



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE YÜZER FOTOVOLTAİK
SİSTEMLER İÇİN YER SEÇİMİ**

Rıdvan ŞEN

**Ocak-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE YÜZER FOTOVOLTAİK
SİSTEMLER İÇİN YER SEÇİMİ**

Rıdvan ŞEN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şehmus FİDAN**

Diğer Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YUMURTACI

**Ocak- 2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Rıdvan Şen tarafından hazırlanan “Güneydoğu Anadolu Bölgesi İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yüzer Fotovoltaik Sistemler İçin Yer Seçimi” adlı tez çalışması 24/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Şehmus FİDAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YUMURTACI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müd.V.

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Rıdvan ŞEN
24.01.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ ile YÜZER FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN YER SEÇİMİ

Rıdvan ŞEN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şehmus FİDAN

2025, 88 Sayfa

Yüzer solar paneller, suyun soğutma etkisi sayesinde enerji verimliliğini artırması, buharlaşmayı azaltması ve arazi kullanımına ihtiyaç duymaması gibi avantajlar sunmaktadır. Bu sebeple dünyada ve ülkemizde yüzer solar panel uygulamalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan hidroelektrik santrallerin rezervuar alanlarına yüzer solar panellerin kurulumu için en uygun lokasyonu belirlemeye odaklanmaktadır. Çalışmada, birden fazla kriteri göz önünde bulundurarak en uygun seçeneği belirlemek amacıyla Analytic Hierarchy Process (AHP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Multi – Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), Characteristic Objects Method (COMET) ve Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution method (SPOTIS) gibi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. MCDM yöntemleri, kişisel kararlardan devlet politikalarına kadar geniş bir yelpazede karar verme süreçlerinde kullanılan güçlü bir araçtır. Bu yöntemler sayesinde, farklı kriterlerin önemi belirlenerek daha objektif ve tutarlı kararlar alınabilmektedir. Çalışmada, yüzer güneş santrali projelerinin başarısı için kritik öneme sahip olan güneş ışınımı, yıllık günışığı saatleri, rüzgar hızı, bölgesel kalkınma, sosyal kabul, sıcaklık, topografik yükselti, su derinliği, yerleşim birimlerine ve şebeke bağlantılarına uzaklık gibi kriterlerin ağırlıkları, uzman görüşleri ile belirlenmiştir. Bu kriterlere göre yapılan detaylı analiz sonucunda, en uygun hidroelektrik santrali seçilerek, projenin hem teknik hem de sosyal açıdan sürdürülebilirliği hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MCDM, AHP, TOPSIS, MABAC, COMET, SPOTIS, Yüzer Güneş Santralleri, Güneydoğu Anadolu

ABSTRACT
MASTER THESIS

**SITE SELECTION FOR FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH
MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS FOR SOUTHEASTERN
ANATOLIA REGION**

Rıdvan ŞEN

Batman University Graduate Education Institute

Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Asst. Prof. Şehmus FİDAN

2025, 88 Pages

Floating solar panels offer advantages such as increasing energy efficiency, reducing evaporation and not requiring land use thanks to the cooling effect of water. For this reason, the number of floating solar panel applications is increasing day by day in the world and in our country. This study focuses on determining the most suitable location for the installation of floating solar panels in the reservoir areas of hydroelectric power plants located in the Southeastern Anatolia Region. In the study, multi-criteria decision-making (MCDM) methods such as Analytic Hierarchy Process (AHP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), Characteristic Objects Method (COMET) and Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution method (SPOTIS) were used to determine the most suitable option by considering multiple criteria. MCDM methods are a powerful tool used in a wide range of decision-making processes from personal decisions to state policies. Thanks to these methods, more objective and consistent decisions can be made by determining the importance of different criteria. In the study, the weights of criteria such as solar radiation, annual daylight hours, wind speed, regional development, social acceptance, temperature, topographic elevation, water depth, distance to settlements and grid connections, which are critical to the success of floating solar power plant projects, were determined by expert opinions. As a result of the detailed analysis made according to these criteria, the most suitable hydroelectric power plant was selected and the sustainability of the project was aimed both technically and socially.

Keywords: MCDM, AHP, TOPSIS, MABAC, COMET, SPOTIS, Floating Solar Power Plants, Southeastern Anatolia

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her sürecinde bilgisiyle ve tecrübesiyle bana yol gösteren, akademik desteğini ve önerilerini eksik etmeyen ve kendisiyle çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şehmus Fidan’a, ve Batman Üniversitesi yönetimine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mensubu olmaktan mutluluk ve gurur duyduğum ve akademik çalışma yapmama vesile olan Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.’nin tüm yönetimine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın tamamlanmasında en büyük destekçim olan eşim Dilara’ya, sevgili çocuklarım Harun Zana ve Asya Nil’e, beni yetiştiren değerli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Rıdvan ŞEN
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER/TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1.GİRİŞ	1
1.1.Dünyada ve Ülkemizde Enerji	2
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
1.3. Güneş Enerjisi	5
1.4. Tezin Kapsamı	7
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
3.MATERYAL VE METOT	13
3.1. Güneş Pilleri ve Elektrik Enerjisi Üretimi	13
3.2. Fotovoltaik Hücre ve Çeşitleri	14
3.2.1. Monokristal paneller.....	15
3.2.2. Polikristal paneller.....	16
3.2.3. Esnek solar paneller.....	16
3.2.4. İnce film paneller.....	16
3.3. PV Panellerin Verimini Azaltan Faktörler	17
3.3.1. PV panellerde sıcaklığın panel verimine etkisi	18
3.4. Yüzer Güneş Santralleri	20
3.4.1. Yüzer PV santrallerin avantajları	21
3.4.2. Yüzer PV santrallerin dezavantajları	23
3.5. Yüzer PV Sistemi Bileşenleri.....	24
3.5.1. Duba	25
3.5.2. Şamandıralar veya taşıma sistemleri	25
3.5.3. Bağlama sistemi.....	26
3.5.4. Solar PV modülü	27
3.5.5. Kablolar ve konnektörler	27
3.6. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV- MCDM)	28
3.6.1. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) .	29
3.6.2 MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison)	31
3.6.3. COMET (Characteristic Objects Method).....	32

3.6.4. SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution)	33
3.6.5. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)	34
3.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Baraj ve Hes Alanları Verileri	37
3.7.1. Atatürk Barajı ve hidroelektrik santrali	38
3.7.2. Karakaya Barajı ve hidroelektrik santrali	40
3.7.3. Ilısu Barajı ve hidroelektrik santrali	41
3.7.4. Birecik Barajı ve hidroelektrik santrali	43
3.7.5. Çetin Barajı ve hidroelektrik santrali	45
3.7.6. Alkumru Barajı ve hidroelektrik santrali	46
3.7.7. Batman Barajı ve hidroelektrik santrali	48
3.7.8. Karkamış Barajı ve hidroelektrik santrali	50
3.7.9. Dicle Barajı ve hidroelektrik santrali	51
3.7.10. Kralkızı Barajı ve hidroelektrik santrali	53
3.7.11. Garzan Barajı ve hidroelektrik santrali	54
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	56
4.1. Yüzer Güneş Santrali Kurulumunu Etkileyen Etmenler	56
4.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yönteminin Projeye Uygulanması	56
4.2.1. Anketlerin oluşturulması:	57
4.2.2. Karar matrisinin oluşturulması:	58
4.2.3. Normalize karar matrisinin oluşturulması:	59
4.2.4.Özvektör matrisinin hesaplanması:	59
4.2.5.Özdeğer matrisinin hesaplanması:	60
4.2.6.Tutarlılık oranının hesaplanması:	61
4.2.7.Ağırlık matrisinin hesaplanması:	61
4.3. pyMCDM Yönteminin Projeye Uygulanması	62
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	70
EKLER	76

ÇİZELGELER/TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1	Analitik süreç hiyerarşisi (AHP) önem ölçeği	35
Tablo 3.2	Rassallık endeksi verileri	36
Tablo 3.3	Güneydoğu Anadolu Bölgesi barajları.....	37
Tablo 3.4	Veri kaynağı tablosu	38
Tablo 3.5	Atatürk Barajı veri kaynağı tablosu	39
Tablo 3.6	Karakaya Barajı veri kaynağı tablosu	41
Tablo 3.7	Ilısu Barajı veri kaynağı tablosu	43
Tablo 3.8	Birecik Barajı veri kaynağı tablosu.....	44
Tablo 3.9	Çetin Barajı veri kaynağı tablosu.....	46
Tablo 3.10	Alkumru Barajı veri kaynağı tablosu	47
Tablo 3.11	Batman Barajı veri kaynağı listesi	49
Tablo 3.12	Karkamış Barajı veri tablosu.....	51
Tablo 3.13	Dicle Barajı veri tablosu	52
Tablo 3.14	Kralkızı Barajı veri tablosu	54
Tablo 3.15	Garzan Barajı veri tablosu.....	55
Tablo 4.1	Karar matrisi oluşturma	58
Tablo 4.2	Özvektör matrisi ve karar sıralaması	60
Tablo 4.3	Özdeğer matrisi ağırlık oranları	60
Tablo 4.4	Ağırlık matrisi ve sıralama.....	61
Tablo 4.5	Ağırlık oranına göre kriterler	62
Tablo 4.6	ÇKKV yöntemleri ile kriter ağırlığı.....	65
Tablo 4.7	Güneş ışıınımı kriterine göre sıralama	66
Tablo 4.8	2. Kritere göre sıralama.....	66
Tablo 4.9	Güneydoğu Anadolu Bölgesi baraj bilgileri	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	2023- Dünya elektrik enerjisi üretim kaynakları çizelgesi.....	3
Şekil 1.2	2023- Türkiye elektrik enerjisi üretim kaynakları çizelgesi.....	4
Şekil 1.3	Yenilenebilir enerji kaynakları	5
Şekil 1.4	Küresel yatay ışınlam (GHI)	6
Şekil 1.5	Türkiye güneş enerjisi atlası	6
Şekil 3.1	Güneş pili yapısı	14
Şekil 3.2.	Güneş hücresi katmanları	14
Şekil 3.3	Güneş hücresi çeşitleri.....	17
Şekil 3.4	Tek diyotlu fotovoltaik hücre model devresi.....	18
Şekil 3.5	Yüzer güneş santrali örneği	21
Şekil 3.6	Yüzer güneş santrali bileşenleri.....	24
Şekil 3.7	Özel üretim duba örneği	25
Şekil 3.8	Özel üretim taşıma sistemi örneği	26
Şekil 3.9	Özel üretim bağlama sistemi örneği	27
Şekil 3.10	ÇKKV yöntemleri uygulama oranı.....	29
Şekil 3.11	Analitik süreç hiyerarşisi	34
Şekil 3.12	Atatürk Barajı uydu görüntüsü	39
Şekil 3.13	Karakaya Barajı uydu görüntüsü	41
Şekil 3.14	Ilısu Barajı uydu görüntüsü	42
Şekil 3.15	Birecik Barajı uydu görüntüsü.....	44
Şekil 3.16	Çetin Barajı uydu görüntüsü.....	45
Şekil 3.17	Alkumru Barajı uydu görüntüsü	47
Şekil 3.18	Batman Barajı uydu görüntüsü	49
Şekil 3.19	Karkamış Barajı uydu görüntüsü.....	50
Şekil 3.20	Dicle Barajı uydu görüntüsü.....	52
Şekil 3.21	Kralkızı Barajı uydu görüntüsü	53
Şekil 3.22	Garzan Barajı uydu görüntüsü	55
Şekil 4.1	Kriterlerin birbirine göre kıyaslandığı anket	58
Şekil 4.2	Normalize karar matrisi	59
Şekil 4.3	ÇKKV yöntem sıralaması.....	64
Şekil 4.4	ÇKKV sıralama değişimi.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma

AB
AHP
CI
COMET
CR
ELECTRE

ETKB
EÜAŞ
FPV
GAP
HDPE
IP
KOAİ
LAAW

m²
MABAC

OWA
PSP
SPOTIS

TOPSIS

UV
VIKOR

W
Wp

Açıklama

: Avrupa Birliği
: Analitik Hiyerarşı Süreci
: Tutarlılık Endeksi
: Karakteristik Nesneler Yöntemi Teknięi
: Tutarlılık Oranı
: Eleme ve Seçim Gerçeklięi Tercüme Etme Yöntemi
: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
: Elektrik Üretim A.Ş
: Yüzer Fotovoltaik (Floating PV)
: Güneydoğu Anadolu Bölgesi
: Yüksek Yoęunluklu Polietilen
: Giriş Koruması
: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
: Ağırlık Katsayılarının Logaritmik Katkısal Tahmin Yöntemi
: Metrekare
: Çok Nitelikli Sınır Yaklaşımı Alan Karşılaştırması Teknięi
: Sıralı Ağırlıklandırılmış Ortalama
: Pompalı Depolama Güç Sistemi
: İdeal Çözümüne Doğru Kararlı Tercih Sıralaması Yöntemi
: İdeal Çözümüne Benzerlięe Göre Tercih Sıralaması Teknięi
: Ultraviyole
: Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi
: Watt
: Watt Peak

1.GİRİŞ

Enerji, basit tabirle iş yapabilme yeteneği ya da iş yapabilme kapasitesidir. Maddesel bir varlık olmayan ancak ölçümlenebilen, depolanabilen ve kendi içinde farklı formlara dönüşebilen bir kavramdır. İnsanoğlunun doğduğu günden bu yana bilinçli veya bilinçsiz kullanım ile hayatımıza giren enerji kavramı, bugünkü tanım seviyesine Sanayi Devrimi ile erişmiştir. Günümüzün İngiltere'si Büyük Britanya'da başlayıp kısa sürede Avrupa ve Amerika kıtalarında etkisini hissettiren Sanayi Devrimi, güçlü ülkelerin artan sanayileşme hamleleri sonucunda, enerji kullanımının ilk adımı olan fosil kaynaklı enerji kaynaklarından kömürün doğrudan kullanımını sağlamıştır. 19. yüzyılın sonlarında içten yanmalı motorların icadı ile yerini petrol ve petrol türevi kaynaklara kısmen bırakmasına rağmen, günümüz enerji tedarikinde en önemli ve en çok kullanılan fosil kaynaklardan biri olma özelliğini korumaktadır.

Günümüzde enerjinin kullanılan en büyük formu elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi, insanoğlunun ihtiyaç duyduğu ısınma, barınma, yiyecek, giyecek vb. faaliyetlerin gerçekleşmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Diğer enerji formlarına göre kayıp miktarı daha minimize olan elektrik enerjisi, iletim hatları sayesinde yerleşim yerlerinden çok uzak lokasyonlarda üretilip, son kullanıcılara kadar yok denecek bir kayıp miktarıyla transfer edilebilmektedir. Hatta enterkonnekte şebekelerin birbirine bağlanmasıyla üretim yapılan noktadan çok uzakta bulunan ülkelere de enerjiyi transfer etmek mümkün olmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle ihtiyaç duyulan enerji miktarının doğru orantılı olarak ilerlemesi, enerji talebinin kesintisiz bir şekilde devam etmesini gerektirmektedir.

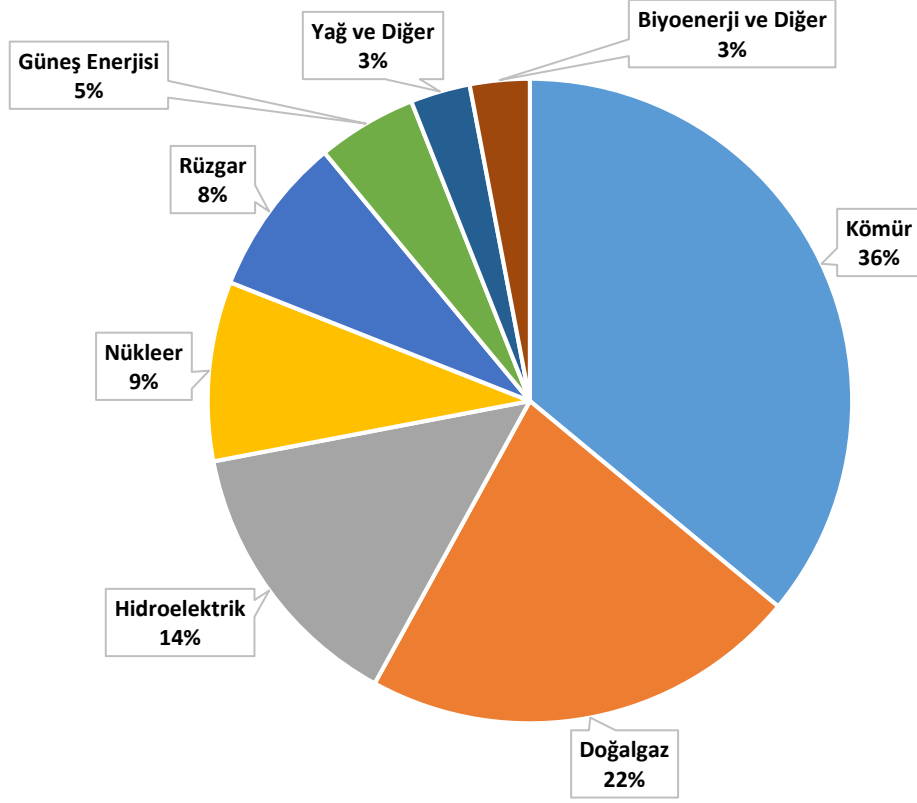
Ölen canlı organizmaların oksijensiz ortamda ve uzun zaman diliminde çürümesi ile oluşan fosil kaynaklı yakıtların kimyasal bileşiminde yüksek oranda hidrokarbon ve karbon bileşikleri bulunur. Fosil kaynaklı yakıtların yanması ile çevreye salınan emisyon gazlarının içinde karbon ve karbon bileşikleri insanlarda zamanla zehirlenme etkisi ve hatta astım, KOAH ve akciğer kanseri gibi hastalılara sebebiyet verir (Çilingir, 2016). Ayrıca sera etkisine sebebiyet veren zehirleyici gazların büyük çoğunluğu, elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Dulkadiroğlu, 2018). Sera gazı etkisini azaltmak ve gelecek nesillere daha temiz yarınlar bırakmak için,

fosil kaynaklı enerji üretim modelinin yerine yenilenebilir enerji kaynaklı üretimin artırılması gerekmektedir.

1.1.Dünyada ve Ülkemizde Enerji

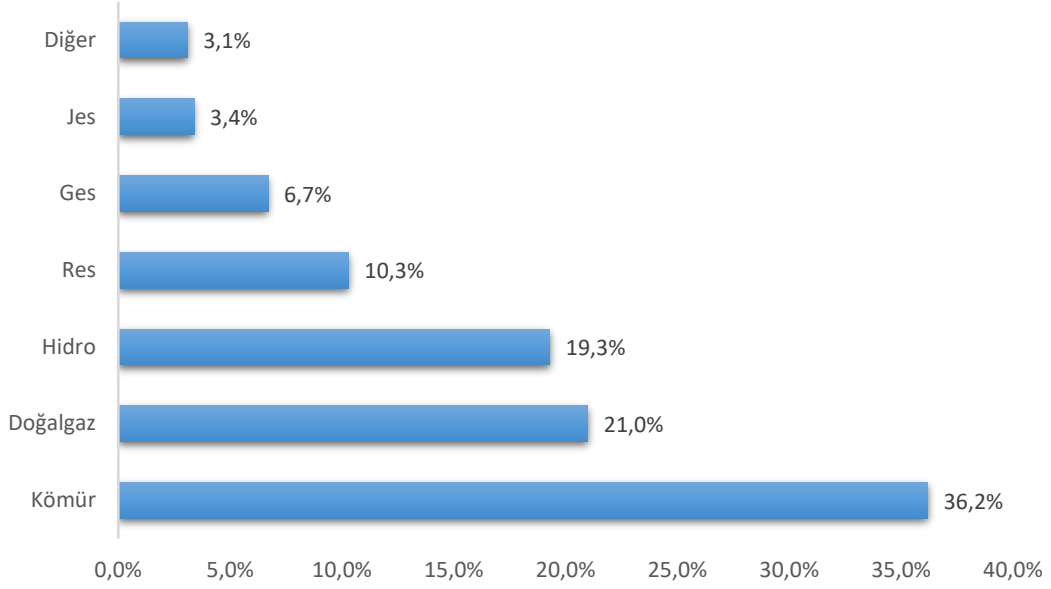
Nüfus artışı ve teknolojik ilerlemeler, elektrik talebinde bir artışa neden olmaktadır. Talep miktarının artmasına bağlı olarak, enerji arzı sağlamak adına fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Dünya bazında birincil enerji tüketimine bakıldığında son yıllarda fosil kaynaklı yakıtların %80 oranında kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan bu kaynakların elektrik enerjisi üretimindeki payı dünya genelinde % 61 oranlarında fosil kaynaklardan oluştuğu görülmektedir (Citaristi, 2022).

2023 yılında da önceki yıllara benzer olarak, elektrik enerjisi üretiminde fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Fosil kaynaklar içerisindeki kullanım payına bakıldığında ise kömürün %36 oranı ile ilk sırada yer aldığı, doğalgazın %22 ile ikinci sırada olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerjinin %14 ile birinci sırada olduğu, rüzgar enerjisinin %8 ile ikinci sırada olduğu görülmektedir. Şekil.1.1' de sunulan pasta grafiğinde 2023 yılı elektrik enerjisi üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının tüketim miktarları görülmektedir (Eni SpA, World Energy Agency, 2024).



Şekil 1.1 2023- Dünya elektrik enerjisi üretim kaynakları çizelgesi

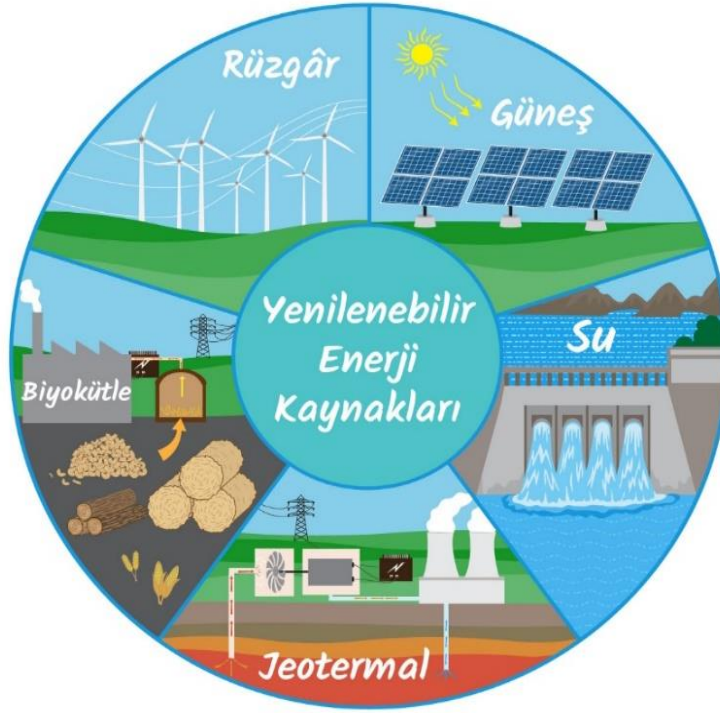
Ülkemizin durumuna baktığımızda ise, önceki yıllara nazaran 2023 yılında enerji üretiminde kullanılan fosil yakıt kaynaklı enerji üretim değerinin azaldığı görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın resmi web sayfasında 2023 yılı enerji üretim verilerine bakıldığında fosil kaynaklı yakıt miktarının %57,2 değerinde olduğu, yenilenebilir enerji kaynağı miktarının ise %42,8 olduğu görülmektedir. Şekil 1.2'de ülkemizin 2023 yılı enerji tüketim kaynakları miktarları görünmektedir (ETKB, 2024).



Şekil 1.2 2023- Türkiye elektrik enerjisi üretim kaynakları çizelgesi

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Doğada kendiliğinden var olan, tükenmeyen ve sürekli olarak kendini yenileyen enerji kaynakları olarak kısaca açıklanabilir. Hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermal, dalga biyokütle ve biyoatık enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Bu kaynakların ortak paydası, çevreye etkilerinin fosil kaynaklara göre çok az olması, çevreye ve doğaya karşı duyarlı olması, ülkelerin kendi sınırları içerisinde herhangi bir dış emtiaya ihtiyaç duymadan enerji üretebilmesi ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya sunmak ve dışa bağımlılığı azaltmak olarak gösterilebilir. Ayrıca küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarının bir sonucu olarak gezegenimizin çevresel felaketlerle karşı karşıya olduğuna yaygın bir kanaat hakimdir. Bu kanaat çerçevesinde Avrupa Birliği (AB), sürdürülebilir bir yeşil enerji geçişi konusunda gereken hassasiyeti göstermektedir. Bu bağlamda AB, “Avrupa Yeşil Mutabakatı” paketini sunarak ısınan atmosfere, iklim değişikliğine ve kirli havaya karşı tepkisini koymuştur. Bu anlaşma kapsamında, Avrupa Birliği ülkeleri ve vatandaşları için sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar sıfıra düşürüleceği bir ortamın inşa edilmesi amaçlanmaktadır (Şahin vd.,2021). Şekil 1.3’te sunulan resimde görünen yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan Güneş Enerji Santralleri, gelecek potansiyeli en fazla olan kaynaklar arasında bulunmaktadır.



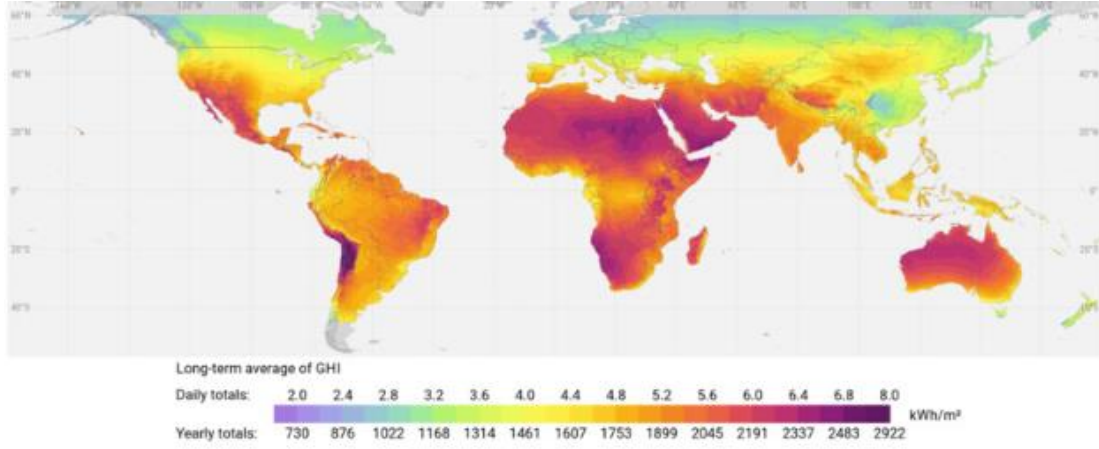
Şekil 1.3 Yenilenebilir enerji kaynakları

1.3. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, en bol enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilebilir. Güneş enerjisi, Dünya yüzeyine, nispeten sabit bir hızda, yılda 365 gün ısıma (radyasyon) yoluyla yayılır. Atmosfere nüfuz ederken güneş ışımasının yoğunluğu 1367 W/m^2 olarak kabul edilir, ancak yer yüzeyinde 1000 W/m^2 'ye düşer. Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonunun gücü coğrafi konuma, hava koşullarına, çevre kirliliğine ve bina yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir (Koç, 2021). Güneş enerjisi, fotovoltaik (PV) paneller ile doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesinin yanı sıra, tarımsal ürün kurutma, su ısıtma ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) sistemleri gibi termal uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu enerji kaynağı, aynı zamanda fotosentez ve fosil yakıt oluşumu gibi doğal süreçlerin temelini oluşturmaktadır (Köse ve Yolcan, 2020)

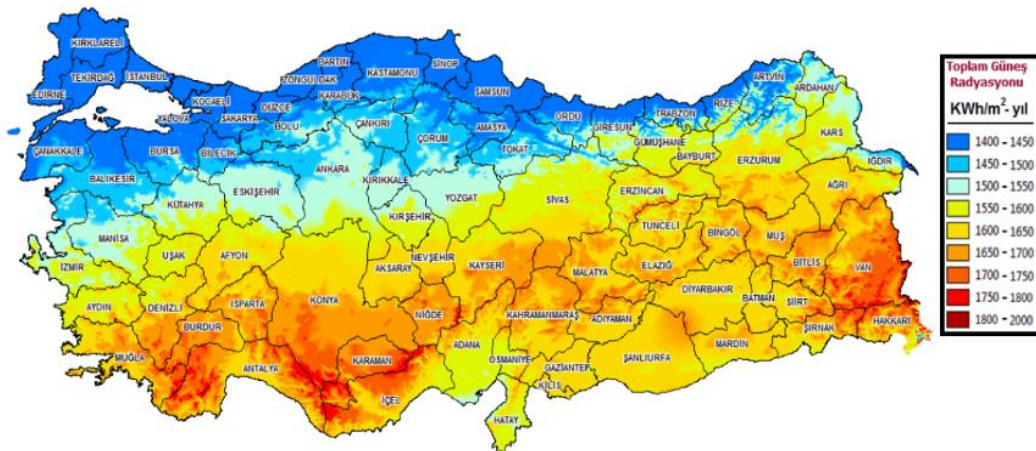
Küresel ölçekte güneş ışıınım miktarına bakıldığında, Şekil 1.4.'te sunulan resimde gösterildiği üzere dünya üzerinde bulunan coğrafi konumların çoğunluğunun güneş ışıınımı aldığı görülmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için ihtiyaç duyulan ışıınım miktarı lokasyona göre farklılık gösterse de güneş santralleri, yenilenebilir

enerji kaynakları içerisinde en fazla potansiyele sahip olan üretim modeli ve gelecekte en yüksek enerji üretim kaynağı olacağını göstermektedir.



Şekil 1.4 Küresel yatay ışıınım (GHI)

Ülkemizin matematik konumu, onu dünya genelinde güneş enerjisi açısından en avantajlı ülkelerden biri yapmaktadır. Ülke genelindeki bölgesel güneş enerjisi verileri incelendiğinde, neredeyse her bölgenin doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisinden faydalandığı görülmektedir. Ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.737 saat, günlük ortalama ise 7.5 saattir. Metrekareye düşen yıllık toplam güneş enerjisi 1.527 kWh, günlük ise 4.2 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Şekil 1.5.'te gösterilen güneş enerjisi atlasına göre, ülkenin güney bölgeleri, kuzeydoğuya kıyasla daha fazla güneş ışığı almaktadır, bu da güneyin kuzeye göre güneş enerjisi üretimi için daha uygun olduğunu göstermektedir (Taşova, 2018; Seven, 2024).



Şekil 1.5 Türkiye güneş enerjisi atlası

1.4. Tezin Kapsamı

Bu çalışmada, ülkemizin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan hidroelektrik santrallerinin göl rezervuar alanlarına yüzer solar panel kurumu için optimal yer seçimi konusu ele alınmıştır. Yapılan literatür çalışmasında bölge özelinde bu tür bir çalışmanın yapılmadığı belirlenmiştir. Bu çalışma ayrıca bölgeye yatırım yapılmak istenmesi durumunda bir ön çalışma niteliği taşımaktadır.

İkinci bölümde, yüzer güneş santrallerinin kurulumu, kurulum potansiyeli araştırmaları ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak karasal güneş santralleri ve yüzer güneş santralleri kurulumunda optimal seçimlerin belirlenmesi hedeflerinde, önceden yapılmış olan çalışmalardan bazıları belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, fotovoltaiik hücrenin verimini etkileyen sıcaklık kriteri ve karasal tip güneş santrallerinin en büyük dezavantajı durumundaki arazi temini kistasından hareketle yeni bir inovasyon çalışması sayılabilen yüzer tip güneş santralleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıca karasal tip güneş santrallerine kıyasla avantaj ve dezavantaj durumları ile yüzer güneş santrallerinin bileşenleri açıklanmıştır. Bu bölümde yüzer güneş santrallerinin kurulumu düşünülen Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde en uygun yerin seçilebilmesi için, yüzer güneş santrallerinin teknik, ekonomik ve sosyal alandaki kısıtları olan on kriter belirlenerek, bu kriterlerin ağırlık oranının belirlenmesi hedefi ile ÇKKV yöntemlerinden olan AHP, TOPSIS, MABAC, COMET ve SPOTIS yöntemleri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, katılımcıların doldurduğu anketlerin sonuçları AHP, TOPSIS, MABAC, COMET ve SPOTIS yöntemlerinde sunulan teknikler ile analiz edilerek, yüzer güneş santrali kurulum kısıtlarından en önemli seviyede bulunan kriter seçilmiştir. Ayrıca yüzer güneş santrali kurulumu düşünülen baraj bölgelerinin her biri için teknik, coğrafi ve meteorolojik veriler belirtilmiştir.

Son olarak beşinci bölümde, ÇKKV yöntemlerinde önem değeri en yüksek çıkan kriterler referans alınarak kurulum potansiyeli en yüksek baraj bölgeleri seçilmiştir. Yapılan çalışmanın literatüre katkısı aşağıda belirtilmiştir:

- Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan barajlarda kamu veya özel iştirakler ile yatırım yapılması düşünülmeleri durumunda bu çalışma bir ön araştırma niteliği taşımaktadır.

- Yüzer güneş santralleri başta olmak üzere, karasal güneş santrallerinin seçiminde de PV verim kısıtlarının göz önünde bulundurularak en iyi alternatifin bulunması için bir ön çalışma niteliği taşımaktadır.
- Yeni bir inovasyon çalışması sayılabilecek yüzer güneş santrallerinin kurulum ve kurulum potansiyeli araştırmalarında kaynak olarak kabul edilebilir.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yüzer güneş santralleri konusunda bilinen ilk proje 2007 yılında Japonya'nın Aichi kentinde kurulmuştur. Kurulan tesisin gücü 20 kWp gücünde olup, modül sıcaklığının PV sistem performansına etkisini incelemek amacıyla kurulmuştur. Ancak modülden enerji üretimi yapılarak enerji tedariği sağlama amacıyla ilk defa 2008 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 175 kWp gücünde kurulmuştur. Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan Far Niente şarap imalathanelerine enerji sağlamak amacıyla SPG Solar firması tarafından su rezervuarlarının üzerine PV panelleri yerleştirmekteki motivasyonları, asma yetiştirmek için kullanılan tarımsal arazinin bir kısmında güneş paneli kurulması yoluyla arazi üretim kaybı yaşamamaktır (Trapani & Santafe, 2013).

Literatür incelemelerinde, birbirinden farklı imalatlarda taş ocağı göllerinde, sulama kanallarında, atık havuzlarında, batık tip, yarı batık tip, tatlı su kanalları, açık deniz ve hibrit tipleri olmak üzere sayısız araştırma ve inceleme projesi bulunmaktadır (Patil et al.,2017). Fransa, Hindistan, Japonya, Güney Kore, Birleşik Krallık, Singapur, Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yüzer güneş santralleri konusunda araştırma ve uygulama projeleri devam etmektedir. Aynı zamanda Brezilya, Pakistan, İspanya, Yeni Zelanda gibi birçok ülkede hidroelektrik baraj rezervuarları ve su kanallarına FPV santrallerin kurulması potansiyeli ve elde edilebilecek enerji gücü araştırma projeleri yapılmaktadır (Sacramento et al., 2015; World Energy Council, 2021).

İspanya'da yapılan araştırmada, mevcut su yüzey alanlarının % 10 seviyelerinde FPV ile kapatılması durumunda, ülkenin elektrik ihtiyacının %31 seviyelerinde karşılanabileceği, mevcut su yüzey alanlarının tamamının kapatılması durumunda ise %80 oranında fosil kaynaklı elektrik üretiminin azalacağı ortaya konulmuştur (Lopez et al., 2022). Dünya çapında elektrik enerjisine erişim miktarının %54 ile en az olduğu Afrika kıtasında yapılan araştırmada, ortalama 2000 kWh/m²'nin üzerinde yüksek güneş ışınlamı olduğu tespit edilmiştir. Işınlam yönünden zengin konumda olan Afrika Kıtasında konuşlu bulunan 146 hidroelektrik santralin üretim engeli olmayan rezervuar alanlarına, %1den az bir oranının kapatılması durumunda, mevcut hidroelektrik santrallerin kurulu güç kapasitesinin iki katına çıkabileceğini ve elektrik üretiminin %58 oranında artarak yılda ilave 46,04 TWh enerji üretilebileceğini göstermektedir. Bu durumda su tasarrufu 743 milyon m³/yıl miktarına ulaşarak yıllık hidroelektrik üretiminin 170,64 GWh artması

mümkün olacaktır. %100 seviyesinde FPV ile kapatılması durumunda ise, 2922 GWh enerji üretimi olacağı tahmin edilmektedir (Sanchez et al., 2020).

Endonezya Batı Java Eyaletinde bulunan Çırata Gölü'nde, FPV sistemini ekonomik olarak analiz etmek amacıyla teknolojik cihazlardan yararlanarak bir araştırma yapılmıştır. Uzaktan algılama yöntemi ile yapılan araştırmalarda göl yüzeyinin yere göre yıl boyunca 8 °C civarında daha düşük sıcaklığa sahip olduğu ve bu sıcaklık sebebiyle FPV ve Karasal PV arasında tahmini % 0,61 oranında verim farkı hesaplanmıştır. Bu sıcaklık ve verim değerine bağlı olarak FPV, karasal PV'ye göre 3,37 Cent/kWh daha düşük elektrik maliyeti ve % 6,08 daha yüksek iç getiri oranı olduğu hesaplanmıştır (Sukarso&Kim, 2020). Asya kıtasının güneyinde yer alan, büyük bir nüfusa sahip ve gelişmekte olan Bangladeş, enerji üretimi için fosil yakıtlara bağımlı bir ülke konumundadır. Ancak yüksek maliyetler ve sınırlı arz nedeniyle fosil yakıtlar ülke ekonomisi üzerinde ek bir yük oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi sağlamak hedefinde olan Bangladeş'te, Rangamati bölgesi Chittagong Şehri sınırlarında bulunan, 230 MW gücündeki Kaptai Barajı'na yıllık üretimi 76.916 MWh olan 50 MW gücündeki FPV kurulması potansiyelini araştırma çalışmaları yapılmıştır. Yapılan araştırmalara göre mevcut hidroelektrik santral ile hibrit model oluşturacak şekilde yüzer güneş santrali kurulması durumunda elde edilen bulguların hesaplanması için bir simülasyon programı kurularak analizler tamamlanmıştır. Simülasyonda monokristal hücre yapısında 400 W güç çıkışına sahip, % 21,63 verim ile çalışan paneller kullanılarak analizler yapılmıştır. Simülasyona göre toplamda 777 km² rezervuar alanına sahip Kaptai Barajı'nın yalnızca 0,56 km²'lik kısmının yüzer güneş santrali ile kapatılması varsayılarak analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları, barajın coğrafi konumu ve mevsimsel koşullara bağlı olarak farklı zaman dilimlerinde birbirinden farklı verim oranları ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak FPV sisteminin veriminde azalma olmadığı, hatta araştırma başında öngörülen yıllık üretime yakın değerler ile üretim yaptığı ve 0,752 performans oranı ile hesap edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre hibrit sistemin kapasite faktörü % 33,64 olarak hesaplanarak hibrit sistemin uygulaması yönünde karar alınmıştır (Mehadi et al., 2021).

İtalya'nın Sicilya Bölgesi'nde bulunan beş baraj alanına FPV santrallerin kurulumu için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS kullanılarak, teknik, çevresel ve ekonomik kriterlerin ağırlık oranları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde San Giovanni barajı en uygun lokasyon olarak bulunmuştur (Grazia & Tina, 2024). Çin'de entegre yüzen fotovoltaik pompalı depolama güç (FPV-

PSP) sistemi için üç fazlı bir yer seçimi karar alma çerçevesi oluşturularak karmaşık hedef dört kritere ve on dokuz çalıştırılabilir alt kritere ayrılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden DAWA ve PROMETHEE-II yöntemleri kullanılarak uygun alan bulunmaya çalışılmıştır (Guo et al., 2021).

Ülkemizde, belli bir rezerv alanda yüzer güneş santrali kurulum potansiyeli ve teorik çalışmalar yapıldığı belirlenmiştir. Uygulama örneklerinden bir tanesi Büyükçekmece gölünde kurulan 90 kWp gücündeki yüzer güneş santralidir. 2017 yılında başlanan projenin amacı yüzer güneş santrallerinin tasarım, imalat, inşaat ve kurulum aşamalarını açıklamak ile beraber yüzer güneş santrallerinin taşıma konstrüksiyonlarının zorlu dalga boyu, dalga şiddeti, rüzgar hızı ve rüzgar şiddeti gibi zorlu koşullara dayanım gösterme durumunu araştırmak ve yüzer güneş santralinden üretilen enerji miktarını analiz etmektir. Gerçek hava koşulları altında yüzer güneş santrallerin konstrüksiyon parçalarından biri olan dubalara gerilme ve şekil değiştirme gibi testler yapılarak, sağlamlık ve zorlu hava şartlarına dayanma analizi yapılan 90 kWp gücündeki yüzer güneş santralinden belirtilen yıl içinde 5.189 kWp elektrik üretimi elde edilmiştir. Araştırma sonucunda ekolojik bir probleme rastlanmayan santralin alg üretiminde azaltıcı etkiye sahip olması, buharlaşmayı azaltması ve arazi işgal etmemesi hasebiyle yüzer güneş santrallerin kurulması tavsiye edilmektedir (Kaymak ve Şahin, 2021).

Ülkemiz Kayseri yakınlarında bulunan Yamula Barajı'na yüzer güneş santrali kurulması potansiyeli araştırma konusu olmuştur. Simülasyon programı ve seçilen panel ile invertör tipi ile yapılan analiz çalışmasında, rezervuar alanının %10 kadar kısmının yüzer güneş panelleri kapatılması durumunda, yüzer güneş santralinin 576,4 MW kurulu güç potansiyeli taşıdığı hesaplanmıştır. Ayrıca bu santralin yılda 802,4 GWh enerji üretimi ile ülkemiz enerji arz-talep dengesi için fayda sağlayacağı öngörülmüştür. Üretilen enerji sayesinde yılda 378.336,3 tCO₂ emisyon miktarının önlenmiş olacağı öngörülmektedir. (Dal, 2021)

Türkiye’de bulunan Van Gölü, Tuz Gölü ve Beyşehir göllerine yüzer güneş santrali kurulması için yer seçimi, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemi kullanılarak incelenmiştir. AHP yöntemi sonucunda en önemli kriter olarak, küresel yatay ışıyım (GHI) kriterinin belirlenmesi sonucunda, Beyşehir Gölü’nün yüzer güneş santrali kurulumu için en ideal seçim olduğu görülmüştür (Karipoğlu vd., 2024). Suudi Arabistan’ın kuzey ve kuzeybatı bölgelerinde PV santrali kurulumunun en uygun seçenek olduğu, AHP yöntemi ile yapılan detaylı bir maliyet-fayda analizinde ortaya konmuştur. Bu analizde, proje maliyetini düşürürken maksimum enerji verimini

sağlamak amacıyla teknik ve ekonomik faktörler kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek ele alınmıştır. (Garni & Awasthi, 2017).

İran’da PV santralleri kurmak için en uygun yerin tespit edilmesi araştırmasında, ekonomik ve coğrafi şartlar göz önünde bulundurularak AHP programı ile dünya yüzeyindeki güneş radyasyonunun değeri, ekonomik özellikler, teknik faktörler ve coğrafi hususlar dahil olmak üzere birçok kriter göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda, Fars, Sistan ve Belucistan eyaletlerinin PV kurulumu için en ideal yerler olarak seçilmesini sağlamıştır (Azizkhani et al., 2017). Etiyopya’da yüzer güneş santrali kurulumu için yüksek potansiyelli lokasyonların belirlenmesi amacıyla AHP yöntemi ve Arccis programı kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde Amhara bölgesinde sistemin kurulumunun en yüksek potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Bölgede bulunan barajlarda FPV kurulum ağırlık oranları Angereb % 63,83, Rib % 61,09 ve Koga % 57,20 olarak ortaya konulmuştur. (Nebey et al., 2020).

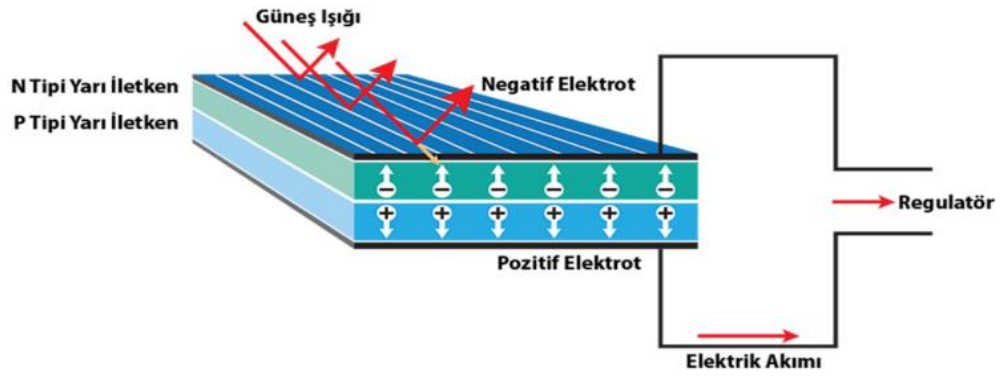
Türkiye’nin farklı bölgelerinde su rezervuarı bulunan sekiz adet hidroelektrik santralinde yüzer güneş santralleri kurulumu potansiyel araştırması yapılmıştır. AHP yöntemi ve OWA programları kullanılarak teknik, ekonomik ve sosyal anlamda tesis kurulması için en iyi seçenek bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, seçilen her sahanın ağırlık oranları birbirine yakın görünse de Aydın ilinde bulunan Kemer HES, yüzer güneş santrali kurmak için diğer alternatifler arasında en uygun görülen saha olarak seçilmiştir (Göllü, 2022). FPV projelerinin sürdürülebilir gelişimi, kurulacak FPV’lerin verimli olacağı yerin seçimi ve gelecekte kurulması düşünülen noktaların belirlenmesi amacıyla, yurtiçi ve yurtdışından birçok yayın incelenerek, araştırmacıların ve politika yapıcıların coğrafi bölgelerinin özelliklerini dikkate alarak 41 alt kriter ve 35 hariç tutma kriteri arasından kullanabilecekleri kriterleri seçecekleri FPV saha seçimi için bir yol haritası olma amacıyla, çok kriterli karar verme yöntemlerinden LAAW yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlık oranları hesaplanmıştır (Melek vd., 2024).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Güneş Pilleri ve Elektrik Enerjisi Üretimi

Fotovoltaik santraller PV etkisi ile çalışır. PV etkisi, güneş ışınımı kullanarak elektrik enerjisi üretme prensibidir. Bu etki ilk kez 1839 yılında Fransız bilim adamı Alexandre Edmond Becquerel tarafından gözlemlenmiştir. Bu prensibe göre güneş ışığından gelen fotonlar, yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarptığında, bu malzemelerin atomlarındaki elektronları uyarır. Bu uyarılmış elektronlar, yarı iletken malzemenin enerji seviyesini yükseltir. Bu durum, elektronların yarı iletken malzemenin iç yapısında serbestçe hareket etmelerine ve bir elektrik akımı oluşturmalarına olanak tanır. İlk tanımlandığı zamandan bu yana, elektrik üretmek için PV etkisini kullanan birçok teknik geliştirilmiştir. Bu etkiye bağlı olarak daha verimli enerji üretimi gerçekleştirmek için silikon, germanyum, selenyum, tellür vb. gibi çeşitli yarı iletken malzemeler denenmiştir. Çok sayıda bilim adamı ve laboratuvar tarafından PV etkisini kullanarak elektrik üretebilen çok sayıda bileşik geliştirilmiştir (Vadapalli and Mohd 2022).

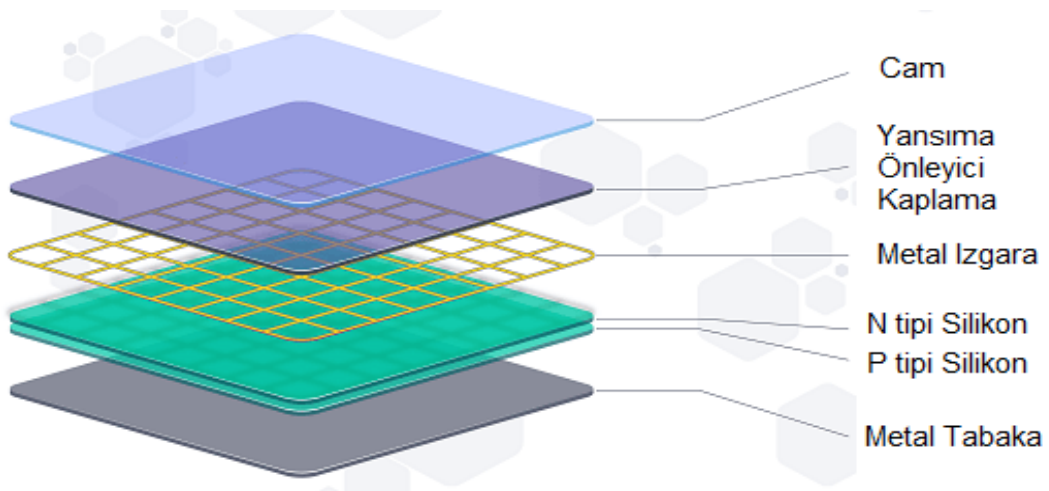
Fotovoltaik hücreler olarak da bilinen PV hücreleri, güneş ışığındaki fotonları elektronlara dönüştürerek doğrudan elektrik akımı üreten yarı iletken cihazlardır. P-tipi ve N-tipi olmak üzere iki farklı yarı iletken tipinden oluşan bir fotovoltaik hücre Şekil 3.1'de belirtildiği gibi güneş ışığına maruz kaldığında hücrede bir voltaj veya elektrik akımı oluşturan fotovoltaik etki meydana gelir. Bu iki tip yarı iletken birleştirildiğinde elektronlar pozitif P tarafına doğru akarken, delikler negatif N tarafına hareket ederler. Böylece bağlantı bölgesinde bir elektrik alanı oluşur. Bu alanın bir sonucu olarak, negatif yüklü parçacıklar bir yönde akar ve pozitif yüklü parçacıklar zıt yönde hareket eder.



Şekil 3.1 Güneş pili yapısı

3.2. Fotovoltaik Hücre ve Çeşitleri

PV hücrelerin üretim sürecinde, silisyum temel alınarak ve çeşitli doping yöntemleriyle yarı iletken özelliği kazandırılan bir yapı oluşturulur. Bu hücreler, optik geçirgenliği yüksek bir camla kaplanarak güneş ışığının daha verimli emilmesi sağlanır. Etilen vinil asetat (EVA) gibi bir encapsulant malzeme ile lamine edilerek dayanıklılıkları artırılır ve metal bir çerçeve içerisine yerleştirilerek güneş modülü haline getirilir. Hücrelerin arka yüzünde ise genellikle Tedlar adı verilen bir malzeme kullanılır. Tedlar, montajı tamamlanmış hücrenin alt kısmını oluşturur ve DC elektrik akımı için gerekli bağlantılar, bu katmanın arkasında yerleştirilen kablo kutusu içerisinde alınır (Grozdev, 2010). Şekil 3.2’de güneş hücresinin katmanları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Güneş hücresi katmanları

Güneş pilleri, yarı iletken malzemelerden üretilen ve güneş ışığındaki fotonları elektronlara dönüştürerek doğrudan elektrik akımı üreten cihazlardır. Genellikle silisyumdan üretilen bu hücreler, 100 cm² civarında alanlara ve 0.2-0.4 mm kalınlıklara sahip olacak şekilde üretilirler. Güneş pilleri, üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Güneş ışınımının şiddeti ve pilin verimi gibi faktörler, elde edilen elektrik enerji miktarını doğrudan etkiler. Güneş ışınımının şiddeti, birim alana düşen güneş enerjisi miktarı olarak ifade edilir. Deniz seviyesinde, bulutsuz bir günde bu değer yaklaşık 1000 W/m²'dir. Ancak, güneş ışınları atmosferden geçerken, hava kütlesi (AM) adı verilen bir etkiyle zayıflar. AM değeri arttıkça, güneş ışınımının şiddeti azalır. Bu durum, güneş pillerinin verimliliğini doğrudan etkiler. Güneş pillerinin verimliliği, güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürme oranıdır ve genellikle %5 ile %40 arasında değişir (Ardağ, 2012).

Güç çıkışının artırılması için çok sayıda fotovoltaiik hücrenin seri veya paralel bağlanması gerekmektedir. Fotovoltaiik sistemlerde gerilimin artırılması için hücreler seri bağlanırken, akım miktarının artırılması için paralel bağlanırlar. Çok sayıda hücrenin güç çıkışını arttırmak amacıyla bir yapıya monte edilerek seri veya paralel bağlanması sonucunda güneş panelleri elde edilir. Üretici firmaların kullanım amacına ve üretim metoduna göre farklı şekillerde olabilen güneş panelleri değişik güçlerde olacak şekilde üretilebileceği gibi monokristal, polikristal, esnek ve ince film hücre yapısında üretilmeleri mümkündür. Aynı zamanda üretilen bu panellerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Hücre tipine göre panel çeşitlerini kısaca aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

3.2.1. Monokristal paneller

Monokristal güneş panelleri yüksek derecelere ulaşabilen yüksek saflıkta silikonlardan üretilen panellerdir. Bundan dolayı monokristal yapıları olan paneller daha yüksek verimlilik sağlamaktadır. Performans olarak polikristal güneş panellerine göre %24'lere varan değerlerde performans gösterdikleri bilinmektedir. Verim oranlarının diğer panellere göre yüksek olmalarından dolayı uzay istasyonları, uydular ve ileri teknoloji ürünlerin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılırlar. Polikristal güneş panellerine göre maliyet açısından daha yüksek fiyatlarda temin edilmektedirler. Genel

olarak siyah renkte üretilen bu paneller, silikon çubuklar halinde oluşturulur ve çipler halinde kesilerek yapılır. Hücre tek bir kristalden oluştuğu için, elektrik akışı oluşturan elektronların hareket etmek için daha fazla alanı bulunmaktadır (İsos Enerji, 2024).

3.2.2. Polikristal paneller

Polikristal güneş panelleri silikondan yapılan panellerdir. Monokristal panellerden farklı olarak tek silikon kullanmak yerine, birçok silikon parçasının birlikte eritilerek üretilirler. Her hücrede çok sayıda kristal olduğu için elektronların hareket etme özgürlükleri daha azdır. Bu sebepten dolayı monokristal panellere göre daha düşük verime sahiptirler. Genel olarak verimleri % 11 - % 16 arasında değişkenlik gösteren polikristal paneller, mavi renk tonuna sahip olma eğilimi göstermekte olup monokristal panellere göre daha az maliyetle elde edilebilmektedirler (İsos Enerji, 2024).

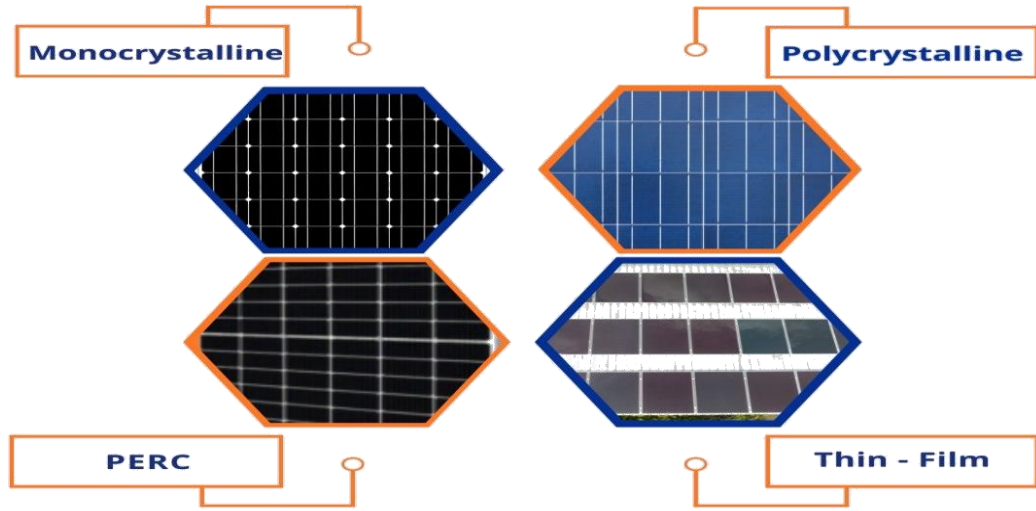
3.2.3. Esnek solar paneller

Esnek güneş panelleri, mevcut güneş panellerinden farklı olarak hafif ve esnek malzemelerden üretilen panellerdir. Esneme ve açılma oranı diğer panellere göre daha fazladır. % 50 ve daha az açı verilen yerlerde, teknelerde, elektrikli bisikletler gibi tasarımı önem arz eden tercihlerde kullanılır. Eğimli çatılar ve eğimli arazilerde normal güneş panellerinin montajı zor olabilmektedir. Panel verimini arttırmak ve güneş ışığından maksimum seviyede faydalanmak için tercih edilen panel türleridir. Esnek güneş panelleri, esneme özelliği yüksek olan Mono Perc hücreler ile üretilirler. Üretici firmanın üretim modeline göre korozyon, yaşlanma, asit yağmurları, UV ışınları, kirlenme ve kir tutmaya karşı dirençli olma özellikleri kazandırılabilir. Ortalama ömürleri 20 yıl olan bu panellerin verimi % 7 - % 15 değerleri arasında değişmektedir (Minas Enerji, 2024).

3.2.4. İnce film paneller

Bu paneller, esnek olacak kadar çok ince tabakalardan oluşan panellerdir. Bu paneller montaj için çerçeveye ihtiyaç duymaz; bu nedenle diğer panellere göre hafif ve kurulumu daha kolaydır. 60, 72 ve 96 hücre sayısında standart boyutlarda gelen kristal silikon panellerin aksine, ince film paneller belirli ihtiyaçları karşılamak için farklı

boyutlarda üretilirler. Kadmiyum (CdTe), amorf silikon (a-Si) ve bakır indiyum galium selenit (CIGS) gibi malzemelerden üretilen bu paneller, monokristal ve polikristal panellere göre daha az verimli olup verim aralıkları %9 - %30 bantlarında olmaktadır. Ancak daha düşük bir karbon ayak izine sahiptirler ve diğer panellere göre daha ucuzdurlar (Solar Reviews, 2024). Şekil 3.3.'te güneş hücreleri çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Güneş hücresi çeşitleri

3.3. PV Panellerin Verimini Azaltan Faktörler

Fotovoltaik sistem verimini azaltan çeşitli faktörler bulunmaktadır. Panellerin konumlandığı yerin coğrafi özellikleri, temizleme sıklığı, panellerin güneş ışınlam süresi, gölgeye maruz kalma süresi ve malzeme kalitesinden kaynaklanan problemler panel veriminin azalmasına sebebiyet vermektedir. Fotovoltaik sistem performansını etkileyen faktörlerin çoğu enerji üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Araştırmalar sonucunda; Şanlıurfa ilimizin güneş ışınlam şiddeti Konya ilimizden daha yüksek seviyede olmasına rağmen, çevre hava sıcaklığından dolayı Konya ilinde bulunan aynı panelin daha verimli çalıştığı görülmüştür. Aynı şekilde, panelin maruz kaldığı rüzgar hızı ve panelin gün ışığına göre konumlanma hataları verim miktarını ciddi oranda etkileyen etmenlerdir. (Arslanoğlu ve Yiğit, 2021). Santralin imalat sürecinden önce verimi etkileyebilecek kriterlerin dikkate alınarak, verim kaybına yol açabilecek teknik hataların minimize edilmesi ve iyi bir işletme hizmetinin sunulması panel çıkış verimini arttıracaktır. Kurulum düşünülen konumun coğrafi ve meteorolojik analizinin yapılması, dikkatli bir tasarım süreci geçirilmesi ve malzeme seçiminde kaliteli malzeme seçimi yapılması

gerekmektedir. Bu üç etkenden herhangi birinin eksik yapılması verimi etkileyeceğinden, boşa giden bir mali yük yaratma ihtimali doğmaktadır (Selbaş ve Çetin, 2022).

Bu kayıplar üç ana başlık altında toplanabilir;

1- Çevresel Kayıplar

- a. Sıcaklık
- b. Tozlanma
- c. Karlanma
- d. Nem
- e. Rüzgar hızı

2- Tasarım Kayıpları

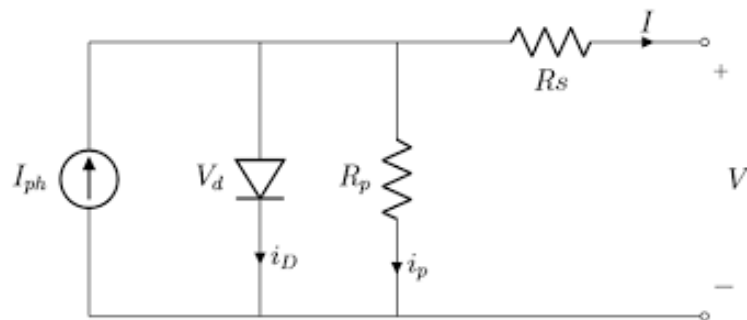
- a. Gölgeleme
- b. AC ve DC kablo kayıpları
- c. Kalitesiz malzeme seçimi
- d. Albedo Etkisi (Yüzeyin güneş ışığını yansıtma etkisi)

3- Malzeme Kayıpları

- a. Paneller arası uyumsuzluklar
- b. Evirici kayıpları

3.3.1. PV panellerde sıcaklığın panel verimine etkisi

Güneş pili hücreleri genellikle tek diyotlu ve çift diyotlu elektriksel devrelerle modellenmektedir. Şekil 3.4.'te 0 °C ile 75 °C arasındaki sıcaklık değerlerinde bir PV güneş pili hücresinin tek diyota dayalı I-V karakteristik modeli verilmiştir. Nominal şartlar olarak kabul edilen metrekareye 1000 W ışıınım ve 25°C kristal sıcaklığında, fotovoltaiik hücrenin elektriksel değerleri; santimetrekareye kısa devre akım yoğunluğu (I_{sc}) 30–40 mA ve açık devre gerilimi (U_{oc}) ise 0,5–0,6 V aralığında değişmektedir (Köse, 2018).



Şekil 3.4 Tek diyotlu fotovoltaiik hücre model devresi

Bir PV hücresinin performansının araştırılması, yüzey çalışma sıcaklığının PV enerji dönüşüm süreci sırasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Yüksek ortam sıcaklıkları ve yüksek PV panel yüzey çalışma sıcaklıkları, PV panelinin aşırı ısınmasına neden olur ve bu da verimliliği radikal bir şekilde azaltır.

P-V karakteristikleri, çıkış gücü ile çıkış voltajı arasındaki ilişkidir; güneş ışınımı E ve modül sıcaklığı T_m sabit tutulur.

Sıcaklığın güneş panelinin elektriksel verimliliği üzerindeki etkisi aşağıdaki denklem (1.1) kullanılarak analiz edilebilir:

$$\eta_{PV} = \eta_{TR} [1 - \beta_R (T_C - T_R) + \gamma \log_{10} I_{PV}] \quad (1.1)$$

Burada; η_{PV} , referans hücre sıcaklığında ölçülen PV modül verimliliği, T_R (25 °C), β_R , hücre verimliliği için sıcaklık katsayısıdır (tipik olarak 0,004–0,005/°C), I_{PV} , nominal çalışma sıcaklığında PV modülüne düşen ortalama saatlik ışınım değeri, NT . T_C , PV modül sıcaklığı, γ , çoğunlukla sıfır olduğu varsayılan hücre verimliliği için radyasyon yoğunluk katsayısıdır. γ denklemde yerine yazılarak özetlenirse:

$$\eta_{PV} = \eta_{TR} [1 - \beta_R (T_C - T_R)] \quad (1.2)$$

Ortam sıcaklığı T_A , sırasıyla iki sıcaklık terimine eklenerek ve çıkarılarak, aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\eta_{PV} = \eta_{TR} \left[1 - 0,9\beta \left(\frac{I_{PV}}{I_{PV,NT}} \right) (T_{C,NT} - T_{A,NT}) - \beta (T_A - T_C) \right] \quad (1.3)$$

$T_{C,NT}$ (tipik olarak 45 °C) ve $T_{A,NT}$ (tipik olarak 20 °C) sırasıyla hücre ve ortam sıcaklıklarıdır. Denklem (1.3) kullanıldığında $T_{A,NT}$ arttıkça verimin azaldığı açıkça görülebilir (Siecker et al., 2017). Yapılan hesaplama sonucunda ortam sıcaklığı ile panel veriminin ters orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Ortam sıcaklığının artışına bağlı olarak panel çıkış verimi azalmaktadır.

3.4. Yüzer Güneş Santralleri

Karasal Güneş Santrallerinin avantajlarının yanında, çevresel, tasarım ve malzeme kayıplarının olması dezavantaj oluşturmaktadır. Çevresel kayıplar içerisinde değerlendirilen sıcaklık kriteri ve arazi gereksinim ihtiyacını minimize etmek için Yüzer Güneş Santralleri fikri ortaya çıkmıştır. Atıl veya kullanılmayan alan olarak değerlendirilen rezervuar alanları, göl yüzeyleri, açık denizler, okyanuslar, su kanalları ve baraj gölet alanları gibi kullanım dışı kalan alanlarda kurulmaları ile arazi tahsis ve arazi kiralaması gerekliliklerini ortadan kaldırmaktadır (Yousuf et al., 2020). Aynı zamanda, su alanlarına kurulan panellerin sıcaklık etkisinin azaltılması ile geleneksel PV sistemlere göre daha yüksek enerji çıkışı ve verimlilik sunma avantajları bulunmaktadır (Essak & Ghosh, 2022).

Kısıtlı fosil yakıt kaynakları ve artan enerji talebi, bedelsiz ve sınırsız enerji kaynağı olan, çevre dostu ve çevre için sürdürülebilir güneş enerjisine odaklanmaktadır. Ancak karada güneş enerjisi projelerinin yürütülmesi sırasında, hükümet ve proje ortakları arazi mevcudiyeti, arazi edinimi, trafo merkezi kapasiteleri, tahsis işlemleri ve mevcut kullanılan arazilerin tahliye işlemleri gibi sorunlarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bu ve benzeri sorunlar projelerin tamamlanması için engel teşkil etmektedir. Ayrıca hükümetlerin ülkedeki güneş radyasyonu verilerini dikkate alarak öngördüğü yerlerin çoğu sıcak ve kurak bölgelerdir. Bu konumlarda radyasyon daha yüksek görünse de, güneş panellerinin ısınması ve güneş pillerinin yüzeyinin daha yüksek sıcaklığından dolayı bu noktaların enerji verimi daha düşüktür. Bu sorunların üstesinden gelmek için, genellikle devlete ait olan kanal başları, su kütleleri, göller, baraj durgun suları ve rezervuarlar gibi sular üzerine güneş enerjisi santrallerinin kurulması olan yenilikçi bir fikir ortaya çıkmıştır (Patil et al., 2017). Şekil 3.5.' te yüzer güneş santrali örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Yüzer güneş santrali örneği

3.4.1. Yüzer PV santrallerin avantajları

Geleneksel PV sistemlerinin en büyük dezavantajlarından bir tanesi arazi gereksinimidir. Çoğu ülkede kamuya ait alanların yasal mevzuatlar çerçevesinde santraller için tahsis edilmesi, kamuya ait olmayan arazilerin alım satım işlemleri ve çevre düzenlemeleri santral kurulmasını zorlaştırmakta ve proje maliyetlerini arttırmaktadır. Enerji, ülkemiz ve çoğu ülkenin liberal ekonomi pazarında emtia olarak alım satımı yapılan bir üründür. Doğal olarak enerji üretim tesislerinin kurulum aşamasından üretim aşamasına kadar harcanan maliyetlerin azaltılması, enerji satış ve tedarikinin daha uygun fiyatlarda yapılmasını sağlamış olacaktır. Arazi gereksinimi ve ormansızlaştırma gibi olumsuz etkilerin bertaraf edilmesi adına, su kanalları, göller, deniz ve hidroelektrik santrallerin su rezervuarları gibi alanlara taşınabilir sistem veya doğrudan su yüzeyine bırakılması gibi yöntemler ile uygulanmaya başlayan yenilikçi bir fikir olarak Yüzer Güneş Santralleri (FPV) kavramı ortaya çıkmıştır. Yüzer Güneş Santrallerinin kurulması ile arazi tahsisi, yaşam alanı kaybı, ormansızlaştırma ve verimli tarım arazilerinin kaybı engellenmiş veya bu kayıplar asgari seviyeye indirilmiş olacaktır (Zahedi et al., 2021). Yüzer Güneş Santralleri aşağıda belirtilen noktalarda avantajlar sunmaktadır;

- Sıcaklık etkisinin azaltılması ile geleneksel PV sistemlere göre daha yüksek enerji çıkışı ve verimlilik sunarlar.
- Sıfır arazi gereksinimi; Arazi, tarım amaçlı ve şehirler ve büyük kasabalar gibi elektrik ihtiyacının yoğun olduğu bölgelerde değerli gayrimenkul olabilir.

- Tarihsel olarak bakıldığında, yerleşim yerleri genel olarak su kaynaklarına ve beşeri yaşayış potansiyeline uygun coğrafi konumlarda oluşmaktadır. Yüzer güneş santrallerinin kurulmasıyla enerji ihtiyacı karşılanabilecek lokasyonlarda şehirleşme talebinin gelişmesi muhtemeldir.
- FPV teknolojileri için daha yüksek güç yoğunlukları mevcuttur, çünkü modül aralığında daha az kısıtlama vardır.
- Su gövdesi üstünde taşınan veya suya belli bir mesafede bulunan yüzer güneş santrallerinde sıcaklığın etkisiyle artan verimden kaynaklı olarak, karasal tip PV santrallere göre daha az panel sayısı ile aynı oranda çıkış gücü verebilmektedir. Çıkış gücünün analiz edilmesi ve çıkış gücü izleme programları ile kontrol altında tutulma mekanizmaları karasal PV'lere göre daha kolaydır.
- Suyun yakın olması nedeniyle soğutma perdesi ve temizleme mekanizmalarının uygulanması daha kolay ve ucuzdur.
- Teknoloji, su yüzeyinin bir bölümünü kapladığından, su buharlaşma kayıplarını azaltma avantajı sağlar; bu, kurak veya yarı kurak yerlerde, sulama rezervuarlarında ve hidroelektrik rezervuarlarda elverişlidir (Vidovic et al., 2023).
- Hidroelektrik santraller yağış miktarının arttığı kış mevsiminde rezervuar alanlarında biriken su miktarının artması için dönemsel üretim modeli uygularlar. Belirtilen zaman diliminde barajlar devre dışı kaldığı için arz-talep dengesizliği oluşmakta ve özellikle enerji üretim kurulu gücü sayısı az olan ülkeler, yılın bu zamanlarında zor durumda kalmaktadır. Yüzer güneş santralleri ile hidroelektrik santralin hibrit modelde çalıştırılması durumunda, hidroelektrik üretimin olmadığı zaman dilimlerinde yüzer santrallerden elde edilen enerjinin şebekeye verilmesi arz-talep dengesine olumlu katkı sağlamış olacaktır (Essak & Ghosh, 2022).
- Su yüzeyinin kaplanması, ışık geçişini engelleyerek zararlı alglerin fotosentez yapmasını zorlaştırır ve böylece bu alglerin aşırı çoğalmasını önleyebilir (Friel et al., 2019).
- Yere monteli PV sistemleri için devam eden araştırmalar, albedo (yüzeyden yansıyan ışınım miktarı) etkisinin daha yüksek ortam hava sıcaklıklarına ve olumsuz çevresel sonuçlara yol açtığını belirtmektedir. Albedo etkisi, yere monte PV sisteminin kurulduğu yüzey yansıtıcılığına, yerden yüksekliğine ve eğim açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yere monte PV sistemlerinde bu etkiyi

azaltmak ve etkiye sebep olan ışın yansımalarının değerlendirilmesi için bifacial (çift yüzlü) güneş panelleri üretilmekte ve verim miktarını %20- %40 değerlerine varan artışlar elde edilmektedir. Suyun yansıması düşük olmasına rağmen (< %10), dalgalı veya hafif dalgalı bir su yüzeyinin albedo etkisi yüksek olabilir. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar çift yüzeyli FPV'nin, tek yüzeyli FPV'ye kıyasla % 13,5 değerlerinde daha fazla enerji üretilebildiğini göstermiştir. 3 – 4 °C daha soğuk olan tek yüzeyli FPV'ler, yerdeki PV dizilerine kıyasla daha iyi verime sahip olacaktır (Khan et al., 2021).

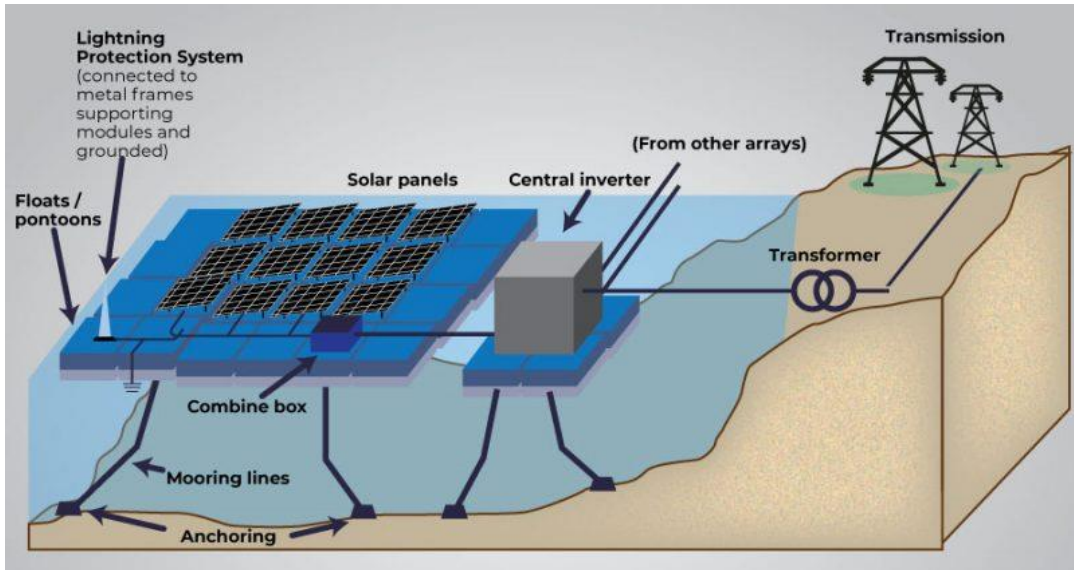
3.4.2. Yüzer PV santrallerin dezavantajları

- Maliyet ; Karasal tip PV santrallere göre yaklaşık % 4 - % 8 arası maliyetli bir yapıdır (Muhammad et al., 2021).
- Nem ; Su üzerinde veya suya yakın bir noktada konumlanan paneller için nem büyük bir dezavantajdır. Modül sıcaklığının artmasına neden olarak modülün performansını düşürebilir (Khan et al., 2021).
- Su Kalitesi; Yüzer PV' lerin su kalitesi üzerindeki etkisine ilişkin çok az araştırma olmasına ve araştırma sonuçlarında buharlaşma miktarında azalma ve zararlı alg oluşumunu sınırladığı için olumsuz etki görülmesi de, su kalitesi ile alakalı yeterince araştırma yapılmamış olması konu hakkında araştırma boşluğu oluşturmaktadır (Yang et al., 2022).
- Korozyon; Açık deniz, tuzlu su havuzları ve rezerv alanlarında kurulan FPV santrallerinin, tuzlu sudan ve tuzlu havadan kaynaklı olarak, korozyon etkisini bertaraf edebilecek malzemelerden üretilmesi gerekir (Khan et al., 2021).
- Fiziki tahribatlar; açık deniz tipi santrallerde panellerin dayanması gereken dalgalar, akıntılar, gelgitler, rüzgarlar gibi olumsuzluk durumlarına karşı korunaklı yapıda olmaları gerekmektedir (Essak & Ghosh, 2022).
- Kirlenme: Yüzer güneş santrallerinde karasal PV tiplerine göre suya yakın olduğu için kirlenme seviyesi daha düşüktür. Ancak özellikle açık deniz tipi ve göl sistemlerine kurulan yüzer güneş santrallerinde kuş tünemesine bağlı olarak kuş dışkısı ile kirlenme görülmektedir. Kuşların uçuş rotası

üzerinde konumlanacak paneller ve açık denizde konmaya müsait durumdaki panellerin kenarlarına konmayı engellemek için kuşkonmaz kullanılması gerekecektir (Anbarasu& Kumar, 2022).

3.5. Yüzer PV Sistemi Bileşenleri

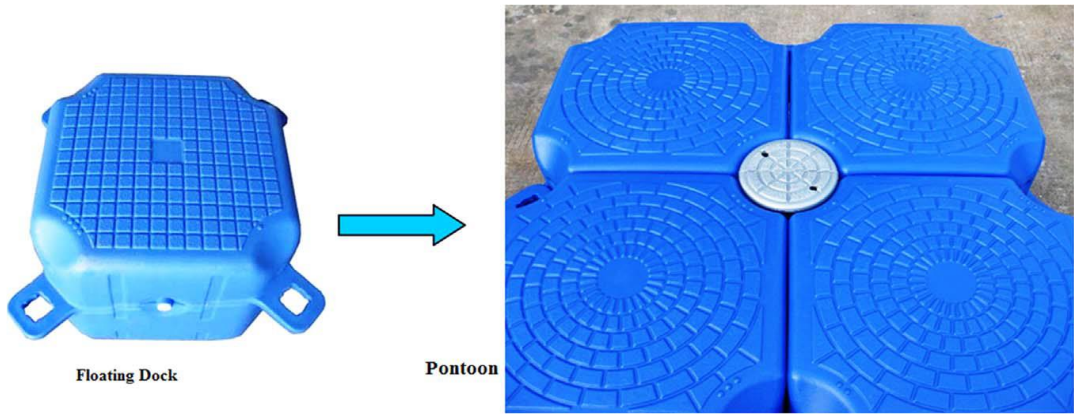
FPV sistem verimini etkileyen kayıplar; çevresel kayıplar, tasarım kayıpları ve malzeme kayıplarıdır. Projenin tasarım ve uygulama aşamasında seçilen panel tipi, panel verimi, eğim açısı gibi parametreler tasarlanan projenin başarılı veya başarısız bir sonuç vermesini sağlayacaktır. Malzeme seçiminde proje gücüne haiz seçilen şalt malzemenin teknik ve dinamik kalitesi sistem verimini etkileyecektir. Yüzer güneş santrali sisteminin uzun ömürlü olarak kullanılması, sistem güvenilirliğinin sağlanması ve kurulan santralin verimini arttırmak için, Şekil 3.6’da bileşenleri gösterilen yüzer güneş santralinin her bir bileşeninin tasarlanan projeye uygun ve kaliteli malzemeden seçilerek sistemin kurulması tavsiye edilmektedir. Genel olarak Yüzer Güneş Santralleri, Şekil 3.6.’da gösterildiği üzere, dubalar, şamandıralar, bağlama sistemleri, PV modülleri, kablo ve konnektör bileşenlerinden meydana gelir.



Şekil 3.6 Yüzer güneş santrali bileşenleri

3.5.1. Duba

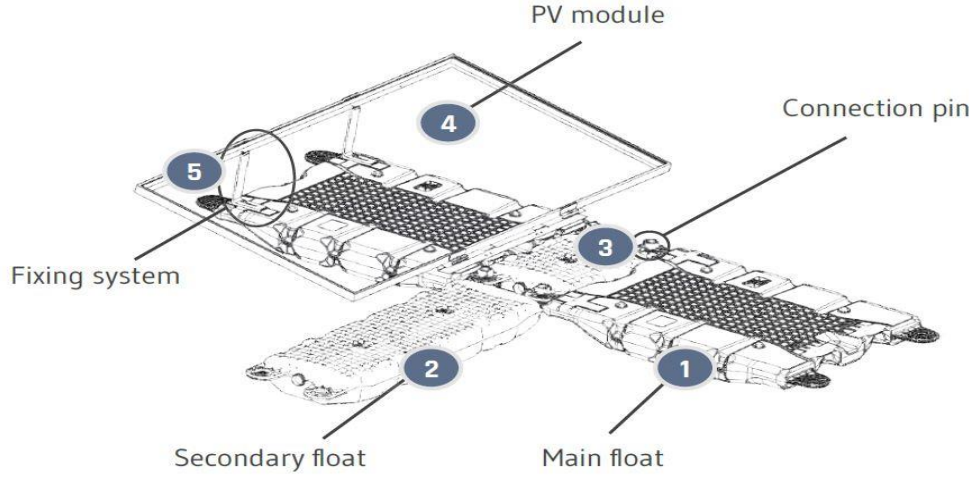
Duba, ağır bir yük altında olduğu kadar kendi başına da yüzebilecek kadar kaldırma kuvvetine sahip yüzdürme aracıdır. Taşıma noktasında güçlü ve korozyona karşı korumalı olan High Density Polyethylene (HDPE) malzemeden yapılmakta olan dubaların açık deniz ve göl sisteminde kurulan FPV'ler için zorlu hava şartlarına dayanıklı olarak üretilmesi, santrallerin uzun ömürlü olması ve sistem güvenilirliği için gereklidir. Şekil 3.7' de bir firma tarafından yüzer güneş santralleri için özel olarak üretilen bir duba örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Özel üretim duba örneği

3.5.2. Şamandıralar veya taşıma sistemleri

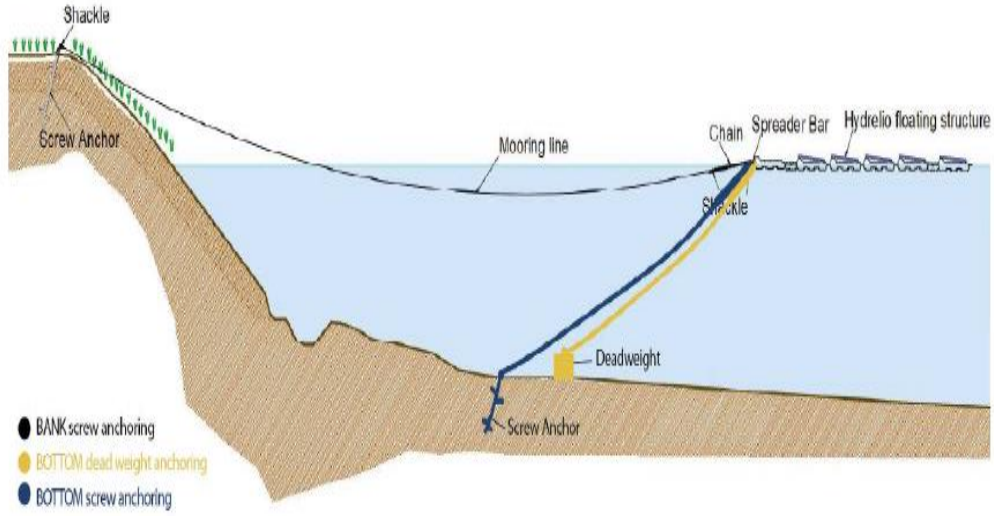
Etkili kaldırma kuvveti/kendi ağırlığı oranına sahip çok sayıda plastik içi boş şamandıra tekrar tekrar birleşerek dev bir duba oluşturur. İhtiyaca ve yer durumuna göre uygun sayıda dubanın seri veya paralel kombinasyon oluşturması ile taşıma platformları oluşturabileceği gibi, yüzer güneş santralleri için özel olarak imal edilen dubaların birbirine geçirilmesi ile FPV taşıma sistemi yapılabilir. Şamandıralar tipik olarak çekme mukavemeti, bakım gerektirmemesi, UV ve korozyon direnciyle bilinen HDPE'den yapılır. Yüzer platformun yapımında cam elyaf takviyeli plastik (GRP) de kullanılabilir. HDPE, yakıt depoları, süt şişeleri ve su borularının imalatında yaygın olarak kullanılır ve aynı zamanda geri dönüştürülebilir. Şekil 3.8' de bir firma tarafından yüzer güneş santralleri için özel olarak üretilen bir taşıma platformu gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Özel üretim taşıma sistemi örneği

3.5.3. Bağlama sistemi

Bağlama sistemi genellikle sabitlenebilecek herhangi bir kalıcı yapıyı ifade eder. Örnekler arasında rıhtımlar, iskeleler, demirleme şamandıraları ve bağlama şamandıraları sayılabilir. Yüzen güneş enerjisi sistemi durumunda, bağlama sistemi panelleri aynı konumda tutar ve onların dönmesini veya uçup gitmesini engellemek için kullanılır. Derin sularda bağlama sisteminin kurulumu zorlu ve pahalı olabilir. Şekil 3.9’da özel bir imalat ile yapılan bağlantı çeşitlerinde görüldüğü gibi yüzer platform için bağlama sistemi, su kenarında kurulan gömülü veya sabit bir yapıya bağlanmış ankraj sistemine bağlanabilen ve her köşeden bağlanabilen naylon tel veya çelik halat sapanlarla yapılabilir. Deniz tipi FPV’lerde hareketi engellemek için çapalama sistemi veya batık ağırlık ankrajları kullanılabilir.



Şekil 3.9 Özel üretim bağlama sistemi örneği

3.5.4. Solar PV modülü

FPV sistemlerinde genel olarak standart kristal güneş PV modelleri kullanılmıştır. Ancak tuzlu su yüzeylerine daha fazla proje yapılarak, uzun süreli tuz sisine maruz kalmaya karşı özel olarak üretilmiş modüllere ihtiyaç duyulmaktadır. Açık deniz ve göl sistemlerine kurulan FPV'lerin zorlu şartlara karşı performans gösterirken, panellerin metal kenarlıklarının deforme olmaları hatta kırılmaları mümkün olabilmektedir. Bu nedenle alüminyum çerçevelere ve montaj parçalarına alternatif olarak polimerden yapılmış çerçevelere ihtiyaç duyulmaktadır (Sahu et al., 2016).

3.5.5. Kablolar ve konnektörler

Yüzer güneş santrallerinde üretilen elektrik enerjisi bağlantı kutularında toplanarak veya birden fazla bağlantı kutusunun bağlantısı yapılarak, kurulan sistemin izin verdiği güce haiz olarak invertörlere çekilmektedir. FPV uygulama projelerinde genel olarak kablolar suyun üstünde kurulan taşıma sistemleri kullanılarak iletilmektedir. Elektriksel bileşenler genel olarak su altında olmasa da, FPV projelerinde izolasyon ve yalıtım seviyeleri derecelendirilmiş kablolar ve su geçirmez IP67 bağlantı kutuları kullanılması gerekmektedir. Projelerde invertör ve enerji depolama sistemleri sudan uzak

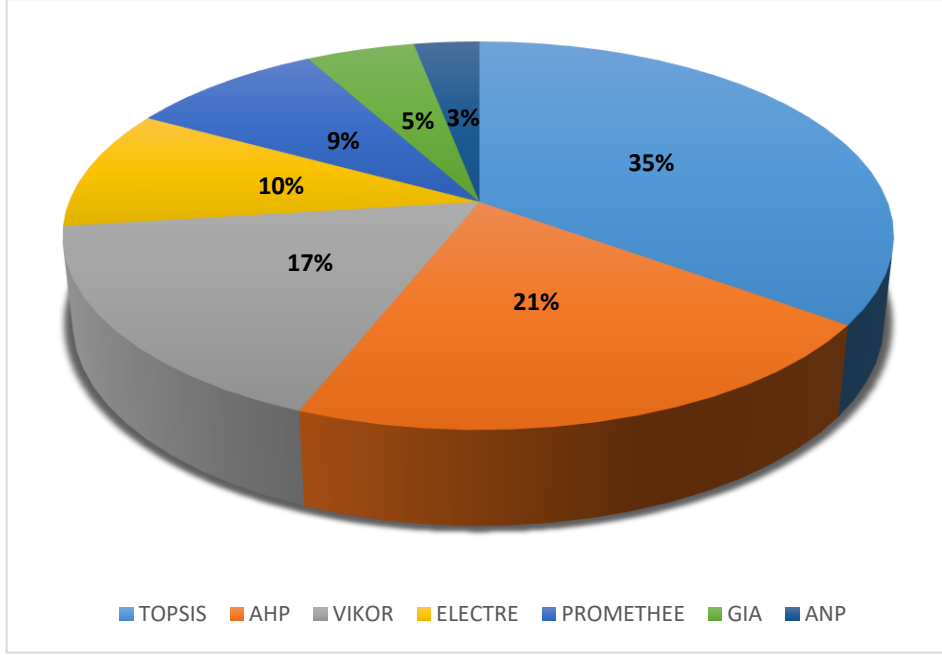
karasal bir noktaya konulması veya suya karşı izolasyon seviyesinin iyi durumda olduğu sistemler tasarlanarak içine konulması gerekmektedir (Sahu et al., 2016).

3.6. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV- MCDM)

Günümüzün hızla değişen ve belirsizleşen dünyasında, artan rekabet ve geleceğe dair belirsizlikler, bireylerin ve kurumların karar verme süreçlerini daha karmaşık hale getirmektedir. Teknolojik gelişmeler ve bilgi patlamasıyla birlikte, karar vericiler artık sadece kişisel deneyim ve sezgilere değil, aynı zamanda sayısal veriler, farklı disiplinlerden gelen bilgiler ve geleceğe yönelik tahminlere dayalı karmaşık değerlendirmeler yapmak zorundadır. Bu durum, karar verme süreçlerini hem daha zorlu hem de daha kapsamlı hale getirmiştir (Arslankaya ve Göraltay, 2019).

Çok kriterli karar verme problemleri, birden fazla çelişen kriterin var olduğu durumlarda, bu kriterlerin bir araya getirilerek en iyi çözüme ulaşmayı amaçlayan karar verme yöntemleridir. Bu problemlerin çözümünde en uygun yöntem belirlenirken, karar verici problemin yapısına ve sürecin özelliklerine bakmalıdır (Dalbudak ve Rençber, 2022).

Karar analizi yazılımları, karar verme problemlerini modellemek, çözmek ve sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan, algoritma tabanlı araçlardır. Bu araçlar, karar ağaçları, Bayes ağları, analitik hiyerarşi süreci gibi çeşitli karar verme yöntemlerini destekleyerek, karmaşık karar problemlerinin çözümünde önemli bir rol oynarlar. Karar verme problemlerini çözmek için kullanılan paket programlar oldukça çeşitlidir. Bunlar arasında, analitik hiyerarşi süreci (AHP) için Team Expert Choice, çok kriterli karar verme yöntemleri için ELECTRE ve TOPSIS, risk analizi için Crystal Ball gibi birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlar, karar vericilere karar verme süreçlerini modelleme, analiz etme ve en uygun çözümü seçme imkanı sunarak, daha etkili ve verimli kararlar alınmasına yardımcı olurlar (Ersöz ve Kabak, 2010). 2006-2020 yılları arasında yapılan 47 adet çalışmanın kapsamlı bir incelemesi, ÇKKV yöntemlerinin uygulama alanlarının genişliğini ortaya koymuştur. Aynı zamanda bu yöntemlerin genellikle belirli sektörler veya disiplinler üzerine odaklandığını ve yabancı literatürün bu alanda daha baskın olduğunu göstermiştir. Çalışmaların büyük bir kısmı, bulanık küme teorisi ve klasik karar verme yöntemlerini birleştirerek karmaşık problemlere çözümler üretmeyi hedeflemiştir (Dalbudak ve Rençber, 2022).



Şekil 3.10 ÇKKV yöntemleri uygulama oranı

2006-2020 yılları arasında gerçekleştirilen çok kriterli karar verme çalışmaları Şekil 3.10’ da verilen pasta grafiğinde gösterilmiştir. Verilen grafik incelendiğinde, TOPSIS, AHP, VIKOR ve ELECTRE yöntemlerinin doğruluk oranı ve uygulama sıklığı bakımından diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmaktadır. (Dalbudak ve Rençber, 2022). Yapılan literatür taraması sonuçlarına dayanarak, bu çalışmada TOPSIS, MABAC, COMET, SPOTIS ve AHP gibi doğruluk oranı yüksek olduğu belirlenen çok kriterli karar verme yöntemleri ile detaylı bir analiz gerçekleştirilecektir.

3.6.1. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

TOPSIS, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş olup, karar vericinin belirlediği kriterleri dikkate alarak en iyi sonucu belirlemeye çalışır. Bu yöntem, bir alternatifin en iyi çözüme (ideal çözüm) olan yakınlığını ve en kötü çözüme (negatif ideal çözüm) olan uzaklığını belirler. Her bir alternatif, x_{ij} ile gösterilen değerlere göre değerlendirilir. Denklem 1’de sunulan i , alternatifleri j ise kriterleri ifade eder. Öncelikle alternatiflerin değerleri normalize edilir. Böylece her alternatifin farklı ölçü birimlerine sahip kriterler açısından kıyaslanabilir olmasını sağlamaktadır. Normalizasyon formülü (3.1) nolu denklemde verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3.1)$$

Burada r_{ij} , normalize edilmiş değer, m ise alternatif sayısıdır. r_{ij} hesaplandıktan sonra her bir kriterin önem derecesine göre ağırlıklandırılmış normalize matris denklemi (3.2) oluşturulur.

$$v_{ij} = w_i \cdot r_{ij} \quad (3.2)$$

Burada r_{ij} normalizasyon matrisi, w_i ise ağırlık matrisi olarak tanımlanır. v_{ij} matrisi, ideal ve negatif ideal çözümün belirlenmesi için önemlidir. İdeal çözüm (A^+) ve negatif ideal çözüm (A^-) Denklem (3.3) ve (3.4) ile tanımlanır.

$$A^+ = (\max(v_{ij})(\text{benefit criteria}), \min(v_{ij})(\text{cost criteria})) \quad (3.3)$$

$$A^- = (\max(v_{ij})(\text{benefit criteria}), \min(v_{ij})(\text{cost criteria}))$$

Her alternatifin ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları Öklidyen mesafe ile hesaplanır.

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (3.4)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2}$$

Burada S_i^+ , i . alternatifin ideal çözüme olan uzaklığı, S_i^- ise negatif ideal çözüme olan uzaklığıdır. Alternatiflerin göreceli yakınlığı ise Denklem (3.5)'e göre hesaplanır: C_i değeri 0 ile 1 arasında değişir ve en yüksek değere sahip değer en iyi tercih olarak kabul edilir. (Ustasüleyman, 2009)

$$C_i = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad (3.5)$$

3.6.2 MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison)

2015 yılında Pamučar vd. tarafından önerilen MABAC yöntemi, diğer MCDM yöntemlerine benzer şekilde, alternatiflerin farklı kriterlere göre değerlendirilmesini sağlar. Ancak, MABAC'ın temel farkı, alternatiflerin sınır yaklaşıklık alanı (border approximation area) üzerinden değerlendiriliyor olmasıdır. Bu yöntemde, alternatifler $A_1, A_2, \dots, A_m$ olarak kriterler ise $C_1, C_2, \dots, C_n$ olarak tanımlanır ve her alternatif için kriterlerin bir değeri olur.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i & \cdots & x_{ij} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

x_{ij} teriminde, i alternatifi, j ise kriteri ifade eder. MABAC yönteminde normalize edilmiş karar matrisi ve ağırlıklı karar matrisi Denklem (3.6)'da gösterildiği gibi bulunur. v_{ij} ağırlıklandırılmış matris hesaplandıktan sonra sınır yaklaşıklık matrisi G_j için aşağıdaki denklem (3.7) kullanılır.

$$G_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_{ij} \quad (3.7)$$

Her alternatif için sınır yaklaşıklık alanı ile ilgili performansı hesaplanır: Bu performans göstergesi, alternatiflerin ne kadar iyi olduğunu göstermek için kullanılır.

$$Q_{ij} = v_{ij} - G_j \quad (3.8)$$

Denklem (3.8)'de gösterilen Q_{ij} değerleri toplandığında, her alternatif için bir toplam puan elde edilir ve alternatifler sıralanır. En yüksek S_i puanına sahip olan alternatif, en iyi alternatif olarak seçilir. Bu durum Denklem (3.9) ile gösterilir (Demirtaş, 2022).

$$S_i = \sum_{j=1}^n Q_{ij} \quad (3.9)$$

3.6.3. COMET (Characteristic Objects Method)

Bu yöntem çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemlerinden biri olup, alternatiflerin bağımsız bir şekilde sıralanmasını sağlayan diğer bir yaklaşımdır (Salabun, 2018). COMET yöntemi karakteristik nesneler kullanarak karar verici önyargılarından bağımsız bir şekilde alternatifleri değerlendirir. Alternatifler $A_1, A_2, \dots, A_m$ ve kriterler $C_1, C_2, \dots, C_n$ olmak üzere, her alternatif için her kriterin bir değeri bulunur. Bu değerlere bağlı olarak karar matrisi hesaplanır. Bu hesaplama için MABAC yönteminde de gösterilen Denklem (3.10) kullanılır. Her alternatif için, karakteristik nesnelerin değer fonksiyonu hesaplanır. Örneğin, C_1 kriteri için iki karakteristik nesne, $O_1 = \min(x_{i1})$, $O_2 = \max(x_{i1})$ olarak hesaplanır. Denklem (3.11)'de gösterilen bu fonksiyon alternatifin karakteristik nesneye ne kadar uzak olduğunu ölçmek için kullanılır.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i & \cdots & x_{ij} \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

$$v_{ij}(O_k) = f(O_k) \quad (3.11)$$

Burada $v_{ij}(O_k)$, i. alternatifin j. kriterde k. karakteristik nesneye göre değerini ifade eder. Alternatiflerin karakteristik nesneler ile kıyaslanarak olasılık değerleri belirlenir. Her alternatifin performansı, karakteristik nesneler üzerinden belirlenmiş olasılık dağılımlarına göre değerlendirilir. Bu olasılık dağılımı Denklem (3.12)'de verilmiştir. Olasılık değerleri üzerinden her alternatif sıralanır ve en yüksek olasılık değeri olan alternatif en iyi seçenek olarak seçilir.

$$P(A_i) = \frac{\sum_{k=1}^n v_{ij}(O_k)}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n v_{ij}(O_k)} \quad (3.12)$$

3.6.4. SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution)

SPOTIS yöntemi, ideal çözüme göre alternatiflerin değerlendirilmesini sağlar ve bu sayede stabil bir sıralama yapılır. Bu yöntem, diğer MCDM yöntemlerinden farklı olarak, alternatiflerin hem fayda hem de maliyet kriterleri açısından referans noktalarına (ideal ve anti-ideal çözümler) olan uzaklıklarını dikkate alır (Dezert et al., 2020). Diğer yöntemlerde olduğu gibi alternatifler A , kriterler C ve karar matrisi X olarak oluşturulur. Bunun için TOPSİS yöntemine benzer olarak TOPSIS yönteminde kullanılan Denklem (3.1), (3.2) ve (3.6) kullanılır. Ardından ideal çözüm için (I_j) ve anti-ideal çözüm (A_j) hesaplanır. İdeal çözümde fayda kriterleri için en yüksek değer, maliyet kriterleri için en düşük değer seçilir. Anti-ideal çözümde fayda kriterleri için en düşük değer, maliyet kriterleri için en yüksek değer belirlenir. SPOTIS'te normalizasyon işlemi, her bir alternatifin belirlenen ideal ve anti-ideal çözümlere olan uzaklığına göre yapılır. Bu durumda normalizasyon matrisi Denklem (3.13)'teki gibi ifade edilir.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - A_j}{I_j - A_j} \quad (3.13)$$

Kriterlerin önem derecelerine göre her kriter için bir ağırlık (w_j) belirlenir. Her kriter için ağırlıklandırılmış normalizasyon matrisi Denklem (3.14) ile hesaplanır.

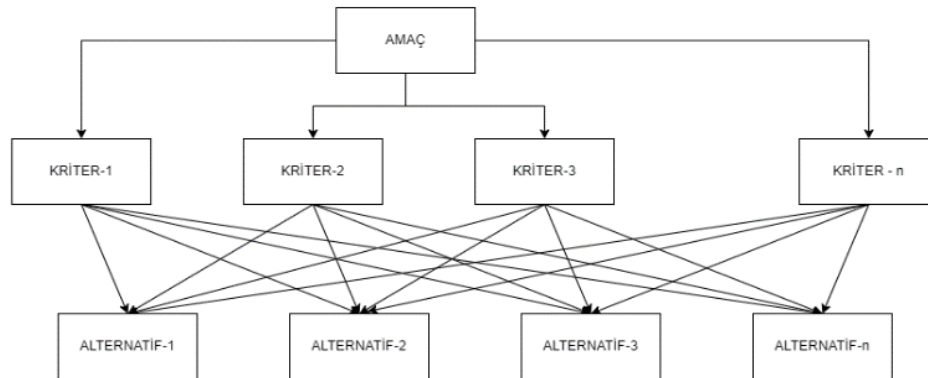
$$d_{ij} = w_j \cdot z_{ij} \quad (3.14)$$

Her alternatifin toplam skoru Denklem (3.15)'te belirtildiği gibi, tüm kriterlerdeki ağırlıklı normalize edilmiş değerlerin toplamı ile hesaplanır. En düşük toplam skora sahip olan alternatif, ideal çözüme en yakın olan alternatif olarak kabul edilir ve en iyi alternatif olarak seçilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (3.15)$$

3.6.5. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Thomas L. Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilen, birden fazla kriter içeren problemlerin çözümüne uygun, çok ölçütlü bir karar verme tekniğidir. Son yıllarda, karar alıcıların his ve önsezilerden ziyade analitik ve nicel yöntemlere yönelmesiyle AHP, kararları sağlam bir temele oturtmak için sıkça tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Aktaş, 2020). AHP, grup ya da bireylerin önceliklerini dikkate alarak nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendirir ve kriterler, alt kriterler ile seçenekler arasındaki ilişkiyi hiyerarşik bir modelde yapılandırır. Bu yöntemde, Şekil 3.11.'de sunulduğu gibi amaç, kriterler, alt kriterler ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik yapı dikkatle oluşturulmalı ve problemler detaylı şekilde ele alınmalıdır (Ekin ve Dolanbay, 2024). Karar amacı ile tepeden başlayarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Orta seviyede kriterler ve en düşük seviyede ise alternatifler bulunur.



Şekil 3.11 Analitik süreç hiyerarşisi

Kriterler ve alt kriterler belirlendikten sonra kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi için denklem (3.16)'da gösterildiği gibi $n \times n$ matrisi oluşturulur. Karar verici, kriter matrisi veya alternatif matrisi için kriter veya alternatifleri ikili olarak karşılaştırır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Denklem (3.16)'da yer alan her bir ölçütün, amaca katkısı açısından göreceli önemleri ve her bir hedefin de ölçütler yönünden üstünlükleri, uygulayıcıların yargılarına göre, ikili karşılaştırma yolu ile belirlenir. Burada üstünlüklerin belirlenmesi için Saaty tarafından geliştirilen Tablo 3.1.'de verilen önem ölçeği kullanılmaktadır.

Tablo 3.1 Analitik süreç hiyerarşisi (AHP) önem ölçeği

Sayısal Değer	Tanım
1	Kriterler eşit önemde
3	Biraz daha önemli (Eşit üstünlük)
5	Oldukça önemli (Fazla üstünlük)
7	Çok önemli (Çok üstünlük)
9	Son derece önemli (Kesin üstünlük)
2,4,6,8	Ara değerler (Uzlaşma değerleri)

İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonraki adım, ilgili matristeki her bir ögenin diğer öğelere göre önemini gösteren Özvektörün hesaplanmasıdır. Matrisin $n \times 1$ boyutunda özvektörünün elde edilmesi için Denklem (3.17)'de gösterilen şekilde b_{ij} matrisinin elde edilmesi gerekmektedir. Burada; $i = 1,2,3,\dots,n$ ve $j = 1,2,3,\dots,n$ olmak üzere;

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.17)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (3.18)$$

Kriterlerin yüzde önem dağılımlarını belirlemek için $W = [w_i] n \times 1$ şeklinde sütun vektörlerinin hesaplanması gerekmektedir. W sütun vektörü, Denklem (3.18) numaralı eşitlikte belirtilen b_{ij} değerlerinin meydana getirdiği matrisin satır elemanlarının aritmetik ortalamasından elde edilir.

Her ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır ve bu oran için üst limitin 0,10 olması istenir. Oranın 0,10' un üstünde olması, karar vericinin yargılarında tutarsızlık olduğunu ifade eder. Bu durumda, yargıların iyileştirilmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranının (CR) değerine ulaşmak için öncelikle A matrisinin en

büyük özvektörünü ($\lambda_{\max}$) değerini hesaplamak gerekir. Bunun için de öncelikle denklem (3.19)'da gerekli hesabı yaparak Özdeğer matrisinin hesaplanması gerekmektedir. Burada; $i= 1,2,3, \dots n$ $j= 1,2,3, \dots n$ olmak üzere;

$$D = [a_{ij}] \times [w_i] = [d_i] \quad (3.19)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (3.20)$$

Özdeğer matrisi hesaplanan A matrisinin en büyük özvektörü olan ($\lambda_{\max}$) Denklem (3.20)'de belirtilen işlemler ile yapılır. Tutarlılık oranının hesaplanmasında ihtiyaç duyulan bir başka değer ise Rassallık Endeksi (RI)'dir. Sabit sayılardan meydana gelen ve n değerine göre belirlenen RI değerinin yer aldığı veriler Tablo 3.2.'de verilmiş olup bu değerler Saaty tarafından belirlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda CR değerinin hesaplanması denklem (3.21)' de verilen eşitlikle hesaplanır.

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n - 1). RI} \quad (3.21)$$

Tablo 3.2 Rassallık endeksi verileri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Önceki dört aşama, hiyerarşik yapının tamamı için hesaplanır. Bu aşamada hiyerarşik yapıdaki n tane ölçütün her birinin meydana getirdiği mx1 boyutundaki üstünlük sütun vektörleri bir araya getirilerek mxn boyutundaki DW karar matrisi Denklem (3.22)'de belirtilen şekilde oluşturulur. Elde edilen matrisin ölçütler arası W üstünlük vektörü ile çarpımı sonucunda Denklem (3.23) numaralı eşitlikte verilen R sonuç vektörüne ulaşılır (Supçiller ve Çapraz, 2011). $i= 1,2,3, \dots n$ $j= 1,2,3, \dots n$ olmak üzere;

$$DW = [W_{ij}]_{m \times n} \quad (3.22)$$

$$R = DWxW \quad (3.23)$$

3.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Baraj ve Hes Alanları Verileri

Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan, işletme faaliyetleri yürütülen 50 MW ve üzerinde kurulu güce haiz olan ve aynı zamanda göl rezervuar alanına sahip Tablo 3.3'te listelenen barajlar göz önünde bulundurulmuştur. Belirtilen kapsama bölgede bulunan 11 adet baraj alanı girmekte olup, her bir barajın Tablo 3.4.'te gösterilen teknik kapasiteleri, göl rezervuar alanlarının büyüklükleri, meteorolojik verileri, ışıınım miktarları, güneşlenme saatleri, topografik yükselti miktarları, sıcaklık değerleri ve rüzgar hızı gibi teknik değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu verilerden; Doğrudan Normal Işıınım (DNI), Küresel Yatay Işıınım (GHI), Dağınık Yatay Işıınım (DIF) gibi değerler Global Solar Atlas web sayfasından online olarak alınmıştır. Geriye kalan veriler kamu iştiraklerimiz olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve bağlı kuruluşların güncel sayfalarından alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.3 Güneydoğu Anadolu Bölgesi barajları

Baraj Adı	Kurulu Gücü (MW)	Bulunduğu Şehir
1 Atatürk Barajı ve HES	2.400	Şanlıurfa
2 Karakaya Barajı ve HES	1.800	Diyarbakır
3 Ilısu Barajı ve HES	1.200	Şırnak
4 Birecik Barajı ve HES	672	Şanlıurfa
5 Çetin Barajı ve HES	420	Siirt
6 Alkumru Barajı	275	Siirt
7 Batman Barajı	198	Batman
8 Karkamış Barajı	189	Gaziantep
9 Dicle Barajı	110	Diyarbakır
10 Kralkızı Barajı	95	Diyarbakır
11 Garzan Barajı	52	Batman

Tablo 3.4 Veri kaynağı tablosu

Veri Listesi	Veri Kaynağı
Koordinatlar	Google Earth
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	Global solar atlas
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	
PV modüllerinin optimum eğimi	
Ortalama Sıcaklık (°C)	Topographic-map
Topografik Yükselti (m)	
Su Derinliği - İşletmeye uygun su kotu (m)	Enerji Atlası
Yerleşim yerlerine uzaklık (m)	Google Earth
Yerel Ortalama Rüzgar hızı (m/s)	Global Wind atlas
Barajın Göl Alanı (km ²)	Enerji atlası
Ortalama Yağış Miktarı (m ³) - (2009-2019)	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Maksimum Sıcaklık (°C)	
Minimum Sıcaklık (°C)	
Güneşlenme Saati	

3.7.1. Atatürk Barajı ve hidroelektrik santrali

Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), GAP projesi kapsamında Şanlıurfa ve Adıyaman illeri arasında Fırat Nehri üzerinde kamu tarafından kurulmuş ve işletmesi kamuya ait olan bir barajdır. İşletme binası Şanlıurfa ilimizin Bozova ilçesine 24 km uzaklıkta bulunan baraj, ülkemizin en büyük barajı pozisyonundadır. İnşasına 1983 yılında başlanmış olup, 1992 yılında tamamlanmıştır. Baraj, 169 metre yüksekliğinde ve 1820 metre uzunluğunda olup, kaya dolgu tipinde inşa edilmiştir. Teknik açıdan, Atatürk Barajı 2.400 MW kurulu güce sahip olup, her biri 300 MW kapasiteli 8 türbinden oluşmaktadır. Yıllık yaklaşık 8.9 milyar kWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir ve 48,7 milyar metreküp rezervuar kapasitesi ile büyük bir su depolama alanı sunmaktadır. Atatürk Barajı, Türkiye'nin enerji üretimi ve su yönetimi açısından stratejik öneme sahip projelerinden biri olup, hem enerji üretimi hem de tarımsal sulama açısından bölgeye önemli katkılar sağlamaktadır ([EÜAŞ], 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.12'de uydu

görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.5'te ışınlm, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur.



Şekil 3.12 Atatürk Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.5 Atatürk Barajı veri kaynağı tablosu

Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	37°32'19.0"N 38°22'38.6"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	2179,1
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1877,4
Dağınlık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	544,7
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	17,3 °C
Topografik Yükselti (m)	529
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	526-542
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	24
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	4,73
Baraj Göl Alanı (km ²)	817
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	33,6
Maksimum Sıcaklık (°C)	41,3
Minimum Sıcaklık (°C)	1,3
Güneşlenme Saati	6,5

3.7.2. Karakaya Barajı ve hidroelektrik santrali

Karakaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Diyarbakır ve Elazığ illerimiz arasında Fırat Nehri üzerinde bulunan ve işletmesi kamuya ait olan bir barajımızdır. İşletme binası Diyarbakır ilimizin Çüngüş ilçesinde bulunmaktadır. Karakaya Barajı, her biri 300 MW gücündeki 6 adet türbinden olmak üzere toplamda 1800 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin ikinci büyük hidroelektrik santrali konumunda bulunmaktadır. Yıllık 7,5 milyar kWh elektrik üretimi ile ülkemizin elektrik enerjisi üretimine katkı sağlamaktadır.

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1976 yılında inşa edilmeye başlanan Karakaya Barajı, 1987 yılında işletmeye alınarak elektrik enerjisi üretmeye başlamıştır. Fırat Nehri üzerinde inşa edilen beş barajdan kurulu gücü en büyük ikinci baraj olan Karakaya Barajı'nın işletmeye uygun maksimum su kotu 993 metre, minimum su kotu 675 metredir. Gövde yüksekliği akarsu tabanından yaklaşık 173 metre yükseltide beton kemer ağırlık şeklinde inşa edilen barajın, inşa edilmiş olduğu vadinin dik ve temel kaya şeklinde olmasından dolayı beton kemer yapılması iç ve dış tehlikelere karşı daha dayanıklı olmasını sağlamıştır. Karakaya Barajı, gövde yüksekliği akarsu tabanından yaklaşık 173 metre yükseltide beton kemer ağırlık şeklinde inşa edilmiştir. İnşa edildiği vadinin dik ve temel kaya şeklinde olmasından dolayı beton kemer yapılması iç ve dış tehlikelere karşı daha dayanıklı olmasını sağlamıştır. 9,58 milyar metreküp rezervuar kapasitesi ile Karakaya Barajı, Fırat Nehri üzerinde kurulu bulunan diğer üç hidroelektrik santralinden farklı olarak tamamıyla elektrik enerjisi üretmesi amacıyla inşa edilmiştir. İnşa edildiği bölge olan Elazığ, Malatya ve Diyarbakır illerine bağlı yerleşim yerlerinde turizm etkisi ile bir cazibe merkezi haline gelmeyi hedeflemektedir (EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.13'te uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.6'da ısınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur.



Şekil 3.13 Karakaya Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.6 Karakaya Barajı veri kaynağı tablosu

Karakaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	38°28'33.9"N 38°29'38.7"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	2013,9
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1788,3
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	561,8
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	30/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	15,7
Topografik Yükselti (m)	675
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	675-693
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	17
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	2,3
Baraj Göl Alanı (km ²)	268
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	27,08
Maksimum Sıcaklık (°C)	37,3
Minimum Sıcaklık (°C)	-3,4
Güneşlenme Saati	6,6

3.7.3. Ilısu Barajı ve hidroelektrik santrali

Ilısu Barajı ve hidroelektrik santrali veya bilinen adı ile Prof. Dr. Veysel Eroğlu Ilısu Barajı, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında, enerji üretim amacı ile

Dicle nehri üzerinde Mardin ve Şırnak illerimizin arasında kurulan ve işletmesi kamuya ait bir barajımızdır.

Ilısu Barajı projesi, 1954 yılında Dicle Nehri'nin toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesine ilişkin çalışmalar doğrultusunda, DSİ tarafından başlatılmıştır. Fizibilite raporları hazırlanan barajın yapımı 2006 yılında başlamış ve 2020 yılında devreye alınmıştır.

İşletme binası Mardin ili Dargeçit ilçesinin 15 km doğusunda kurulan Ilısu Barajı'nın her biri 200 MW gücünde 6 türbinden olmak üzere toplamda 1200 MW kurulu gücü bulunmaktadır. Yıllık yaklaşık 4,2 milyon kWh elektrik enerjisi üreterek ülkemiz ve bölgemiz enerji ihtiyacının karşılanmasında rol oynamaktadır. 318 km² göl alanına sahip Ilısu Barajı'nın ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tipinde olup temelden yüksekliği 135 metre olacak şekilde inşa edilmiştir. Maksimum su kotu 526,82 metre, toplam gövde hacmi 23,7 milyon metreküp, rezervuar hacmi 10,6 milyar metreküp değerindedir. Temelde elektrik üretim amacıyla inşa edilen Ilısu Barajı'nın yakın zamanda kurulması planlanan Cizre Barajı'na su rezervi bırakması ile Nusaybin, Cizre, İdil ve Silopi ovalarında toplam 120 bin hektarı aşkın arazinin modern sulama teknikleri ile sulanma imkanı yaratması planlanmaktadır (EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.14'de uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.7' de ısınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.14 Ilısu Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.7 Ilısu Barajı veri kaynağı tablosu

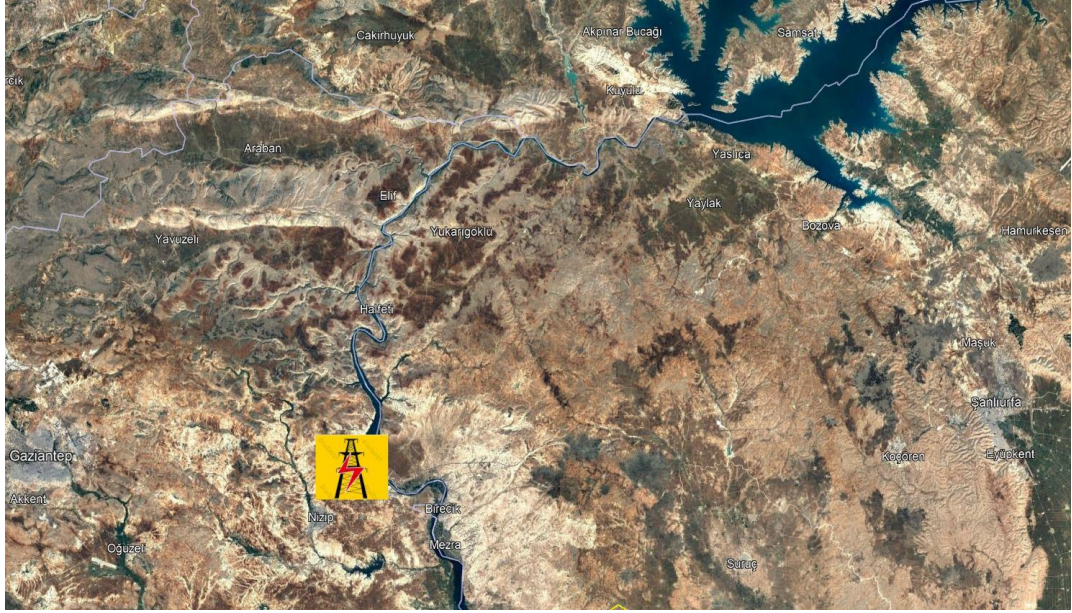
Ilısu Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	37°37'53.8"N 41°50'22.6"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	2019,0
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1848,4
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	598,8
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	18,9
Topografik Yükselti (m)	417
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	485-527
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	15
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	10,7
Baraj Göl Alanı (km ²)	318
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	36,86
Maksimum Sıcaklık (°C)	41,0
Minimum Sıcaklık (°C)	-6,0
Güneşlenme Saati	6,4

3.7.4. Birecik Barajı ve hidroelektrik santrali

Birecik Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Gaziantep ve Şanlıurfa illerimiz arasında, Fırat Nehri üzerinde enerji üretim ve tarımsal sulama amacıyla kurulan beş barajdan bir tanesidir. Kamu-özel sektör işbirliğiyle yapılmış ve belli bir dönem yap-işlet-devret modeli ile işletilen Birecik Barajı'nın yapımı 1993 yılına dayanmaktadır. 1993 yılında fizibilite raporları hazırlanan baraj, 2000 yılında üretime başlamıştır.

İşletme binası Şanlıurfa ilimizin Birecik İlçesinde bulunmakta olan Birecik Barajı, her biri 112 MW gücünde olan toplam 6 adet Francis türbini ile donatılmış olup toplamda 672 MW kurulu güç seviyesinde bulunmaktadır. Yıllık enerji üretim miktarı yaklaşık 2,5 milyar kWh değerlerini bulan barajın toplam gölet alanı 56 km²'dir. Normal su kotunda 56,25 km² göl alanına sahip Birecik Barajı, beton ağırlık ve kaya gövde dolgu tipte yapılmıştır. Gövde hacmi 9,4 milyar metreküp, temelden yüksekliği 63 metre olacak şekilde inşa edilen barajın işletme kotunda göl hacmi 12,20 milyon metreküp seviyesinde bulunmaktadır. Birecik Barajı, yaklaşık 92.700 hektar arazinin sulanması hizmeti sunarken, baraj göleti üzerinde bulunan ve baraj yapımıyla sular altında kalan bölgeleri ile Halfeti ilçesinin doğal güzellikleri ve tarihi taş evleri, yerli turist başta olmak üzere yabancı turistlerin de ilgi odağı olmayı başararak bölge ekonomisine katkı sunmaktadır.

(EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024; Gama, 2024). Şekil 3.15' te uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.8’de ışıınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.15 Birecik Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.8 Birecik Barajı veri kaynağı tablosu

Birecik Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	37°03'11.9"N 37°53'29.4"E
Doğrudan Normal Işıınım - DNI (kWh/m ²)	2173,7
Küresel Yatay Işıınım - GHI (kWh/m ²)	1885,5
Dağınık Yatay Işıınım - DIF (kWh/m ²)	558,3
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	31/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	18,6
Topografik Yükselti (m)	353
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	340-385
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	5
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	4,53
Baraj Göl Alanı (km ²)	56,25
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	45,05
Maksimum Sıcaklık (°C)	38,2
Minimum Sıcaklık (°C)	-1,1
Güneşlenme Saati	5,2

3.7.5. Çetin Barajı ve hidroelektrik santrali

Çetin Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Siirt ilimizin Pervari ve Şirvan ilçeleri arasında, Botan Çayı üzerinde özel sektör iştiraki ile kurulan ve işletilen bir barajdır. Elektrik enerjisi üretim amacıyla inşa edilen Çetin Barajı, silindirik sıkıştırılmış beton (RCC) tipine göre Türkiye ve Avrupa'nın en büyük barajı konumundadır.

İşletme binası Şirvan ilçesi Dişlinar Köyü mevkiinde inşa edilen Çetin Barajı, üç büyük ve bir küçük olmak üzere toplamda dört türbinden oluşarak toplamda 420 MW kurulu güce haiz olarak inşa edilmiştir. Bu ünitelerden elde edilen üretim miktarı ile yıllık yaklaşık 1,5 milyar kWh enerji üretimi sağlayarak ülkemiz enerji talebine arz sunmaktadır. Sıkıştırılmış beton (RCC) tipi gövdesi ile tabandan 165 metre yüksekliğinde bulunan barajın gövde hacmi 4,8 milyon metreküp olarak tasarlanmış ve işletme kotunda yaklaşık 615 milyon metreküp su depolama özelliğine sahiptir. Göl alanı 12 km²'den oluşan Çetin Barajı, inşa tarihi olan 2011 yılında 600 milyon dolar yatırım ile tamamlanarak, ülkemiz yerli ve yenilenebilir kaynaklarını kullanması anlamında milli ekonomimize çok büyük katkı yapmakta ve yurt dışından enerji ithalatımızı büyük ölçüde azaltmaktadır (Limak, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.16' da uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.9' da ışıınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.16 Çetin Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.9 Çetin Barajı veri kaynağı tablosu

Çetin Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	37°58'25.7"N 42°22'38.8"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	1740,6
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1703,2
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	550,4
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	31/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	15,4
Topografik Yükselti (m)	713
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	647-822
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	65
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	3,92
Baraj Göl Alanı (km ²)	12
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	53,10
Maksimum Sıcaklık (°C)	39,1
Minimum Sıcaklık (°C)	-1,8
Güneşlenme Saati	6,0

3.7.6. Alkumru Barajı ve hidroelektrik santrali

Alkumru Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Siirt ilimizin Tillo (Aydınlar) ilçesinde, Botan Çayı üzerinde özel sektör iştiraki ile kurulan ve işletilen bir barajdır. Elektrik enerjisi üretim amacıyla 2008 yılında beton kemer gövde tipinde inşa edilmeye başlanan baraj, 2011 yılında enerji üretimine başlamıştır.

İşletme binası Tillo ilçesinin Taşbalta Köyü mevkiinde bulunan Alkumru Barajı, 275 MW kurulu güce sahip olarak yıllık yaklaşık 1 milyar kWh elektrik enerjisi üretimi sağlamakta ve ülkemizin enerji üretimine katkı sağlamaktadır. Tabandan 136 metre gövde yüksekliğine sahip barajın gövdesi beton kemer tipinde olacak şekilde inşa edilerek toplamda 2,76 milyar metreküp su rezervuar kapasitesine erişebilmektedir. Göl alanı yaklaşık 11 km²'den oluşan Alkumru Barajı, inşa tarihi olan 2008 yılında 465 milyon dolar yatırım ile tamamlanarak, ülkemiz yerli ve yenilenebilir kaynaklarını kullanması anlamında milli ekonomimize çok büyük katkı yapmakta ve yurt dışından enerji ithalatımızı büyük ölçüde azaltmaktadır. 2011 yılında, ICCI – Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı kapsamında verilen “Yenilenebilir Enerji Santralleri” alanında 2011 Enerji Oscarı ödülünü kazanan Alkumru Santrali, 2013 yılında Uluslararası Karbon Standardı'na uygun olarak Karbon Azaltma Sertifikası'nı almaya hak kazanmıştır

(Limak, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.17 'de uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.10' da ışıınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.17 Alkumru Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.10 Alkumru Barajı veri kaynağı tablosu

Alkumru Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	37°57'35.9"N 42°05'27.9"E
Doğrudan Normal Işıınım - DNI (kWh/m ²)	1965,3
Küresel Yatay Işıınım - GHI (kWh/m ²)	1813,0
Dağınık Yatay Işıınım - DIF (kWh/m ²)	581,3
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	16,7
Topografik Yükselti (m)	559
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	547-642
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	17
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	3,41
Baraj Göl Alanı (km ²)	11,0
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	53,10
Maksimum Sıcaklık (°C)	39,1
Minimum Sıcaklık (°C)	-1,8
Güneşlenme Saati	6,0

3.7.7. Batman Barajı ve hidroelektrik santrali

Batman Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Batman ve Diyarbakır illerimiz arasında yer almakta olup, Batman Çayı üzerinde inşa edilmiş kamuya ait bir barajdır. Batman ilimize yaklaşık 35 km mesafede, tarihi Malabadi Köprüsü'nün 700 metre kuzeyinde bulunan barajın kuruluş amacı elektrik üretimi, taşkınlerden koruma ve tarımsal sulamadır. Şekil 3.18'de Batman Barajı ve hidroelektrik santralinin uydu görünümü verilmiştir.

İşletme binası Diyarbakır ilimizin Silvan ilçesinde bulunan Batman Barajı'nın yapımına 1986 yılında başlanmış, 1999 yılında tamamlanmış olmasına rağmen 2003 yılında devreye alınmıştır. Tabandan 85 metre yüksekliğe sahip barajın gövde tipi kil çekirdekli kaya dolgu biçiminde yapılmıştır. Gövde özelliği ile yaklaşık 1,2 milyar metreküp su rezervi tutabilme özelliğine sahip barajın toplam kurulu gücü 198 MW seviyesinde olup yıllık yaklaşık 483 milyon kWh enerji üretimi sağlamaktadır. 49,25 km² göl alanına sahip olan Batman Barajı ve hidroelektrik santrali, yaklaşık 38.000 hektarlık bir alana sulama imkanı sağlayarak tarımsal faaliyetlerin yürütülmesine katkı sunmaktadır. Aynı zamanda taşkın önleme amacıyla yapılan barajın su tutma özelliği sayesinde taşkın zamanlarında meydana gelebilecek olası zarar durumlarının önüne geçilmektedir. (EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.18'de uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.11'de ışıınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur.



Tablo 3.11 Batman Barajı veri kaynağı listesi

3.7.8. Karkamış Barajı ve hidroelektrik santrali

Karkamış Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Gaziantep ilimizin Karkamış ilçesinde, ilçe merkezine yaklaşık 7 km mesafede bulunmaktadır. Fırat Nehri üzerine kurulu olan beş barajdan bir tanesi olan Karkamış Barajı, kamu tarafından inşa edilen ve kamu tarafından işletilen bir barajdır.

Suriye sınırına 4,5 km mesafede olan barajın inşaat çalışmaları 1996 yılında başlatılarak 2000 yılında devreye alınmıştır. Her biri 47,25 MW gücünde dört adet türbini bulunan barajın kurulu gücü 189 MW seviyesinde olup yıllık yaklaşık 652 milyon kWh elektrik üretimi yapmaktadır. Tabandan yüksekliği 29 metre olan Karkamış Barajı'nın gövdesi 2,1 milyon metreküp beton ağırlık tipinde inşa edilmiştir. Normal su kotunda 157 milyon metreküp su tutma kapasitesine sahip barajın göl alanı 28,40 km²'den oluşmaktadır. Elektrik üretiminin yanında sulama yapılması ve taşkınlara karşı koruma amacıyla inşa edilen Karkamış Barajı, aynı zamanda göl rezervuar alanında yetiştirilen balıklar ile yerel halkın geçim kaynağını sağlamaya yardımcı olmaktadır (EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.19'da uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.12' de ısınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.19 Karkamış Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.12 Karkamış Barajı veri tablosu

Karkamış Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	36°52'13.4"N 38°01'45.4"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	2185,7
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1898,4
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	561,8
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	19,0
Topografik Yükselti (m)	336
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	336-340
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	6,8
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	4,16
Baraj Göl Alanı (km ²)	28,4
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	45,05
Maksimum Sıcaklık (°C)	38,2
Minimum Sıcaklık (°C)	-1,1
Güneşlenme Saati	5,2

3.7.9. Dicle Barajı ve hidroelektrik santrali

Dicle Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Diyarbakır ilimiz sınırları içerisinde il merkezine 50 km mesafede, Maden Çayı ve Dibni Çayı'nın birleşerek Dicle Nehri'ni meydana getirdiği mevkide bulunmaktadır. Kamu tarafından 1986 yılında projesel süreçleri başlatılan santralin inşaatına 1997 yılında başlanıp, 2000 yılında inşaat süreci tamamlanarak devreye alınmıştır.

İşletme binası Diyarbakır ili Eğil ilçesi sınırlarında bulunan barajın her biri 55 MW gücünde olan iki adet türbin ile toplam kurulu gücü 110 MW değerindedir. Enerji üretim miktarı ile yıllık yaklaşık 298 milyon kWh elektrik arz hizmeti vermektedir. Kil çekirdekli kaya dolgu gövde tipine sahip olan barajın tabandan gövde yüksekliği 87 metre olarak inşa edilmiştir. Gövde özelliği ile normal işletme kotunda 595 milyon metreküp su rezervuar kapasitesine sahip olan barajın normal su kotunda 24 km² göl alanı bulunmaktadır. Kralkızı Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin mansabında yer alan Dicle Barajı ve Hidroelektrik Santrali, enerji üretimi ile birlikte inşa edildiği bölgenin tarımsal sulama ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur (EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.20'de uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.13'te ışınlım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.

3.7.10. Kralkızı Barajı ve hidroelektrik santrali

Kralkızı Barajı, Diyarbakır ilimizin Dicle ilçesi sınırlarında Dicle Nehri’ni oluşturan kollardan biri olan Maden Çayı üzerinde kurulmuştur. 1985 yılında proje ve inşaat süreci başlatılan santral, 1997 yılında tamamlanarak devreye alınmıştır.

Yapımı ve işletmesi kamu tarafından gerçekleştirilen baraj iki adet türbinden olmak üzere toplamda 95 MW kurulu güce haiz olup yıllık yaklaşık 446 milyon kWh enerji üretimi ile ülkemizin enerji talebine arz sunmaktadır. İşletme binası Diyarbakır ilimizin Dicle İlçesine 6 km mesafede inşa edilen baraj, beton kemer tipinde ve 15,1 milyon metreküp gövde hacmine sahiptir. Akarsu yatağından 126 metre yükseklikte inşa edilen baraj normal su kotunda 1,919 milyar metreküp su rezervuar kapasitesinde ve 57,50 km² göl alanına sahiptir (EÜAŞ, 2024; Enerji Atlası, 2024). Şekil 3.21'de uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.14' te ışıınım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.21 Kralkızı Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.14 Kralkızı Barajı veri tablosu

Kralkızı Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	38°20'54.2"N 40°01'14.4"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	2002,0
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1811,6
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	580,1
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	15,5
Topografik Yükselti (m)	789
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	765-815
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	6,0
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	5,48
Baraj Göl Alanı (km ²)	57,5
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	30,77
Maksimum Sıcaklık (°C)	37,2
Minimum Sıcaklık (°C)	-4,2
Güneşlenme Saati	2,6

3.7.11. Garzan Barajı ve hidroelektrik santrali

Garzan Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES), Batman ilimizin Kozluk ilçesi sınırlarında Dicle Nehri'ni oluşturan kollardan biri olan Yanarsu Çayı üzerinde özel sektör iştirakiyle inşa edilip işletilen bir barajdır.

İşletme binası Kozluk ilçe sınırları içerisinde yer alan Garzan Barajı, 2009 yılında yapılmaya başlanarak 2013 yılında devreye alınmıştır. İki türbinden meydana gelen baraj, toplamda 52 MW kurulu güce haiz olarak yıllık yaklaşık 150 milyon kWh enerji üretimi sağlamaktadır. Beton gövde tipinde ve tabandan 107 metre yükseklikte inşa edilen barajın 173 milyon metreküp su rezervuar kapasitesi bulunmaktadır (Fernas, 2024 ; Enerji Atlası , 2024). Şekil 3.22'de uydu görüntüsü verilen barajın, Tablo 3.15 'te ışınlım, sıcaklık, yağış miktarı ve yükselti gibi temel verileri ile ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.22 Garzan Barajı uydu görüntüsü

Tablo 3.15 Garzan Barajı veri tablosu

Garzan Barajı ve Hidroelektrik Santrali	Veri Listesi
Koordinatlar	38°15'04.7"N 41°33'15.6"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m ²)	1921,6
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m ²)	1768,5
Dağınık Yatay Işınım - DIF (kWh/m ²)	554,7
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	12,4
Topografik Yükselti (m)	748
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	755-788
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	37
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	5,33
Baraj Göl Alanı (km ²)	4,60
Ortalama Yağış Miktarı (m ³)	36,86
Maksimum Sıcaklık (°C)	41,0
Minimum Sıcaklık (°C)	-6,0
Güneşlenme Saati	6,4

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yüzer Güneş Santrali Kurulumunu Etkileyen Etmenler

Bu çalışmanın temel amacı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 50 MW'ın üzerinde güç üretim kapasitesine sahip hidroelektrik santraller arasında, yüzer güneş enerjisi santralının kurulması için en uygun yerin belirlenmesidir. Bu doğrultuda, önceki araştırmalar ve alanında uzman görüşleri temel alınarak, santral verimini en çok etkileyen ana faktörün belirlenmesi hedeflenmiştir. Literatürde, yüzer güneş enerjisi santrallerinin verimliliğini etkileyen parametreler belirlenmiş ve bu parametreler, uzman görüşleri doğrultusunda önem sırasına göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, güneş ışıınımı, yıllık günışığı süresi, topoğrafik yükselti, su derinliği, yerleşim birimleri ve şebeke bağlantılarına uzaklık, rüzgar hızı, bölgesel etkiler ve yerel ekonomi gibi alt kriterler dikkate alınmıştır.

4.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yönteminin Projeye Uygulanması

Analitik Hiyerarşi Prosesi çok kriterli karar verme yöntemleri içinde uygulanması kolay, anlaşılır ve hızlı olan bir yöntemdir. Mühendislik bilimlerinden eğitim bilimlerine, spor bilimlerinden sosyal bilimlere varıncaya kadar birçok alanda kullanılabilen AHP yönteminin kapsamlı değerlendirme, objektif karar verme, esneklik ve karmaşıklığı azaltmak gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır (Saaty et al., 2022).

AHP yöntemi, karmaşık dünyamızda hızlı ve doğru kararlar almak için pratik bir çözüm sunar. Karar verme süreçlerini kolaylaştıran AHP yöntemi, adım adım uygulanabilirliğiyle öne çıkar. AHP yöntemi sekiz aşamadan meydana gelmektedir (Ömürbek ve Şimşek, 2014) :

- Problemin tanımlanması
- Hiyerarşik yapı oluşturma
- İkili karşılaştırma matrisi oluşturma
- İkili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi
- Öncelik vektörünün (Özvektör Matrisi) hesaplanması
- Tutarlılık oranının belirlenmesi
- Ağırlık Matrisinin hesaplanması

- Karar seçeneklerinin sıralaması

Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP yönteminin uygulanması aşamasında aşağıda belirtilen adımlar sırasıyla yapılarak sonuç bulunmuştur.

4.2.1. Anketlerin oluşturulması:

Alanında uzman kişiler tarafından doldurulan anketle, yüzer güneş santrali verimini ve uygulanabilirliğini etkileyen kriterlerin ağırlık oranları hesaplanmıştır. Bu çalışmada, yüzer güneş enerji santrali için en uygun lokasyonun belirlenmesinde etkili olduğu düşünülen her bir kriter Şekil 4.1'de bir örneği verilen karşılaştırma ile gösterilmiştir (Ek-1'e bakınız). Enerji sektöründe, özellikle güneş ve hidroelektrik santrallerinde çalışan veya PV santraller konusunda akademik çalışmalar yapan inşaat, makine ve elektrik-elektronik mühendislerinden oluşan 12 uzmana hazırlanan anketin amacı ve oluşturulma süreci detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Uzmanlar, kendi bilgi ve deneyimlerine dayanarak, ankette yer alan kriterleri karşılıklı olarak puanlamışlardır. Bu değerlendirmelerde, karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi temel alınmıştır. AHP yönteminde kullanılan önem ölçeği, Tablo 3.1'de sunulmuştur. Bu ölçekte, 1 değeri iki kriterin eşit öneme sahip olduğunu gösterirken, 3, 5, 7 ve 9 değerleri sırasıyla bir kriterin diğerine göre biraz, önemli, çok önemli ve aşırı derecede önemli olduğunu ifade eder. Örneğin, bir kriterin diğerine göre 7 olarak değerlendirilmesi, bu kriterin karar verme sürecinde çok daha belirleyici olduğu anlamına gelir.

1. Kriter	1. kriter daha önemli								Eşit	2. kriter daha önemli								2. Kriter
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yıllık Güneşliğin Saatleri
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ortalama Sıcaklık
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Topografik Yükselti
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Derinliği
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Yıllık Güneşliğin Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ortalama Sıcaklık
Yıllık Güneşliğin Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Topografik Yükselti
Yıllık Güneşliğin Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Derinliği
Yıllık Güneşliğin Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Yıllık Güneşliğin Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık

Şekil 4.1 Kriterlerin birbirine göre kıyaslandığı anket

4.2.2. Karar matrisinin oluşturulması:

Bu çalışmada 10 kriter dikkate alındığı için Tablo 4.1’de gösterilen 10x10 matris hazırlanmıştır. Tablo 4.1 oluşturulurken, anketten elde edilen puanlar tablo köşegeninin üst kısmındaki ilgili alanlara yerleştirilmiştir. Alt köşegende ise üstte yazan değerlerin tersi alınarak matris tamamlanmıştır.

Tablo 4.1 Karar matrisi oluşturma

KRİTERLER	Güneş ışınımı	Yıllık Güneşliğin Saatleri	Ortalama Sıcaklık	Topografik Yükselti	Su Derinliği	Yerleşim Birimlerine Uzaklık	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	Bölgesel Etkiler	Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Güneş ışınımı	1	7	5	7	7	9	7	9	9	9
Yıllık Güneşliğin Saatleri	1/7	1	7	9	5	7	7	7	9	9
Ortalama Sıcaklık	1/5	1/7	1	7	5	7	6	6	7	7
Topografik Yükselti	1/7	1/9	1/7	1	1/7	3	5	3	3	5
Su Derinliği	1/7	1/5	1/5	7	1	7	7	7	9	7
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	1/9	1/7	1/7	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1	1/2
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	1/7	1/7	1/6	1/5	1/7	5	1	1/3	1/5	1/5
Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	1/9	1/7	1/6	1/3	1/7	3	3	1	1/5	1/3
Bölgesel Etkiler	1/9	1/9	1/7	1/3	1/9	1	5	5	1	1
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	1/9	1/9	1/7	1/5	1/7	2	5	3	1	1

4.2.3. Normalize karar matrisinin oluşturulması:

AHP yönteminde bulunan matematiksel denklem (3.17) kullanılarak normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Normalize karar matrisi, her bir kriterin değerini toplam ağırlık içindeki payına indirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu matriste, her bir hücredeki değer, ilgili kriterin diğer kriterlerle karşılaştırmalı önem derecesini yansıtmaktadır ve bu değerler toplamı bir (1) olacak şekilde normalize edilmiştir. Bu değer Şekil 4.2.'de belirtildiği üzere, anketörün karar matrisinde puan verdiği her bir değer için ilgili sütun toplamına bölünerek bulunur.

KRİTERLER	Güneş ışıınımı	Yıllık Güneşliği Saatleri	Ortalama Sıcaklık	Topografik Yükselti	Su Derinliği	Yerleşim Birimlerine Uzaklık	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	Bölgesel Etkiler	Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Güneş ışıınımı	0,45	0,77	0,35	0,22	0,37	0,20	0,15	0,22	0,22	0,22
Yıllık Güneşliği Saatleri	0,06	0,11	0,50	0,28	0,27	0,16	0,15	0,17	0,22	0,22
Ortalama Sıcaklık	0,09	0,02	0,07	0,22	0,27	0,16	0,13	0,14	0,17	0,17
Topografik Yükselti	0,06	0,01	0,01	0,03	0,01	0,07	0,11	0,07	0,07	0,12
Su Derinliği	0,06	0,02	0,01	0,22	0,05	0,16	0,15	0,17	0,22	0,17
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00
Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,07	0,06	0,02	0,00	0,01
Bölgesel Etkiler	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,11	0,12	0,02	0,02
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,11	0,07	0,02	0,02
SÜTUN Toplamı	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Şekil 4.2 Normalize karar matrisi

4.2.4.Özvektör matrisinin hesaplanması:

Normalize karar matrisine matematiksel denklem (3.18)'de belirtilen işlemler uygulanarak Tablo 4.2.'de gösterilen özvektör matrisi elde edilmiştir. Özvektör matrisinde, karar vericinin ağırlık oranını yüksek olarak belirlediği kriteri görmek mümkündür. Yapılan çalışmada karar vericinin en önemli bulduğu kriter %31,78 değeri ile “Güneş ışıınımı” değeri, ikinci sırada %21,78 değeri ile “Yıllık güneşliği Saatleri” kriteri çıkmıştır. %1,66 değeri ile en düşük öneme sahip olan kriter ise “Yerleşim Birimlerine Uzaklık” kriteri çıkmıştır. Ancak yapılan seçimin tutarlı olup olmadığı görülmesi gerekmektedir. Çünkü tutarsız bir seçim sonucunun hiçbir anlamı olmayacaktır.

Tablo 4.2 Özvektör matrisi ve karar sıralaması

KRİTERLER	AĞIRLIK ORANI	YÜZDE ORANI	SIRALAMA
Güneş ışıınımı	0,32	31,78%	1
Yıllık Günişığı Saatleri	0,21	21,37%	2
Ortalama Sıcaklık	0,14	14,36%	3
Topografik Yükselti	0,06	5,71%	5
Su Derinliğı	0,12	12,42%	4
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	0,02	1,66%	10
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	0,03	2,56%	9
Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	0,03	2,64%	8
Bölgesel Etkiler	0,04	3,89%	6
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	0,04	3,61%	7

4.2.5.Özdeğer matrisinin hesaplanması:

AHP yönteminin matematiksel denklemleri ile bulunan karar matrisi ve özvektör matrisinin çarpımı ile özdeğer matrisi denklem (3.19)'da belirtilen şekilde hesap edilerek oluşturulmuştur. Bu aşama, karar vericinin tutarlılık indeksini hesaplamak için yapılmaktadır. Tablo 4.3.'te yapılan hesap sonucunda elde edilen matrisin ağırlık oranları görünmektedir.

Tablo 4.3 Özdeğer matrisi ağırlık oranları

KRİTERLER	AĞIRLIK ORANI
Güneş ışıınımı	5,04
Yıllık Günişığı Saatleri	3,55
Ortalama Sıcaklık	2,21
Topografik Yükselti	0,72
Su Derinliğı	1,72
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	0,21
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	0,26
Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	0,30
Bölgesel Etkiler	0,46
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	0,42

4.2.6.Tutarlılık oranının hesaplanması:

AHP yönteminde bulunan matematiksel işlem olan denklem (3.20)'de $\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n}$ tutarlılık oranının belirlenmesi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Rassallık oranı olarak bilinen RI, kriter sayısına göre belirlenen sabit sayı denkleme dahil edilerek bu oran hesaplanmıştır. Denklem (3.21)' de belirtilen $CR = \frac{\lambda - n}{(n-1)RI}$ denkleminde bulunan değerlerin yerine yazılması ile bu oran $CR = -0,74$ olarak elde edilmiştir. AHP yönteminde tutarlılık oranının $CR < 0,10$ olması durumunda karar vericinin tutarlı olduğu belirtilir. Bu doğrultuda $-0,74 < 0,10$ olduğundan dolayı karar vericinin tutarlı olarak karar verdiği görülmektedir. CR oranının eksi değerde çıkması en büyük özvektör değeri olan λ değerinin kriter sayısı olan n değerinden küçük çıkmasıdır.

4.2.7.Ağırlık matrisinin hesaplanması:

Bir önceki adımda karar vericinin tutarlı bir şekilde karar verdiği görüldükten sonra, özvektör matrisinde hesaplanmış olan ağırlık oranları sıralamaya tabi tutulmuştur. Tablo 4.4.'te karar vericinin ağırlık oranı belirttiği ilk üç kriter görünmektedir.

Tablo 4.4 Ağırlık matrisi ve sıralama

KRİTERLER	AĞIRLIK ORANI	SIRALAMA
Güneş ışıınımı	0,32	1
Yıllık Güneşliği Saatleri	0,21	2
Ortalama Sıcaklık	0,14	3
Topografik Yükselti	0,06	5
Su Derinliği	0,12	4
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	0,02	10
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	0,03	9
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı	0,03	8
Bölgesel Etkiler	0,04	6
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	0,04	7

Bu çalışmada, güneş enerji santrallerinin teknik, ekonomik ve sosyal alandaki kısıtlarının görülebilmesi ve bu kısıtlardan en önemli olanlarının belirlenebilmesi adına güneş enerji santralleri alanında çalışma yapmış alanında uzman on iki kişi ile anketlerin doldurulması için irtibata geçilmiştir. Her bir katılımcı için AHP yöntemi ile matematiksel denklemlerin oluşumu süreci hesaplanarak, karar vericilerin tutarlı olup olmadığı test edilmiştir. Yapılan tüm anket çalışmalarında, tutarlılık oranı $CR < 0,10$ olarak hesap edilerek ankete katılan karar vericilerin tutarlı karar verdikleri görülmüştür. Bu doğrultuda anket yapılan on iki karar vericinin vermiş oldukları karar doğrultusunda ağırlıklı karar matrislerinin toplamı hesaba katılarak, ortak ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris ağırlık oranına göre sıralama yapılarak, önemli görülen kriterler belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda Tablo 4.5’te gösterildiği gibi birinci sırada önem atfedilen kriter “Güneş Işınımı”, ikinci sırada önem atfedilen kriter “Yıllık Güneşli saatleri” olarak seçilmiştir.

Tablo 4.5 Ağırlık oranına göre kriterler

KRİTERLER	Güneş Işınımı	Yıllık Güneşli Saatleri	Ortalama Sıcaklık	Topoğrafik Yükselti	Su Derinliği	Yerleşim Birimlerine Uzaklık	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	Bölgesel Etkiler	Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	Sıralama
Güneş ışıınımı	1,00	3,85	4,30	6,42	7,25	7,08	6,00	6,44	7,58	7,92	1
Yıllık Güneşli Saatleri	0,92	1,00	5,10	5,92	6,42	7,34	6,34	6,44	7,60	8,17	2
Ortalama Sıcaklık	1,53	0,63	1,00	5,70	5,34	6,18	3,79	5,34	6,94	7,27	3
Topoğrafik Yükselti	0,23	0,35	0,88	1,00	3,43	3,96	2,68	2,29	4,80	6,17	4
Su Derinliği	0,15	0,23	0,86	2,38	1,00	2,32	1,69	1,93	3,54	3,61	7
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	0,21	0,87	0,81	1,80	2,29	1,00	0,48	1,47	2,90	3,32	8
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	0,29	0,95	1,83	2,83	3,80	4,33	1,00	2,09	3,54	4,98	5
Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	0,45	0,41	0,84	2,48	3,21	4,89	1,78	1,00	4,59	4,66	6
Bölgesel Etkiler	0,14	0,70	0,46	1,47	1,34	2,13	1,10	1,52	1,00	1,86	9
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	0,13	0,12	0,54	0,24	1,66	1,73	0,81	1,27	1,85	1,00	10

4.3. pyMCDM Yönteminin Projeye Uygulanması

Python, çok geniş bir yazılım geliştirme yelpazesinde kullanılan, açık kaynaklı ve yüksek seviyeli bir programlama dilidir. Python, basit sözdizimi ve güçlü kütüphane desteği ile bilimsel araştırmalar, veri analizi, makine öğrenimi, yapay zeka ve optimizasyon gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte, Python'un

esnek yapısı, çok kriterli karar verme (ÇKKV) gibi karmaşık analizleri gerçekleştirmek için de kullanıma olanak tanımaktadır.

Çok Kriterli Karar Verme, birden fazla karar kriteri göz önünde bulundurularak en uygun alternatiflerin seçilmesi amacıyla kullanılan bir yöntemler bütünüdür. ÇKKV, özellikle farklı faktörlerin etkili olduğu durumlarda, karar vericilere seçenekleri karşılaştırma ve değerlendirme imkânı sunar. Python, bu tür çok kriterli analizleri gerçekleştirmek için çeşitli kütüphaneler sunarak karar verme süreçlerini daha verimli hale getirmektedir.

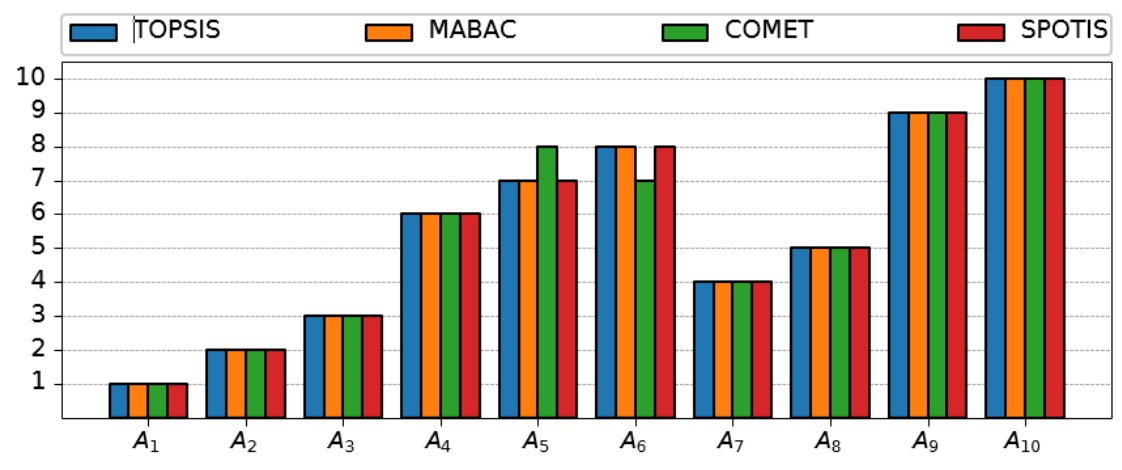
Python, ÇKKV uygulamaları için birçok etkili kütüphane sunmaktadır. Bu kütüphaneler, karar vericilerin farklı kriterlere dayalı olarak kararlar almasına yardımcı olurken, aynı zamanda çeşitli analitik tekniklerin uygulanmasını da sağlar. Bu çalışmada çok çeşitli algoritmaları barındırması ve kullanım kolaylığı nedeniyle pymcdm 1.3.1 kullanılmıştır. Ayrıca Python kodları Python 3.9 altında yazılmıştır (Ek-2'ye bakınız).

pyMCDM, Python tabanlı bir kütüphane olup, çok kriterli karar verme analizlerinin gerçekleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kütüphane, AHP, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE gibi çeşitli ÇKKV yöntemlerini içerir ve bu yöntemlerin uygulanmasını kolaylaştırır. pyMCDM, alternatiflerin sıralanması, kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması ve alternatiflerin değerlendirilmesi gibi süreçleri etkin bir şekilde yönetmektedir.

Bu çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemleri olan TOPSIS, MABAC, COMET ve SPOTIS programları ile bilgisayar üzerinden hesaplama yapıldığında, ilk üç kriterin en önemli kriter olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda karar verme yöntem ve yazılımları ayrı olan çok kriterli karar verme yöntemlerinin AHP programına benzer olarak karar vericilerin seçmiş oldukları kriterde tutarlı bir şekilde seçim yaptıkları görülmektedir. Şekil 4.6.'da sunulan görselde verilen sayısal veriler ile, Tablo 4.5.'te verilen sayısal veriler incelendiğinde, uygulanan her beş yöntemde de ilk üç kriterin değişmediği görülmektedir.

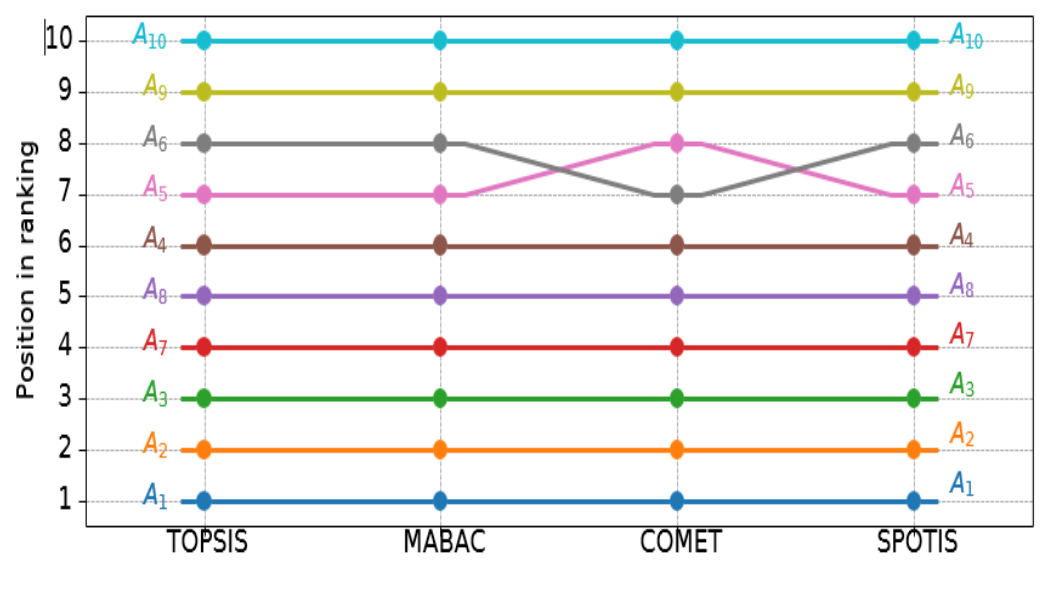
Şekil 4.3, dört farklı çok kriterli karar verme yöntemi olan TOPSIS, MABAC, COMET ve SPOTIS'in on alternatif üzerindeki sonuçlarını karşılaştırmaktadır. Burada A1 ve A10 arasındaki kriterler sırasıyla Güneş ışıınımı , Yıllık günışığı saatleri, Ortalama sıcaklık, Topoğrafik yükselti, Su derinliği,Yerleşim birimlerine uzaklık, Şebeke bağlantılarına uzaklık, Yerel ortalama rüzgâr hızı, Bölgesel etkiler, kalkınma ve yerel ekonomiler kriterleridir.

Genel olarak, yöntemler uyumlu sonuçlar vermekte ve alternatiflerin performansı A1'den A10'a doğru artış göstermektedir. Ancak, özellikle A5 ve A7 gibi ortasiralardaki alternatiflerde yöntemler arasında küçük farklılıklar gözlemlenmektedir. Dört farklı yöntem için 1, 2, 3 ve 4. sıralama değişmemiştir. Bu sonuçlar AHP yöntemi ile benzer çıkmıştır.



Şekil 4.3 ÇKKV yöntem sıralaması

Şekil 4.4. 4 farklı yöntemin sıralamasındaki değişimini göstermektedir. Buna göre A1, A2, A3 ve A4 değişmemektedir.



Şekil 4.4 ÇKKV sıralama değişimi

Bu çalışmada kullanılan TOPSIS, MABAC, COMET, SPOTIS ve AHP çok kriterli karar verme yöntemlerinin tamamında, Tablo 4.6'daki ağırlık analizlerine göre en

yüksek önem düzeyine sahip kriterlerin aynı olduğu tespit edilmiştir. Farklı yöntemlerin aynı sonuca ulaşması, kullanılan yöntemlerin güvenilirliği ve tutarlılığı açısından önemli bir bulgudur. Bu durum, karar vericilere daha güvenli bir karar verme süreci sunmaktadır.

Tablo 4.6 ÇKKV yöntemleri ile kriter ağırlığı

KRİTERLER	TOPSIS	MABAC	COMET	SPOTIS	AHP
Güneş ışıınımı	0,84	0,60	1,00	0,09	0,20
Yıllık Güneşliği Saatleri	0,64	0,48	0,87	0,21	0,19
Ortalama Sıcaklık	0,51	0,29	0,54	0,40	0,15
Topografik Yükselti	0,22	-0,08	0,02	0,77	0,09
Su Derinliği	0,15	-0,16	0,01	0,86	0,06
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	0,15	-0,18	0,01	0,87	0,05
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	0,26	-0,03	0,06	0,72	0,09
Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı	0,23	-0,07	0,03	0,77	0,08
Bölgesel Etkiler	0,11	-0,22	0,01	0,91	0,04
Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	0,04	-0,27	0,00	0,97	0,03

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulandığı bu çalışmada, alanında uzman kişilere sorulan anketlerin ve yapılan hesaplamalar sonucunda en önemli kriter olarak birinci sırada “Güneş Işınımı”, ikinci sırada ise “Yıllık Güneşliği Saatleri” kriterleri seçilmiştir. Bu çalışmaya dahil edilen barajların verileri Tablo 4.9’da verilmiştir. Tabloda verilen değerlerden hareketle, yüzer güneş santrali kurulumu için en iyi lokasyon seçimi yapılmak istenmesi durumunda Tablo 4.7’de belirtildiği gibi birinci sıraya Karkamış Barajı birinci sırayı almaktadır. Ancak Karkamış Barajı’na yakın lokasyonda bulunan Birecik Barajı ve Atatürk Barajı’nın Güneş Işınım değeri Karkamış Barajı bölgesi ışıınım miktarına çok yakın bir değerde bulunmaktadır. Dolayısıyla yüzer güneş santrali kurulum potansiyeli açısından yapılacak olan herhangi bir çalışmada, bu barajların göl rezervuar alanının değerlendirilmeye alınması doğru bir adım olacaktır.

Tablo 4.7 Güneş ışınlımı kriterine göre sıralama

Baraj Adı	Sıralama
Karkamış Barajı ve HES	1
Birecik Barajı ve HES	2
Atatürk Barajı ve HES	3
Ilısu Barajı ve HES	4
Batman Barajı ve HES	5
Kralkızı Barajı ve HES	6
Karakaya Barajı ve HES	7
Alkumru Barajı ve HES	8
Garzan Barajı ve HES	9
Dicle Barajı ve HES	10
Çetin Barajı ve HES	11

İkinci kriter olan Yıllık Güneşliği Saatleri kriteri için ikinci bir sıralama yapıldığında, ortaya çıkan sonuç Tablo 4.8’ de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde de aynı baraj bölgelerinin benzer potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4.8 2. Kriteria göre sıralama

Baraj Adı	Sıralama
Karkamış Barajı ve HES	1
Birecik Barajı ve HES	3
Atatürk Barajı ve HES	2
Ilısu Barajı ve HES	4
Batman Barajı ve HES	5
Kralkızı Barajı ve HES	6
Karakaya Barajı ve HES	7
Alkumru Barajı ve HES	8
Garzan Barajı ve HES	9
Dicle Barajı ve HES	10
Çetin Barajı ve HES	11

Tablo 4.9 Güneydoğu Anadolu Bölgesi baraj bilgileri

VERİLER	ATATÜRK BARAJI	KARAKAYA BARAJI	ILISU BARAJI	BİRECİK BARAJI	ÇETİN BARAJI	ALKUMRU BARAJI	BATMAN BARAJI	KARKAMIŞ BARAJI	DİCLE BARAJI	KRALKIZI BARAJI	GARZAN BARAJI
Koordinatlar	37°32'19.0"N 38°22'38.6"E	38°28'33.9"N 38°29'38.7"E	37°37'53.8"N 41°50'22.6"E	37°03'11.9"N 37°53'29.4"E	37°58'25.7"N 42°22'38.8"E	37°57'35.9"N 42°05'27.9"E	38°17'27.7"N 41°01'24.7"E	36°52'13.4"N 38°01'45.4"E	38°13'51.7"N 40°10'34.1"E	38°20'54.2"N 40°01'14.4"E	38°15'04.7"N 41°33'15.6"E
Doğrudan Normal Işınım - DNI (kWh/m²)	2179,1	2013,9	2019,0	2173,7	1740,6	1965,3	2018,5	2185,7	1781,0	2002,0	1921,6
Küresel Yatay Işınım - GHI (kWh/m²)	1877,4	1788,3	1848,4	1885,5	1703,2	1813,0	1817,6	1898,4	1744,4	1811,6	1768,5
Dağılık Yatay Işınım - DIF (kWh/m²)	544,7	561,8	598,8	558,3	550,4	581,3	581,0	561,8	565,1	580,1	554,7
PV Modüllerinin Optimum Eğimi	32/180°	30/180°	32/180°	31/180°	31/180°	32/180°	31/180°	32/180°	33/180°	32/180°	32/180°
Ortalama Sıcaklık (°C)	17,3 °C	15,7	18,9	18,6	15,4	16,7	15,6	19,0	15,0	15,5	12,4
Topografik Yükselti (m)	529	675	417	353	713	559	652	336	711	789	748
Su Derinliği - İşletmeye Uygun Su Kotu (m)	526-542	675-693	485-527	340-385	647-822	547-642	645-666	336-340	698-715	765-815	755-788
Yerleşim Yerlerine Uzaklık (km)	24	17	15	5	65	17	19	6,8	50,0	6,0	37
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	4,97	2,31	4,12	5,51	3,92	3,41	3,34	4,16	4,69	5,48	5,33
Baraj Göl Alanı (km²)	817	268	318	56,25	12	11,0	49,25	28,4	24	57,5	4,60
Ortalama Yağış Miktarı (m³)	33,66	27,08	36,86	45,05	53,10	53,10	36,86	45,05	38,92	30,77	36,86
Maksimum Sıcaklık (°C)	41,3	37,3	41,0	38,2	39,10	39,10	41,0	38,2	40,6	37,2	41,0
Minimum Sıcaklık (°C)	1,3	-3,4	-6,0	-1,1	-1,8	-1,80	-6,0	-1,1	-3,6	-4,2	-6,0
Güneşlenme Saati	6,5	6,6	6,4	5,2	6,0	6,0	6,4	5,2	1,5	2,6	6,4

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük potansiyele sahip güneş enerji santralleri henüz gerçekleştirmesi gereken potansiyel miktarına erişemediği halde, gelecek için en büyük umut vadeden enerji kaynağıdır. Karasal tip güneş santrallerinden daha avantajlı durumda bulunan yeni teknolojik atılım olan yüzer güneş santralleri, atıl alan olarak değerlendirilen barajların göl rezervuar alanlarına, su kanallarına, açık deniz alanları gibi alanlara kurulabilmektedir. Böylece karasal PV sisteminin en büyük handikapları arasında yer alan arazi tahsisine gerek kalmadan ve suyun soğutucu etkisinden dolayı ekstra soğutma önlemine gerek kalmadan enerji üretebilmektedir.

Yüzer güneş santrali kurulurken, santral kurulumuna etki eden olumsuz durumların minimize edilmesi ve maksimum verim alınacak lokasyona kurulması işletme kazanımı için çok önemlidir. Bu doğrultuda, santral verimine etkisi olduğu düşünülen kriterler üzerinden anket hazırlanarak, kurulumu engel yaratabilecek potansiyele sahip teknik, ekonomik ve sosyal alandaki kısıtlama durumları tespit edilerek, kısıtlama kriterlerinin ağırlık oranları çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Alanında uzman on iki kişi tarafından doldurulan anketler AHP, TOPSIS, MABAC, COMET ve SPOTIS yöntemleri ile hesaplanarak en önemli kriterin ağırlık oranı hesap edilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, birinci sırada önem atfedilen kriter “Güneş Işınımı”, ikinci sırada önem atfedilen kriter “Yıllık Güneşli saatleri” olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde bulunan barajların göl rezervuar alanlarına yüzer güneş santrali kurulum potansiyeli değerlendirilmiştir. Santral verim ve işleyişini etkileyen en önemli kriter Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile bulunarak bulunan kriter değerinin en iyi olduğu baraj alanı olarak Karkamış Barajı bulunmuştur.

Benzer kriterler ve alternatif sahalar kullanarak farklı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin uygulanması, bu çalışmanın metodolojik gücünü artırabilir. Ekolog, deniz biyoloğu ve çevre mühendislerinin katılımıyla FPV’lerin deniz ekosistemleri üzerindeki etkileri daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilir. Özellikle doğal kuş yaşam alanları üzerindeki potansiyel olumsuz etkiler ayrıntılı olarak incelenebilir. Ayrıca, maliyet kriterinin eklenmesiyle, bu çalışmanın sonuçları gelecekteki yatırım kararlarına daha

sağlam bir temel sağlayabilir. Bu yaklaşım, diğer yenilenebilir enerji projelerinin değerlendirilmesinde de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, İ. Ş., (2020), *Akıllı şebekelerde risk analizi*. [Yayınlanmış doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi. <https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/224e45dc-fa33-423c-9799-9914f6dac9b9/akilli-sebekelerde-risk-analizi>.
- Al Garni, H. Z. & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied energy*, 206, 1225-1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>.
- Al Mehadi, A., Nahin-Al-Khurram, Shagor, M., Kaysar, R., Sarder, M. & Ishrak, A. (2021). Optimized seasonal performance analysis and integrated operation of 50MW floating solar photovoltaic system with Kaptai hydroelectric power plant: a case study. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization And Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1962434>.
- Anbarasu, P., & Suresh Kumar, R. (2023). Performance analysis of polycrystalline floating photovoltaic array: The concept and prototype development for irrigation purpose. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 31(7), 738-749. <https://doi.org/10.1002/pip.3681>
- Ardağ, Y. (2012). *Güneş pili karakteristiklerinin incelenmesi* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Pamukkale Üniversitesi. <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/1813>
- Arslankaya, D. ve Göraltay, K. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar*. İksad Yayınları.
- Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y. & Naseri, F. (2017). Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1198-1206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.103>.
- Citaristi, I. (2022). *International energy agency—iea*. In *The Europa directory of international organizations 2022* (pp. 701-702). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003292548>.
- Çilingir, B. M. (2016). Hava kirliliği ve akciğer. *Çağdaş Tıp Dergisi*, 6 (1-Ek (Olgu Sunumları)), 131-137. <https://doi.org/10.16899/ctd.80586>.
- Dal, A. R. (2021). investigation of the potential of using lakes and dams as solar power plants: the case of yamula dam. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 9(4), 726-738. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1002791>.
- Dalbudak, E. ve Rençber, Ö. F. (2022). Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine literatür incelemesi. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-17. <https://doi.org/10.55769/gauniibf.1068692>

- Demirtaş, M. C. (2022). Üniversite rektörlerinin sosyal medya kullanımlarının Mabac yöntemi ile değerlendirilmesi. *Öneri Dergisi*, 17 (57), 102 – 147. <https://doi.org/10.14783/maruoeneri.941348> .
- Dezert, J., Tchamova, A., Han, D. & Tacnet, J. M. (2020, July). The SPOTIS rank reversal free method for multi-criteria decision-making support. *In 2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION) (pp. 1-8)*. <https://doi.org/10.23919/FUSION45008.2020.9190347>.
- Di Grazia, S. & Tina, G. M. (2024). Optimal site selection for floating photovoltaic systems based on geographic Information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA): a case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 43(1), 2167999. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2167999>.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de elektrik üretimin in sera gazı emisyonları açısından incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.369948>.
- Ekin, E. ve Dolanbay, G. (2024). AHP Temelli TOPSIS Yöntemi ile Yer Seçim Problemine İlişkin Bir Uygulama. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 301-317. <https://doi.org/10.17336/igusbd.1209399>.
- Enerji Atlası web sayfası, (2024,09,Eylül). *Hidroelektrik Santralleri*, Enerji atlası web sayfası, <https://www.enerjiatlasi.com/hidroelektrik/>
- Eni SpA. (2024). *World Energy Review 2024*. Eni. <https://www.eni.com/content/dam/enicom/documents/eng/visione/wer/2024/World-Energy-Review-2024.pdf>.
- Ersöz, F. ve Kabak, M. (2010). Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması. *KHO Savunma Bilimleri Dergisi* 9(1), 97-125. https://dergipark.org.tr/tr/pub/khosbd/issue/19228/204327#article_cite.
- Essak, L. & Ghosh, A. (2022). Floating photovoltaics: A review. *Clean Technologies*, 4(3), 752-769. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4030046>.
- ETKB. (2024, 15, Ekim). *Bilgi merkezi*. Elektrik, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmi web sitesi. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
- EÜAŞ. (2024,15, Ekim). *Bilgi merkezi*. Enerji Üretim A.Ş. resmi web sitesi. <https://www.euas.gov.tr>.
- Fernas. (2024, 15, Ekim). *Garzan Barajı ve Hidroelektrik Santrali*. Fernas Şirketler Grubu web sayfası. <https://www.fernas.com.tr/portfolio/garzan-baraji-ve-hes-projesi>.
- Friel, D., Karimirad, M., Whittaker, T., Doran, W. J., & Howlin, E. (2019). A review of floating photovoltaic design concepts and installed variations. *In 4th International*

- Conference on Offshore Renewable Energy. [CORE 2019 proceedings]. Glasgow: ASRANet Ltd, UK, 30 Aug 2019. ASRANet Ltd. https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/188420033/CORE_Paper_2019.pdf
- Gama. (2024,15, Ekim), 6x112 mw Birecik hidroelektrik santralı ve Birecik barajı, Gama Holding web sayfası. <https://holding.gama.com.tr/tr/proje/13389>.
- Grozdev, M. (2010). *Alternatif enerji kaynakları: Güneş enerjisi ve güneş pilleri* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=bnfhJjD5nIhv7jc7NjV8mg&no=BwsLINppGMfNmrRk740ctw>.
- Guo, F., Gao, J., Men, H., Fan, Y. & Liu, H. (2021). Large-scale group decision-making framework for the site selection of integrated floating photovoltaic-pumped storage power system. *Journal of energy storage*, 43, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103125>.
- İsos enerji. (2024,25, Aralık), *monokristal güneş paneli polykristal güneş paneli farkları*, isos enerji web sayfası. <https://www.isosenerji.com/monokristal-gunes-paneli-polykristal-gunes-paneli-farklari>.
- Göllü, K. (2022). *Site selection for floating photovoltaic (PV) panels on 8 HEPP reservoirs in Turkey by using analytical hierarchical process (AHP)*. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Ortadoğu Teknik Üniversitesi. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/99486>.
- Karipoğlu, F., Koca, K. ve İlbarhar, E. (2024). Convenient Site Selection of a Floating PV Power Plant in Türkiye by using GIS-Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(15), 23193-23210. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32470-3>.
- Kaymak, M. K. ve Şahin, A. D. (2021). The first design and application of floating photovoltaic (FPV) energy generation systems in Turkey with structural and electrical performance. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s40684-021-00369-w>.
- Khan, M. R., Patel, M. T., Asadpour, R., Imran, H., Butt, N. Z. & Alam, M. A. (2021). A review of next generation bifacial solar farms: predictive modeling of energy yield, economics, and reliability. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 54(32), 323001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abfce5>.
- Koç, Ü. (2021). Güneş enerjisi ve ekonomik büyüme. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 515-533. <https://doi.org/10.30784/epfad.890910>.
- Köse, E. (2018). Fotovoltaik sistemlerin sıcaklığa bağlı enerji verimliliği performansının analiz edilmesi. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi* 2, 39-53. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumad/issue/52685/694667>.

- Limak. (2024, 15, Ekim). *Alkumru barajı ve hidroelektrik santrali*. Limak Holding web sayfası. <https://www.limak.com.tr/sektorler/enerji/enerji-uretimi/alkumru-baraji-ve-hidroelektrik-santrali>.
- Limak. (2024, 15, Ekim). *Çetin barajı ve hidroelektrik santrali*. Limak Holding web sayfası. <https://www.limak.com.tr/sektorler/enerji/enerji-uretimi/cetin-baraji-ve-hidroelektrik-santrali>.
- López, M., Soto, F. & Hernández, Z. A. (2022). Assessment of the potential of floating solar photovoltaic panels in bodies of water in mainland Spain. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130752>.
- Melek, A. B., Gökmener, S., Haspolat, E., Çiçek, D. D., Deveci, M., Oğuz, E., & Khorasanchi, M. (2024). Fuzzy Einstein-based decision-making model for the evaluation of site selection criteria of floating photovoltaic system. *Ocean Engineering*, 301, 117521. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117521>.
- Minas Enerji,(2024,25,Aralık). *Esnek güneş paneli ve özellikleri*. Minas enerji web sayfası. <https://www.minasenerji.com/esnek-gunes-paneli-ve-ozellikleri>.
- Muhammad, A., Muhammad, U. & Abid, Z. (2021). Potential of floating photovoltaic technology in Pakistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100976. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100976>.
- Nebey, A. H., Taye, B. Z. & Workineh, T. G. (2020). GIS-Based Irrigation Dams Potential Assessment of Floating Solar PV System. *Journal of Energy*, 2020(1), 1268493. <https://doi.org/10.1155/2020/1268493>.
- Ömürbek, N. ve Şimşek, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Journal of Management and Economics Research*, 12(22), 306-327. <https://doi.org/10.11611/JMER214>.
- Patil S. D., Wagh, M. & Shinde, N. N. (2017). A review on floating solar photovoltaic power plants. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 8 (6), 789-794. https://www.researchgate.net/publication/347818468_A_Review_on_Floating_Solar_Photovoltaic_Power_Plants.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G., Cahyono, S. (2022). *The analytic hierarchy process* (2nd ed.). International Series in Operations Research & Management Science. Springer US.
- Sacramento, E. M. D., Carvalho, P. C., de Araújo, J. C., Riffel, D. B., Corrêa, R. M. D. C. & Pinheiro Neto, J. S. (2015). Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. *IET Renewable Power Generation*, 9(8), 1019-1024. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0120>.
- Sahu, A., Yadav, N. & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 815-824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>.

- Salabun, W. (2014). Reduction in the number of comparisons required to create matrix of expert judgment in the comet method. *Management and Production Engineering Review*, 5(3), 62-69. <https://doi.org/10.2478/mper-2014-0028>.
- Sanchez, R. G., Kougias, I., Moner-Girona, M., Fahl, F. & Jäger-Waldau, A. (2021). Assessment of floating solar photovoltaics potential in existing hydropower reservoirs in Africa. *Renewable Energy*, 169, 687-699. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.041>.
- Selbaş, R. ve Çetin, H. (2022). Fotovoltaik güneş sanrallerinin verimlerinin değişiminin incelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 10-17. <https://dergipark.org.tr/pub/usmtd/issue/70999/609680>.
- Seven, S. (2024). *İçten Yanmalı Motorlu Yer Hizmetleri Araçlarının Elektrikli Araçlarla Değişiminin Çevresel Ve Ekonomik Etkisi (Esenboğa Havalimanı Örneği)* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Siirt Üniversitesi.
- Siecker, J., Kusakana, K. & Numbi, E. B. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 79, 192-203. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.053>.
- SolarReviews. (2024,25, Aralık). *Everything you need to know about thin-film solar panels*. SolarReviews web sayfası. <https://www.solarreviews.com/blog/thin-film-solar-panels>.
- Sukarso, A. P. & Kim, K. N. (2020). Cooling effect on the floating solar PV: Performance and economic analysis on the case of west Java province in Indonesia. *Energies*, 13(9), 2126. <https://doi.org/10.3390/en13092126>.
- Supçiller, A. ve Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. *Istanbul University Econometrics and Statistics e-Journal*, (13), 1-22. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iuekois/issue/8980/112036>.
- Şahin, G., Taksim, M. A. ve Yitgin, B. (2021). Effects of the European Green Deal on Turkey's electricity market. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 40-58. <https://dergipark.org.tr/en/pub/baybem/issue/59515/835052>.
- Taşova, M. (2018). Türkiye'nin güneş enerjisi parametre değerleri ve güneş enerjisinden faydalanma olanakları. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*. 7(3), 10-17. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzceitbd/issue/42009/395715>.
- Trapani, K. & Redón Santafé, M. (2015). A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23(4). 524-532. <https://doi.org/10.1002/pip.2466>.
- Ustasüleyman, T. (2009). Bankacılık sektöründe hizmet kalitesinin değerlendirilmesi: Ahs-Topsis Yöntemi. *Bankacılar Dergisi*, 69, 33-43.

- Vidović, V., Krajačić, G., Matak, N., Stunjek, G. & Mimica, M. (2023). Review of the potentials for implementation of floating solar panels on lakes and water reservoirs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113237. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113237>.
- Vodapally, S. N. & Ali, M. H. (2022). A comprehensive review of solar photovoltaic (PV) technologies, architecture, and its applications to improved efficiency. *Energies*, 16(1), 319. <https://doi.org/10.3390/en16010319>.
- World Energy Council Turkey. (2021). *Yüzer Güneş Santrallerine Beklentiler*. World Energy Council Turkey 2021. sayı 259. <https://dunyaenerji.org.tr/yuzer-gunes-enerjisi-santralleri-ve-beklentiler/>.
- Yang, P., Chua, L. H., Irvine, K. N., Nguyen, M. T. & Low, E. W. (2022). Impacts of a floating photovoltaic system on temperature and water quality in a shallow tropical reservoir. *Limnology*, 23(3), 441-454. <https://doi.org/10.1007/s10201-022-00698-y>.
- Yiğit, A. ve Arslanoğlu, N. (2021). Anlık ışıınım şiddeti ve çevresel faktörlere bağlı optimum pv panel açısı, verim, güç üretiminin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1), 301-314. <https://doi.org/10.17482/uumfd.824582>.
- Yolcan, O. O. ve Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215. <https://doi.org/10.34186/klujes.793471>.
- Yousuf, H., Khokhar, M. Q., Zahid, M. A., Kim, J., Kim, Y., Cho, E. C., ... & Yi, J. (2020). A review on floating photovoltaic technology (FPVT). *Current Photovoltaic Research*, 8(3), 67-78. <https://doi.org/10.21218/CPR.2020.8.3.067>.
- Zahedi, R., Ranjbaran, P., Gharehpetian, G. B., Mohammadi, F. & Ahmadihangar, R. (2021). Cleaning of floating photovoltaic systems: A critical review on approaches from technical and economic perspectives. *Energies*, 14(7), 2018. <https://doi.org/10.3390/en14072018>.

EKLER

EK-1 : Seçim Cetveli

1. Kriter	1. kriter daha önemli								Eşit	2. kriter daha önemli								2. Kriter
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yıllık Güneşliğin Saatleri
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ortalama Sıcaklık
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Topografik Yükselti
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Derinliği
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Güneş Işınımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Yıllık Güneşliğin Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ortalama Sıcaklık

1. Kriter	1. kriter daha önemli								Eşit	2. kriter daha önemli								2. Kriter
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Topografik Yükselti
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Derinliği
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Yıllık Güneşliği Saatleri	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Topografik Yükselti
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Derinliği
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızları
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler

1. Kriter	1. kriter daha önemli								Eşit	2. kriter daha önemli								2. Kriter
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ortalama Sıcaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Topografik Yükseklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Derinliği
Topografik Yükseklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Topografik Yükseklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık
Topografik Yükseklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Topografik Yükseklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Topografik Yükseklik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Su Derinliği	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerleşim Birimlerine Uzaklık
Su Derinliği	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık
Su Derinliği	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Su Derinliği	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Su Derinliği	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Şebeke Bağlantılarına Uzaklık

1. Kriter	1. kriter daha önemli								Eşit	2. kriter daha önemli								2. Kriter
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Yerleşim Birimlerine Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Yerel Ortalama Rüzgâr Hızı
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Şebeke Bağlantılarına Uzaklık	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler
Yerel Ortalama Rüzgar Hızı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme
Bölgesel Etkiler Kalkınma ve Yerel Ekonomiler	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sosyal Kabullenme

EK-2 : Paython Kodları

```
import pandas as pd
import numpy as np
from pymcdm.methods import TOPSIS, MABAC, COMET, SPOTIS
from pymcdm import weights as w
from pymcdm.helpers import rankdata, rrankdata
from pymcdm.methods.comet_tools import MethodExpert
import matplotlib.pyplot as plt
from pymcdm import visuals

columns = [
    "Solar Radiation",
    "Annual Sunshine Hours",
    "Average Temperature",
    "Topographic Elevation",
    "Water Depth",
    "Distance to Settlements",
    "Distance to Grid Connection",
    "Local Average Wind Speed",
    "Impact on Regional Development",
    "Social Impact",
]

P1 = pd.DataFrame(
    [
        [1,2,1/4,4,5,6,5,1/3,4,4],
        [1/2,1,1/4,6,7,8,9,2,6,9],
        [4,4,1,5,7,5,6,3,7,9],
        [1/4,1/6,1/5,1,3,4,5,1/4,5,5],
        [1/5,1/7,1/7,1/3,1,1,1,1/6,1,1],
        [1/6,1/8,1/5,1/4,1,1,1,1/4,1,1],
        [1/5,1/9,1/6,1/5,1,1,1,1/5,1,1],
        [3,1/2,1/3,4,6,4,5,1,5,6],
        [1/4,1/6,1/7,1/5,1,1,1,1/5,1,1],
        [1/4,1/9,1/9,1/5,1,1,1,1/6,1,1],
    ],
    columns=columns,
```

)

```
P2 = pd.DataFrame(  
    [  
        [1,7,5,7,7,9,7,9,9,9],  
        [1/7,1,7,9,5,7,7,7,9,9]      ,  
        [1/5,1/7,1,7,5,7,6,6,7,7],  
        [1/7,1/9,1/7,1,1/7,3,5,3,3,5]  ,  
        [1/7,1/5,1/5,7,1,7,7,7,9,7],  
        [1/9,1/7,1/7,1/3,1/7,1,1/5,1/3,1,1/2],  
        [1/7,1/7,1/6,1/5,1/7,5,1,1/3,1/5,1/5],  
        [1/9,1/7,1/6,1/3,1/7,3,3,1,1/5,1/3],  
        [1/9,1/9,1/7,1/3,1/9,1,5,5,1,1] ,  
        [1/9,1/9,1/7,1/5,1/7,2,5,3,1,1] ,  
    ],  
    columns=[columns],  
)
```

```
P3 = pd.DataFrame(  
    [  
        [1,2,5,9,8,7,7,5,8,9],  
        [1/2,1,3,7,7,8,6,5,7,7],  
        [1/5,1/3,1,5,5,7,6,5,7,8],  
        [1/9,1/7,1/5,1,3,4,3,1/3,5,7],  
        [1/8,1/7,1/5,1/3,1,5,3,1,3,5],  
        [1/7,1/8,1/7,1/4,1/5,1,1/2,1/5,1/3,1],  
        [1/7,1/6,1/6,1/3,1/3,2,1,1/3,3,3],  
        [1/5,1/5,1/5,3,1,5,3,1,5,6],  
        [1/8,1/7,1/7,1/5,1/3,3,1/3,1/5,1,1],  
        [1/9,1/7,1/8,1/7,1/5,1,1/3,1/6,1,1],  
    ],  
    columns=[columns],  
)
```

```
P4 = pd.DataFrame(  
    [  
        [1,1/6,1/7,6,8,8,8,8,7,9],  
        [6,1,6,7,8,8,8,7,8,8],  
        [7,1/6,1,7,8,8,8,7,8,8],  
    ]
```

```

[1/6,1/7,1/7,1,8,8,8,7,8,8],
[1/8,1/8,1/8,1/8,1,1/8,1/8,1/8,1/8,1/8],
[1/8,1/8,1/8,1/8,8,1,1,1/7,8,8],
[1/8,1/8,1/8,1/8,8,1,1,1,1,8],
[1/8,1/7,1/7,1/7,8,7,1,1,8,8],
[1/7,1/8,1/8,1/8,8,1/8,1,1/8,1,1],
[1/9,1/8,1/8,1/8,8,1/8,1/8,1/8,1,1],
],
columns=[columns],
)

```

```

P5 = pd.DataFrame(
[
[1,9,1/5,7,9,9,9,9,9],
[1/9,1,9,8,8,9,9,9,9],
[5,1/9,1,7,7,8,6,5,7,8],
[1/7,1/8,1/7,1,9,9,9,1/4,8,9],
[1/9,1/8,1/7,1/9,1,8,7,6,7,8],
[1/9,1/9,1/8,1/9,1/8,1,1/9,1/9,1/5,1],
[1/9,1/9,1/6,1/9,1/7,9,1,1/6,1/3,1/2],
[1/9,1/9,1/5,4,1/6,9,6,1,1/3,1/2],
[1/9,1/9,1/7,1/8,1/7,5,3,3,1,1/7],
[1/9,1/9,1/8,1/9,1/8,1,2,2,7,1] ,
],
columns=[columns],
)

```

```

P6 = pd.DataFrame(
[
[1,1,1,1,9,9,1,9,9,9],
[1,1,1,1,9,9,1,9,9,9],
[1,1,1,9,9,9,1,9,9,9],
[1,1,1/9,1,9,9,1,9,9,9],
[1/9,1/9,1/9,1/9,1,1,1/9,1/9,1,1],
[1/9,1/9,1/9,1/9,1,1,1/9,1/9,1,1],
[1,1,1,1,9,9,1,1,9,9],
[1/9,1/9,1/9,1/9,9,9,1,1,9,9],
[1/9,1/9,1/9,1/9,1,1,1/9,1/9,1,1],
[1/9,1/9,1/9,1/9,1,1,1/9,1/9,1,1],

```

```

    ],
    columns=[columns],
)

P7 = pd.DataFrame(
    [
        [1,1,5,7,6,8,6,6,9,9],
        [1,1,5,7,6,8,6,6,9,9],
        [1/5,1/5,1,5,3,6,2,4,9,9],
        [1/7,1/7,1/5,1,1/5,1,1/4,1/4,7,8],
        [1/6,1/6,1/3,5,1,2,1/4,1/4,7,7],
        [1/8,1/8,1/6,1,1/2,1,1/7,1/7,7,7],
        [1/6,1/6,1/2,4,4,7,1,3,9,9],
        [1/6,1/6,1/4,4,4,7,1/3,1,8,9],
        [1/9,1/9,1/9,1/7,1/7,1/7,1/9,1/8,1,3],
        [1/9,1/9,1/9,1/8,1/7,1/7,1/9,1/9,1/3,1],
    ],
    columns=[columns],
)

```

```

P8 = pd.DataFrame(
    [
        [1,1,9,9,9,9,9,7,9],
        [1,1,9,9,9,9,9,9,9],
        [1/9,1/9,1,9,9,8,8,9,8,9],
        [1/9,1/9,1/9,1,1/2,1/4,1/4,1,1/3,1],
        [1/9,1/9,1/9,2,1,1/3,1/6,1,1/3,1],
        [1/9,1/9,1/8,4,3,1,1/3,3,1,4],
        [1/9,1/9,1/8,4,6,3,1,4,1,3],
        [1/9,1/9,1/9,1,1,1/3,1/4,1,1/3,1],
        [1/7,1/9,1/8,3,3,1,1,3,1,3],
        [1/9,1/9,1/9,1,1,1/4,1/3,1,1/3,1],
    ],
    columns=[columns],
)

```

```

P9 = pd.DataFrame(
    [
        [1,7,7,8,8,8,8,8,8,8],
    ],
    columns=[columns],
)

```

```

[1/7,1,7,7,7,7,7,7,8],
[1/7,1/7,1,5,5,5,1/7,5,5,5],
[1/8,1/7,1/5,1,5,1/7,1/7,1,5,5],
[1/8,1/7,1/5,1/5,1,1/8,1/8,1/4,1,1],
[1/8,1/7,1/5,7,8,1,1,8,8,8],
[1/8,1/7,7,7,8,1,1,8,8,8],
[1/8,1/7,1/5,1,4,1/8,1/8,1,4,4],
[1/8,1/7,1/5,1/5,1,1/8,1/8,1/4,1,1],
[1/8,1/8,1/5,1/5,1,1/8,1/8,1/4,1,1],
],
columns=[columns],
)

```

```

P10 = pd.DataFrame(
[
[1,3,4,4,3,4,5,5,4,7],
[1/3,1,5,1,3,7,6,1/3,9,8],
[1/4,1/5,1,1/4,2,6,2,4,9,8],
[1/4,1,4,1,1/5,4,1/4,1/4,7,8],
[1/3,1/3,1/2,5,1,2,1/4,1/4,7,7],
[1/4,1/7,1/6,1/4,1/2,1,1/6,1/6,7,8],
[1/5,1/6,1/2,4,4,6,1,3,6,4],
[1/5,3,1/4,4,4,6,1/3,1,8,5],
[1/4,1/9,1/9,1/7,1/7,1/7,1/6,1/8,1,3],
[1/7,1/8,1/8,1/8,1/7,1/8,1/4,1/5,1/3,1],
],
columns=[columns],
)

```

```

P11 = pd.DataFrame(
[
[1,7,7,7,7,1,1,1,8,7],
[1/7,1,1,1,1,1/9,1/9,8,1/7,7],
[1/7,1,1,9,1/8,1/8,1/8,1/8,7,7],
[1/7,1,1/9,1,1/8,1/8,1/8,1/8,1/8,6],
[1/7,1,8,8,1,1,1,1,1,1/7],
[1,9,8,8,1,1,1,1/8,1/7,1/7],
[1,9,8,8,1,1,1,1,1,8],
[1,1/8,8,8,1,8,1,1,7,7],
[1/8,7,1/7,8,1,7,1,1/7,1,7],

```



```

        [1/7,1/7,1/7,1/6,7,7,1/8,1/7,1/7,1],
    ],
    columns=[columns],
)
P12 = pd.DataFrame(
    [
        [1,6,8,8,8,7,6,8,9,6],
        [1/6,1,8,8,7,8,8,8,9,6],
        [1/8,1/8,1,1/5,4,5,1/4,7,1/4,1/5],
        [1/8,1/8,5,1,3,5,1/5,5,1/5,3],
        [1/8,1/7,1/4,1/3,1,1/4,1/4,6,5,5],
        [1/7,1/8,1/5,1/5,4,1,1/7,5,1/6,1/7],
        [1/6,1/8,4,5,4,7,1,3,3,6],
        [1/8,1/8,1/7,1/5,1/6,1/5,1/3,1,1/6,1/8],
        [1/9,1/9,4,5,1/5,6,1/3,6,1,1/8] ,
        [1/6,1/6,5,1/3,1/5,7,1/6,8,8,1] ,
    ],
    columns=[columns],
)

# Aritmetik ortalama yöntemi
group_matrix = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8 + P9 + P10 + P11 + P12)/12
alts = group_matrix.to_numpy()
# ağırlık ve kriterler
weights = w.entropy_weights(alts)
types = np.array([1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1])
cvalues = COMET.make_cvalues(alts)
expert_function = MethodExpert(TOPSIS(), weights, types)
bounds = SPOTIS.make_bounds(alts)

methods = [
    TOPSIS(),
    MABAC(),
    COMET(cvalues, expert_function),
    SPOTIS(bounds)
]
method_names = ['TOPSIS', 'MABAC', 'COMET', 'SPOTIS']
prefs = []
ranks = []

```

```

for method in methods:
    pref = method(alts, weights, types)
    rank = method.rank(pref)

    prefs.append(pref)
    ranks.append(rank)

a = [f'$A_{{{i+1}}}$' for i in range(len(prefs[0]))]
pd.DataFrame(zip(*prefs), columns=method_names, index=a).round(3)

pd.DataFrame(zip(*ranks), columns=method_names, index=a).astype('int')
fig, ax = plt.subplots(figsize=(7, 3), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.ranking_bar(ranks, labels=method_names, ax=ax)
plt.savefig('images/1-ranking_bar.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

fig, ax = plt.subplots(figsize=(7, 3), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.ranking_flows(ranks, labels=method_names, ax=ax)
plt.savefig('images/2-ranking_flows.pdf', bbox_inches='tight')
ax.set_ylabel("Sıralama Değişimi")
plt.show()

fig, ax = plt.subplots(figsize=(4, 4), dpi=150, tight_layout=True, subplot_kw=dict(projection='polar'))
visuals.polar_plot(ranks, labels=method_names, legend_ncol=2, ax=ax)
plt.savefig('images/3-polar_plot.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

from pymcdm.correlations import weighted_spearman

corrs = []
for r in ranks:
    corrs.append(weighted_spearman(ranks[0], r))
fig, ax = plt.subplots(figsize=(7, 2.5), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.correlation_plot(corrs, ylim=(0.95, 1.01), space_multiplier=0.5, labels=method_names, ax=ax)
plt.savefig('images/4-correlation_plot.pdf', bbox_inches='tight')
ax.set_ylabel("Korelasyon")
plt.show()

criteria_names = [ "Solar Radiation", "Annual Sunshine Hours"]

```

```

alts = group_matrix[criteria_names].to_numpy()

weights = np.ones(2) / 2
types = np.ones(2)
cvalues = COMET.make_cvalues(alts)

comet = COMET(cvalues, MethodExpert(TOPSIS(), weights, types))
fig, ax = plt.subplots(figsize=(4, 4), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.mej_plot(comet.get_MEJ())
plt.savefig('images/7-mej.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

fig, ax = plt.subplots(figsize=(4, 4), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.comet_2d_plot(cvalues, alts)
plt.savefig('images/8-comet2d.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

fig, ax = plt.subplots(figsize=(4, 4), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.comet_contourf(comet,
                        alts,
                        colorbar=True)
plt.savefig('images/9-comet_contourf.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

fig, axes = plt.subplots(2, 1, figsize=(5, 4), dpi=150)
for i in range(2):
    visuals.comet_tfns(comet,
                       criterion_index=i,
                       criterion_name=criteria_names[i],
                       colors=['tab:blue', 'tab:red', 'tab:green'],
                       plot_kwargs=dict(lw=2),
                       ax=axes[i])
plt.tight_layout()
plt.savefig('images/10-comet_tfs.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

alts = group_matrix[["Solar Radiation", "Annual Sunshine Hours", "Average Temperature"]].to_numpy()
cvalues = COMET.make_cvalues(alts)
fig, ax = plt.subplots(figsize=(5, 5), dpi=150, tight_layout=True, subplot_kw=dict(projection='3d'))

```

```

visuals.comet_3d_plot(cvalues, alts, ax=ax)
plt.savefig('images/11-comet3.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

from pymcdm import weights as w
# decision matrix
alts = group_matrix[group_matrix.columns[3:]].to_numpy()

weighting_methods = [
    w.equal_weights,
    w.entropy_weights,
    w.standard_deviation_weights,
    w.gini_weights
]
weight_sets = []
for m in weighting_methods:
    weight_sets.append(m(alts))
fig, ax = plt.subplots(figsize=(7, 3), dpi=150, tight_layout=True)
visuals.weights_plot(weight_sets,
                      xticklabels=['Equal', 'Entropy', 'Std', 'Gini'],
                      legend_ncol=9,
                      ax=ax)
plt.savefig('images/12-weights.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()
fig, ax = plt.subplots(figsize=(5, 6), dpi=150, tight_layout=True, subplot_kw=dict(projection='polar'))
visuals.polar_weights(weight_sets,
                      xticklabels=['Equal', 'Entropy', 'Std', 'Gini'],
                      legend_ncol=5,
                      ax=ax)
plt.tight_layout()
plt.savefig('images/13-weights_polar.pdf', bbox_inches='tight')
plt.show()

```