneş kaynakları, ekonomik ve çevresel etmenleri göz önüne almış olup, AHP yöntemini kullanarak rüzgar ve güneş enerjisi ile bütünleşik yer seçimi çalışmıştır.

Villacreses vd. (2017) CBS kullanarak Ekvador'da uygun alternatif alanları belirlemiş olup, AHP kriter ağırlıklarını bulmuşlardır ve çok kriterli karar verme yöntemleri OWA, VIKOR, TOPSIS ve OCRA kullanılarak alternatifleri oluşturulmuştur. Çalışma sonunda benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Ahadi vd. (2023) İran'da yaptıkları çalışmada AHP ve Expert Choice yazılımlarını kullanarak iklim koşullarına göre en uygun lokasyonu seçmişlerdir. Yazarlar, radyasyon miktarı, güneşli gün sayısı, ortalama sıcaklık, nem miktarı, yağış miktarı, bulutluluk faktörü gibi ana kriterler ve alt kriterleri belirlenmiştir. Çalışmada bundan sonra hiyerarşik seviyeler belirlenip ana kriterlerin duyarlılık analizi yapılarak parametre ağırlıklarının alternatifler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

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

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

Yousefi vd. (2018), Boolean ve Bulanık Mantık Modeli kullanarak CBS tabanlı Güneş Enerjisi Santrali yer seçimi yapmıştır.

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

Halder vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Batı Bengal bölgesinde GES için uygun yerin belirlenmesinde CBS ve AHP kullanılmış olup Ağırlıklı Katman Analizi (WOA) için ise ArcGIS kullanılmıştır. CBS kullanılarak uygunluk haritası oluşturulmuş ve her bir kriter için AHP ile ağırlıklar hesaplanmıştır. Uygunluk haritası en uygun

olmayandan en uygun olana doğru beş kategoriye ayrılmıştır ve toplam alanın %32,43'ü GES yapımına çok uygun bulunmuştur.

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

Ali vd. (2019) yaptıkları çalışmada Tayland'ın güneyindeki Songkhla ilinde rüzgar ve güneş enerjisi santralleri için ideal alanlar bulmuşlardır. Kriterlerin değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve CBS yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçları Songkhla'nın rüzgar ve güneş enerjisi alanları için 66.113 km<sup>2</sup> ve 844.93 km<sup>2</sup> potansiyel araziye sahip olduğunu, ancak alanların yalnızca 38.749 km<sup>2</sup> ve 69.509 km<sup>2</sup>'sinin "oldukça uygun" olarak değerlendirileceğini göstermiştir. Bu çalışma, Tayland'ın güneyinde yenilenebilir enerjiye yatırım yapmak isteyen yatırımcılar için önemli bir başlangıç olduğunu göstermektedir.

## BÖLÜM 4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Günümüz rekabet ortamında doğru ve etkin kararlar verebilen firmalar, yeni ortam ve koşullara rakiplerinden daha hızlı uyum sağlamakta ve bu avantajını daha birçok alanda sürdürebilmektedir. İyi ve etkili karar verme, bilginin doğru zamanda sağlıklı ve verimli bir şekilde değerlendirilmesine ve başarı ile sonuçlanmasına bağlıdır. Karar verme, basit veya karmaşık kararlar karşısında günlük yaşamda sürekli bir olaydır ve aslında herkes bir karar vericidir (Saaty, 2008). Ancak bir karar verme bireysel kararlardan büyük grupları ve toplulukları etkileyen kararlara kadar uzanır (Chankong ve Haimes, 2008). Karar verme, bir problemin amaçlarına göre en uygun çözümü bulmak olarak tanımlanabilirken, karar verme analizi, bir problemin analitik ve sistematik analizi olarak tanımlanabilir (Topçu, 2016). Karar verme ve problem çözme birbiriyle bağlantılıdır. Çünkü problemin tanımlanmasından karar verilmesine kadar olan süreç sonucu doğrudan etkiler. Öte yandan, kriter kelimesi bir ölçüt, yargıda bulunmak veya değer vermek için kullanılan bir ilkedir (TDK, 2023). Bir problemin çok fazla kriter içermesi karar vermeyi karmaşık hale getirir ve karar vermeyi desteklemek için matematiksel yöntemler gerekir. Dolayısıyla ÇKKV yöntemleri bu tür analizleri kolaylaştırır (Cristobal, 2012). ÇKKV yalnızca sayısal bir prosedür değil, aynı zamanda karar problemlerine özel bir bakış açısıdır. Birçok ÇKKV yöntemi geliştirilmiştir ve halen geliştirilmektedir. Ayrıca probleme göre farklı sistemlere entegre olabilen ÇKKV yöntemlerinin her birinin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar değerlendirilerek probleme en uygun olan yöntem seçilmelidir. Tablo 4'te en sık kullanılan ÇKKV yöntem ve tanımları verilmiştir.

**Tablo 4**

*Çok Kriterleri Karar Verme Yöntemleri*

| YÖNTEM | AÇIKLAMA                                                                                                                                       |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SMART  | Edwards (1977) tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonraki dönemde ilerleme göstererek uygulanması kolay bir yöntem haline gelmiştir.           |
| SAW    | Ağırlıklandırma yöntemi olarak bilinmektedir. Bütün kriterlerin toplamı ile indeks oluşturulur. Bu yöntemde de veriler normalize edilmektedir. |

### ***Tablolar Devamı***

|           |                                                                                                                                                           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TOPSİS    | Hwong ve Yoon (1980) tarafından geliştirilmiştir. Alternatiflerin pozitif çözüme en yakın olması ve negatif ideal çözüme en uzak olması durumudur.        |
| AHP       | Thomas Saaty (1977) tarafından geliştirilmiştir. Çok kullanılan bir yöntemdir. Kriterler arası ikili karşılaştırma yapılarak kriterler ağırlıklandırılır. |
| VIKOR     | Kriterlerin birbiri ile çelişmesi durumunda sıralama yapılarak arasından uygun seçim yapılır.                                                             |
| PROMETHEE | Brans (1984) tarafından geliştirilmiştir. Alternatifler kriterler arasından değerlendirilerek sıralama yapılmaktadır.                                     |
| ELECTRE   | Bu yöntem alternatiflerin seçilen kriterler ile uyumlu olup olmaması durumunu değerlendirmektedir.                                                        |

### **Kaynak: Özbek (2017)**

ÇKKV, karar verme sürecinin kriterlere göre modellendiği ve süreç sonunda karar vericilerin analiz edilerek elde edilecek faydanın en üst düzeye çıkarıldığı bir süreci temel almaktadır (Topçu ve Kabak, 2016). Mesela bir konut almaya karar verdiğiniz düşünürsek, fiyat ve evin büyüklüğü gibi iki kriterle dayanarak, iki olası ev seçeneğini değerlendirmeniz ve bir karar vermeniz istenmelidir. Böyle bir karar probleminde basit bir karşılaştırma, bir karar tekniği kullanmadan en büyük faydaya sahip seçeneği (en büyük metrekareye ve en düşük fiyata sahip ev) seçebilir. Fakat karşı karşıya kaldığınız konut satın alma problemini gerçek hayata uyguladığınızda seçenek sayısı ikiden çok daha fazla ve konut ihtiyacınızı satın alırken dikkat etmeniz gereken kriter sayısı çok daha fazladır. Bu durumda, etkili kararlar almak için mantıksal testler kullanılamaz. Ayrıca, karar vermek için sezgiyi kullanmak verimli sonuçlar vermez. Bu gibi durumlarda, karar verme sürecini desteklemek için bilimsel bir karar destek sisteminden yararlanmak, karar verme sürecinin bir sonucu olarak geçerli sonuçlar verebilir. Yukarıda basit bir örnek kullanılarak gösterilen karar verme problemi, uygulamada, özellikle kurumsal karar verme süreçlerinde daha karmaşık ve sonuçta daha fazla maliyetle ilgili hale gelir. Karar vericiler bu tür problemlerin üstesinden bu yöntemler sayesinde gelerek daha etkili ve gerçekçi kararlar alabilmektedir. ÇKKV, tüm hiyerarşilerde her düzeyde yaygın olarak kullanılan bir dizi yöntemlerden oluşmaktadır. ÇKKV yöntemlerini kullanarak etkili bir karar verme süreci yürütmek için şu adımlar takip edilir (Topçu ve Kabak 2016):

## **4.1. Çok Kriterli Karar Verme Adımları**

### ***4.1.1. Amaçların Belirlenmesi***

Karar verilecek problemin doğru yargılanması ve karar verme sürecine yön verebilmek için amaç veya hedefi doğru belirlemek önemlidir. Karar problemlerinin

modellenmesinde kilit bir faktör, uygun hedeflerin belirlenmesine bağlıdır. Belirlenen amaçlara göre karar problemleri tasarlanır ve bu amaçlara hizmet eden kriterler ve alternatifler buna göre belirlenir. Gruplar halinde kararlar alınırken, hedeflerin üzerinde uzlaşmış olmasına özen gösterilmelidir (Yıldırım, 2023).

#### **4.1.2. Kriterlerin Belirlenmesi, Kriter Setinin Oluşturulması**

Amaç veya hedef tanımlandıktan sonra, bir sonraki adım kriterleri tanımlamak ve bir kriter seti oluşturmaktır. Kriterler, bir amaca ulaşmak için alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan karar bileşenleri oldukları için dikkatle belirlenmelidir. Karar verme probleminde yer alan tüm kriterlerin karar verme sürecinde geçerli olduğu, problemde ele alınmayan kriterlerin karar verme sonucunu dolaylı olarak etkilediği bilinmelidir. Ayrıca standardın amaçlarına katkı yönü değerlendirilirken üzerinde durulması gereken bir noktadır. Bazı standartlar faydalıdır, bazıları ise maliyetlidir. Model ev satın alma kararı problemine dönüp baktığımızda, kriterlerden biri olan fiyat kriterinin maliyet niteliğine, alan ölçümü kriterinin ise fayda kalitesine sahip olduğunu görebiliriz. Bir mülk satın alırken olabilecek en düşük fiyat (en düşük maliyet) hedeflerinize olumlu katkı sağlarken, metrekare, ölçü değeri en yüksek (en yüksek fayda) evi seçmenizi gerektirir. Karar verirken ölçütlerin faydalı bir şekilde kullanılabilmesi için kriterlerin sahip olması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir: (Yolcan ve Köse, 2020).

- **Kapsayıcılık:** Kriterler, karar probleminde ulaşılabilecek hedeflere ulaşmak için yeterince kapsamlı olmalıdır. Ayrıca, değerlendirilmekte olan her bir alternatifi sunacak kadar kapsamlı olması beklenmektedir. Ev alma sorunu örneğini ele alırsak, fiyatların baz alınabilmesi için tüm alternatif konut fiyatları sabitlenmelidir. Alternatiflere ait konutların fiyatları bilinmiyorsa fiyat kriterleri kapsayıcılık özelliği taşımamaktadır.
- **Ölçülebilirlik:** Bir kriterin karar verme problemi üzerindeki etkisinin hesaplanabilmesi için bir kriterin ölçülebilir olması gerekir. Önceki tanımda belirtildiği gibi, koşullar ya sayısaldır ya da sayısal değildir. Sayısal kriterlerin ölçülebilirliği açık olmasına rağmen sayısal olmayan kriterleri saptamak için çeşitli ölçekler kullanılmaktadır. Örnek olarak, subjektif değerlendirme içeren referans ölçümlerinde yaygın olarak dilsel ölçeklerin kullanıldığı bilinmektedir.
- **Yeterlilik:** Kriterler hedefleri yansıtmalı ve seçenekleri doğru değerlendirmek için yeterli sayıda olması gerekir. Kullanacağınız kriter sayısı karar probleminize

bağılıdır ancak karar probleminize uygun maksimum ve minimum sayıları aşmamalısınız. Kriterleri aynı yönde sıralayarak, tek bir kriterde birleştirerek ve karar verme problemini olabildiğince basit hale getirerek, karar verme sürecini daha verimli hale getirmek mümkün olur (Uyan, 2017).

#### ***4.1.3. Alternatiflerin Belirlenmesi, Alternatif Setinin Oluşturulması***

Karar verme kriterlerini keşfetme aşamasından sonra, değerlendirilecek alternatifleri belirleme aşaması başlar. Karar verme sürecinden sonra alternatiflerin anlaşılır sonuçlar üretmesi önemlidir. Alternatif kümenin doğru olması ve sayısal olarak karar problemini yansıtması beklenir. Karar verme sürecine dahil olmayan alternatifler, sonuçta karar vericilere maliyet yükleyebilir. Örneğin bir firmanın tedarikçi seçerken dikkate almadığı alternatifler aslında standardın amacına ve ölçeğine en uygun alternatifler olabilir. Bu açıdan karar probleminde alternatifleri içermemenin bir bedeli vardır. Alternatifler ya önceden bilinen alternatiflerdir ya da bazı ÇÇKV yaklaşımlarında, var olmayan yapay olarak tasarlanmış (dummy) alternatifler, karşılaştırma yapmak için karar problemine dahil edilebilir (Yıldırım, 2023).

#### ***4.1.4 Alternatiflerin Kriterlere Göre Değerlendirilmesi***

Hedefler, kriterler ve alternatifler açıklandıktan sonra alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesine başlanır. Alternatiflerin kriterlere göre sıralaması ÇÇKV yaklaşımında önerilen matematiksel işlemler yapılarak sonuç değerlendirilir (Yıldırım, 2023).

#### ***4.1.5. Genel Değerlendirme ve Karar Verme***

Analiz aşaması biter ve sonuçlar elde edilir. Sonra elde edilen sonuçların genel bir değerlendirmesi yapılır ve karar verme süreci sonucunda kararlar alınır.

#### ***4.1.6. Karar İncelemesi, Hassaslık Analizi***

Karar verme sürecinin doğru olup olmadığını belirlemek için alınan kararlar kontrol edilmelidir. Ayrıca alınan kararların etkinliğini ölçmek için duyarlılık analizi yaparak, hedeflerin kısa vadeli olmadığı bilinmekte, bu sayede alternatif kararlar belirlenmekte ve bir yıl boyunca bunlar takip edilebilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, ÇÇKV yaklaşımı birçok yöntemi içerir. ÇÇKV yöntemleri, karar verme sürecinin karmaşıklığı

ile doğru orantılı olarak, literatürdeki farklı yaklaşımların önerileri ile sürekli olarak güncellenmektedir (Yıldırım, 2023).

ÇKKV yöntemlerinden en yaygın olanları aşağıda verilmiştir:

- Seçim problemleri; AHP, PROMETHEE, TOPSIS, Hedef Programlama
- Sıralama problemleri; VIKOR, Flow Sort, ELECTREE
- Sınıflandırma problemleri; AHP, ELECTRE, TOPSIS, MACBETCH

### **Çok Kriterli Karar Verme Metotlarının Olumlu ve Olumsuz Yönleri**

ÇKKV yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kuru, 2011);

#### **Avantajları:**

- Birden çok ve birbiriyle çelişen kriterler, karar verme sürecinin temelini oluşturmaktadır.
- Karar verme sürecini kolaylaştırıp, sistemli bir şekilde yapının yürümesini sağlamaktadır.
- Bu sayede çok büyük veri kümeleri değerlendirilebilir.

#### **Dezavantajları:**

- Bazı kriterler için bir alternatif diğerinden daha önemliken bazı kriterler için tam tersi olabileceği ve bu konuda ek modelleme yapılması gerektiği için alternatiflerin karşılaştırılamaması sorunu ortaya çıkabilir.
- Sonuç olarak, yalnızca tavizler elde edilir. Çünkü problem matematiksel olarak net bir şekilde tanımlanamaz. Ortaya çıkan uzlaşma öznel ve en iyi çözüm için karar vericiye bağlı olmalıdır.

### **4.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)**

Myers ve Alpet tarafından ilk defa belirtilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci, 1977'de Saaty tarafından karar problemlerini çözmek için geçerli bir yöntem olarak geliştirilmiştir (Akçay, 2019). AHP, karar verme sürecinde niceliksel ve niteliksel kriterleri değerlendirebilen, grup veya bireysel tercihlerin, deneyimlerin, sezgilerin, bilgilerin, yargıların ve düşüncelerin karar verme sürecine dahil edilmesine ve bunlara karşı tartışılmasına izin veren bir ÇKKV metodolojisidir. AHP' de hiyerarşi üç farklı seviyede kurulur. Sistemin en tepesinde amaç vardır. Alt kriter var ise üstünde bir ana kriter

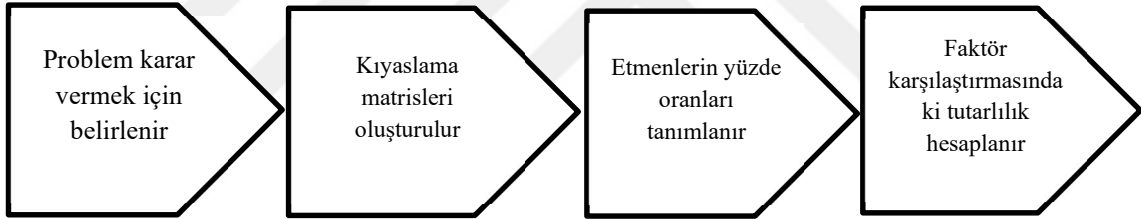
muhtak bulunur. En düşük seviyede seçenekler vardır. Tutarlı ikili karşılaştırmalar için kriter sayısı uygun şekilde belirlenmeli ve her kriter iyi tanımlanmalıdır (Kuru, 2011). Kriterler ortak özelliklere göre gruplandırılmalıdır. AHP farklı kriterlere göre uygulanabilir. Bu, grup olarak karar vermenin harika bir yoludur. Duyarlılık analizi sayesinde sonuçların esnekliği analiz edilebilir. Hiyerarşik ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturmak öznedir ve deneyimli ve bilgili bir kişi gerektirir (ÇKKV, 2023).

AHP, kararları etkileyen faktörlere ilişkin karar noktalarının yüzde dağılımları verilerek karar verme hiyerarşilerinin tanımlanabildiği bir karar verme ve tahmin yöntemi olarak tanımlanabilir. En genel anlamda bir karar verme problemidir (Uyan, 2017).

AHP yöntemi oldukça bilinen ve güvenilir ÇKKV yöntemidir. Bireysel önem atamalarını bir ağırlık kümesine dönüştürmek için kullanılan tekniktir. Şekil 14'te AHP için gerekli aşamalar anlatılmıştır (Özmen, 2020).

#### Şekil 14

##### *AHP ile Çözümleme Yapılabilmesi İçin Gereken Aşamalar*



**Kaynak:** Akçay (2019)

Tablo 5 'te ise AHP yönteminin olumlu ve olumsuz yönleri kısaca anlatılmıştır. Ayrıca uygulama alanları ve kullanılan programlar belirtilmiştir.

#### Tablo 5

##### *AHP Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları*

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Avantajlar / Dezavantajlar | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nicel ve nitel ölçütler değerlendirilebilmektedir.</li> <li>➤ Temel kriterlerden daha sonra alt kriterler değerlendirmeye alınır ve bu sayede çok fazla kriter analize dahil olabilmektedir.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Karar vericilerin kişisel yorumlarına dayanması.</li> <li>➤ Nihai sonucu değerlendirebilen bağımsız bir methodun olmaması.</li> <li>➤ Sonradan eklenen bir kriterin tüm karar sürecini baştan yenilenmesini gerektirmesi.</li> </ul> |
| Uygulama Alanları          | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Seçim</li> <li>➤ Fayda Maliyet Analizi</li> <li>➤ Kaynak Tarama</li> <li>➤ Planlama ve Geliştirme</li> <li>➤ Tahminleme</li> <li>➤ Öncelikleri belirleme ve sıralama</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tesis yer seçimi</li> <li>➤ Sağlık gibi önemli alanlarda karar verme</li> <li>➤ Kalite fonksiyonu</li> <li>➤ Ürün planlama, tahminleme</li> <li>➤ Stratejik üretim kararları</li> </ul>                                              |
| Kullanılan Programlar      | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ms Excel, Expert Chooice, Super Desicions</li> </ul>                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                               |

**Kaynak:** Aladağ vd. (2017)

AHP yöntemi algoritmasının adımları şu şekildedir:

**Aşama 1:** Sorun belirlenir ve tanımlanır. Karar için gerekli olan kriterler belirlenerek kriterlerin önceliklendirilmesi yapılır.

**Aşama 2:** Hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Zirvede ulaşılması gereken bir ana hedef vardır. Alt ve ana kriterler aşağısında bulunmaktadır. Alternatifler ise en altında yer almaktadır. Problemin karışıklığına ve detayına göre seviye sayısı belirlenmektedir. Aynı düzeydeki seçenekler birbirinden tamamen bağımsız kabul edilir.

**Aşama 3:** Kıyaslama matrisi oluşturulur. 1'den 9'a kadar değer alan bir şiddet ölçeği kullanılır. İlk önce temel kriterler, ihtiyaç duyulursa alt kriterler ve en son tüm kriterler göz önüne alınarak seçenekler belirlenir. Karşılaştırma matrisi, köşegeninde 1'ler bulunan kare bir matristir (Akçay, 2019). Tablo 6'da AHP karar matrisi formül olarak verilmiştir.

**Tablo 6**

*AHP Karar Matrisi*

|       |                                                                                                                                                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A =$ | $\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$ |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

$a_{ij}$ , i. kıyas ile j. ölçütün ikili kıyaslama değeri olmakla beraber,  $a_{ij}$  değeri  $1/a_{ij}$  den elde edilmektedir.  $a_{ij}$  değeri, Ölçüt değeri bir başka ölçüt değere göre ne oranda önemle seçilmelidir sorusunun yanıtıdır. Saaty tarafından bulunan karar matrisleri 1-9 arasında değerler içeren kıyaslama yapılarak bulunmaktadır (ÇKKV, 2023). Tablo 7'de AHP yöntemindeki puanlar ve tanımları verilmiştir.

**Tablo 7**

*AHP Karşılaştırma Şeması*

| Önemi | Tanımı                  | Açıklaması                                                             |
|-------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Eşit derece öneme sahip | Her iki seçenek de eşit derece önemlidir.                              |
| 2     | Ara değer               | Değer iki yargı arasındadır.                                           |
| 3     | Biraz önemli            | i. kriterinin j. kriterine göre biraz daha önemli olduğu durumudur.    |
| 4     | Ara değer               | Değer iki yargı arasındadır.                                           |
| 5     | Fazla önemli            | i. kriterinin j. kriterine göre fazla önemli olduğu durumudur.         |
| 6     | Ara değer               | Değer iki yargı arasındadır.                                           |
| 7     | Çok fazla önemli        | i. kriterinin j. kriterine göre oldukça fazla önemli olduğu durumudur. |
| 8     | Ara değer               | Değer iki yargı arasındadır.                                           |
| 9     | Son derece önemli       | i. kriterinin j. kriterine göre aşırı fazla önemli olduğu durumudur.   |

**Kaynak:** Saaty (2008)

**Aşama 4:** İkili karşılaştırma matrisleri normalleştirilmiştir. Matrisin her elemanı, sütununun toplam sayısına bölünür. Normalize edilen matrisin her sütununun toplamı 1'dir.

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

**Aşama 5:** İlk önce vektör hesaplanır. Bu vektör öncelik vektörüdür. Normalleştirilmiş matrisin her satırı için toplamların, matrisin sayısına bölünmesiyle ortalama alınıp, her bir kriter için önem ağırlığı elde edilir. Öncelik vektörü de bu ağırlıklardan oluşmaktadır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

Denklemden elde edilmektedir. Öncelik vektörü oluşturma'nın dört farklı yolu vardır. Bunlar En Yaygın Method, Daha İyi Method ve En İyi Method başlıkları ile tanımlanabilir. Karşılaştırma matrisleri tutarlıysa, dört yöntemin tümü aynı sonucu verir (Turan, 2022).

**Aşama 6:** Tutarlılık hesaplanır. İkili karşılaştırmalar yapıp öncelikleri belirlendikten sonra karşılaştırma matrisinin tutarlılığı hesaplanır. Aşağıda verilen denklemlere göre tutarlılık ve random değeri hesaplanır. Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI) adı verilen değer sayesinde matrisin doğru olup olmadığına karar verilir. Bunun için öncelikle  $\Lambda_{max}$  değeri bulunur. Daha sonra CI (Tutarlılık indeksi) hesaplanır. Bu indeks öncelik vektörünün tutarlılığının test edilmesini sağlar. En sonunda bu n faktörün tutarlılık derecesinin uygun olup olmadığına bakmak için CI ile RI (Random index) oranlanır. Random indeks kriter sayısına göre değişen Saaty tarafından belirlenen sabit değerlerden oluşur. Tablo 8'de bu değerler verilmiştir (Türkmen, 2021);

$$CI = \frac{\Lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4.3)$$

eşitliği ile hesaplanır.

$$\Lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (4.4)$$

$$A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & \vdots & \ddots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

$$\Lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4.7)$$

**Tablo 8**

*Boyutuna Göre Kıyaslama Matrislerindeki RI Değerleri*

| n  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.56 | 1.57 | 1.59 |

**Kaynak:** Türkmen (2021)

Daha sonraki aşamada CR(Consistency Ratio), indeksin Tablo 8'deki Rndom değerlerinden uygun olana bölünerek hesaplanması sağlanır. (Özmen, 2020).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.8)$$

CR değerinin nin 0.10'dan küçük çıkması karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir (Türkmen, 2021).

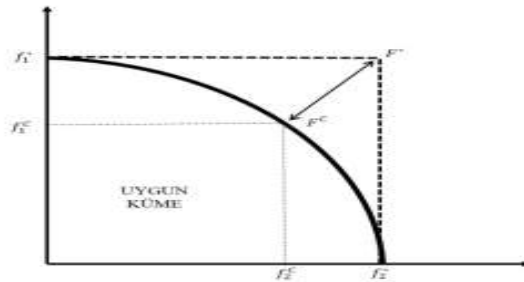
**Aşama 7:** Seçimler listelenir. Öncelik matrislerinin karar seçeneğinin öncelik vektörü ile çarpılmasıyla sonuç vektörü elde edilir. Bu vektörde en fazla ağırlığa sahip olan karar alternatifi sorunu çözmekte tercih edilen karar seçeneği olmaktadır (Serdar, 2008).

#### 4.3.VIKOR Yöntemi

Bu ÇKKV yöntemi, karışık ve zorlu çok kriterli sistemlerin çözümü için geliştirilmiş bir yöntemdir. VIKOR yöntemi, alternatifleri seçmeye ve doğru sıralamaya odaklanan bir yöntemdir. Opricovic (1998) bu yöntemi geliştirmiştir. Uzlaşma ilkesi üzerinde çalışır ve karar vericilerin nihai kararı vermelerine yardımcı olan bir tekniktir. VIKOR yöntemi için Tablo 15'te ideal optimum aralığı gösterilmektedir. Optimum çözüm ( $F_c$ ), ideal çözüme ( $F^*$ ) en yakın olandır (Özdemir vd., 2017).

**Şekil 15**

*İdeal ve Optimum Çözümler*



**Kaynak:** Kuru (2011)

VIKOR yöntemi seçim sebepleri aşağıda belirtilmiştir (Kuru, 2011):

- Kullanıcılar için oldukça yeni bir metottur.
- Tutarlı sıralamalar elde etmek için basit ve anlaşılır bir karşılaştırma yapısına sahiptir.
- VIKOR yönteminin diğer yöntemlerden farkı grubun maksimum yararı ve buna bağlı olarak zıt düşüncelerin en az pişmanlığının sonucu etkilemesidir.
- Karar verici grupların sonuçları üzerinde etkili bir şekilde etkilemesine yardımcı olur.

VIKOR yöntemi, uygulamacılar sistem tasarımının başlangıcında tercihlerine doğru karar veremediklerinde kullanılan oldukça etkin bir ÇKKV aracı olmaktadır (Obricovic ve Tzeng, 2007). Ortaya çıkan uzlaşma, çoğunluk için mümkün olan en büyük grup faydasını ve aynı fikirde olmayanlar için en az pişmanlığı sunduğu için karar vericiler tarafından kabul edilir. Müzakereler, kriterlerin ağırlıklandırılmasına göre karar vericinin tercihlerini içeren uzlaşmalara dayanmaktadır.

VIKOR yöntemini kullanarak ÇKKV problemlerini işlemek ve çözmek aşağıdaki genel özellikleri gerektirir: (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008).

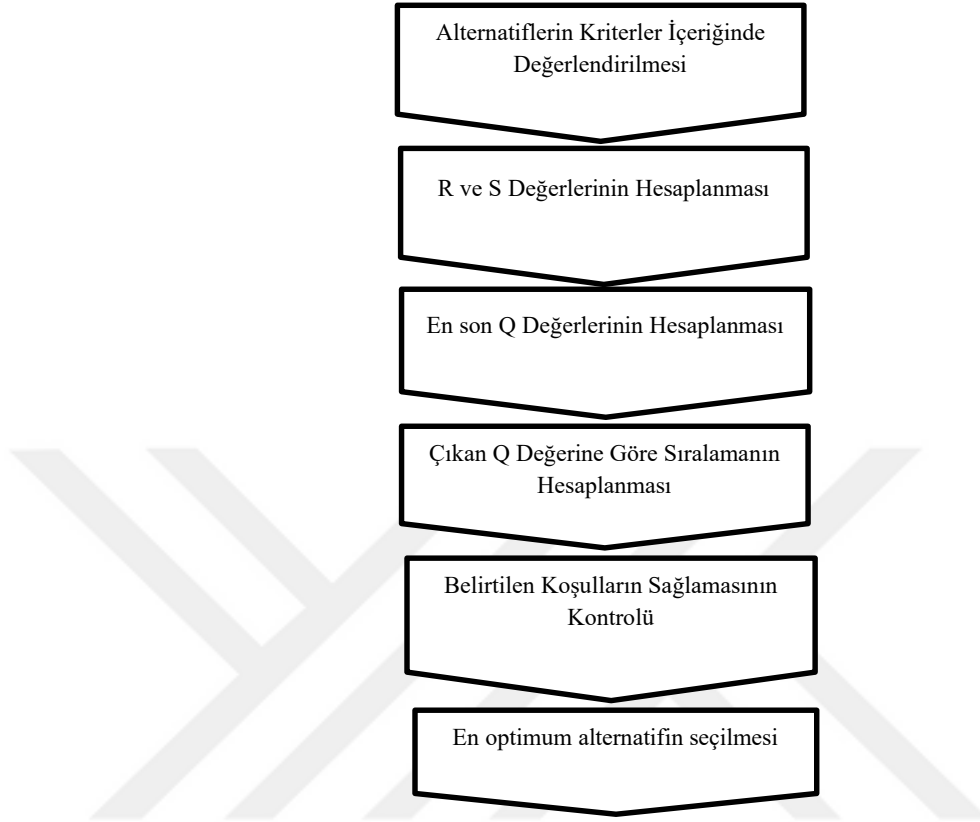
- Bu metotta ortaya çıkan anlaşmazlıkları çözerken uzlaşma kabul edilebilir seviyede olmalıdır.
- Sonuçta ulaşılmak istenen yarar ile her bir kriter fonksiyonu arasında doğrudan bir ilişki bulunmalıdır.
- Nihai kararın onaylanmasında uzmanlar, en yakın optimum çözümü kullanmaya istekli davranmalıdır.
- Alternatifler belirtilen tüm kriterlere göre değerlendirilmelidir.
- VIKOR yönteminin nihai çözümünü onaylamak karar vericinin sorumluluğundadır.
- Karar vericilerin tercihleri ağırlıklarla temsil edilmektedir.

### **VIKOR Yönteminin İşlem Adımları**

Şekil 16 'da VIKOR'un uygulama adımları sırasıyla gösterilmektedir. Burada  $S$  ortalama grup skorunu,  $R$  değeri en kötü grup skorunu  $Q$  ise maksimum faydayı göstermektedir.

## Şekil 16

### VIKOR Yöntemi Uygulama Şeması



VIKOR yönteminde karar matrisi oluşturulmadan önce alternatiflerin, kriterlerin ve alternatiflerin puanlarının kriterlere göre belirlenmesi ve belirlenen noktaların karar matrisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Karar matrisi (X) aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır (Kuru, 2011):

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

X karar matrisinin satırları alternatifleri, sütunları ise kriterleri ifade etmektedir. VIKOR'un çalışma adımları sırasıyla şu biçimde olmaktadır (Kuru, 2011):

#### Adım 1. En Kötü ve En İyi kriter değerlerinin belirlenmesi

Karar matrisi elde edildikten sonra her bir kriter ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) için en iyi ve en kötü değerleri belirlenir. Bu değerler iki farklı biçimde hesaplanmaktadır. Eğer j. kriter karar vermeye yönelik pozitif bir faydaya sahipse  $f_j^*$  ve  $f_j^-$  değerleri,

$$f_j^* = \max_i x_{ij} \quad (4.10)$$

$$f_j^- = \min_i x_{ij} \quad (4.11)$$

Denklemleri kullanılarak hesaplanır. j. kriteri bir maliyet ifade ediyorsa  $f_j^*$  ve  $f_j^-$  değerleri,

$$f_j^* = \min_i x_{ij} \quad (4.12)$$

$$f_j^- = \max_i x_{ij} \quad (4.13)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır (Soba vd., 2016).

## Adım 2. Normalizasyon matrisinin oluşturulması

Oluşturulan matrisin normalize edilmesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (4.14)$$

işlemler sonucu elde edilen R normalize matrisi,

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

şeklinde gösterilir (Kuru, 2011).

## Adım 3. Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılması

Karar matrisinin ağırlıklandırılması aşağıdaki hesaplama ile yapılmaktadır

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (4.16)$$

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi V aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

## Adım 4. $S_i$ ve $R_i$ değerlerinin hesaplanması

$S_i$  ve  $R_i$  sayıları, i. Ortalama ve en kötü alternatif değerlerini bize göstermektedir. Aşağıdaki denklemler kullanılarak bahsedilen değerler hesaplanabilmektedir (Okatan, 2018).

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (4.18)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \quad (4.19)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (4.20)$$

$S_i$  değerinin bulunması için,  $v_{ij}$  ağırlıklandırılmış normalize matrisi,  $w_j$  ağırlıkları,  $r_{ij}$  normalize matrisi,  $f_j^*$ ,  $f_j^-$  en iyi ve en kötü kısıtları ifade etmektedir.

$R_j$ ; aşağıdaki denklemler hesaplanarak bulunur.  $\max_j v_{ij}$  değeri, denklemde ağırlıklandırılmış matris değerlerinin maksimum olanını,  $\max_j (w_j \cdot r_{ij})$  ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin en yüksek elemanını ve  $\max_j (w_j \cdot f_j^* - x_{ij} f_j^* - f_j^-)$  ise normalize karar matrisi elemanlarının ağırlıklar ile çarpılmış en büyük olanını ifade etmektedir (Okatan, 2018).

$$R_j = \max_j v_{ij} \quad (4.21)$$

$$R_j = \max_j (w_j \cdot r_{ij}) \quad (4.22)$$

$$R_j = \max_j \left( w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right) \quad (4.23)$$

#### Adım 5. $Q_i$ değerlerinin hesaplanması

$Q_i$  değerlerinin hesaplanması için kullanılan  $S^*$ ,  $S^-$ ,  $R^*$ ,  $R^-$  parametreleri sırasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır,

$$S^* = \min_i S_i \quad (4.24)$$

$$S^- = \max_i S_i \quad (4.25)$$

$$R^* = \min_i R_i \quad (4.26)$$

$$R^- = \max_i R_i \quad (4.27)$$

Denklemlerde  $\min_i S_i$   $S_i$  değerleri arasındaki en küçüğü,  $\max_i S_i$  en büyüğünü gösterir. Aynı mantıkla  $\min_i R_i$  ve  $\max_i R_i$ ,  $R_i$  değerleri içinde en küçük ve en büyük olanları ifade etmektedir.  $Q_i$  değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak bulunur.  $q$  değeri maksimum grup yararı sağlayan değeri belirtmektedir. Yeterli oy alınması sağlandığında  $q > 0.5$  ile konsensüs sonucu  $q = 0.5$  ile eşitlik, veto hali ise  $q < 0.5$  ile sağlanmaktadır (Soba vd., 2016).

$$Q_i = \frac{q \cdot (S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-q) \cdot (R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (4.28)$$

#### Adım 6. Şartların Kontrol Edilmesi ve Alternatiflerin Belirlenmesi

$S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri, alternatifler arasındaki sıranın belirlendiği üç sıra elde etmek için küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sınıflandırmanın doğruluğunu kontrol etmek amacıyla

en düşük  $Q_i$  değerine sahip alternatifin aşağıdaki koşulların karşılayıp karşılamadığını kontrol edilmesi gerekmektedir (Özdemir vd., 2017).

- **Koşul Kabul Görebilen Avantajlı Durum:**  $Q_i$  değerleri küçükten büyüğe sıralanırsa ilk seçenek  $A_1$  ve ikinci seçenek  $A_2$  olduğu zaman , kabul görebilen alternatif

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ \quad (4.29)$$

Şartına bağlıdır. M mevcut seçenekleri gösterir ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$DQ = \frac{1}{m-1} \quad (4.30)$$

- **Koşul Kabul Görebilen Kararlılık Koşul Durumu:**  $Q_i$  değerleri küçükten büyüğe sıralandığında  $A_i$  , S veya R ilk değişken en iyi ve en küçük olanıdır. Bu koşullardan herhangi biri sağlanmazsa aşağıdaki çözüm kümesi şöyle hesaplanmaktadır (Kuru, 2011):

$A_1$  ve  $A_2$  alternatifleri kabul edilebilir koşul sağlanmaz ise uzlaşma çözümü olarak kabul edilmektedir. Tüm  $A_1, A_2, \dots, A_m$  alternatifleri tercih şartları sağlanmadığı takdirde en iyi optimum sonuca dahil edilir. Burada üst sınır olan M,  $Q(A_m) - Q(A_1) < DQ$  ilişkisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Son olarak Q değeri en düşük olan değer en iyisidir (Okatan, 2018).

## BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde uygun lokasyon seçimi yapmak için 4 adet esas kriter ve bu ana kriterler ile ilgili 12 adet alt kriter ele alınmıştır. Tüm bu belirlenen kriterler daha önceden literatürde yapılan çalışmalar değerlendirilerek ve 4 adet uzman değerlendirmesi alınarak çalışma yapılmıştır. Tablo 9 ‘da uzmanların yetkinlikleri ve sektördeki deneyimleri verilmiştir. Bu çalışma kapsamında öncelikle AHP yöntemi kullanılarak belirlenen kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Sonradan bu kriter değerleri kullanılarak VIKOR yöntemi ile uygun seçeneklerin önceliğine göre sıralama derecesi belirlenmiştir (Özdemir vd., 2017).

**Tablo 9**

*Uzman Profili Tablosu*

| <b>Kişiler</b> | <b>Görevleri/Sektör</b>              | <b>Deneyim Süreleri/Yıl</b> |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Uzman 1        | Makine Yüksek Mühendisi/Enerji       | 15 yıl                      |
| Uzman 2        | Enerji Sistemleri Mühendisi/Enerji   | 10 yıl                      |
| Uzman 3        | Elektrik Elektronik Mühendisi/Enerji | 8 yıl                       |
| Uzman 4        | Enerji Teknikeri/Enerji              | 9 yıl                       |

### 5.1. Problemin Tanımı

Yer seçim problemleri, birçok kriteri birlikte dikkate alan karmaşık birçok kriterli karar verme problemidir. Burada AHP ve VIKOR kullanılarak yer seçimi çalışması yapılmış ve güneş enerjisi santralleri için en iyi alternatif yerlerin belirlenmesine yönelik yöntemler uygulanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak çalışma kapsamındaki 3 tane il olan İstanbul, Bilecik ve Nevşehir için Super Decision 2.6.0 programı yardımıyla analiz yapılarak kriter ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak puanlamaya göre en uygun yer tespit bulunarak nihai bir sonuç elde edilmiştir.

### 5.2. Çalışmada Kullanılacak Yazılım Seçimi

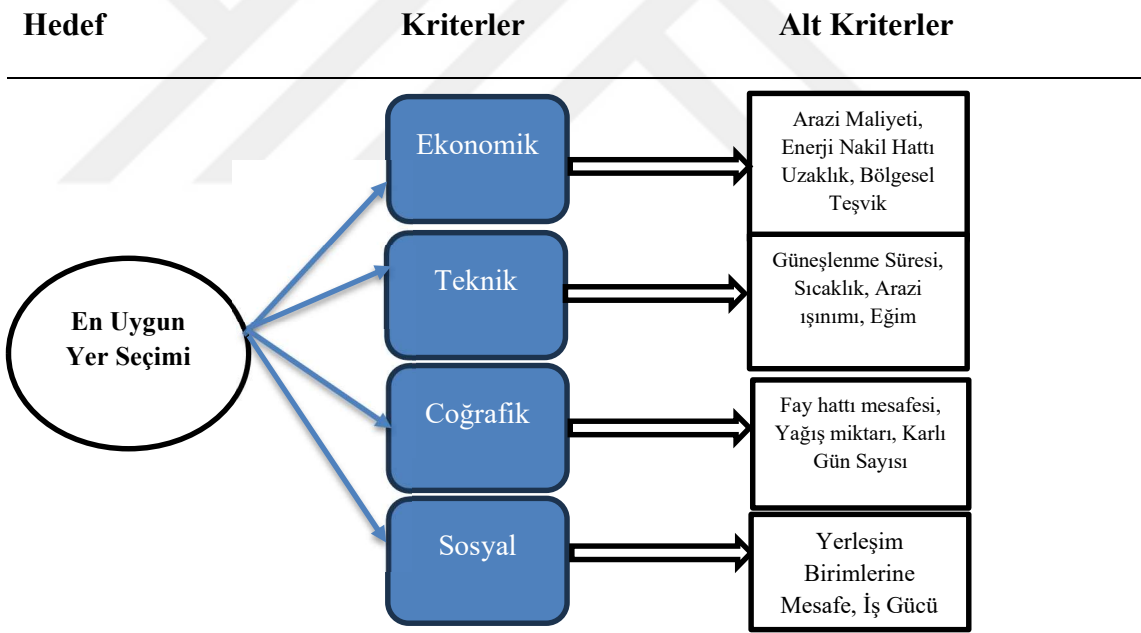
GES yeri seçimini etkileyen birçok kriter bulunmaktadır ancak bunlardan etkisi en fazla olanları değerlendirmek doğrudur. Kriter sayısı arttıkça, mevcut seçenekler arasında doğru kararı vermek daha karmaşık hale gelir. Kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmış olup, en optimum lokasyon başta olmak üzere değerlendirmeye alınan yerler arasında uygunluk sıralaması VIKOR ile yapılmıştır. Super Decision 2.6.0 programı AHP uygulanırken kullanılmış olup, VIKOR uygulamasında Microsoft Excel kullanılmıştır.

### 5.3. Ana Kriterler, Alt Kriterlerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Ülkemiz sahip olduğu özel konumu sayesinde güneş enerjisi potansiyeline sahip dünyanın önde gelen ülkelerinden biridir. Güneş enerjisi verimliliğini etkileyen birçok önemli parametre vardır. Bu çalışmada en ideal güneş enerjisi santrali yer seçimi için en önemli faktörler uzman görüşleri tecrübeleri alınmış ve daha önce bu alanda yapılan çalışmalar incelenerek en etken faktörler belirlenmiştir. Bu çalışmada, İstanbul, Bilecik ve Nevşehir illerinin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için toplam 12 parametre kullanılmıştır. Ana ve alt kriterler belirlenirken literatür araştırması ve çalışma kapsamındaki işletmede görev yapan 4 uzmanın görüşleri dikkate alınmıştır. Şekil 17’de Güneş enerjisi santrali yer seçimi için ana kriterler ve alt kriterler şeması detaylı bir şekilde verilmektedir.

**Şekil 17**

*İdeal Güneş Enerjisi Santrali Lokasyon Seçimindeki Ana ve Alt Kriterler Şeması*



#### 5.3.1. Ekonomik Kriterler

Ekonomik kriterler hem ülke ekonomisi hem de yatırım yapacak işletmeler için büyük önem taşımaktadır. Ekonomik olarak uygun yerlere kurulan güneş enerjisi santralleri kazanç sağlamakta, yeni yatırımcıların bölgeye yatırım yapmasını sağlamakta, güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşmasını sağlamakta ve yerli yatırımların ekonomik olarak verimli kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada ekonomik kriter olarak üç alt kriter belirlenmiştir.

#### 5.3.1.1. Arazi Maliyeti

Güneş enerjisi santralleri kuruldukları arazinin tarımsal kullanımını etkilemektedir. Bu nedenle çorak, ıslak olmayan, ekilemeyen toprak üzerine inşa edilmelidir. Nadasa bırakılan arazi için metrekare fiyatları ilden ile değişir. Diğer bir deyişle, güneş enerjisi santralleri tarım arazilerine kurulmamalıdır, bu nedenle arazi fiyatları nadas arazi fiyatlarına dayanmaktadır. Arazi maliyeti, güneş enerjisi santrallerine yatırım yapmanın ekonomisini etkileyen önemli bir kriterdir (Beycur, 2022). Tablo 10'da lokasyonların güncel rayiç bedelleri verilmiştir.

**Tablo 10**

*Güncel Rayiç Bedeli Tablosu*

| Alternatif İller      | Rayiç Değeri (TL) |
|-----------------------|-------------------|
| Bozüyük/Bilecik       | 80,07             |
| Avanos/Nevşehir       | 205,07            |
| Bahçelievler/İstanbul | 3.447,34          |

**Kaynak:** Türkiye E-Devlet (2023)

Buradaki fiyatlar takdir komisyonlarınca belirlenmiş, Emlak Vergisi Kanunu gereğince esas alınan arsa ya da arazilere ait asgari ölçüdeki metrekare birim fiyatlarından oluşmaktadır.

#### 5.3.1.2. Enerji Nakil İletim Hattına Mesafe

GES kurulumu yapılırken en önemli kriterlerden birisi de Enerji nakil hattına olan mesafe olup kurulum maliyeti yüksektir. Merkezden ne kadar uzağa gidilirse üretilen elektriğin o merkeze aktarılması da o kadar maliyeti arttırmaktadır. Genel olarak, GES' in elektrik iletim hatlarına 10 km'den uzak mesafede olmaması tercih edilir (Gül vd., 2017).

Üretim kurulum yapılacak santralden gelmeli ve elektrik iletim hatları ile trafo merkezlerine taşınarak oradan dağıtım planlanmış olmalıdır. GES, kurulum konumundan yetkili kurum tarafından belirlenen bir noktada belirlenen elektrik hattına bağlanmalıdır.

Enerji iletim hattına olan mesafe ne kadar uzaksa, maliyet o kadar yüksek olur. Elektrik hatlarına olan mesafeyi dikkate alan bir yer seçimi, maliyetlerin ve enerji kaybının azaltılmasında avantajdır (Gerçek, 2018). Şekil 18'de Avanos'a ait enerji nakil haritası verilmiştir.

Kurulacak santralin bağlanacağı düşünülen şebekeye olan mesafesi şu şekilde olmalıdır;



**Tablo 11***Bölgesel Teşvik Bölgeleri*

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

**Kaynak:** Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023)

Tablo 12’de Sanayi Bakanlığına ait bölgesel teşvik unsurları verilmiştir.

**Tablo 12***Bölgesel Teşviklerde Sağlanan Destek Unsurları*

| Destek Unsurları                    | Bölgeler |       |        |        |        |        |
|-------------------------------------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                                     | 1        | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      |
| KDV İstisnası                       | ✓        | ✓     | ✓      | ✓      | ✓      | ✓      |
| Gümrük Vergi Muafiyeti              | ✓        | ✓     | ✓      | ✓      | ✓      | ✓      |
| Vergi İndirimi/Yatırıma Katkı Oranı | 15       | 20    | 25     | 30     | 40     | 50     |
| Sigorta Primi                       | 2 yıl    | 3 yıl | 5 yıl  | 6 yıl  | 7 yıl  | 10 yıl |
| Yatırım Yeri Tahsisi                | ✓        | ✓     | ✓      | ✓      | ✓      | ✓      |
| Faiz Desteği                        | —        | —     | 3 puan | 4 puan | 5 puan | 7 puan |
| Sigorta Primi                       | —        | —     | —      | —      | —      | 10 yıl |
| Gelir Vergisi Stopajı Desteği       | —        | —     | —      | —      | —      | 10 yıl |

**Kaynak:** Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023)

Tablo 13’de ise çalışma yapılacak lokasyonların bölgesel teşvik puanları verilmiştir.

**Tablo 13***Bölgesel Puanlama Tablosu*

| Alternatif İller      | Bölgesel Puan (Teşviğe Göre) |
|-----------------------|------------------------------|
| Bozüyük/Bilecik       | Orta/5                       |
| Avanos/Nevşehir       | Yüksek/7                     |
| Bahçelievler/İstanbul | Düşük /3                     |

**Kaynak:** Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023)

### 5.3.2. Teknik Kriterler

Yatırım yapılacak bölgenin güneşlenme süresi, sıcaklık, arazi ışıyım miktarı ve arazi gölgeleme durumu enerji potansiyeli verimliliği etkileyen önemli teknik kriterlerdendir.

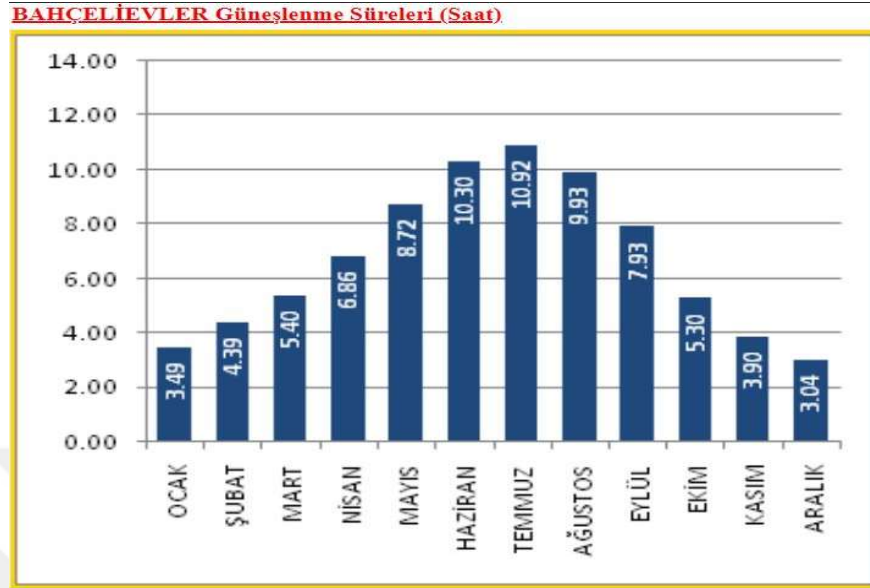
#### 5.3.2.1. Güneşlenme Süresi

Güneşlenme süresi; Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından tanımlandığı şekliyle, bu, belirli bir zaman diliminde küresel güneş ışıyımının birim alan başına 120 W/m<sup>2</sup>'yi aşma sayısının toplamı olarak ifade edilir. Güneşlenme süresi, yüzey güneşlenme cinsinden ifade edilen ortalama günlük, aylık veya yıllık düşme süresidir. Güneş radyasyonu cal/cm<sup>2</sup> cinsinden hesaplanır. Enlem faktörünün güneşlenme süresi üzerinde de büyük etkisi vardır. Sıcaklıkla güneşlenme süresinin doğru orantılı bir ilişkisi vardır. Bu, güneşlenme süresi ne kadar uzun olursa, sıcaklığın o kadar yüksek olduğu anlamına gelir. Bu durum güneş enerjisi potansiyelini de artırmaktadır (Gerçek, 2018).

Ülkemiz genel olarak güneşlenme süresi açısından avantajlı bir ülke olsa da şehirler arası farklılık göstermektedir. İllerin güneşlenme sürelerini belirlemek için GEPA'dan faydalanılmıştır. Sırasıyla Şekil 19, 20 ve 21 'de güneşlenme süreleri verilmiştir. Güneşlenme süresi buna göre en iyi lokasyon Avanos olmuştur ve sırasıyla Bozüyük ve Bahçelievler takip etmektedir.

**Şekil 19**

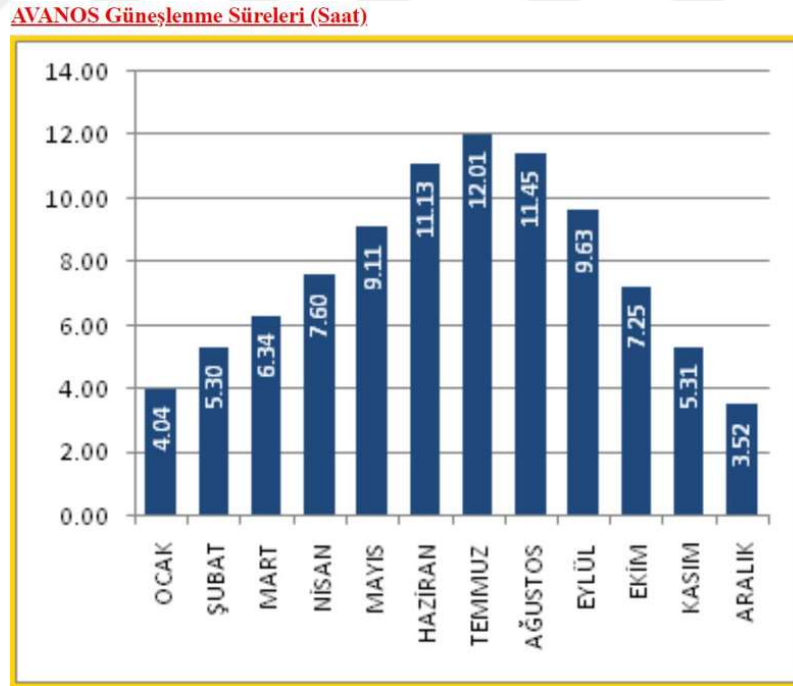
*İstanbul/ Bahçelievler Güneşlenme Süresi*



**Kaynak:** GEPA (2023)

**Şekil 20**

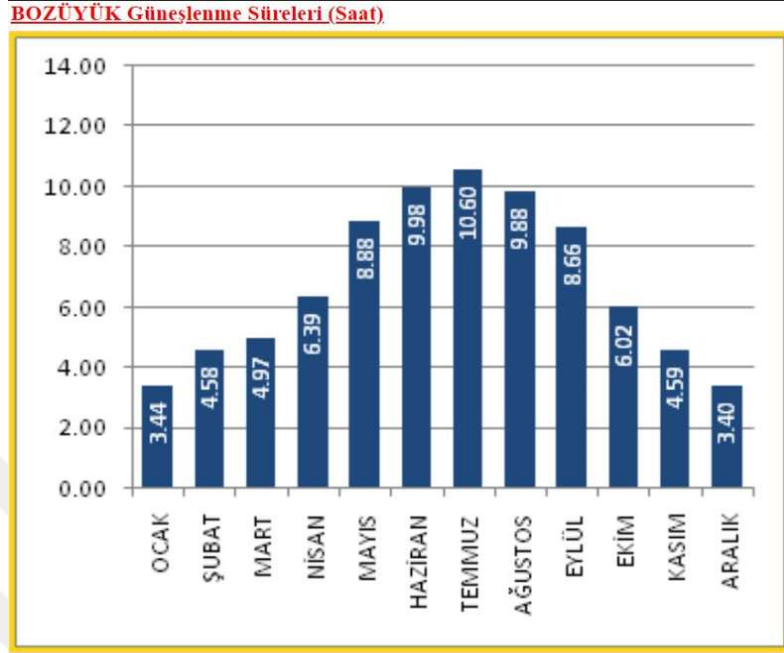
*Nevşehir/ Avanos Güneşlenme Süresi*



**Kaynak:** GEPA (2023)

## Şekil 21

*Bilecik/ Bozüyük Güneşlenme Süresi*



**Kaynak:** GEPA (2023)

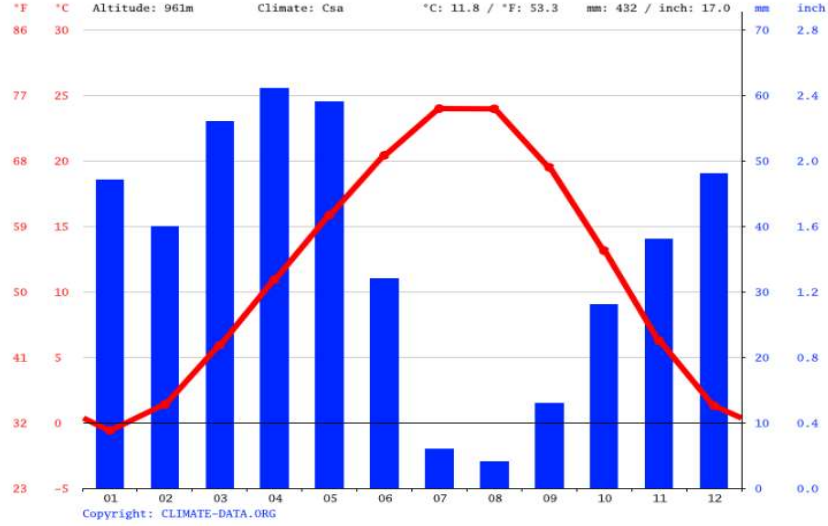
### 5.3.2.2. Sıcaklık

Sıcaklık, bir nesnenin kütlesindeki moleküllerin kinetik enerjisinden ve bunların çevre üzerindeki elektromanyetik dalgalar biçimindeki etkilerinden kaynaklanan bir ölçü birimidir. Sıcaklık terimi günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan bir terimdir. Hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve daha birçok faktör yaşam standardımızı en çok etkileyen faktörlerden ilk sırada yer alır (Gönençgil, 2010). Şekil 22 'te Avanos, Şekil 23'te Bozüyük ve Şekil 24'de Bahçelievler iklim grafiği verilmiştir. Sıcaklık da güneşlenme süresi gibi kurulacak santral yerini olumlu etkileyen bir faktördür.

## Şekil 22

### Nevşehir/ Avanos İklim Grafiği

#### İKLİM GRAFİĞİ AVANOS



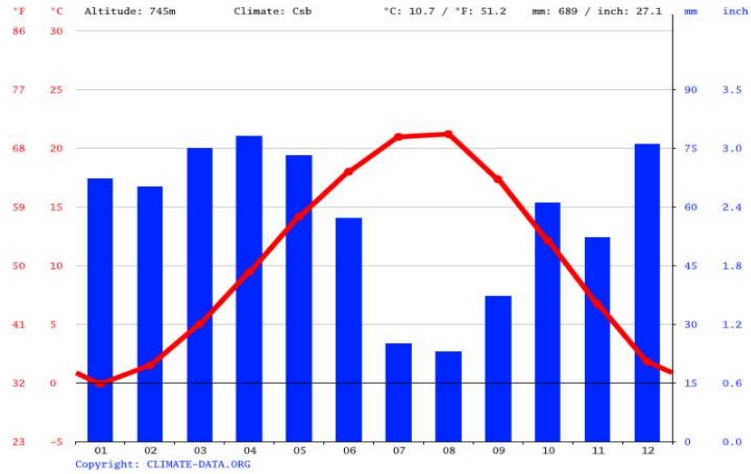
**Kaynak:** Climate Data (2023)

Avanos' da sıcak ve ılıman iklim bulunmaktadır. Kışın yağış miktarı yazı göre çok fazladır. Lokasyonun ortalama yıllık sıcaklık derecesi 11.8 °C 'dir. Ortalama yağış miktarı ise, 432 mm/yıl' dır (Climate Data, 2023).

## Şekil 23

### Bilecik/ Bozüyük İklim Grafiği

#### İKLİM GRAFİĞİ BOZÜYÜK

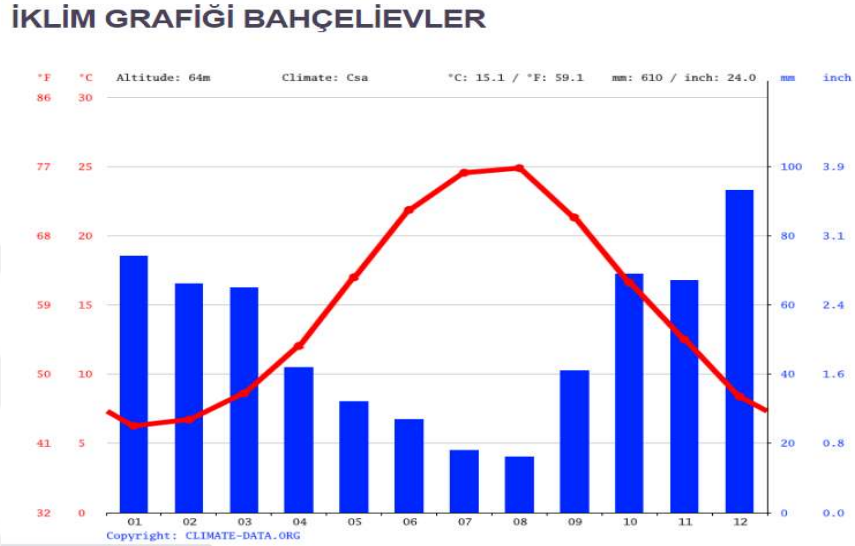


**Kaynak:** Climate Data (2023)

Bozüyük’ de sıcak ve ılıman iklim bulunmaktadır. Yağış, kış aylarında yaz aylarından çok fazladır. Lokasyonun ortalama yıllık sıcaklık derecesi 10.7 °C 'dir. Ortalama yağış miktarı ise 689 mm/yıl’dır (Climate Data, 2023).

#### Şekil 24

*İstanbul/ Bahçelievler İklim Grafiği*



**Kaynak:** Climate Data (2023)

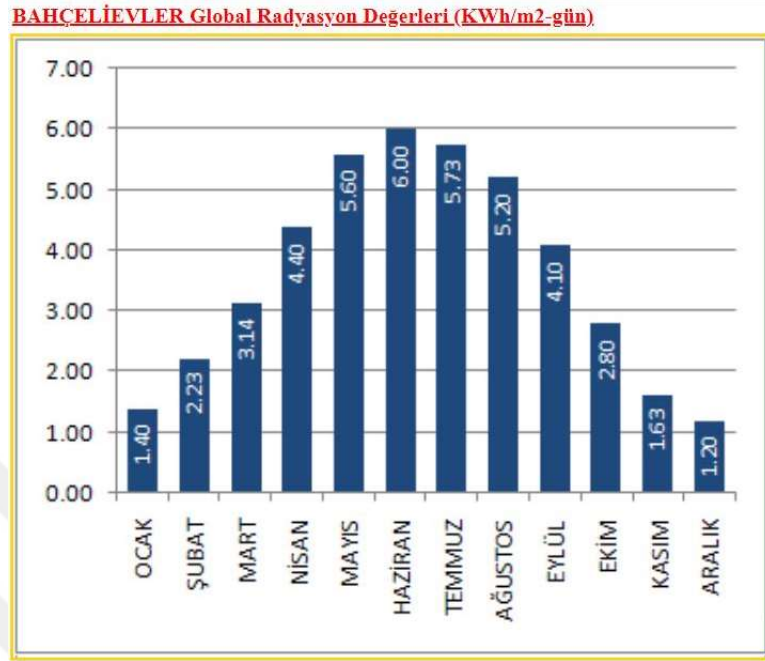
Bahçelievler semtinde sıcak ve ılıman iklim bulunmaktadır. Yağış, kış aylarında yaz aylarından çok fazladır. Lokasyonun ortalama yıllık sıcaklığı 15.1 °C 'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise, 610 mm/yıl’dır (Climate Data, 2023). Verilere göre yıllık ortalama sıcaklıkta Bahçelievler en iyi seviyede iken bunu sırasıyla Avanos ve Bozüyük takip etmektedir.

#### 5.3.2.3. Arazi Işınım Miktarı

Yüksek güneş radyasyonu, güneş sisteminin verimliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Güneşlenme süresi gibi, güneş radyasyonu da şehirden şehre değişir. Güneş enerjisi santrali kurmak için güneş ışığının bol olduğu bir bölge seçmek avantajlıdır. İllerin güneşlenme ışıınım değerleri için GEPA’ dan faydalanılmıştır. Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27’de lokasyonlara göre Global radyasyon değerleri belirtilmiştir. Buna göre arazi ışıınım miktarı en yüksek lokasyon Nevşehir’dir. Bunu sırasıyla Bilecik ve İstanbul takip etmektedir.

**Şekil 25**

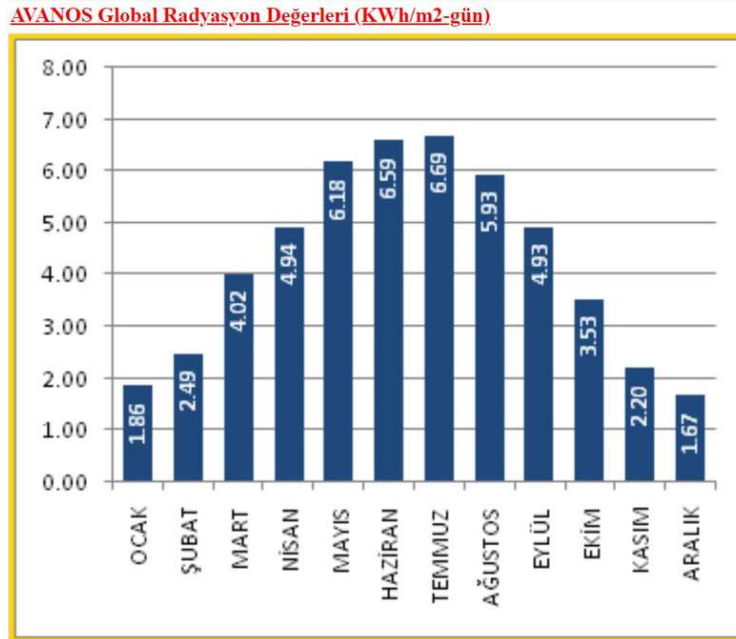
*İstanbul/ Bahçelievler Global Radyasyon Değerleri*



**Kaynak:** GEPA (2023)

**Şekil 26**

*Nevşehir/ Avanos Global Radyasyon Değerleri*

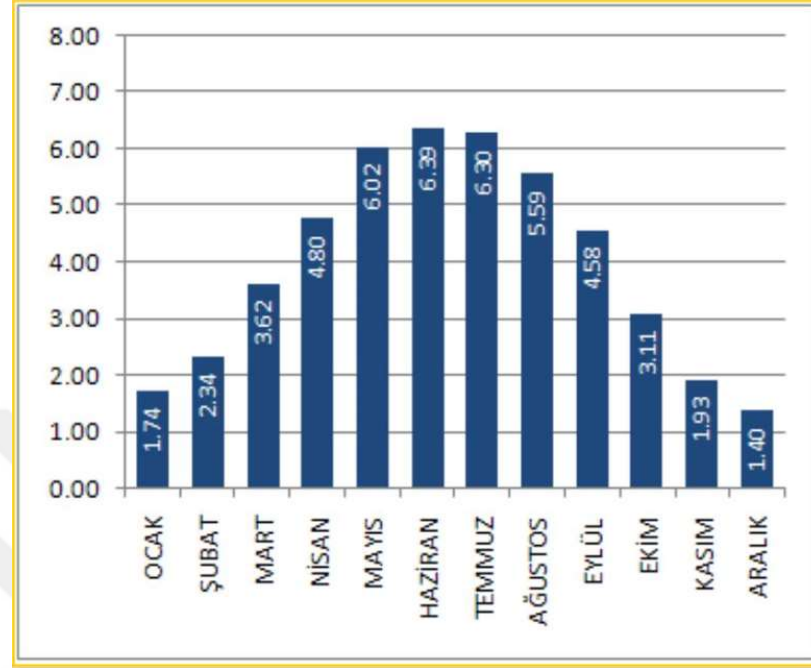


**Kaynak:** GEPA (2023)

## Şekil 27

Bilecik/ Bozüyük Global Radyasyon Değerleri

**BOZÜYÜK Global Radyasyon Değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)**



**Kaynak:** GEPA (2023)

Tablo 14’de Güneş enerji potansiyeli sınıflandırılması verilmiştir.

**Tablo 14**

*Güneş Enerji Potansiyelinin Puanlara Göre Sınıflandırılması*

| Aralık(kWh/m <sup>2</sup> ) | Puan |
|-----------------------------|------|
| 1750-2100                   | 5    |
| 1550-1750                   | 4    |
| 1250-1550                   | 3    |
| 1050-1250                   | 2    |
| <1050                       | 1    |

### 5.3.2.4. Eğim

GES 'in konumunu belirlemede önemli faktörlerden birisi de eğim kriteridir. GES panelinin kurulacağı yerin eğiminin az olması tercih edilir. GES dik bir yokuşa kurulmak istenmez. Çok fazla eğim olursa güneş panelleri birbirini gölgeler, verim azalır. Bu nedenle panellerin kurulduğu yerin eğimini azaltmak gerekir. Güneşlenme açısından güneye bakan eğim de arazinin önemini artıran önemli bir faktördür (Arca ve Çıtıroğlu, 2022).

Güneş enerjisi üretimi kurulumu için uygun eğim aralığı hakkında çeşitli teoriler vardır, ancak hakim olan görüş, yaklaşık %1 veya %3 gibi küçük bir eğime sahip yerlerin optimal

olduğu yönündedir. Genel olarak %11 üzerindeki bölgelerin uygun olmadığı kabul edilir. Eğimi yüksek olan yerlerde maliyet arttığı için yerleşim açısından uygun görülmemektedir. Bu verilere dayanarak Tablo 15 ‘de uzman görüşleri ile bir bakı haritası oluşturulmuş olup, 1 numara en az uygun alan ve 5 numara en uygun alandır. Uygunluk puanları sırasıyla 5 > 4 > 3 > 2 > 1 şeklindedir. Bu puanlamaya göre çalışılmış lokasyonlarda Nevşehir için 5 puan, İstanbul için 4 puan ve Bilecik için de 3 puan verilmiştir.

**Tablo 15**

*Eğimin Derecelere Göre Sınıflandırılması*

| Eğim( % ) | Puan | Tanım           |
|-----------|------|-----------------|
| 0-3       | 5    | En İdeal        |
| 3-5       | 4    | İdeal           |
| 5-7       | 3    | Az İdeal        |
| 7-11      | 2    | İdeal Değil     |
| >11       | 1    | Hiç İdeal Değil |

Şekil 29 ‘da Avanos Şekil 28’de Bozüyük Eğim haritası verilmektedir.

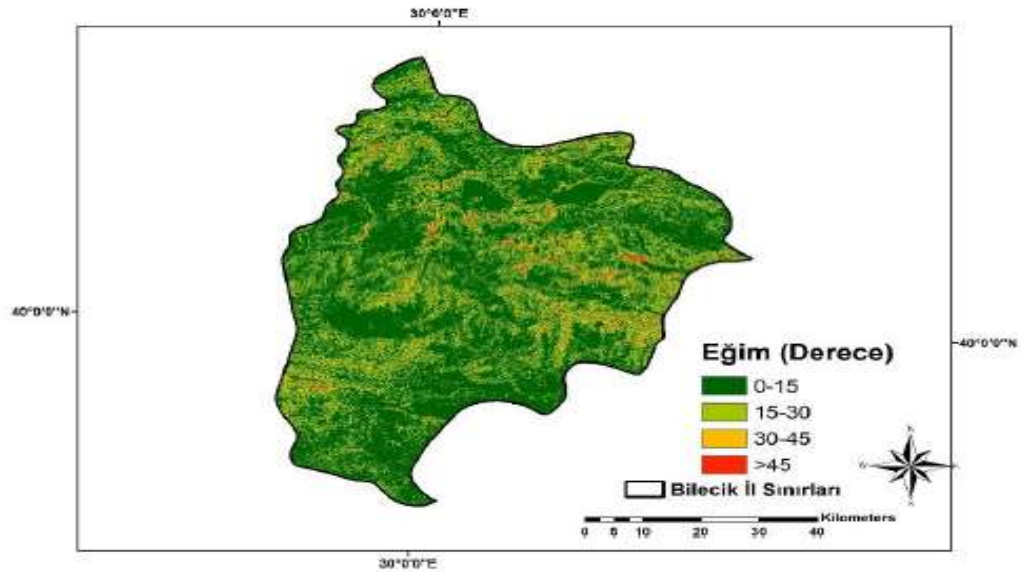
**Tablo 16**

*Alternatif İllere Göre Eğim Puanlaması*

| Alternatif İller      | Bölgesel Teşvik/Puan |
|-----------------------|----------------------|
| Bozüyük/Bilecik       | Az uygun/3           |
| Avanos/Nevşehir       | En uygun/5           |
| Bahçelievler/İstanbul | Uygun /4             |

**Şekil 28**

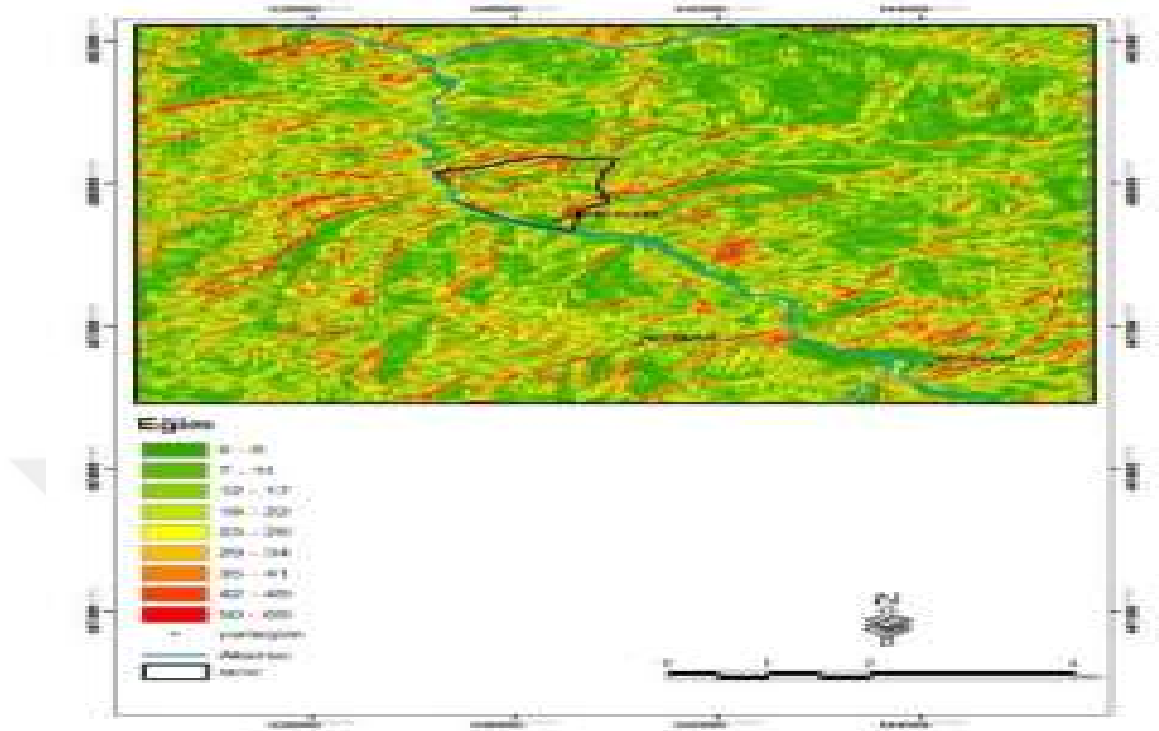
*Bilecik / Bozüyük Eğim Haritası-ARCGIS*



**Kaynak:** ARCGIS

## Şekil 29

Nevşehir / Avanos Eğim Haritası-ARCGIS



**Kaynak:** ARCGIS

### 5.3.3. Coğrafi Kriterler

Ülkemiz coğrafi açıdan farklı özelliklere sahip zengin bir ülkedir. Coğrafi özellikler bölgeden bölgeye, hatta ilden ile değişmektedir. Güneş enerjisi santralleri kurulurken deprem, erozyon gibi coğrafi özelliklerden kaynaklanan riskler göz önünde bulundurulmalıdır. Bir santralin kurulum alanında meydana gelebilecek bir deprem veya erozyon, santralin büyük zarar görmesine, hatta kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. İklim çeşitliliği de Türkiye'nin önemli özellikleri arasındadır. Yağış ve kar yağışı ilden ile farklılık göstererek güneş enerjisi santrallerini etkileyebilmektedir.

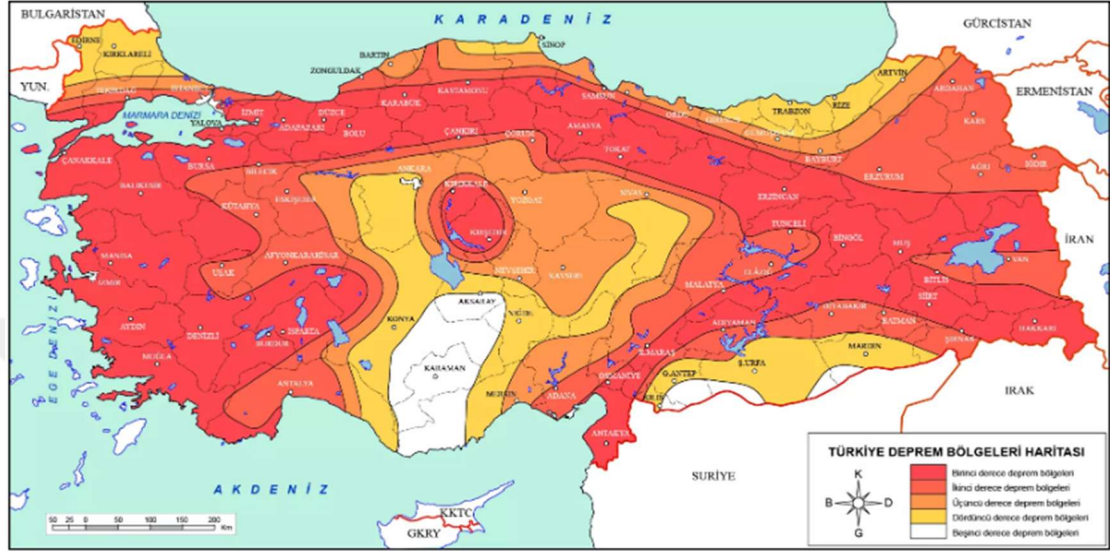
#### 5.3.3.1. Fay Hatlarına Olan Uzaklık

Ülkemizin yüzölçümünün %42'si birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır ve birçok önemli fay hattı geçmektedir. Ülkemiz için deprem için oldukça önemli bir durumdur. Türkiye beş sismik bölgeye ayrılmıştır. Deprem riski şehirlere göre değişir. Kurulan güneş santrallerinin deprem riski düşük riskli lokasyonlara yerleştirilmesi tercih edilmektedir. Şekil 30'de Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası verilmiştir. Tablo 17'de lokasyonlara göre fay hattı derecelendirilmesi verilmiştir. Buna göre seçilen

lokasyonlardan en riski az olan yer Avanos olurken bunu Bozüyük ve Bahçelievler takip etmiştir.

### Şekil 30

*Türkiye Bölgelere Göre Deprem Haritası*



**Kaynak:** MTA (2023)

**Tablo 17**

*Fay Hatlarına Uzaklığın Derecelere Göre Sınıflandırılması*

| Uzaklık (m) | Puanlama |
|-------------|----------|
| 20000-28000 | 5        |
| 14000-20000 | 4        |
| 8500-14000  | 3        |
| 3500-8500   | 2        |
| 0-3500      | 1        |

Tablo 18’de üç yer için depremsellik dereceleri belirtilmiştir.

**Tablo 18**

*Depremsellik Tablosu*

| Alternatif İller      | Depremsellik Derecesi     |
|-----------------------|---------------------------|
| Bozüyük/Bilecik       | 1. Seviye Depremsel Bölge |
| Avanos/Nevşehir       | 4. Seviye Depremsel Bölge |
| Bahçelievler/İstanbul | 2. Seviye Depremsel Bölge |

**Kaynak:** Maden Tetkik Arama (2022)

#### 5.3.3.2. Yağış Miktarı

Güneş enerjisi santralının bulunduğu bölge daha az yıllık yağış almalıdır. Bu nedenle yağışın az olduğu iller tercih edilmelidir. Tablo 19, 20 ve 21’de mevcut illerdeki aylık toplam yağış miktar ortalaması verilmiştir.

**Tablo 19***Nevşehir/Avanos (1959-2022) Toplam Aylık Yağış Miktarı Ortalaması*

| Nevşehir/Avanos            | Oca  | Şub  | Mar  | Nisan | May  | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|----------------------------|------|------|------|-------|------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Ortalama                   | 12.4 | 12.1 | 13.1 | 12.4  | 12.8 | 8.19    | 2.34   | 1.69    | 3.45  | 7.09 | 8.64  | 12.3   | 106.8  |
| Yağışlı Gün Sayısı         | 7    | 6    | 3    | 4     | 4    |         |        |         |       |      |       | 1      |        |
| Aylık Toplam Yağış Miktarı | 46.2 | 40.9 | 47.4 | 49.5  | 56.9 | 36.6    | 9.7    | 8.0     | 13.7  | 28.4 | 34.3  | 49.0   | 420.6  |

**Kaynak:** MGM (2022)**Tablo 20***Bilecik /Bozüyük (1959-2022) Toplam Aylık Yağış Miktarı Ortalaması*

| Bilecik/Bozüyük            | Oca  | Şub  | Mar  | Nisan | May  | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|----------------------------|------|------|------|-------|------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Ortalama                   | 14.4 | 13.0 | 13.0 | 10.8  | 10.3 | 8.10    | 3.95   | 3.49    | 5.15  | 8.40 | 9.73  | 13.25  | 113.8  |
| Yağışlı Gün Sayısı         | 0    | 4    | 7    | 7     | 7    |         |        |         |       |      |       |        |        |
| Aylık Toplam Yağış Miktarı | 50.6 | 42.8 | 47.1 | 41.9  | 47.1 | 42.9    | 19.6   | 13.8    | 22.4  | 39.8 | 36.4  | 55.2   | 459.6  |

**Kaynak:** MGM (2022)**Tablo 21***İstanbul/Bahçelievler (1959-2022) Toplam Aylık Yağış Miktarı Ortalaması*

| İstanbul/Bahçelievler      | Oca  | Şub  | Mar  | Nisan | May  | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|----------------------------|------|------|------|-------|------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Ortalama                   | 16.6 | 14.1 | 12.7 | 10.2  | 7.65 | 5.54    | 3.54   | 3.65    | 5.59  | 9.61 | 11.3  | 15.7   | 116.4  |
| Yağışlı Gün Sayısı         | 1    | 7    | 72   | 2     |      |         |        |         |       |      | 9     | 4      |        |
| Aylık Toplam Yağış Miktarı | 89.7 | 70.5 | 63.1 | 47.5  | 32.6 | 27.9    | 22.5   | 24.6    | 40.5  | 66.7 | 76.0  | 99.3   | 660.9  |

**Kaynak:** MGM (2022)

Tablo 22’de lokasyonların toplam yağış miktarları verilmiştir. Buna göre en uygun yer Avanos olurken bunu Bozüyük ve Bahçelievler takip etmektedir.

**Tablo 22***Yıllık Yağış Alan Miktar Toplamı(mm)*

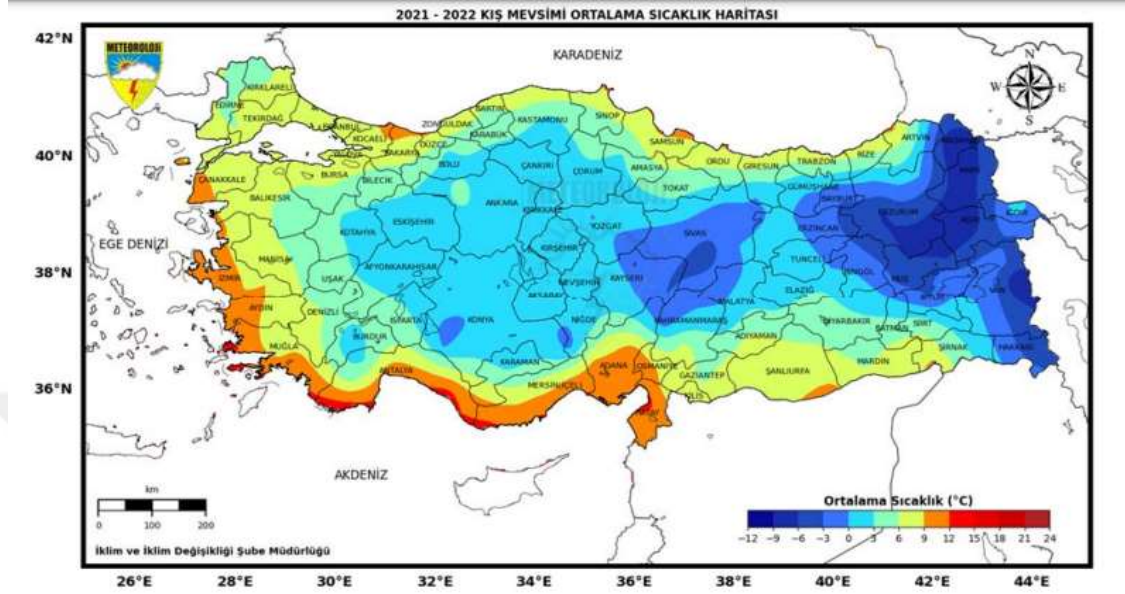
| Alternatif İller      | Yıllık Yağış Alan Miktar Ortalaması(mm) |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| Bozüyük/Bilecik       | 459.6                                   |
| Avanos/Nevşehir       | 420.6                                   |
| Bahçelievler/İstanbul | 660.9                                   |

### 5.3.3.3. Karlı Gün Sayısı

Güneş enerjisi santralini olumsuz etkileyen etmenlerden biri de yıllık karlı geçen gün sayısının fazla olmasıdır. Şekil 31’da Türkiye yıllık ortalama karlı gün sayısı verilmiştir

### Şekil 31

*Türkiye Yıllık Ortalama Karlı Gün Sayısı*



**Kaynak:** MGM (2022)

Tablo 23’de mevcut şehirler için yıllık kar yağış miktarları belirtilmiştir. Buna göre en olumlu yer Bahçelievler olurken bunu sırasıyla Bozüyük ve Avanos izlemiştir.

**Tablo 23**

*Yıllık Ortalama Kar Yağış Miktarı(mm)*

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

**Kaynak:** Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022)

#### 5.3.4. Sosyal Kriterler

Bir ülkenin iş gücü ve işsizlik temel sosyal konulardır. Ülkeye kurulacak olan tesisler ve yatırımlar oradaki insanlara şüphesiz iş olanağı sağlamaktadır. Güneş enerji santralleri de kuruldukları lokasyonlarda yaşayan halka istihdam oluşturacaktır.

##### 5.3.4.1. Yerleşim Alanına Uzaklık

GES’lerin kurulması için yerleşim merkezlerine uzaklığının belirlenen uzaklıkta olmaları gerekmektedir. Çünkü uzun yıllar göz önüne alındığında yapılan GES’lerin yerleşim yerlerinin içinde kalma olasılığı söz konusu hale gelebilmektedir. GES’lerin bu sebepten yerleşim yerlerine 500 m’den yakın olmaması gerektiği kabul edilmektedir (Uzar ve

Koca, 2020). Tablo 24’de Yerleşim Merkezlerine Olan Mesafesi Derecelendirme Tablosu verilmiştir.

**Tablo 24**

*Yerleşim Merkezlerine Olan Mesafesi Değerlendirme Tablosu*

| Yerleşim Merkezlerine Olan<br>Mesafe (metre) | Puanlama | Açıklama        |
|----------------------------------------------|----------|-----------------|
| 0-500                                        | 0        | Kullanılamaz    |
| 500-750                                      | 1        | Hiç ideal değil |
| 750-1000                                     | 2        | İdeal değil     |
| 1000-2000                                    | 3        | Az ideal        |
| 2000-5000                                    | 4        | İdeal           |
| 5000-35000                                   | 5        | En ideal        |

**Tablo 25**

*Yerleşim Alanlarına Mesafe*

| Alternatif İller      | Yerleşim Merkezine Uzaklık Puanı |
|-----------------------|----------------------------------|
| Bozüyük/Bilecik       | 4                                |
| Avanos/Nevşehir       | 5                                |
| Bahçelievler/İstanbul | 2                                |

Tablo 25’de mevcut illerin uzman görüşleri ile puanlaması yapılmıştır. Güneş enerji santrali (GES) için yerleşim yerinin konumu çok önemlidir. Yerleşim yerlerinin yakınında insan faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliği, gölgeleme nedeniyle santrallerin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Trafik, inşaat ve tarımdan kaynaklanan partiküller de modülleri normalden daha hızlı kirlendirir. Bu, modülün ek temizlik ve bakımını gerektirerek maliyetleri artırır (Miller ve Lumby, 2012). Ayrıca, zamanla yerleşim alanlarının genişleyerek insanların santral alanına bağımlı hale gelme ve yerleşim bölgesinde yaşamının santral alanına zarar verme riski bulunmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisi santrallerinin yerleşim yerlerinin yakın çevresine kurulması istenmemektedir. Öte yandan, güneş enerji santrallerinin ürettiği enerjinin tüketildiği büyük yerleşim ve sanayi bölgelerine yakınlığı, enerji iletimi sırasında oluşabilecek kayıpları azaltmaktadır. Bu şekilde yerleştirilen güneş enerji santralleri enerjinin bölge içinde dağılımını kolaylaştırmakta ve santrallerin yerleşim yerlerine çok uzak olması enerji iletim maliyetlerini artırmaktadır. Erişilebilirlik, bir güneş enerjisi santralının verimliliği için de önemli bir kriterdir. Santralin yapım ve kurulum aşamasında gerekli olan malzeme ve ekipmanların ulaşımı için tır, kamyon ve iş makinesi gibi araçlar, malzeme taşımak ve inşaat faaliyetlerine devam edebilmek için çalışma alanlarına kolayca ulaşabilmelidir (Miller ve Lumby, 2012). Ayrıca fotovoltaiik santrallerde güvenlik, temizlik, bakım gibi çalışmaların yapılması için de işçiye ihtiyaç duyulur.

Yerleşim yakındaki alanlara kolay erişim, işçilik maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur (Obut, 2016). Bu bakımdan, kentsel ve kırsal yerleşim alanları ile sanayi ve ticaret alanlarından çok uzak olan yerler güneş enerjisi santralleri için tercih edilmemelidir.

#### 5.3.4.2. İş Gücü

GES yatırımını işgücü potansiyelinin yüksek olduğu illerde yapmak daha doğru olacaktır. Çünkü kurulacak olan tesiste yeterli personelin olmaması ya da az sayıda olması olumsuz bir durum oluşturabilmektedir. Tablo 26, Tablo 27 ve Tablo 28’de bölgesel işgücü bilgileri verilmiştir.

**Tablo 26**

*2020 Yılı TÜİK TR41 Bölgesel İşgücü Göstergeleri*

| <b>TR41(Bilecik, Eskişehir, Bursa)</b> | <b>Toplam(1000 kişi)</b> | <b>Kadın(1000kişi)</b> | <b>Erkek(10000 kişi)</b> |
|----------------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| 15 ve üzeri insan sayısı               | 3214                     | 1612                   | 1602                     |
| İşgücü                                 | 1648                     | 533                    | 1115                     |
| İstihdam edilen insan sayısı           | 1463                     | 460                    | 1003                     |
| İşsiz nüfus                            | 185                      | 73                     | 112                      |
| İşgücüne katılmayan insan sayısı       | 1566                     | 1079                   | 487                      |
| İşgücüne katılma oranı (%)             | 51,3                     | 33,1                   | 69,6                     |
| İstihdam oranı (%)                     | 45,5                     | 28,5                   | 62,6                     |
| İşsizlik oranı (%)                     | 11,2                     | 13,7                   | 10,1                     |

**Kaynak:** TÜİK (2020)

**Tablo 27**

*2020 Yılı TÜİK TR71 Bölgesel İşgücü Göstergeleri*

| <b>TR71(Niğde, Aksaray, Nevşehir, Kırşehir)</b> | <b>Toplam(1000 kişi)</b> | <b>Kadın(1000 kişi)</b> | <b>Erkek(1000 kişi)</b> |
|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 15 ve üzeri yaştaki insan sayısı                | 1199                     | 607                     | 592                     |
| İşgücü                                          | 570                      | 171                     | 400                     |
| İstihdam edilen insan sayısı                    | 502                      | 145                     | 357                     |
| İşsiz nüfus                                     | 68                       | 25                      | 43                      |
| İşgücüne katılmayan insan sayısı                | 629                      | 436                     | 193                     |
| İşgücüne katılma oranı (%)                      | 47,6                     | 28,1                    | 67,5                    |
| İstihdam oranı (%)                              | 41,9                     | 23,9                    | 60,2                    |
| İşsizlik oranı (%)                              | 12                       | 14,8                    | 10,8                    |

**Kaynak:** TÜİK (2020)

**Tablo 28**

*2020 Yılı TÜİK TR10 Bölgesel İşgücü Göstergeleri*

| TR10 (İstanbul)                  | Toplam(1000 kişi) | Kadın(1000 kişi) | Erkek(1000 kişi) |
|----------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 15 ve üzeri yaştaki insan sayısı | 11964             | 6047             | 5917             |
| İşgücü                           | 6289              | 2033             | 4256             |
| İstihdam edilen insan sayısı     | 5363              | 1690             | 3672             |
| İşsiz nüfus                      | 926               | 342              | 584              |
| İşgücüne katılmayan insan sayısı | 5675              | 4014             | 1661             |
| İşgücüne katılma oranı (%)       | 52,6              | 33,6             | 71,9             |
| İstihdam oranı (%)               | 44,8              | 28               | 62,1             |
| İşsizlik oranı (%)               | 14,7              | 16,8             | 13,7             |

**Kaynak:** TÜİK (2020)

Tablo 29’da çalışılan şehirler için işgücü verileri paylaşılmıştır. Buna göre en uygun lokasyon Bahçelievler olurken sırasıyla bunu Bozüyük ve Avanos takip etmiştir.

**Tablo 29**

*2020 Yılı TÜİK İşgücü Göstergeleri*

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

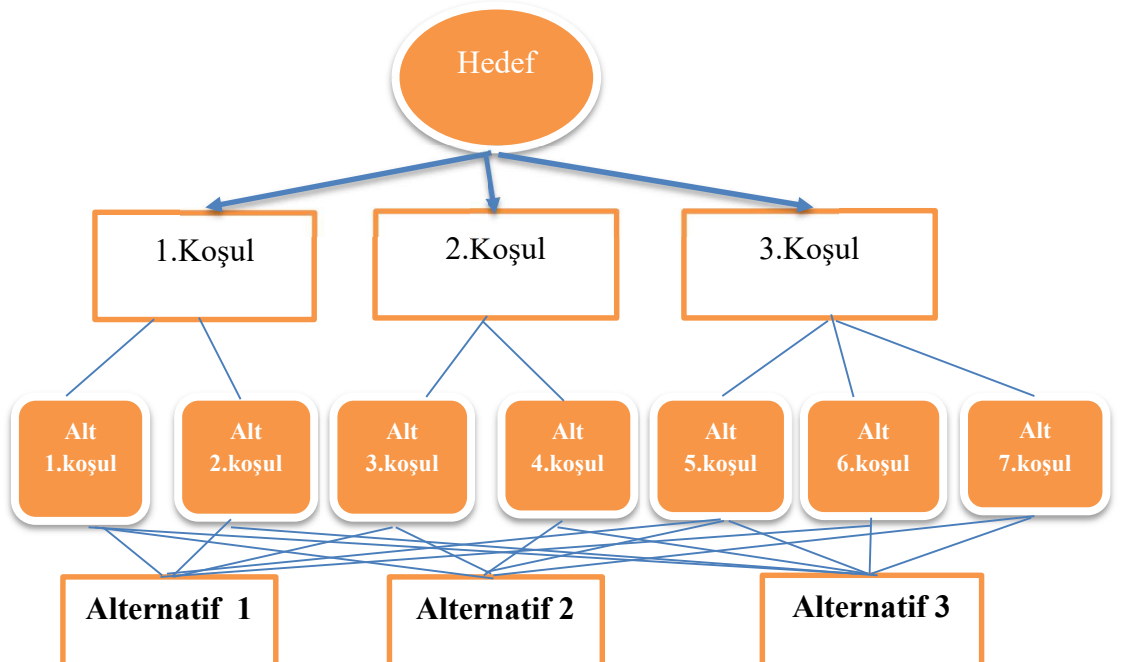
**Kaynak:** TÜİK (2020)

#### 5.4. AHP Yöntemi ile Çözüm

Ana kriterler ve alt kriterlere göre şablon oluşturularak AHP yöntemine göre hiyerarşik yapısı Şekil 32’de verilmiştir.

**Şekil 32**

*AHP Hiyerarşisi*



Karar Verme Problemi Tanımlanır;

Öne karar verme probleminin tanımının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada problem güneş enerji santralının kurulacağı en uygun lokasyonun belirlenmesidir. Bu bağlamda gerekli analizlerin yapılabilmesi için aşağıdaki kriterler değerlendirmeye alınmıştır. Bu kriterler;

- Arazi maliyeti
- Enerji nakil hattına mesafe
- Teşvikler
- Güneşlenme süresi
- Sıcaklık
- Arazi ışıınımı
- Eğim
- Fay hattına mesafesi
- Yağış miktarı
- Karlı gün sayısı
- Yerleşim yerine mesafesi
- İş gücüdür.

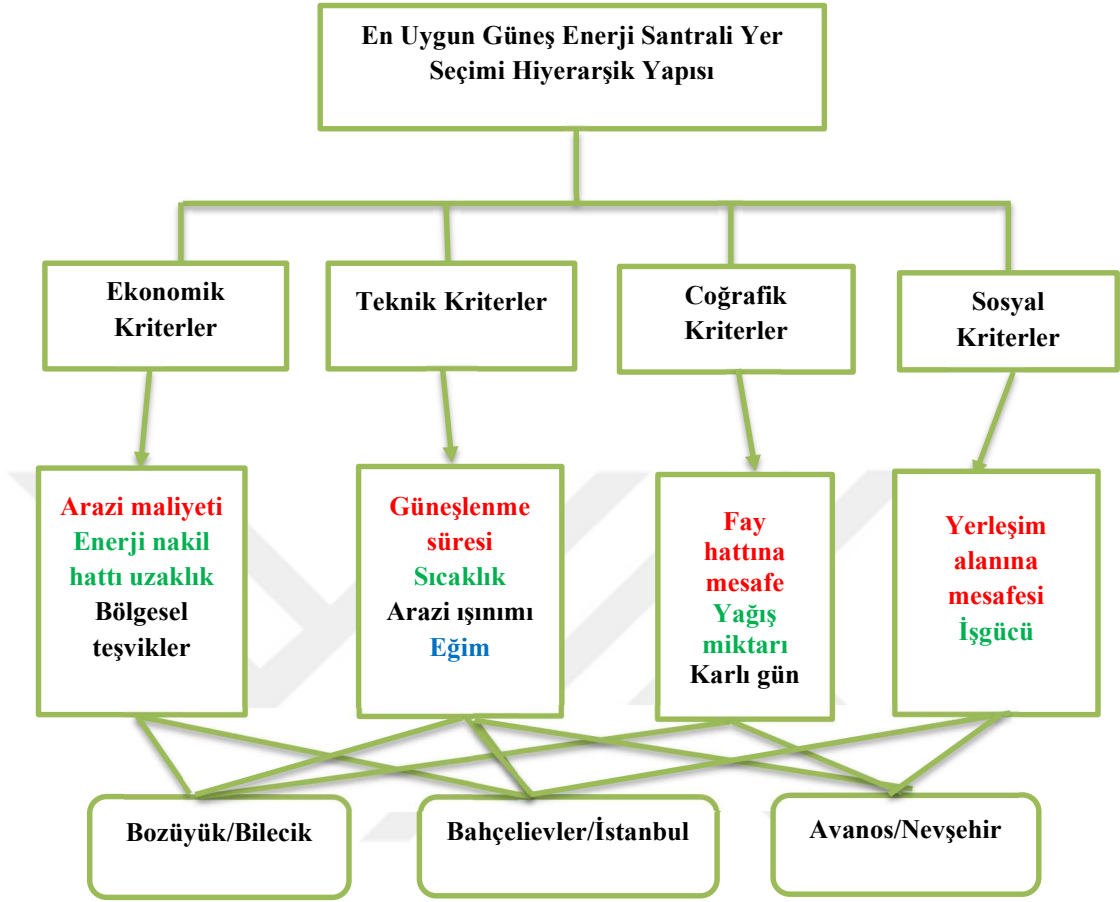
Faktörler Arası Karşılaştırma Matrisi Oluşturulur.

#### ***5.4.1. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması***

Şekil 33’de çalışmanın AHP modeli verilmektedir.

**Şekil 33**

*Çalışmanın AHP Modeli*



#### **5.4.2. Kriterlerin Değerlendirilmesi**

Tablo 28'deki ana kriterlerin ikili karşılaştırması hazırlanmıştır. Karşılaştırmalı önem tablosu kullanılmıştır. Ana ve alt kriterlerin birbirleriyle karşılaştırıldığı karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Karşılaştırma matrislerinin elde edilmesi şöyledir; çalışma yapılan şirkette çalışan 4 uzmana danışılmış ve sonuç olarak yapılan karşılaştırmaların ortalaması alınarak Tablo 30'da ortalama karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması Tablo 30'da görüleceği üzere standart önem tablosuna göre değerlendirilerek kriterlerin puanları sütunlar alt alta toplanmıştır.

**Tablo 30**

*Ana Kriterler Kıyaslama Matrisi*

| Ana Kriterler             | Ekonomik Kriterler | Teknik Kriterler | Coğrafi Kriterler | Sosyal Kriterler |
|---------------------------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|
| <b>Ekonomik Kriterler</b> | 1,00               | 1/5              | 1/2               | 2,00             |
| <b>Teknik Kriterler</b>   | 5,00               | 1,00             | 5,00              | 3,00             |
| <b>Coğrafi Kriterler</b>  | 2,00               | 1/5              | 1,00              | 2,00             |
| <b>Sosyal Kriterler</b>   | 1/2                | 1/3              | 1/2               | 1,00             |
| <b>TOPLAM</b>             | <b>8,500</b>       | <b>1,733</b>     | <b>7,000</b>      | <b>8,000</b>     |

Aynı sütunda bulunan her sayı ilgili sütundaki toplam sayıya bölünür. Daha sonra bu değerler satırlar halinde toplanır ve kriter sayısına bölünür. Sonuç olarak her bir kriterin ağırlığı hesaplanmış olur. Bu değerlere matrislerde özvektör adı verilmektedir. Tutarlılık indeksi  $CI = \frac{4,2508-4}{4-1}$  formülüne göre 0,835 olarak hesaplanmıştır. Ana kriterler arasındaki tutarlılık endeksini hesaplamak için  $\Lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$  formülü kullanılmıştır. Seçilmesi gereken indeks rakamı indeks tablosuna denk gelen sayı 0,90 dır. Tutarlılık Oranı  $= \frac{0,835}{0,90}$  formülüne göre 0,0925 tir.  $CR < 0,1$  yani  $0.0925 < 0,1$  olduğundan sonuç tutarlıdır.

**Şekil 34**

*Kriterlerin İkili Karşılaştırması Çıktısı*



Super Decisions 2.60 paket programı bu çalışmada kullanılmıştır. Şekil 34’da görüleceği gibi kırmızı ve mavi değerler soldaki kriterin sağdaki kritere göre önem derecesini belirtmektedir. Tam sayılar mavi renkli , kesirli sayılar ise kırmızı renkli gösterilmektedir. A kriteri B kriterinden daha fazla tercih edilir bir önemdeyse mavi renkteki sayılar kullanılır. Bununla birlikte, B kriteri A’ya göre daha fazla önemliyse aynı sayı kırmızı kullanılır. Burada ana kriterlerden en önemli etkiye sahip ekonomik kriterler olup en az öneme sahip ise sosyal kriterlerdir.



Şekil 37

*Super Decision Ekonomik Kriterler Kıyaslama Ekran Görüntüsü*

Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM.sdmod

| 1. Choose                                                                                              | 2. Node comparisons with respect to EKONOMİK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3. Results                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Node Cluster<br>Choose Node<br>EKONOMİK<br>Cluster: ANA KRİTERLER<br>Choose Cluster<br>EKONOMİK ALT K~ | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct<br>Comparisons wrt "EKONOMİK" node in "EKONOMİK ALT KRİTERİ" cluster<br>ARAZİ MALİYETİ is moderately more important than BÖLGESEL TEŞVİK<br>1. ARAZİ MALİYETİ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5<br>2. ARAZİ MALİYETİ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5<br>3. BÖLGESEL TEŞVİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | Normal Hybrid<br>Inconsistency: 0.00355<br>ARAZİ MAL~ 0.30900<br>BÖLGESEL~ 0.10945<br>ENERJİ NA~ 0.58155<br>Completed Comparison<br>Copy to clipboard |

Şekil 38’de Super Decision teknik kriterler karşılaştırma ekran çıktısı verilmiştir.

Şekil 38

*Super Decision Teknik Kriterler Kıyaslama Ekran Görüntüsü*

Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM-YE.sdmod

| 1. Choose                                                                                            | 2. Node comparisons with respect to TEKNİK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3. Results                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Node Cluster<br>Choose Node<br>TEKNİK<br>Cluster: ANA KRİTERLER<br>Choose Cluster<br>TEKNİK ALT KRI~ | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct<br>Comparisons wrt "TEKNİK" node in "TEKNİK ALT KRİTERİ" cluster<br>ARAZİ İŞİNİMİ is moderately more important than EĞİM<br>1. ARAZİ İŞİNİMİ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9<br>2. ARAZİ İŞİNİMİ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9<br>3. ARAZİ İŞİNİMİ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9<br>4. EĞİM >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9<br>5. EĞİM >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9<br>6. GÜNEŞLENME SÜRE~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 | Normal Hybrid<br>Inconsistency: 0.02427<br>ARAZİ İŞİ~ 0.29936<br>EĞİM 0.08639<br>GÜNEŞLENM~ 0.47379<br>SICAKLIK 0.14047<br>Completed Comparison<br>Copy to clipboard |

Şekil 39’da Super Decision coğrafik kriterler karşılaştırma ekran çıktısı verilmiştir.

Şekil 39

*Super Decision Coğrafik Kriterler Kıyaslama Ekran Görüntüsü*

Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM-YE.sdmod

| 1. Choose                                                                                              | 2. Node comparisons with respect to COĞRAFİK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3. Results                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Node Cluster<br>Choose Node<br>COĞRAFİK<br>Cluster: ANA KRİTERLER<br>Choose Cluster<br>COĞRAFİK ALT K~ | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct<br>Comparisons wrt "COĞRAFİK" node in "COĞRAFİK ALT KRİTERİ" cluster<br>KARLI GÜN SAYISI is very strongly more important than FAY HATTI UZAKLIK<br>1. FAY HATTI UZAKL~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5<br>2. FAY HATTI UZAKL~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5<br>3. KARLI GÜN SAYIS~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | Normal Hybrid<br>Inconsistency: 0.07348<br>FAY HATTI~ 0.07543<br>KARLI GÜN~ 0.69552<br>YAĞIŞ MIK~ 0.22905<br>Completed Comparison<br>Copy to clipboard |

Şekil 40’da Super Decision sosyal kriterler karşılaştırma ekran çıktısı verilmiştir.

## Şekil 40

### Super Decision Sosyal Kriterler Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

#### 5.4.5. Alt Kriterlere Ait Ağırlıkların Alternatif İllere Göre Kıyaslaması

Tüm kriterlerin üç bölgeye göre karşılaştırılması sonucu elde edilen çıktıyı veren AHP sonuçları Süper Desicion programı yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 41 ve Şekil 52 arası). Şekil 41’de Arazi maliyeti kriterinin programdaki şehirler arasındaki kıyaslanması neticesinde elde edilen sonuç ekranı verilmiştir. Programda arazi maliyetinin yüksekliği olumsuz bir durum olduğu için değerleri invert butonu dahil edildiğinde doğru sonucu bize vermiştir. Sonucuna göre Nevşehir avantajlı konumda iken İstanbul dezavantajlıdır.

## Şekil 41

### Super Decision Arazi Maliyeti Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Şekil 42’de Enerji nakil hattı kriterinin programdaki şehirlerarası kıyaslama sonuçları verilmektedir. Programda aynı arazi maliyetinin yüksekliği olumsuz bir durum olduğu gibi enerji nakil hattına uzaklık için de değerleri invert butonu dahil edildiğinde doğru sonucu bize vermiştir. Sonucuna göre Nevşehir avantajlı konumda iken İstanbul dezavantajlıdır.

## Şekil 42

### Super Decision Enerji Nakil Hattı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Şekil 43'de Bölgesel teşvik kriterinin şehirlerarası kıyaslama sonuçları verilmektedir. Sonuca göre Nevşehir en avantajlı konumda iken İstanbul dezavantajlı konumdadır.

## Şekil 43

### Super Decision Bölgesel Teşvik Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Şekil 44'de Güneşlenme süresi kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonucu verilmiştir. Bu sonuca göre Nevşehir avantajlı konumda iken Bilecik ve İstanbul dezavantajlı konumdadır.

## Şekil 44

### Super Decision Güneşlenme Süresi Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Şekil 45’de Sıcaklık kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre İstanbul avantajlı konumdadır. Nevşehir ise en dezavantajlı konumdadır.

#### Şekil 45

##### Super Decision Sıcaklık Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

| Node Cluster              | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct                                                                                  | Normal                 | Hybrid            |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Choose Node               | Comparisons wrt "SICAKLIK" node in "ALTERNATİFLER" cluster<br>İSTANBUL is moderately to strongly more important than NEVŞEHİR | Inconsistency: 0.01759 |                   |
| SICAKLIK                  | 1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co                                                                  | BİLECİK                | 0.23849           |
| Cluster: TEKNİK ALT KRİT- | 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co                                                                  | İSTANBUL               | 0.62501           |
| Choose Cluster            | 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co                                                                 | NEVŞEHİR               | 0.13650           |
| ALTERNATİFLER             |                                                                                                                               |                        |                   |
| Restore                   |                                                                                                                               | Completed Comparison   | Copy to clipboard |

Şekil 46’da Arazi ısıtım kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamada sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdadır. İstanbul ise sıralamada sonda yer almıştır.

#### Şekil 46

##### Super Decision Arazi Isıtımı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

| Node Cluster              | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct                                                                                          | Normal                 | Hybrid            |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Choose Node               | Comparisons wrt "ARAZİ İŞİNİMİ" node in "ALTERNATİFLER" cluster<br>NEVŞEHİR is strongly to very strongly more important than İSTANBUL | Inconsistency: 0.05156 |                   |
| ARAZİ İŞİNİMİ             | 1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co                                                                          | BİLECİK                | 0.21764           |
| Cluster: TEKNİK ALT KRİT- | 2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co                                                                          | İSTANBUL               | 0.09140           |
| Choose Cluster            | 3. İSTANBUL >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No co                                                                         | NEVŞEHİR               | 0.69096           |
| ALTERNATİFLER             |                                                                                                                                       |                        |                   |
| Restore                   |                                                                                                                                       | Completed Comparison   | Copy to clipboard |

Şekil 47’de Fay hattına uzaklık kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir en avantajlı konumdadır. İstanbul ise en dezavantajlı konumdadır.

## Şekil 47

### Super Decision Fay Hattı Uzaklık Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM-YE.sdm

**1. Choose**

Node Cluster

Choose Node

FAY HATTI UZAKLIK

Cluster: COĞRAFİK ALT KRİTERLER

Choose Cluster

ALTERNATİFLER

Restore

**2. Node comparisons with respect to FAY HATTI UZAKLIK**

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "FAY HATTI UZAKLIK" node in "ALTERNATİFLER" cluster

NEVŞEHİR is strongly to very strongly more important than İSTANBUL

1. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. İST

2. BİLECİK >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NE

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

**3. Results**

Normal Hybrid

Inconsistency: 0.00000

|          |         |
|----------|---------|
| BİLECİK  | 0.22222 |
| İSTANBUL | 0.11111 |
| NEVŞEHİR | 0.66667 |

Completed Comparison

Copy to clipboard

Şekil 48’de Eğim kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Programda aynı arazi maliyetinin yüksekliği olumsuz bir durum olduğu gibi eğim için de değerleri invert butonu dahil edildiğinde doğru sonucu bize vermiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdadır. Bilecik ise en dezavantajlı konumdadır.

## Şekil 48

### Super Decision Eğim Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM-YE.sdm

**1. Choose**

Node Cluster

Choose Node

EĞİM

Cluster: TEKNİK ALT KRİTERLER

Choose Cluster

ALTERNATİFLER

Restore

**2. Node comparisons with respect to EĞİM**

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

BİLECİK 0.62501

İSTANBUL 0.23849

NEVŞEHİR 0.1365

This is the direct data input area. Type in new direct data here, and/or Click the invert box invert priorities for this direct data.

NOTE: Any changes made in direct data take effect immediately and overwrite pre-existing data inputted in the other modes.

☒ Invert

**3. Results**

Normal Hybrid

Inconsistency: 0.00000

|          |         |
|----------|---------|
| BİLECİK  | 0.12196 |
| İSTANBUL | 0.31962 |
| NEVŞEHİR | 0.55843 |

Completed Comparison

Copy to clipboard

Şekil 49’da Yağış miktarı kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Programda aynı arazi maliyetinin yüksekliği olumsuz bir durum olduğu gibi yağış miktarı için de değerleri invert butonu dahil edildiğinde doğru sonucu bize vermiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir avantajlı konumdadır. İstanbul ise en dezavantajlı konumdadır.

## Şekil 49

### Super Decision Yağış Miktarı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

The screenshot shows the Super Decision software interface for comparing rainfall amounts. The window title is "Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM-YE.sdmmod". The interface is divided into three main sections: 1. Choose, 2. Node comparisons with respect to YAĞIŞ MİKTARI, and 3. Results.

**1. Choose**

Node Cluster: Choose Node (YAĞIŞ MİKTARI), Choose Cluster (ALTERNATİFLER), Restore, Invert.

**2. Node comparisons with respect to YAĞIŞ MİKTARI**

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct. This is the direct data input area. Type in new direct data here, and/or Click the invert box invert priorities for this direct data. NOTE: Any changes made in direct data take effect immediately and overwrite pre-existing data inputted in the other modes.

| Node     | Value   |
|----------|---------|
| BİLECİK  | 0.22965 |
| İSTANBUL | 0.64833 |
| NEVŞEHİR | 0.12202 |

**3. Results**

Normal Hybrid. Inconsistency: 0.00000.

| Node     | Value   |
|----------|---------|
| BİLECİK  | 0.30900 |
| İSTANBUL | 0.10945 |
| NEVŞEHİR | 0.58155 |

Completed Comparison, Copy to clipboard.

Şekil 50’de Karlı gün sayısı kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Programda aynı arazi maliyetinin yüksekliği olumsuz bir durum olduğu gibi karlı gün sayısı için de değerleri invert butonu dahil edildiğinde doğru sonucu bize vermiştir. Buradaki sonuca göre İstanbul avantajlı konumdadır. Nevşehir sıralamada sonda bulunmaktadır.

## Şekil 50

### Super Decision Karlı Gün Sayısı Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

The screenshot shows the Super Decision software interface for comparing the number of snowy days. The window title is "Comparisons for Super Decisions Main Window: TEZ PROGRAM-YE.sdmmod". The interface is divided into three main sections: 1. Choose, 2. Node comparisons with respect to KARLI GÜN SAYISI, and 3. Results.

**1. Choose**

Node Cluster: Choose Node (KARLI GÜN SAYI~), Choose Cluster (ALTERNATİFLER), Restore, Invert.

**2. Node comparisons with respect to KARLI GÜN SAYISI**

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct. This is the direct data input area. Type in new direct data here, and/or Click the invert box invert priorities for this direct data. NOTE: Any changes made in direct data take effect immediately and overwrite pre-existing data inputted in the other modes.

| Node     | Value   |
|----------|---------|
| BİLECİK  | 0.31962 |
| İSTANBUL | 0.12196 |
| NEVŞEHİR | 0.55842 |

**3. Results**

Normal Hybrid. Inconsistency: 0.00000.

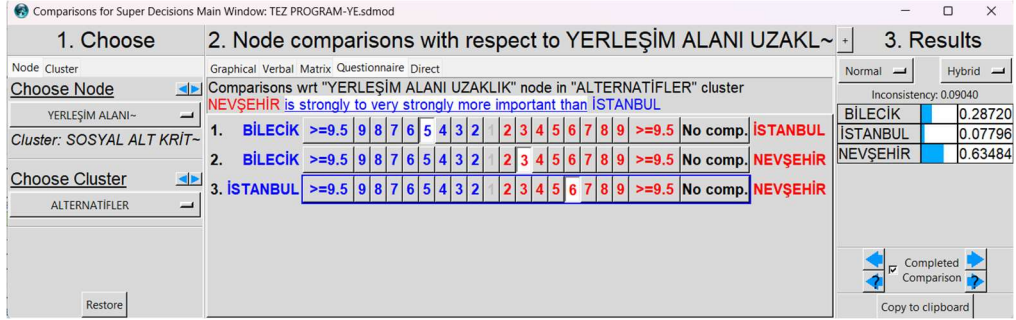
| Node     | Value   |
|----------|---------|
| BİLECİK  | 0.23849 |
| İSTANBUL | 0.62501 |
| NEVŞEHİR | 0.13650 |

Completed Comparison, Copy to clipboard.

Şekil 51’de Yerleşim alanına uzaklık kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre Nevşehir en avantajlı konumdadır.

## Şekil 51

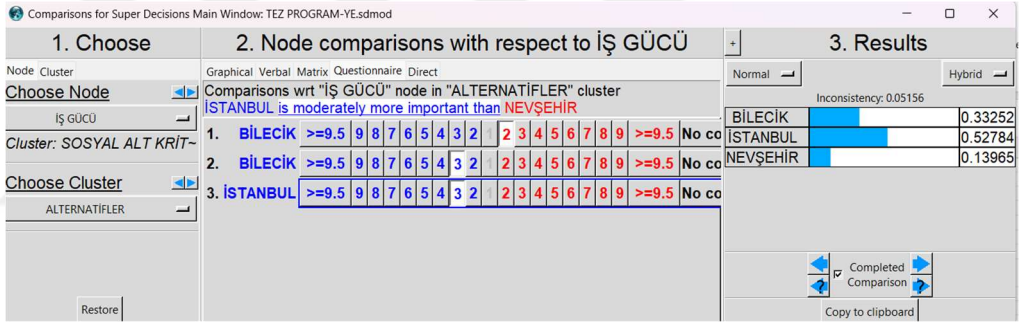
### Super Decision Yerleşim Alanına Uzaklık Karşılaştırma Ekran Görüntüsü



Şekil 52’de İş gücü kriterinin programdaki diğer alternatif şehirlerarası kıyaslamadaki sıralama sonuç ekranı verilmiştir. Buradaki sonuca göre İstanbul avantajlı iken Nevşehir en dezavantajlı konumdadır.

## Şekil 52

### Super Decision İş Gücü Karşılaştırma Ekran Görüntüsü



Son olarak tüm kriterler birlikte çalışılarak üç şehrin kıyaslanmış ve sonuç Şekil 53 ‘de verilmiştir. Buna göre en uygun il yaklaşık %56 olasılık ile Nevşehir’dir. En son tercih edilebilecek il ise İstanbul’dur.

## Şekil 53

### Super Decision Alternatif İller Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

| Here are the priorities. |          |  |                       |          |
|--------------------------|----------|--|-----------------------|----------|
| Icon                     | Name     |  | Normalized by Cluster | Limiting |
| No Icon                  | BİLECİK  |  | 0.22766               | 0.075885 |
| No Icon                  | İSTANBUL |  | 0.21112               | 0.070372 |
| No Icon                  | NEVŞEHİR |  | 0.56123               | 0.187076 |

## 5.5. AHP-VIKOR Hibrit Çözümü

VIKOR yöntemi, çelişen kriterler olduğunda alternatifleri seçmeye ve sıralamaya odaklanan bir yöntemdir. 1998 yılında Opricovic tarafından geliştirilmiştir (Özdemir vd.,

2017). Uzlaşma ilkesi üzerinde çalışır ve karar vericilerin nihai kararı vermelerine yardımcı olan bir yöntemdir. Her seçeneğin her bir ölçüte göre çözümlendiği varsayılarak, her seçeneğin ideal çözüme yakınlığı karşılaştırılarak bir fikir birliği sıralaması oluşturulabilir (Bengül, 2018). Fayda kriterlerinin "maksimum (max)" ve maliyet kriterinin "minimum (min)" seviyesine sahip olması gerekmektedir (Özdemir vd., 2017).

#### İşlem Adımları

- Aşama 1: En kötü ( $fi^-$ ) ve En iyi ( $fi^*$ ) kriterlerin belirlenmesi.  $i$ =fayda kriteri,
- Aşama 2: Normalize matrisinin hesaplanması,
- Aşama 3: Matrisin ağırlıklandırılması işlemi,
- Aşama 4: **Ri** ve **Si** değerlerinin hesaplanması. En kötü ve ortalama grup değerinin hesaplanması,
- Aşama 5: **Qi** değerlerinin hesaplanması. Maksimum grup faydasının hesaplanması,
- Aşama 6: Alternatif olasılıklarının sıralanması ve şartların değerlendirilmesi (Kuru, 2011).

#### 5.5.1. Karar Verme Matrisinin Oluşturulması

Tablo 31’de AHP kullanılarak hesap edilen ve kriter ağırlık değerlerinin de eklenerek oluşturulduğu karar verme matrisi bulunmaktadır.

**Tablo 31**

*Kriter Özellikleri ve Ağırlıklarının Eklendiği Karar Matrisi*

|                  | Maliyet<br>(Min)  | Maliyet<br>(Min) | Fayda<br>(Max)     | Fayda<br>(Max)       | Fayda<br>(Max) | Fayda<br>(Max)             | Maliyet<br>(Min) | Fayda<br>(Max)          | Maliyet<br>(Min) | Maliyet<br>(Min)       | Fayda<br>(Max)                 | Fayda<br>(Max) |
|------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|----------------|
| Ağırlıklar (AHP) | 0,309             | 0,581            | 0,110              | 0,473                | 0,142          | 0,298                      | 0,087            | 0,078                   | 0,234            | 0,688                  | 0,250                          | 0,750          |
| <b>Kriterler</b> | Arazi<br>Maliyeti | Nakil<br>Hattı   | Bölgesel<br>Teşvik | Güneşlenme<br>Süresi | Sıcaklık       | Arazi<br>Işınım<br>Miktarı | Eğim             | Fay<br>Hattı<br>Uzaklık | Yağış<br>Miktarı | Karlı<br>Gün<br>Sayısı | Yerleşim<br>Alanına<br>Uzaklık | İş<br>Gücü     |
| <b>Bilecik</b>   | 80                | 300              | 700                | 81                   | 13             | 1630                       | 700              | 1200                    | 460              | 317                    | 850                            | 650            |
| <b>Nevşehir</b>  | 205               | 990              | 1800               | 93                   | 10             | 1800                       | 1000             | 1500                    | 420              | 324                    | 1050                           | 900            |
| <b>İstanbul</b>  | 3447              | 1100             | 200                | 80                   | 15             | 1230                       | 1450             | 500                     | 660              | 70                     | 1950                           | 1600           |

### 5.5.2. En Kötü ve En İyi Kriterlerin Belirlenmesi

Tablo 32'deki veri setinden faydalanılarak Tablo 32'de üç alternatife göre tüm seçeneklerin en ideal ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) değeri hesaplanmıştır.

**Tablo 32**

*En Kötü ( $f_i^-$ ) ve En İyi ( $f_i^*$ ) Kriter Değerlerinin Belirlenmesi*

|                                           | Maliyet<br>(Min) | Maliyet<br>(Min)           | Fayda<br>(Max)     | Fayda<br>(Max)    | Fayda<br>(Max) | Fayda<br>(Max)       | Maliyet<br>(Min) | Fayda<br>(Max)         | Maliyet<br>(Min) | Maliyet<br>(Min) | Fayda<br>(Min)           | Fayda<br>(Max) |
|-------------------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------|
| Ağırlıklar (AHP)                          | 0,309            | 0,581                      | 0,110              | 0,473             | 0,142          | 0,298                | 0,087            | 0,078                  | 0,234            | 0,688            | 0,250                    | 0,750          |
| Kriterler                                 | Arazi Maliyeti   | Enerji Nakil Hattı Uzaklık | Bölgesel Teşvikler | Güneşlenme Süresi | Sıcaklık       | Arazi Işınım Miktarı | Eğim             | Fay Hatlarının Uzaklık | Yağış Miktarı    | Karlı Gün Sayısı | Yerleşim Alanına Uzaklık | İş Gücü        |
| Bilecik                                   | 80               | 300                        | 700                | 81                | 13             | 1630                 | 700              | 1200                   | 460              | 317              | 850                      | 650            |
| Nevşehir                                  | 205              | 990                        | 1800               | 93                | 10             | 1800                 | 1000             | 1500                   | 420              | 324              | 1050                     | 900            |
| İstanbul                                  | 3447             | 1100                       | 200                | 80                | 15             | 1230                 | 1450             | 500                    | 660              | 70               | 1950                     | 600            |
| <b>Best (En iyi) <math>f_i^*</math></b>   | <b>80</b>        | <b>300</b>                 | <b>1800</b>        | <b>93</b>         | <b>15</b>      | <b>1800</b>          | <b>700</b>       | <b>1500</b>            | <b>420</b>       | <b>70</b>        | <b>1950</b>              | <b>900</b>     |
| <b>Worst (En kötü) <math>f_i^-</math></b> | <b>3447</b>      | <b>1100</b>                | <b>200</b>         | <b>80</b>         | <b>10</b>      | <b>1230</b>          | <b>1450</b>      | <b>500</b>             | <b>660</b>       | <b>324</b>       | <b>850</b>               | <b>600</b>     |

### 5.5.3. Normalizasyon Matrisinin Oluşturulması ve Ortalama ( $S_j$ )/ En Kötü Grup Skorları ( $R_j$ ) Değerlerinin Belirlenmesi

$S_j$  ve  $R_j$  sayıları  $j=1,2,3,\dots,12$  için hesap edilir. Hesaplamalardaki  $w_i$ , bir önceki bölümde AHP ile hesaplanan kriter ağırlıklarıdır. Tablo 13'te  $S_j$  ve  $R_j$  değerlerinin hesaplanmış olup, en kötü ve ortalama grup skorunun hesaplanması yapılmıştır.

Normalizasyon matrisi (R) değerinin hesaplanması aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla yapılır.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (5.1)$$

$$R_j = \max_i \left[ \frac{w_i (f_i^* - f_{ij})}{f_i^* - f_i^-} \right] \quad (5.2)$$

Tablo 33'de formül kullanılarak hesaplanan normalizasyon matrisi  $S_j$  ve  $R_j$  değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 33**

*$S_j$  ve  $R_j$  Değerleri*

| Alternatif İller | Arazi Maliyeti | Enerji Nakil Hattı Uzaklık | Bölgesel Teşvik | Güneşlenme Süresi | Sıcaklık | Arazi Işınım Miktarı | Eğim   | Fay Hattı Uzaklık | Yağış Miktarı | Karlı Gün Sayısı | Yerleşim Alanı Uzaklık | İş Gücü | $S_j$ | $R_j$ |
|------------------|----------------|----------------------------|-----------------|-------------------|----------|----------------------|--------|-------------------|---------------|------------------|------------------------|---------|-------|-------|
| Bilecik          | 0,0000         | 0,0000                     | 0,0753          | 0,4365            | 0,0712   | 0,0888               | 0,0000 | 0,0233            | 0,0390        | 0,6687           | 0,250                  | 0,625   | 2,278 | 0,668 |
| Nevşehir         | 0,0114         | 0,5013                     | 0,0000          | 0,0000            | 0,1425   | 0,0000               | 0,0346 | 0,0000            | 0,0000        | 0,6877           | 0,204                  | 0,000   | 1,582 | 0,687 |
| İstanbul         | 0,3091         | 0,5812                     | 0,1095          | 0,4729            | 0,0000   | 0,2978               | 0,0867 | 0,0778            | 0,2344        | 0,0000           | 0,000                  | 0,750   | 2,919 | 0,750 |

#### 5.5.4. Ağırlıklandırılmış Normalize Matris Oluşturulması $Q_j$ Değerinin Hesaplanması

Aşağıda en optimum değerinin hesabı için  $q=\{0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00\}$  beş farklı grup parametreleri olarak belirlenmiştir. Formüldeki  $q$  değeri ise 0,50 olarak alınmış olup, hesaplanan  $Q_j$  değerlerinin büyükten küçüğe sıralaması Tablo 34’ de verilmiştir.

$$Q_j = \frac{q(S_j - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-q)(R_j - R^*)}{R^- - R^*} \quad (5.3)$$

**Tablo 34**

*$Q_j$  Değerleri*

| Alternatifler | $Q_j$    |
|---------------|----------|
| Nevşehir      | 0,116672 |
| Bilecik       | 0,260155 |
| İstanbul      | 1,000000 |

#### 5.5.5. Koşulların Sağlanması ve Alternatiflerin Sıralaması

**Koşul 1:** En küçük iki değer arasındaki farkın  $1/(J-1)$  değerinden (D) büyük olması gerekmektedir. Tablo-14’e baktığımızda en küçük  $Q_j$  değerinin Nevşehir olduğu görülmektedir. Sonrasında ise en küçük ikinci  $Q_j$  değeri Bilecik alternatifine aittir. Bilecik-Nevşehir  $\geq 1/(J1)$  olması gerekmektedir. Bu sebeple ilgili değerler yerine yazıldığında;  $0.286967 \geq 0.090909$  olduğu görülecektir. Sonuç olarak koşul 1 sağlanmıştır.

**Koşul 2:** Nevşehir’in en iyi seçenek olabilmesi için  $S_j$  veya  $R_j$  değerlerinden en az birisi için en iyi seçenek olması gerekmektedir. Tablo 35’den görüleceği üzere Nevşehir alternatifinin hem  $R_j$  hem de  $S_j$  değerleri açısından en küçük değerlere sahip seçenek olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak ikinci koşul da sağlanmıştır. Bu analizler diğer seçenekler için de yapıldığında sıralama Nevşehir» Bilecik » İstanbul olarak gerçekleşmektedir.

**Tablo 35**

*Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi*

|           | $S_j$  | $R_j$  | $Q_j$    | RANK | Alternatif İller |
|-----------|--------|--------|----------|------|------------------|
| 1         | 2,0282 | 0,6688 | 0,260155 | 2    | BİLECİK          |
| 2         | 1,5823 | 0,6877 | 0,116672 | 1    | NEVŞEHİR         |
| 3         | 2,9198 | 0,7500 | 1,000000 | 3    | İSTANBUL         |
| $S^*/R^*$ | 1,5823 | 0,6688 |          |      |                  |
| $S^-/R^-$ | 2,9198 | 0,7500 |          |      |                  |

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile GES için optimum yerin seçilerek temiz enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesine ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırarak dışa bağımlılığı azaltmaya dolaylı olarak katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada GES için en uygun yerleşim yeri bulunurken AHP ve VIKOR yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, GES yer seçiminde AHP temelli VIKOR yöntemiyle ilgili çok az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmada iki yöntemin bir arada kullanılması ile daha sağlıklı sonuca ulaşılmış ve literatüre bir katkıda bulunulmuştur. Yer seçimi çalışmaları için hızlı ve optimum kararlar alınmasında AHP tercih edilen bir yöntemdir. AHP ile kriter ağırlıkları bulunmuş, alternatif olarak tanımlanan illerden VIKOR ile en uygunu seçilerek kriterlere en uygun olan sıralama oluşturulmuştur. Yöntemler ne kadar etkili olursa olsun sonuca etki eden en önemli etken, sonucu belirleyecek olan kriterlerin doğru karar verilmesidir. Çalışmaya dahil edilen kriterler titizlikle değerlendirilmiş olup gerek önceki çalışmalardan gerekse uzman görüşlerinden yola çıkılarak en önemli olduğu düşünülen kriterler tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları da yine ilgili uzmanlar tarafından incelenip doğruluğu teyit edilmiştir.

Bu çalışmada optimum güneş enerji santrali kurulumu için yer seçim kriterlerini belirlenmiştir. Bu kriterler, santrallerin verimliliği açısından ve sosyal, coğrafi ve ekonomik ve mevzuat bakımından göz önüne alınarak Çok Kriterli Karar Verme metotlarından AHP ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Super Decisions da bu çalışmaya AHP yönteminin uygulanmasına eşlik etmiştir. Ana kriterler; ekonomik, teknik, sosyal ve coğrafi olarak seçilmiş olup, bu ana kriterlere bağlı arazi maliyeti, enerji nakil hattına uzaklık, teşvikler, güneşlenme, sıcaklık, arazi ısınımı, eğitim, fay hatlarına mesafe, yağış miktarı, karlı gün sayısı, yerleşim alanına mesafe ve işgücü olarak tanımlanan on iki adet alt kriter ele alınmıştır. Sonuç olarak kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemine göre hesap edilmiş ve alternatifler VIKOR yöntemine göre sıralanmıştır. GES kurulum yeri seçimi en uygun il çoğu kriterlerdeki üstünlüğü sebebiyle Nevşehir olmuştur. Nevşehir'in ilk sırada yer alması seçilen ana kriterlerden önemli bir orana sahip olan teknik kriterlerin altındaki güneşlenme süresi, arazi ısınım miktarı ile diğer ana kriterlerin altındaki birçok kriteri de önde sağlamış olmasıdır. Nevşehir' i sırasıyla Bilecik ve İstanbul izlemiştir.

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

Bu çalışma sonuçlarından bu alanda çalışan akademisyenler için de bazı çıkarımlarda bulunmak mümkündür. GES verimliliği ve çevresel etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu kriterler ortak bir şekilde düşünüldüğünde bu çalışmanın bundan sonra yapılacak birçok çalışmaya yol göstereceği düşünülmektedir. Literatür taramasına bakıldığında kullanılan kriterler arasında sosyal kriterlerin yetersiz çalışıldığı tespit edilmiş olup, gelecekte istihdam ve yerleşim alanına uzaklık gibi faktörlere daha çok yer verilmesi gerektiği saptanmıştır. Benzer ya da farklı programların kullanıldığı güneş enerjisi yer seçim analizlerinde çalışma sonuçlarının gerçek hayatta da tutarlılığını tespit edebilmek adına daha detaylı saha analizi gerçekleştirilebilir. Çalışmada kullanılan yöntemler diğer farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının yer seçimi için de uygulanabilir.

Çok değişkenli sistem analizi kullanılarak en ideal sistem koşullarının bulunmasına yönelik bölgesel çalışmalar yapılabilir. Ülkemiz, yenilenebilir enerjinin temel kaynaklarından biri olan ve sınırsız bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeyle karşılaştırıldığında oldukça avantajlı konumdadır. Bu çalışma, elektrik üretilmesi amacıyla güneş enerjisi santrali için uygun lokasyon seçimi ile sınırlıdır. AHP ile kriterlerin belirlenmesi resmi veriler ile seçilen işletmedeki uzman ve mühendislerin verdiği cevaplar ile sınırlıdır. Daha sonra burada elde edilen ağırlıklar kullanılarak ikinci bir ÇKKV yöntemi olan VIKOR ile sıralama yapılmıştır. Bu konudaki çalışmaların daha çok yapılması ülkemizin geleceği açısından oldukça önem arz etmektedir.



## KAYNAKÇA

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2022, 02 Ocak). *Türkiye deprem haritası*. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> adresinden 20 Eylül 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Ahadi P., Fakhrabadi F., Pourshaghagh A. ve Kowsary F., (2023). Optimal site selection for a solar power plant in Iran via the analytic hierarchy process (AHP), *Renewable energy*, 215, 118944. doi: 10.1016/j.renene.2023.118944.
- Ağır, H. ve Kar H, (2010). Türkiye’de elektrik tüketimi ve ekonomik gelişmişlik düzeyi ilişkisi: Yatay kesit analizi. *Sosyo ekonomi dergisi*, 2010- EN/10EN07.
- Akçay, M. (2019). *Ahp-topsis hibrit yöntemi ile Türkiye’de güneş enerjisi santrali için yer seçimi* (Yüksek lisans tezi) Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akkaş, O. P., Erten, M. Y., Çam, E., ve İnanc, N. (2017). Optimal site selection for a solar power plant in the central anatolian region of Turkey. *International journal of photoenergy*, 2017(2), 1-13. doi:10.1155/2017/7452715.
- Aladağ Z., Özcan B. ve Özdemir B. (2017). Güneş enerjisi santrali kuruluş yerinin ahs ve vikor yöntemlerine dayalı bütünleşik yaklaşım ile değerlendirilmesi. *Erciyes üniversitesi fen bilimleri enstitüsü dergisi*, 2, 33.
- Alcan, Y., Demir, M., ve Duman, S. (2018). Sinop province’s solar power generation potential in comparison with our country and Germany, *El-Cezeri journal of science and engineering*, 5(1), 35–44, 2018. <https://doi.org/10.31202/ecjse.340459>.
- Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J., ve Gyawali, S. (2019). Gis based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable energy* S 132 S 1360–1372, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.035>.
- Anjuman M., Zohora F., Nurul N., Tanvir A. ve Ahmed N. (2023). Optimal site selection for solar plant using analytical hierarchy process (AHP): A case study in Bangladesh. *Environmental progress & sustainable energy*, 43(2). <https://doi.org/10.1002/ep.14272>.
- Arca D. ve Çıtıröğlu Keskin H. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin cbs dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği, *Geomatik dergisi* – 2022; 7(1); 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>.
- Aslan, Ş. (2019). *Güneş enerji santrali yer seçiminde Cbs kullanımı: Kayseri ili örneği*. (Yüksek Lisans Tezi) Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aslan, Z. (2022). *Yenilenebilir enerjinin Türkiye ekonomisine ve işletmelerde üretim stratejilerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi) Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Ateş, S. (2020). *Entropi temelli topsis, aras, moora, yöntemleri ile güneş enerji santrali kuruluş yeri seçimi: kop bölgesi örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.

- Aydın, N.Y. (2009), *Gis-based site selection approach for wind and solar energy systems: a case study from western Turkey* (Unpublished master thesis). Middle East Technical University, METU.
- Aydiner, İ. (2020). *CBS tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi ile ege denizinde rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer seçimi*. (Yüksek Lisans Tezi). On dokuz Mayıs Üniversitesi.
- Başkaya Z. ve Öztürk B., (2011). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ile bir alışveriş merkezinde mağaza kuruluş yerinin seçimi, *Akademik fener dergisi*, 9(15), 110-133.
- Bayraktar F., Yazıcı M. ve Köse R. (2023). Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) teknolojileri ve Türkiye’de csp’ye yönelik politikalar. *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi journal of scientific reports-B*, 7.
- Bekar, N. (2020). Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye’nin enerji jeopolitiği. *Türkiye siyaset bilimi dergisi Turkish journal of political science*. 3, (1), 37-54.
- Bengül, G. (2018). *Topsis ve vikor karar verme yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir uygulama: Bartın devlet hastanesi örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Bartın Üniversitesi.
- Beycur, S. (2022). *Elazığ ilinde güneş enerjisi santrali yerlerinin cbs ve ahp yöntemi ile belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi.
- Brewer, J., Ames, D.P., Solan, D., Lee, R., ve Carlisle, J. (2015) Using gis analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable Energy*, 81, 825-836. doi: 10.1016/j.renene.2015.04.017.
- Broesamle H., Mannstein H., Schillings C., ve Trieb F. (2000). Assessment of solar electricity potentials in North Africa based on satellite data and a geographic information system”, *Solar Energy*, 70, 1-12. DOI:10.1016/S0038-092X(00)00126-2.
- Büyükikiz, Ş. (2019). *Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının ahp ve bulanık topsis yöntemleri ile değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi.
- Ceylan, İ., ve Gürel, A. (2021). *Güneş enerjisi sistemleri ve tasarımı*. Dora Yayınları.
- Chankong, V. ve Haimes Y. (2008). *Multiobjective decision making: Theory and methodology*. Dover Publications.
- Charabi, Y. ve Gastli, A. (2011). Pv site suitability analysis using gis-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*. 36, 2554-2561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.037>.
- Cristobal, J. R. S. (2012). *Multi-criteria analysis in the renewable energy industry*. Springer Press. Doi: 10.1007/978-1-4471-2346-0.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022, 30 Aralık). *Binalarda yenilenebilir enerji zorunluluğu 1 Ocak’ta başlıyor*.

<https://www.csb.gov.tr/binalarda-yenilenebilir-enerji-zorunlulugu-1-ocakta-basliyor-bakanlik-faaliyetleri-37361> adresinden 22 Mart 2023 tarihinde erişilmiştir.

- Dağdeviren, M. Akay, D. ve Kurt, M. (2004). İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 19(2), 131-138.
- Delihasanlar, E., Yaylacı, K. ve Dalcı, V. (2019). Dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli, mevcut durumu, teşvikleri, kurulum maliyeti analizi-Karabük ili örneği. *Electronic Letters on Science & Engineering*, 15(1), 12-20.
- Demirer, A. (2017). *Güneş enerjisi santrali yer seçimi probleminin analitik hiyerarşi prosesi yardımı ile değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Beykent Üniversitesi.
- Doğanay, M., M. (2021). Mardin bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi. *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 86-117.
- Duman, H., M. (2018). *Batı Akdeniz bölgesinde güneş enerjisi santrali için kuruluş yeri seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi.
- Elektrik Üretim A.Ş. (2023, 31 Ocak). *Eüaş 2022 yıllık faaliyet raporu*. [https://www.eua"s.gov.tr/yillik-raporlar](https://www.eua) adresinden 15 Mart 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Ekinci, N. (2022). *Sürdürülebilir kalkınmada yenilenebilir enerji: Türkiye örneği*, (Yüksek lisans tezi), Batman Üniversitesi.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi (2022, 26 Ağustos). *Bilgi merkezi enerji güneş*. <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-enerji-gunes> adresinden 11 Mart 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024, 01 Ocak). *Ulusal enerji verimliliği eylem planı*. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=20425> adresinden 10 Şubat 2024 tarihinde erişilmiştir.
- Erkul, H. (2012). Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 1-30.
- Eroğlu, H. (2018). Güneş enerji santralleri için uygunluk haritasının elde edilmesi: Bir uygulama, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(4), 97-106. <https://doi.org/10.21597/jist.430615>.
- Ertuğrul İ., ve Karakaşoğlu, N. (2008). Banka şube performanslarının vikor yöntemi ile değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(1), 19-28.
- Eskin M. C. (2018). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye ve ekonomiye etkisi*. (Uzmanlık Tezi). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı.
- EWEA, (2008). Wind energy facts. *Environmental Issues*. 4, 307-411,

- Garni H., Z. ve Awasthi A., (2017). Solar pv power plant site selection using a gis-ahp based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225-1240. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- Gerçek, Y. (2018). *Güneş enerjisi santralleri için cbs ile en uygun yer tayini*. (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Gökkaya, D., A., (2022). *Optimal site selection of wind power plants using geographic information systems and best worst method: a case study in İzmir*. (Master Thesis). İstanbul Technical University.
- Gönençgil, B. ve İçel, G. (2010). Türkiye'nin doğu akdeniz kıyılarında yıllık toplam yağışlarda görülen değişimler (1975-2006). *Türk Coğrafya Dergisi*, 55, 1-12.
- Gül, A., Karakoç, A., ve Rehimbeyli, S. (2017, 29-30 September). *Mekansal planlama alan kullanım kararlarında güneş enerji santrallerinin yer seçimi kriterleri*. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. Baku-Azerbaijan.
- Günen M. A., (2021). Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using gis-based ranking and ahp methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (7), 57232–57247. doi:10.1007/s11356-021-14622-x.
- Güneş Enerji Potansiyeli Atlası GEPA (2022, 02 Ocak). *Türkiye güneş modeli, coğrafi bilgi sistemi' nde kullanılan "Esri solar radiation model" ve aşağıdaki temel parametreler kullanılarak hazırlanan bilgiler*. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> adresinden 15 Aralık 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Halder, B., Banik, P., Almohamad, H., Dughairi, A., Mutiry, M., Shahrani, H. ve Abdo, H. (2022). Land suitability investigation for solar power plant using gis, ahp and multi-criteria decision approach: a case of megacity kolkata, West Bengal, India. *Research Gate*, 14(18), 11276.
- Hang, Q., Jun, Z., Xiao, Y. ve Junkui, C., (2008). Prospect of concentrating solar power in China-the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2505–2514.
- Kanoğlu M., Çengel Y. ve Cimbala J. (2022). *Yenilenebilir enerji temelleri ve uygulamaları*. Palme Yayınevi.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: dalga enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(17), 65-86.
- Karaca C., ve Erdoğan M, M. (2021). Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınması için bir yeşil sanayi politikası çerçevesi, *yeni Türkiye stratejik araştırma merkezi*, 9(117), 143-156.

- Kereush, D., ve Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *Geomatics, landmanagement and landscape*, 4(39-54). <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>.
- Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Kuru, A. (2011). *Entegre yönetim sistemlerinde çkkv tekniklerinin kullanımına yönelik yaklaşımlar ve uygulamaları*. (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi.
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91. [https://doi.org/10.1501/Csaum\\_00000000017](https://doi.org/10.1501/Csaum_00000000017).
- Lee A., Kang H. ve Liou Y., (2017). A hybrid multiple-criteria decision-making approach for photovoltaic solar plant location selection, *Sustainability*, 9(2), 184. <https://doi.org/10.3390/su9020184>.
- Maltaş, M. (2017). *Manisa ili için 1 mw güneş enerjisi santrali fizibilitesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2021, 10 Şubat). *Türkiye ortalama güneşlenme süresi*. <https://mgm.gov.tr/kurumci/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> adresinden 20.06.2023 tarihinde erişilmiştir.
- Mevzuat Bilgi Sistemi (2005, 01 Ocak). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun*. [www.mevzuat.gov.tr](http://www.mevzuat.gov.tr) adresinden 02 Eylül 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Miller, A. ve Lumby, B., (2012). Utility scale solar power plants; a guide for developers and investors. *International finance corporation-world bank*.
- Obut, Z. (2016). *Göksun ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulacak alanların cbs yöntemi ile belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
- Obricovic S. ve Tzeng G. (2007), Extended vikor method in comparison with outranking methods, *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514-529.
- Okatan, B. (2018). *Dematel, aas ve vikor yöntemleri ile gıda dağıtım merkezi yeri seçimi: Gürcistan örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Gümüşhane Üniversitesi.
- Onat, N. (2018). Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi: mevcut durum ve gelecek beklentileri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 8–15.
- Özbek, S. (2017). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ve excel ile problem çözümü*, Seçkin Yayınevi.
- Özmen, H., A. (2020). *Cbs destekli analitik hiyerarşi yöntemi ile uygun yer seçimi; Sultanbeyli’de alışveriş merkezleri örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Özçelik, M. (2022). *Muş ilinde güneş enerjisi potansiyelinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi (AHP) ile belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Muş Alparslan Üniversitesi.
- Özdemir B., Özcan B. ve Aladağ Z. (2017). *Güneş enerjisi santrali kuruluş yerinin ahs ve vikor yöntemlerine dayalı bütünleşik yaklaşım ile değerlendirilmesi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 33(2).
- Özgün, H. (2018). *Temel kavramlar ve örnek projelerle fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri*, Günder Yayınları.
- Öztaş Ö., (2022). *Güneş pv enerji santrali yer seçimi için cbs 'ye dayalı hibrit bir yaklaşım* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Öztürk, H. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanımı*. Teknik Yayınevi.
- Redclift, M. (2005). Sustainable Development (1987-2005): An oxymoron comes of age, *the blackwell encyclopedia of sociology*, 13 (4), 212-227. <https://doi.org/10.1002/sd.281>.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1:1, 83-98.
- Sağbaş, A., ve Başbuğ, B. (2018). Sürdürülebilir kalkınma ekseninde enerji verimliliği uygulamaları, s. Türkiye değerlendirmesi, *European Journal of Engineering and Applied Sciences* (41-48).
- Saner, S., H. (2015). *Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ve çevresel etkileri: Karapınar ve Karaman enerji ihtisas endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Ankara Üniversitesi.
- Serdar, M., T. (2008). *Analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile süpermarket kuruluş yeri seçimi* (Yüksek Lisans Tezi) Eskişehir Anadolu Üniversitesi.
- Sezal, L. (2017). Evaluation of the solar energy investments in Turkey from behavioral finance. *The Journal of International Social Research*, 10(51), 1117–1125.
- Soba M., Şimşek A., Erdin E. ve Can A. (2016). Ahp temelli vikor yöntemi ile doktora öğrenci seçimi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 50.
- Şener, A. C. ve Uluca, B. (2009), *Türkiye elektrik piyasaları ve jeotermal enerjinin konumu*. Jeotermal Enerji Semineri.
- Tanış T. (2019). *Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi: Karapınar ilçesi swot analizi* (Yüksek Lisans Tezi) Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Topçu, İ., ve Kabak, Ö. (2016). *Karar analizi* [Powerpoint Slaytları]. <https://web.itu.edu.tr/topcuil/ya/KV1KararAnalizi.pdf>.
- Tozar, T. (2006). *Doğal kaynakların sürdürülebilirliği için geliştirilen ekolojik planlama yöntemleri*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi.

- Turhan, S. ve Çetiner, İ. (2012, 12-13 Nisan). *Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi*. 6. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa.
- Turan, S. E. (2022). *Adana ili için coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak güneş enerjisi santrali yer seçiminin optimizasyonu* (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2018, 01 Ocak). *Güneş enerjisi teknolojileri ve ısı uygulamaları*. <https://www.thesisat.org/gunes-enerjisi-teknolojileri-ve-ısı-uygulamalar.html> adresinden 20 Mart 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2018, 17 Ağustos). *Hidrolik*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>, adresinden 12 Haziran 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023, 15 Haziran). *Yeka Modeli*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli> adresinden 12 Ekim 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023, 01 Ocak). *Yatırım teşvik sistemi*. <https://www.sanayi.gov.tr/destek-ve-tesvikler/yatirim-tesvik-sistemleri> adresinden 07 Kasım 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü (2023, 10 Ağustos). *2023 Türkiye'nin toplam elektrik üretim bilgileri*. <https://www.teias.gov.tr/> adresinden 10.08.2023 tarihinde erişilmiştir.
- Türkmen, B. (2021). *Lojistik köyü yer seçimi ve Türkiye'de örnek bir uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Türkseven, S. (2019). *Güneş enerji santrali yer seçiminde cbs tabanlı çok kriterli karar destek sisteminin uygulanması (Eskişehir ili örneği)*. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Tüyen Z. (2019). İşletmelerde sürdürülebilirlik kavramı ve sürdürülebilirliği etkileyen etmenler. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 37(1), 91-117.
- Urasoğlu, M. (2022). *2030'a doğru Türkiye'nin sürdürülebilir enerji politikalarının enerji verimliliği ve çevresel açıdan değerlendirilmesi ve yeni yaklaşımlar* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Urfan, S. (2018). *Sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda güneş enerjisi potansiyelinin fotovoltaik sistemler ile değerlendirilmesi; Kadıköy-Fikirtepe kentsel dönüşüm alanı test uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların ahp yöntemi kullanılarak cbs destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351. doi: 10.5505/pajes.2016.59489.

- Uzar M. ve Koca H. (2018). *Cbs ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile güneş enerji santrallerinin yerlerinin belirlenmesi: Menemen örneği*. VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Eskişehir.
- Uzunay, E. (2022). *Güneş enerjisi santrali yer seçiminde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanımı; Giresun ili örneği* c
- Üçgül İ., Arslan Ö., Elibüyük U. Ve Emen Y. (2019). Parabolik Oluk Yoğunlaştırıcı Sistemlerin Isparta Organize Sanayi Bölgesinde Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-dergisi*, 4(2).
- Wang, C., Nguyen, V., T., Thai, H. ve Duong, D., (2018). Multi-criteria decision making (mcdm) approaches for solar power plant location selection in viet nam. *Energies* 2018, 11(6), 1504. <https://doi.org/10.3390/en11061504>.
- Wu, Y. ve Geng, S. (2014). Multicriteria decision making on selection of solar-wind hybrid power station location: A Case of China. *Energy Conversion and Management*, 81, 527-533. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.056>.
- Wu, Y., Zhang, B., Wu, C., Zhang, T. ve 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. Doi: 10.1016/j.renene.2019.05.131
- Villacreses, G., Gaona, G., Gomez., J. M., ve Jijon, D. J. (2017). Wind farms suitability location using Gis based on multicriteria decision methods: The case of continental ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286. Doi: 10.1016/j.renene.2017.03.041.
- Yalılı, M. (2021). Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (3), 1055-1074, 2021. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.901218>.
- Yenilmez, G. (2020). *Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanarak optimum yenilenebilir enerji seçimi* (Doktora Tezi). Osmangazi Üniversitesi.
- Yeşil Ekonomi (2023 01 Ocak). *Almanya'nın güneş gücü bir yılda %29 arttı*. <https://yesilekonomi.com/almanya-ruzgar-ve- adresinden> 03 Ekim 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Yıldırım, F. (2023, 01 Ocak). *Çok kriterli karar verme yöntemleri*. [Ders Notları]. <https://bahadirfyildirim.com/blog/serie/cok-kriterli-karar-verme/> adresinden 17 Eylül 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Yılmaz, C. (2019). *Güneş enerjili ısı borusu kullanılarak termoelektrik modüller ile elektrik üretimi deneysel incelemesi* (Yüksek Lisans Tezi). On dokuz Mayıs Üniversitesi.
- Yolcan, O., ve Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science* 6-2(2020) 196-215. Doi: 10.34186/klujes.793471.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Esra DEMİRKIRAN GÖBELOĞLU

### ÖĞRENİM DURUMU

| Öğrenim Derecesi | Öğrenim Yeri                                                          | Öğrenim Yılı |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|
| Yüksek Lisans    | Sakarya Üniversitesi/ İşletme Enstitüsü/ Üretim Yönetimi ve Pazarlama | Devam ediyor |
| Lisans           | Sakarya Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi/ Endüstri Mühendisliği    | 2010         |
| Lise             | Kastamonu Mustafa Kaya Anadolu Lisesi                                 | 2005         |

### İŞ DENEYİMİ

| Yıl       | Yer                         | Görev           |
|-----------|-----------------------------|-----------------|
| 2011-2014 | Ak gıda Sanayi Ticaret A.Ş. | Cost Controller |

### YABANCI DİL

İngilizce

### ESERLER

Gobeloglu, E. ve Ungan M.C.(2023). AHP-VIKOR hibrit yöntemi ile güneş enerjisi santrali yer seçimi. *Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitü Dergisi*, (5)2, 95-109.