



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜNEŞ PV ENERJİ SANTRALİ YER SEÇİMİ
İÇİN CBS'YE DAYALI HİBRİT BİR
YAKLAŞIM

Ömer ÖZTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

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 bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ömer ÖZTAŞ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ PV ENERJİ SANTRALİ YER SEÇİMİ İÇİN CBS'YE DAYALI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

Ömer ÖZTAŞ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üy. Bilal ERVURAL

2022, 55 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet AKTAN
Dr. Öğr. Üy. Saim ERVURAL

Günümüzde nüfus artışıyla birlikte üretimin artması sonucu enerjiye olan talep artmaktadır. Bu talebi karşılayabilmek için yeni enerji kaynakları araştırılmaktadır. Bu kaynaklar arasından fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye olan etkileri nedeniyle tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde süreklilik ve miktar açısından ön plana çıkan kaynak güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden maksimum düzeyde enerji elde edebilmek için güneş enerji santralinin kuruluş yerinin iyi seçilmesi önemlidir. Bu yüzden güneş enerji santrali yer seçimi problemlerinde en uygun çözümü verebilecek metotlardan çok kriterli karar verme yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılmaktadır. Yapılacak olan çalışmada güneş enerji santrali kurulabilecek alanlar belirlenecektir. Bu alanlar arasından en uygun olanı tespit etmek için coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılacaktır. Öncelikle çalışma alanı olarak güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Konya İli belirlenmiştir. Literatür taraması sonucunda elde ettiğimiz kriterlerin Konya İli haritaları CBS programında oluşturulmuştur. Kriter haritaları için puanlama yapılarak yeniden sınıflandırma haritaları elde edilmiştir. Kriter ağırlıklarını bulmak için klasik en iyi en kötü yöntemi (BWM) ve Bulanık BWM yöntemleriyle ayrı ayrı kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. BWM ve Bulanık BWM kriter ağırlıkları kullanılarak her iki yöntem için CBS programında analiz yapılarak uygunluk sonuç haritaları oluşturulmuştur. Duyarlılık analizi yapılarak belirlenen senaryolara göre sonuç haritalarının puan alan değerleri karşılaştırılıp faktörlerin önemi incelenmiştir. Konya'da bulunan mevcut santrallerin BWM ve Bulanık BWM sonuç haritalarına göre uygunluk sonuçları tespit edilerek çalışmanın tutarlılığı kontrol edilmiştir. Sonuç olarak Konya İlinde güneş enerji santrali yer seçimi için kesinlikle kullanılamaz alanlardan tamamen uygun alanlara kadar kategorize edilmiş haritalar CBS yardımıyla elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: BWM, Bulanık BWM, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çok Kriterli Karar Verme, Güneş PV Enerji Santrali

ABSTRACT

MS THESIS

A GIS BASED HYBRID APPROACH FOR SOLAR PV POWER PLANT SITE SELECTION

Ömer ÖZTAŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Bilal ERVURAL

2022, 55 Pages

Jury

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Asst. Prof. Dr. Saim ERVURAL

Nowadays, the energy demand is increasing due to the increase in production with the rise in population. In order to meet this demand, new energy sources are being researched. Among these sources, the tendency to renewable energy sources is increasing worldwide due to the limited use of fossil fuels and their effects on the environment. Among the renewable energy sources, the source that stands out in terms of continuity and quantity is solar energy. In order to obtain maximum energy from solar energy, it is essential to choose the location of the solar power plant well. Therefore, multi-criteria decision-making methods and geographic information systems are used among the methods that can provide the most appropriate solution for solar power plant location problems. The work will determine the areas where solar power plants can be established. Geographical information systems and multi-criteria decision-making methods will be used to determine the most appropriate among these areas. First, Konya Province, which has a high solar energy potential, was selected as the study area. Konya Province maps of the criteria we obtained from the literature review were created in the GIS program. Reclassification maps were obtained by scoring the criteria maps. In order to find the criterion weights, separate criterion weights were determined by BWM and Fuzzy BWM methods. Using BWM and Fuzzy BWM criterion weights, both methods were analyzed in the GIS program, and suitability result maps were created. According to the scenarios determined by sensitivity analysis, the scores of the result maps were compared, and the importance of the criteria was specified. The consistency of the study was analyzed by selecting the compliance results according to the BWM and Fuzzy BWM result maps of the existing power plants in Konya. As a result, maps categorized from absolutely unusable to completely suitable areas for solar power plant location selection in Konya were obtained with the help of GIS.

Keywords: BWM, Fuzzy BWM, Geographic Information Systems, Multi-Criteria Decision Making, Solar PV Power Plant

ÖNSÖZ

Son yıllarda enerjiye olan talebin artması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana çıkmasıyla güneş enerjisi kullanımı önemli bir hale gelmiştir. Bunun için güneş enerji santrallerinin kurulmasında yer tespitinin en uygun şekilde yapılarak maksimum enerji getirisi sağlayabilmek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasını gerekli hale getirmiştir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak güneş enerji santrali yer seçimi probleminin çözümü yapılacaktır.

Yüksek lisans eğitimim süresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bu çalışmada karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üy. Bilal ERVURAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca bana destek olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ömer ÖZTAŞ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	3
2.1. Güneş Enerjisi.....	5
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
4.1. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	11
4.1.1. En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)	11
4.1.2. Bulanık Küme Teorisi.....	13
4.1.2.1 Üçgen Bulanık Sayılar	13
4.1.3. Bulanık En İyi En Kötü Yöntemi	14
4.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri	16
4.3. Önerilen Yaklaşım	17
5. UYGULAMA	19
5.1. Problemin Tanımlanması	19
5.2. Kriterlerin Tespit Edilmesi	19
5.2.1. Güneş Radyasyonu	19
5.2.2. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	20
5.2.3. Bakı.....	20
5.2.4. Eğim.....	20
5.2.5. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık.....	20
5.2.6. Yollara Uzaklık.....	21
5.2.7. Akarsulara Uzaklık	21
5.2.8. Göllere Uzaklık.....	21
5.3. Çalışma Alanının Belirlenmesi	21
5.4. Çalışma Verileri	23

5.4.1. Güneş Radyasyonu Haritası.....	23
5.4.2. Enerji Nakil Hatları Haritası	24
5.4.3. Bakı Haritası	24
5.4.4. Eğim Haritası	25
5.4.5. Yerleşim Merkezleri Haritası.....	25
5.4.6. Yol Haritası.....	26
5.4.7. Akarsu Haritası	26
5.4.8. Göl Haritası.....	27
5.5. Uzaklık Haritalarının Düzenlenmesi	27
5.5.1. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Haritası.....	27
5.5.2. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Haritası	28
5.5.3. Yollara Uzaklık Haritası	28
5.5.4. Akarsulara Uzaklık Haritası.....	29
5.5.5. Göllere Uzaklık Haritası	29
5.6. Kriterlerin Yeniden Sınıflandırılması	30
5.6.1. Güneş Radyasyonu Yeniden Sınıflandırma	30
5.6.2. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Yeniden Sınıflandırma.....	31
5.6.3. Bakı Yeniden Sınıflandırma	31
5.6.4. Eğim Yeniden Sınıflandırma	32
5.6.5. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma	33
5.6.6. Yollara Uzaklık Yeniden Sınıflandırma	34
5.6.7. Akarsu Uzaklık Yeniden Sınıflandırma.....	35
5.6.8. Göl Uzaklık Yeniden Sınıflandırma	36
5.7. Kriter Ağırlıklarının Bulunması.....	37
5.7.1. BWM ile Kriter Ağırlıklarının Bulunması.....	37
5.7.2. Bulanık BWM ile Kriter Ağırlıklarının Bulunması.....	39
5.8. Sonuçların Analizi ve Tartışma	42
5.8.1. BWM Kriter Ağırlıklarına Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası	42
5.8.2. Bulanık BWM Kriter Ağırlıklarına Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası.....	43
5.9. Senaryo ve Duyarlılık Analizi	44
5.10. Konya’da Bulunan Mevcut Santrallerin Uygunluk Durumları.....	48
5.11. Belirlenen Potansiyel Alanlar	50
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	53

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Oranları	4
Şekil 4.1. BWM referans karşılaştırma (Rezaei, 2015)	12
Şekil 4.2. Çalışmanın Önerilen Yaklaşım Şeması	18
Şekil 5.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli	22
Şekil 5.2. Konya İli'ne Ait Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası	22
Şekil 5.3. Konya İli'ne Ait Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri	23
Şekil 5.4. Konya Güneş Radyasyonu Haritası	23
Şekil 5.5. Konya Enerji Nakil Hattı Haritası	24
Şekil 5.6. Konya Bakı Haritası	24
Şekil 5.7. Konya Eğim Haritası	25
Şekil 5.8. Konya Yerleşim Merkezleri Haritası	25
Şekil 5.9. Konya Yol Haritası	26
Şekil 5.10. Konya Akarsu Haritası	26
Şekil 5.11. Konya Göl Haritası	27
Şekil 5.12. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Haritası	27
Şekil 5.13. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Haritası	28
Şekil 5.14. Yollara Uzaklık Haritası	28
Şekil 5.15. Akarsu Uzaklık Haritası	29
Şekil 5.16. Göllere Uzaklık Haritası	29
Şekil 5.17. Güneş Radyasyonu Yeniden Sınıflandırma Haritası	30
Şekil 5.18. Enerji Nakil Hattı Yeniden Sınıflandırma Haritası	31
Şekil 5.19. Bakı Yeniden Sınıflandırma Haritası	32
Şekil 5.20. Eğim Yeniden Sınıflandırma Haritası	33
Şekil 5.21. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma Haritası	34
Şekil 5.22. Yol Yeniden Sınıflandırma Haritası	35
Şekil 5.23. Akarsu Yeniden Sınıflandırma Haritası	36
Şekil 5.24. Göl Yeniden Sınıflandırma Haritası	37
Şekil 5.25. Klasik BWM'ye Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası	42
Şekil 5.26. Bulanık BWM'ye Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası	43
Şekil 5.27. Senaryo-1 Sonuç Haritası	45
Şekil 5.28. Senaryo-2 Sonuç Haritası	46
Şekil 5.29. Senaryo-3 Sonuç Haritası	47
Şekil 5.30. BWM'ye Göre Konya Karapınar GES Projesi Alanı	49
Şekil 5.31. Bulanık BWM'ye Göre Konya Karapınar GES Projesi Alanı	50

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Santral ve Kurulu Güç Miktarları	4
Tablo 3.1. Yer seçimi için ÇKKV Tekniklerinin Uygulanmasına İlişkin Literatür.....	10
Tablo 4.1. Tutarlılık Endeks Değerleri	13
Tablo 4.2. Karar Vericilerin Dilsel Değişkenlerinin Dönüşüm Kuralları	14
Tablo 4.3. Bulanık BWM için Bulanık Tutarlılık İndeksleri (FCI)	16
Tablo 5.1. Güneş Radyasyonu Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	30
Tablo 5.2. Enerji Nakil Hattı Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	31
Tablo 5.3. Bakı Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	32
Tablo 5.4. Eğim Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	33
Tablo 5.5. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	34
Tablo 5.6. Yol Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	35
Tablo 5.7. Akarsu Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	36
Tablo 5.8. Göl Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi	37
Tablo 5.10. En Kötü Kriterin Diğer Kriterlere Göre Öncelik Tercihi Çizelgesi.....	38
Tablo 5.11. BWM Kriter Ağırlıkları ve Sapma Değeri	39
Tablo 5.12. Diğerlerine Göre En İyi Kriterin Bulanık İkili Karşılaştırması	40
Tablo 5.13. En Kötüye Göre Diğer Kriterlerin Bulanık İkili Karşılaştırması.....	40
Tablo 5.14. Bulanık BWM Kriter Bulanık Optimum Ağırlıkları	41
Tablo 5.15. Alanların Puanlama Çizelgesi.....	43
Tablo 5.16. Sonuçların Harita Alan Değerleri	44
Tablo 5.17. Duyarlılık Analizi Senaryoları	44
Tablo 5.18. Senaryo-1 Harita Alan Değerleri	45
Tablo 5.19. Senaryo-2 Harita Alan Değerleri	46
Tablo 5.20. Senaryo-3 Harita Alan Değerleri	47
Tablo 5.21. Mevcut Durum Bulanık BWM Harita Alan Değerleri	48
Tablo 5.22. Duyarlılık Analizi Sonuçları	48
Tablo 5.23. Konya’da Bulunan Mevcut Santrallerin Uygunluk Sonuçları	49
Tablo 5.24. GES Kurulabilecek En Uygun Alanlar	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- ξ : Sapma
 $\tilde{a}$: Bulanık Küme
 $\mu_{\tilde{a}}(x)$: Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonu

Kısaltmalar

- AHP : Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP : Analitik Ağ Süreci
BWM : En İyi En Kötü Yöntemi
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇAKV : Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV : Çok Ölçütlü Karar Verme
ELECTRE : Eliminasyon ve Seçim Yöntemi
ENH : Enerji Nakil Hattı
GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES : Güneş Enerji Santrali
GMIR : Dereceli Ortalama Entegrasyon Gösterimi
MW : Megawatt
 m^2 : Metrekare
OWA : Sıralı Ağırlıklandırılmış Ortalama
PV : Fotovoltaik
TFN : Üçgen Bulanık Sayı
TOPSIS : İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği
VIKOR : Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışıyla birlikte üretimin artması sonucu enerjiye olan talep artmaktadır. Bu talebi karşılayabilmek için yeni enerji kaynakları araştırılmaktadır. Bu kaynaklar arasından fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye olan etkileri nedeniyle tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde süreklilik ve miktar açısından ön plana çıkan kaynak güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden maksimum düzeyde enerji elde edebilmek için güneş fotovoltaik (PV) enerji santralının kuruluş yeri seçimi önem arz etmektedir.

Yer seçim probleminin yapısına bağlı olarak, konum belirleme problemleri sürekli ve ayrık modeller olarak ikiye ayrılabilir. Sürekli yerleşim modellerinde, tesisler düzlemde herhangi bir yere yerleştirilebilir (yani, dolaylı olarak belirlenmiş sonsuz sayıda olası bölge vardır), oysa ayrık durumda, yeni tesislerin seçilebileceği sonlu sayıda ve açıkça tanımlanmış potansiyel bölge vardır (Irawan, 2019).

Enerji kaynaklarının analizi ve planlaması için son zamanlarda kullanılan önemli araçlardan biri, alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla haritalanmasıdır. CBS çoklu mekansal modellerin eşzamanlı olarak yönetilmesini ve görselleştirilmesini, seçilen alanların faydalı özelliklerini optimize etmesini ve olumsuz özelliklerinin de en aza indirilmesini sağlar (Rios ve Duarte, 2021). CBS sürekli durumlarda yer seçimi problemlerinde kullanılır. CBS'yi yeryüzüne ait bilgileri belirli bir amaca yönelik olarak toplamaya, bilgisayar ortamında depolamaya, kontrol etmeye, sorgulamaya, analiz etmeye ve görüntülemeye olanak sağlayan teknik aletler bütünü olarak tanımlamak mümkündür. Bu cihazlar yazılım ve donanımdan oluşmaktadır. Yeryüzüne ait bilgiler genellikle coğrafi koordinatları referans aldıklarından CBS, harita sistemi olarak da algılanmaktadır. Önemli olan nokta, yeryüzüne ait olan bilgilerin sadece coğrafi olmayıp fakat coğrafi bilgilerin durum ve yapıları hakkında detayları içerebilen coğrafi olmayan bilgiler de olabileceğidir (Tecim, 2016).

Potansiyel güneş enerjisi bölgelerinin belirlenmesi, güneş enerjisi santrallerinin kurulması için ilk adımdır. Güneş enerjisi santralleri için uygun yerlerin belirlenmesinde çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Güneş enerjisi santralleri için uygun yerlerin bulunması, potansiyel olarak enerjinin depolanmasını en üst düzeye çıkarabilir ve enerji transferinin maliyetini azaltabilir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) ve CBS yaklaşımları, yenilenebilir enerji haritalama alanında yaygın olarak uygulanmaktadır (Gigovic ve diğ., 2017; Escudero ve diğ. 2021). CBS ve

ÇKKV'nin entegrasyonu, karar vericilerin birden fazla kritere göre uygun alternatifler arasından en iyi alternatifi seçmelerine yardımcı olur. CBS, güneş enerjisi mekansal verilerinin yüklenmesi, kullanılması ve değerlendirilmesi için baskın bir araç olarak kullanılabilirken, ÇKKV yöntemleri, alternatif güneş enerjisi santrali konumlarının değerlendirilmesini ve yer seçim sürecindeki önemli kriterleri dikkate alarak uygun yerlerin seçimini kolaylaştırabilir.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısının artırılmasına yönelik kamu kurumları tarafından verilen teşvikler sayesinde güneş PV enerji santrallerinin sayısı artırılmak istenmektedir. Bunu sağlayabilmek için öncelikle güneş PV enerji santrallerine uygun yer tespiti yapılması gereklidir. Bu çalışmanın amacı CBS kullanarak belirlenen alanlar içinden çok kriterli karar verme yöntemiyle en uygun güneş PV enerji santrali yer seçimini yapabilecek hibrit bir yaklaşım sunmaktır. Çalışmada öncelikle güneş enerjisi santrali yer seçimini etkileyen faktörler belirlenerek En İyi En Kötü yöntemi (BWM-Best Worst Method) ile önem seviyeleri belirlenecek ardından belirlenen aday bölgeler arasından en uygun olanı tespit etmek için CBS'den yararlanılacaktır. Bu çalışmada Konya ilinde güneş PV enerji santralinin kurulabileceği en uygun alanlar tespit edilecektir ve mevcut güneş enerji santrallerinin uygunluğu analiz edilecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları durumu hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ÇKKV yöntemlerine, CBS'ye ve önerilen yaklaşıma değinilmiştir. Beşinci bölümde ele alınan problem sunulmuş ve çözümü yapılmıştır. Altıncı bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ

Yenilenebilir enerji kaynakları serbest halde, sürekliliği devam eden ve kullanıldıkça tükenmeyen enerji kaynağıdır. Günümüzde küresel ısınma ve çevresel sorunlar göz önüne alındığında yenilenebilir enerji önemli rol oynamaktadır.

Yenilenebilir enerji türlerini genel olarak;

- Hidrolik enerji
- Rüzgar enerjisi
- Jeotermal enerji
- Biyokütle enerji
- Hidrojen enerjisi
- Güneş enerjisi

olarak sınıflandırabiliriz. Bunları birer cümle ile tanımlamak gerekirse;

Hidrolik enerji; yükseklik farkı olan iki nokta arasında suyun akış hızından elde edilen enerji şeklidir. Eskiden tek bir türbin ile tek bir kaynaktan enerji üretilirken gelişen teknoloji ile bir su akış güzergahından bir çok türbin kurularak tek seferde daha fazla enerji elde edilebilmektedir.

Rüzgar Enerjisi; rüzgarın çeşitli tribünlerde değerlendirilerek elde edilen enerji çeşididir ve atmosferik hareketler, yeryüzü coğrafyası gibi sebepler ile hava akımı oluşmasıyla meydana gelir. Amaç ve ihtiyaçlara göre tribünlerin Şekillerinde ve büyüklüklerinde farklılıklar göstermektedir. Örneğin geçmişte en ilkel zamanlarda bile buğday, arpa gibi tarım ürünlerinin öğütülmesinde rüzgar tribünleri kullanıldığı gibi günümüzde büyük tribünlerle rüzgar enerjisi santrali ile elektrik enerjisi üretilmektedir.

Jeotermal Enerji; yer altında bulunan farklı derinliklerde ortaya çıkan ısınan sıvıların verdiği enerji çeşididir. Örneğin bazı şehirlerde sıcak su kaynağı sadece termal için kullanılır iken Afyonkarahisar'da konutlarda ısınma ve sıcak su ihtiyacı da bu şekilde sağlanmaktadır.

Biyokütle Enerjisi; esas kaynağı bitkisel ve hayvansal ürünler olup atıkların çeşitli Şekillerde yakılarak enerji elde edilmesi işlemidir. Sanayileşen dünyada daha az yakıtla daha fazla enerji elde etmek amacıyla ihtiyaç duyulan enerji çeşididir. Biyokütle atıkların belli bir reaksiyon sonucunda büyük miktarda enerji ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hem yenilenebilir bir kaynak hem de çevreci bir kaynak olarak çevresel sorunlarla mücadelede önemli rol oynar.

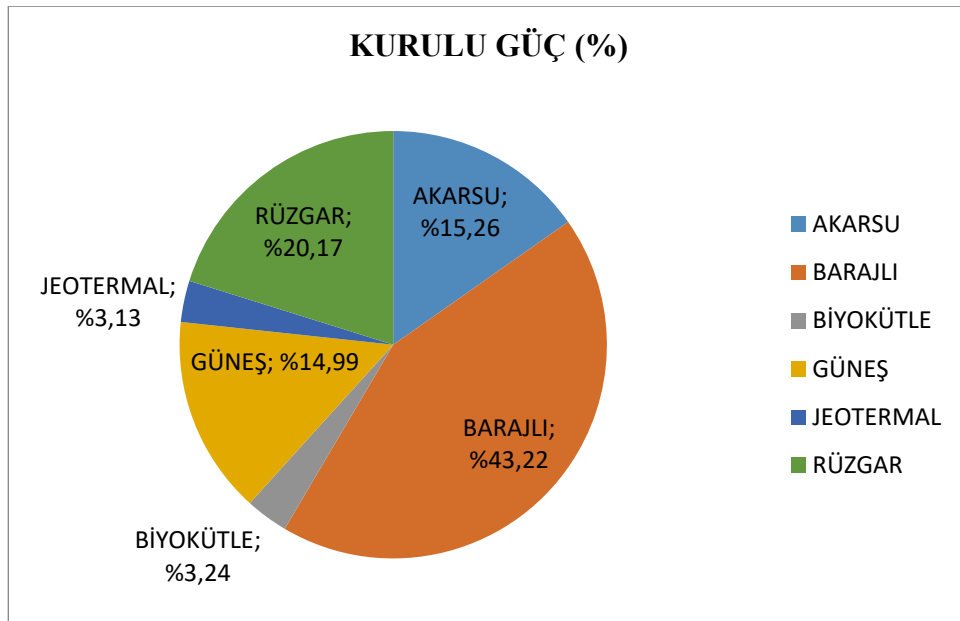
Hidrojen Enerji; Fosil kaynaklardan veya su kaynaklarından elde edilmesi durumu hidrojen enerjisini yenilenebilir kılmaktadır. Doğal enerji olmamasına rağmen, sürdürülebilir enerji kaynağıdır.

Güneş Enerjisi; dünyadaki hayatın temelini oluşturan güneş sonsuz ve güçlü bir enerji kaynağıdır. İlk çağlardan beri herhangi bir aygıt olmaksızın kullanılan güneş ışınları günümüzde güneş panelleri sayesinde elde edilen güneş enerji santrallerinde elektrik enerjisi olarak dönüştürülmektedir (Türkseven, 2019).

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları santral adeti ve kurulu güç olarak Tablo 2.1.'de gösterilmiştir (TEİAŞ, 2022). Bu kaynakların kurulu güç oranları Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Santral ve Kurulu Güç Miktarları

BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADETİ	KURULU GÜÇ (MW)
AKARSU	604	8229,9
BARAJLI	144	23317,8
BİYOKÜTLE	380	1745,4
GÜNEŞ	8566	8084,9
JEOTERMAL	63	1686,3
RÜZGAR	355	10882,8
TOPLAM	10112	53947,1



Şekil 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Oranları

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş, Dünya gezegeni için tükenmez serbest enerjinin (yani güneş enerjisinin) önemli bir kaynağıdır. Şu anda, hasat edilen güneş enerjisinden elektrik üretmek için yeni teknolojiler kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar hâlihazırda kanıtlanmış olup, geleneksel hidro-olmayan teknolojilere yenilenebilir alternatifler olarak dünya çapında yaygın olarak uygulanmaktadır. Teorik olarak, güneş enerjisi, hasat ve tedarik teknolojileri hazır olduğunda tüm dünyanın enerji taleplerini yeterince karşılama potansiyeline sahiptir. Yılda yaklaşık dört milyon exajoule ($1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$) güneş enerjisi yeryüzüne ulaşır, yaklaşık $5 \times 10^4 \text{ EJ}$ 'sinin kolayca hasat edilebilir olduğu iddia edilmektedir. Bu büyük potansiyele ve farkındalık artışına rağmen, güneş enerjisinin küresel enerji arzına katkısı hala ihmal edilebilir düzeydedir (Kabir, 2017).

Nüfusun artması, teknolojik ve ekonomik gelişme ile birlikte insan daha iyi bir yaşam ortamı yaratmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, geleneksel fosil yakıtların yakılması, iklim değişikliği, küresel ısınma, hava kirliliği ve asit yağmuru gibi bir dizi çevresel soruna neden olmaktadır. Bu nedenle, elektrik üretiminde yer alan politik, ekonomik ve çevresel zorluklarla başa çıkmak için yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesine acil bir ihtiyaç vardır. Son yıllarda bu tür enerjilerin ortaya çıkması, araştırmacılar, siyaset ve endüstri liderleri arasında yeni enerji kaynağının ekonomik uygulanabilirliğini anlama konusundaki ilgiyi büyük ölçüde artırmıştır. Elektrik üretmek için fotovoltaiik paneller aracılığıyla güneş enerjisinin yakalanması, yenilenebilir enerji alanında en umut verici pazarlardan biri olarak kabul edilmektedir (Sampaio, 2017).

Güneş enerjisi, tüketilecek olan fosil yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini ve sera gazı emisyonlarından kaynaklanan zararları önleyerek çeşitli çevresel ve halk sağlığı yararları sağlar. Güneş enerjisi ayrıca yakıt çıkarma (örneğin, kömür madenciliği, doğal gaz sondajı, vb.) ve yan ürün bertarafından (örneğin, kömür uçucu külü, kullanılmış yakıt çubukları) kaynaklanan etkilerden kaçınılması yoluyla sürekli dolaylı çevresel faydalar sağlar (Pitt, 2015).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Güneş PV enerji santrali yer seçimi probleminin çözümünde literatüre bakıldığında çok sayıda ÇKKV yöntemleriyle çözüm ve bu yöntemlerle birleştirilmiş hibrit çözümlerin olduğu görülmektedir.

Akkas ve arkadaşları (2017) Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'ndeki güneş enerjisi santrali için en uygun saha seçimi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nden 5 şehir belirlenmiştir. Bu şehirlerde güneş enerji santrali sahası seçimi için AHP, ELECTRE, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile ayrı ayrı çözümler yapılarak en uygun şehir tespit edilmiştir.

Aktas ve Kabak'ın (2019) Türkiye'de güneş enerjisi santrali yerleşim sahalarını değerlendirmek için hibrit kararsız bulanık karar verme yaklaşımı çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de seçilen 5 şehirde güneş enerjisi santrali yer seçimi problemi için kararsız bulanık ortam altında AHP ve TOPSIS yöntemlerini bütünleştiren bir karar verme yaklaşımı önerilmektedir.

Azizi ve arkadaşlarının (2014) İran'da Bir CBS ortamında ANP-DEMATEL kullanarak rüzgar santrali yer seçimi için yapmış olduğu arazi uygunluk değerlendirmesi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışma bir CBS ortamında ANP ve DEMATEL yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanarak İran'ın kuzeybatısındaki Erdabil ilinde rüzgar çiftlikleri kurma olasılığını değerlendirmektedir. Kriter ilişkilerini belirlemek için DEMATEL kullanılmıştır. ANP kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve yer seçimi işlemi CBS üzerinde yapılmıştır. Sonuçlar, Erdebil ili alanının yaklaşık %6,68'inin rüzgar türbini kurulması için en uygun olduğunu göstermiştir.

Badi ve arkadaşlarının (2021) Libya'da bir güneş parkı için yapmış olduğu en uygun yer seçimi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışma Batı Libya'nın Misrata Bölgesi'ndeki Güneş Enerjisi Santralleri için bir yer seçmede Karar Vericilere yardımcı olmak amacıyla bir mekansal model önermektedir. Bu model, finansal, sosyal ve özel ölçülerde toplanan altı kısıtlamayı ve sekiz değerlendirme kriterini dikkate alır. Önerilen kriterlerin ağırlık katsayılarını değerlendirmek için hibrit SWARA-DEMATEL (SWA'TEL) modeli kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları değiştirilerek yapılan bir duyarlılık analizi, modelin GES projeleri geliştirmek için uygun yerlerin seçilmesinde faydalı olduğunu göstermektedir. Model aynı zamanda, benzer coğrafi koşullara sahip diğer bölgelerde kurulmakta olan güneş enerjisi çiftlikleri için uygun yerlerin belirlenmesine yardımcı olmak için de etkili bir şekilde kullanılabilir.

Beltran ve arkadaşlarının (2010) İspanya’da PV güneş enerjisi santrali yatırım projelerinin seçimi için ANP tabanlı bir yaklaşım çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada İspanya’da 4 şehir belirlenmiştir ve bu şehirlerde güneş enerji santrali yapımı projelerinden en uygunu AHP ve ANP yöntemlerinin kullanılmasıyla tespit edilmiştir.

Colak, Memisoglu ve Gercek’in (2020) Türkiye Malatya ilinde CBS ve AHP kullanarak yapmış olduğu güneş PV santralleri için en uygun yer seçimi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada CBS kullanılarak Malatya’da 4 bölge tespit edilmiştir. Bu bölgeler arasından güneş enerji santrali kurmak için en uygunu AHP yöntemiyle belirlenmiştir.

Garni ve Awasthi (2017) Suudi Arabistan’da CBS-AHP tabanlı bir yaklaşım kullanarak güneş enerji santrali saha seçimi uygulaması yapmışlardır. Bu çalışmada CBS kullanılarak Suudi Arabistan’da 5 şehir tespit edilmiştir ve bu şehirler arasından santral saha seçimi için en uygunu AHP yöntemi kullanılarak bulunmuştur.

Gigovic ve arkadaşlarının (2017) Sırbistan’da Rüzgar santrallerinin yerini seçmek için yapmış olduğu GIS-DANP-MABAC çok kriterli modelin uygulanması çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada DEMATEL-ANP (DANP) yöntemi, seçilen uygulanabilir lokasyonları sıralamak için MABAC yöntemi kullanılmaktadır. Önerilen yöntem ve bu çalışmanın sonuçları, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili kamu yönetiminin her kademesinde mekansal kalkınma politikası için kullanılabilir olduğunu belirtmektedir.

Lee ve arkadaşlarının (2017) Tayvan’da yaptığı PV güneş santrali yer seçimi için hibrit ÇKKV yaklaşımı çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada Tayvan’da 5 bölge arasından güneş santrali yer seçimi için en uygunu Bulanık ANP ve VIKOR yöntemlerinin hibrit kombinasyonu kullanılarak bulunmuştur.

Merrouni ve arkadaşlarının (2018) Doğu Fas’da CBS ile AHP’yi birleştirerek büyük ölçekli PV sitelerin seçimi için yapılmış örnek bir vaka çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada CBS kullanılarak Fas’da 8 şehir tespit edilmiştir. Bu şehirler arasından AHP yöntemiyle güneş enerji santralinin kurulabileceği en uygun şehir belirlenmiştir.

Moradi ve arkadaşlarının (2020) İran’da Rüzgar santrali saha seçimi ve duyarlılık analizi için çok kriterli karar destek sistemi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışma İran’ın merkezindeki rüzgar enerjisi kaynaklarını tahmin etmek için çok kriterli bir karar destek sistemini analiz etmektedir. ArcGIS yazılımı kullanılarak rüzgar kaynağı değerlendirmesi için ÇKKV yöntemi ve yer seçim kriteri çalışma alanı için tanımlanmış ve geliştirilmiştir. AHP kriterleri olarak arazinin eğimi, rüzgar hızı, elektrik

şebekesinden uzaklık, trafo merkezlerinden uzaklık, kentsel alanlardan uzaklık, otoyol ve yollardan uzaklığı dikkate almaktadır. Çalışmanın sonuçları, çalışma alanının %20'sinin rüzgar santrali gelişimi için uygun olduğunu göstermektedir.

Nazari ve arkadaşlarının (2018) İran'da TOPSIS yaklaşımına dayalı güneş enerjisi santrali saha seçiminin analizi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada İran'da bulunan 4 şehir arasından santral kurmak için en uygunu TOPSIS yöntemi ile bulunmuştur.

Ozdemir ve Sahin'in (2018) Türkiye Iğdır'da AHP kullanarak yapmış olduğu bir güneş enerji santrali için yer seçiminde ÇKKV çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada CBS kullanılarak Iğdır'da 3 bölge belirlenmiştir. Bu bölgeler arasından güneş enerji santrali yer seçimi için en uygun olanı AHP yöntemiyle bulunmuştur.

Rios ve Duarte'nin (2021) Peru'da yapmış olduğu AHP-CBS aracılığıyla büyük ölçekli güneş fotovoltaik projelerinin geliştirilmesi için ideal yerlerin seçimi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada AHP kullanılarak analiz edilen kriterler ile 33 kısıtlama faktörü ve 7 kritere ilişkin bilgiler belirlenmiş ve sistemleştirilmiştir. Sonuç olarak, ülkenin %69,52'si AHP analizinden çıkarılmış, kalan alanın yaklaşık 22257 km²'si yüksek potansiyele sahip alanlar olarak kabul edilmiştir (%0,09) veya "Çok Yeterli" (%5.55) olarak kabul edilmiştir.

Shorabeh ve arkadaşlarının (2019) İran'da farklı iklimlerde güneş enerjisi santrali yer seçimi için risk bazlı çok kriterli mekansal karar analizi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada İran'da farklı iklim koşullarına sahip dört ilde güneş enerjisi santralleri için potansiyel alanları temsil eden haritalar oluşturmak için CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (GIS-MCDA) tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları kurak bir iklimde yer alan illerin, yağışlı iklim illerine kıyasla güneş enerjisi santralleri için daha uygun bir alana sahip olduğunu göstermektedir.

Sindhu ve arkadaşlarının (2017) Hindistan'da Hibrit AHP-TOPSIS analizi kullanarak güneş enerjisi santrali dağıtımının fizibilite çalışmasının araştırılması için yapılmış vaka çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada Hindistan'da bulunan 5 şehir arasından AHP ve Bulanık TOPSIS yönteminin hibrit kombinasyonu kullanılarak santralin kurulabileceği en uygun şehir belirlenmiştir.

Sun ve arkadaşlarının (2020) Çin'de yapmış olduğu PV ve konsantre güneş enerjisi (CSP) tesislerinin potansiyel değerlendirmesi ve uygun yer seçimi için CBS tabanlı ÇKKV yöntemi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışma CBS ve ÇKKV yöntemini birleştirerek, büyük ölçekli güneş PV ve CSP tesisleri için uygun yer ve teknik

potansiyelleri değerlendirmek için bir çerçeve sunmaktadır. ÇKKV yöntemi kullanılarak, PV ve CSP tesisleri için arazi uygunluğu, iklim, orografî, su mevcudiyeti ve konum gibi farklı faktörlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ile değerlendirilir ve burada faktör ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanır. Elde edilen sonuçlar, güneş enerjisi santrali kurulumu için Çin Ningxia'nın orta bölgesinin tavsiye edildiğini ileri sürmüştür.

Suuronen ve arkadaşlarının (2017) Kuzey Şili'deki fotovoltaik güneş enerjisi santrali konumlarının optimizasyonu için yapılmış çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada Kuzey Şili'de CBS kullanılarak 6 bölge belirlenmiştir ve bu bölgeler arasından santral kurmak için en uygun bölge AHP ve OWA yöntemlerinin birleştirilerek kullanılmasıyla bulunmuştur.

Zoghi ve arkadaşlarının (2017) İran İsfahan'da yapmış olduğu kurak ve yarı kurak bölgede bulanık mantık modeli ile ağırlıklı doğrusal kombinasyon yöntemi kullanarak güneş sahası seçimi optimizasyonu için yapılan bir vaka çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada İran İsfahan'da bulunan 6 bölgede AHP ve bulanık mantık yöntemi birlikte kullanılarak en uygun güneş enerji sahası tespit edilmiştir.

Yapılan literatür taraması sonucunda Solar PV projelerinin yer seçimi için ÇKKV tekniklerinin uygulanmasına ilişkin literatür özeti Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Yer seçimi için ÇKKV Tekniklerinin Uygulanmasına İlişkin Literatür

Referans	Yıl	Yer	Kullanılan Kriterler	ÇKKV Yöntemi
Zoghi vd.	2017	İran İsfahan	Potansiyel güneş radyasyonu, Toplam güneş ışığı saati, Nem, Eğim, Görünüş, Yükseklik, Şehre uzaklığı, Elektrik hatlarına olan mesafe, Ulaşım ağına uzaklık, Toplam bulut örtüsü günü, Kar ve yağmurlu gün sayısı, Tozlu günler	AHP
Sindhu vd.	2017	Hindistan	Tarım, istihdam ve turizm üzerindeki etkisi, Çevre bölgenin ekonomik gelişimi üzerindeki etkisi, Halkın kabulü, Yerleşim alanına uzaklık, Güneş radyasyonu veri kullanılabilirliği, Nitelikli insan gücü, İklim koşulları, Altyapı maliyeti, İletim hattına erişilebilirlik, Karayolu ve demiryolu erişilebilirliği, Görsel etki, Yaban hayatı ve nesli tükenmekte olan türler etkisi, Gürültü etkisi, Zararlı toksin emisyonu, Eyalet hükümeti politikaları, Düzenleyici sınırlar, Arazi edinimi, Yeniden yerleşim ve rehabilitasyon	AHP Bulanık TOPSIS
Garni ve Awasthi	2017	Suudi Arabistan	Arazi kullanımı, Tarım kapasite, Kentsel alanlara uzaklık, Trafo merkezlerine uzaklık, Arazi Örtüsü, Nüfus yoğunluğu, Ana yollara uzaklık, Elektrik hatlarına olan mesafe, Tarihi alanlara uzaklık, Yaban hayatı tanımlamalarına uzaklık, Arazi masrafı, İnşaat maliyeti, Güneş ışınlaması, Ortalama sıcaklık, Eğim, Oryantasyon (yön açıları), Arsa alanı	AHP
Suuronen vd.	2017	Kuzey Şili	Eğim, Yön Belirleme, Küresel ışınlama, Sıcaklık, Karayolu erişimi, Şebeke olan mesafe, Biokütle, Nadir bitki türü, Arazi kullanımı, 5000 nüfustan büyük şehirlere uzaklığı, Manzara,	AHP-OWA
Akkas vd.	2017	Türkiye	Güneş enerjisi potansiyeli, dağıtım merkezinin besleyici kapasitesi, yüzey eğimi	AHP-ELECTRE TOPSIS-VIKOR
Merrouni vd.	2018	Doğu Fas	Küresel Yatay ışınlama, Eğim, Konuttan uzaklık, Karayolu ve demiryolu ağına uzaklık, Elektrik şebekesine olan uzaklık, Su yollarına uzaklık, Barajlara uzaklık, Yeraltı sularına olan uzaklık	AHP
Nazari vd	2018	İran	Güneş radyasyonu, ortalama sıcaklık, coğrafi konum, altyapıların durumu, şebeke erişilebilirliği, güç talep edilen yere uzaklık, yerleşimden uzaklık, arazi uygunluğu, sosyal kabul edilebilirlik, ilerlemenin çevre bölge üzerindeki etkisi, güvenlik ve risk	TOPSIS
Ozdemir ve Sahin	2018	Türkiye Iğdır	Enerji üretimi potansiyeli, Çevresel faktörler, Emniyet, Mevcut iletim hattına olan mesafe, Topografik özellikler	AHP
Aktas ve Kabak	2019	Türkiye	Güneşli saatler, Güneş ışınlamı, Ortalama Sıcaklık, Topografya, Maliyet, Politika Desteği	AHP TOPSIS
Colak vd.	2020	Türkiye Malatya	Güneş enerjisi potansiyeli, Yön, Yollar, Yerleşim bölgeleri, Enerji nakil hatları	AHP

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Literatürde yer seçimi problemlerinin çözümünde CBS ve ÇKKV yöntemlerinin birlikte veya ayrı ayrı kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Güneş enerjisi santrali konumunun belirlenmesi problemi için bu çalışmada bütünleşik bir yaklaşım sunulmuştur. Kriter ağırlıklarını belirlemek için klasik BWM ve bulanık BWM kullanılırken, konumsal analiz için CBS kullanılmıştır. CBS, BWM ve Bulanık BWM yöntemlerinin kısa açıklamaları bu bölümde sunulmaktadır.

4.1. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

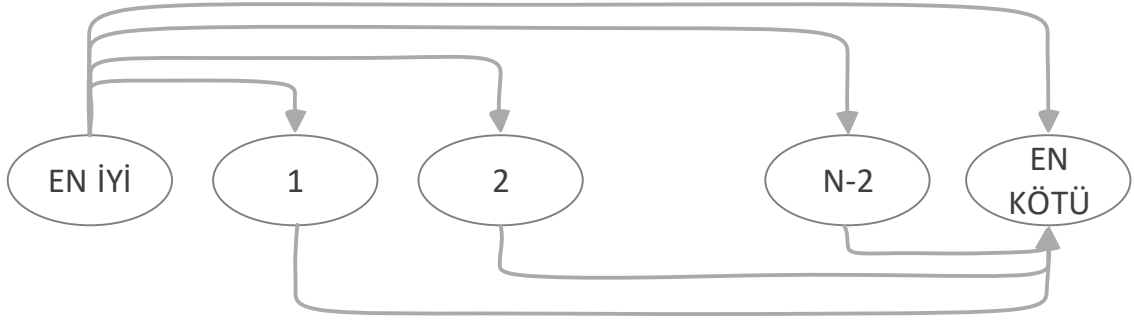
Bu çalışmada kriter ağırlıklarını elde etmek amacıyla klasik BWM ve Bulanık BWM yöntemleri kullanılacaktır. Buna göre elde edilen faktör önem seviyeleri kullanılarak CBS programında analizler gerçekleştirilecektir.

4.1.1. En İyi En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)

En İyi En Kötü Yöntem (BWM), 2015 yılında Dr. Jafar Rezaei (Delft Teknoloji Üniversitesi) tarafından geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemidir. BWM, işletme ve ekonomi gibi çeşitli karar alma alanlarında kullanılabilir. Yöntemin amacı bir dizi alternatif arasından bir alternatif veya alternatif grubu seçmektir. Bu yöntemin en belirgin özelliği, mevcut çok kriterli karar verme yöntemlerinin çoğuna kıyasla: daha az karşılaştırma verisi gerektirmesi ve daha tutarlı, güvenilir sonuçlar üretmesidir (Rezaei, 2015).

Çok kriterli karar verme probleminde, en iyi alternatifleri seçmek için birçok kritere göre çeşitli alternatifler değerlendirilir. BWM'ye göre ilk olarak en iyi (örneğin en çok istenen, en önemli) ve en kötü (örneğin en az istenen, en az önemli) kriterler karar verici tarafından belirlenir. Daha sonra bu iki kriterden her biri (en iyi ve en kötü) ve diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır (Rezaei,2015).

Çeşitli alternatif ve kriter setlerine ağırlık tanımlanarak son puanlar belirlenmekte en iyi alternatif seçilmektedir.



Şekil 4.1. BWM referans karşılaştırma (Rezaei, 2015)

En iyi-En kötü yöntemi altı adımda gerçekleşmektedir:

Adım 1. Bir dizi $C=\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ karar kriteri belirlenir.

Adım 2. En iyi (en çok istenen veya en önemli) kriter (C_B) ve en kötü (örneğin, en az istenen veya en az önemli) kriter (C_W) karar verilir.

Adım 3. 1-9 ölçeği kullanılarak en iyi kriterin diğer kriterlere göre tercihi belirlenir. Burada eşit derecede öneme sahip kriter 1, mutlak öneme sahip kriter 9 ile ölçeklendirilir. En iyi kriter C_B 'nin diğer kriterlere göre tercihi gösterir, burada a_{Bj} , en iyi kriter C_B 'nin diğer kriterlere göre tercihi gösterir ($j=1, 2, \dots, n$ ve $a_{BB} = 1$).

Adım 4. Benzer şekilde 1-9 ölçeği kullanılarak, en kötü kriterin diğer tüm kriterlerle karşılaştırılması yapılır. En kötü kriterin diğer kriterle karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan vektör: $A_W = [a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW}]$ olarak temsil edilir, burada a_{jW} , C_j kriterinin en kötü kriter C_W üzerindeki tercihi gösterir ($j=1, 2, \dots, n$ ve $a_{WW} = 1$).

Adım 5. Optimal ağırlık vektörü $w^*=[w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*]$, burada w_j^* C_j kriterinin optimal ağırlığını gösterir ve $j=1, 2, \dots, n$, aşağıdaki programlama modeli kullanılarak elde edilir (Rezai, 2016):

$$\min \max\{|W_B - W_j a_{Bj}|, |W_j - W_W a_{jW}|\} \text{ kısıtları altında}$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0$$

Denklem doğrusal hale aşağıdaki gibi çevrilebilir:

$$\min \xi$$

$$|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi$$

$$|W_j - W_W a_{jW}| \leq \xi$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0$$

Bu modelin çözümü ile kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırmaların tutarlılığı (ξ) sağlanacaktır. Tutarlılık değerinin sıfıra yakın bir değer olması beklenir.

Adım 6. Tutarlılık oranı hesaplanır.

Karşılaştırmaların tutarlılığını kontrol etmek ve sonuçların güvenilir olup olmadığını anlamak için hesaplanır. Tutarlılık oranı ne kadar küçük olursa karşılaştırmalar o kadar tutarlı olur. Tutarlılık indeksi Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Tutarlılık Endeks Değerleri

α_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık Endeksi	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

Tablo 4.1.'de gösterilen tutarlılık endeks değerlerinden de yararlanılarak, Tutarlılık oranı ise aşağıda gösterilen şekilde hesaplanır:

$$\text{Tutarlılık Oranı (TO)} = \xi / \text{Tutarlılık endeks değeri (TE)}$$

Tutarlılık oranı sıfıra ne kadar yakın olursa, elde edilen vektör o kadar tutarlı olur ve bunun tersi de geçerlidir. Genel olarak, Tutarlılık Oranı $\leq 0,1$ elde edilen vektörün kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Demir ve Bircan, 2020).

4.1.2. Bulanık Küme Teorisi

1965'te L. A. Zadeh, insan düşüncesinin öncelikle bulanık olduğunu fark edip bulanık kümeleri yorumlamıştır. Bulanık küme teorisi, karar vericilerin yargıları gibi belirsiz ve belirsiz bilgilere dayalı karar verme süreçlerini modellemek için kullanılmıştır (Kumar vd., 2017; Lima Junior vd., 2014).

4.1.2.1 Üçgen Bulanık Sayılar

1965 yılında Prof. L. A. Zadeh bulanık küme teorisini önermiştir (Zadeh, 1965). Klasik küme teorisinin bir uzantısı olarak bulanık küme teorisi, belirsizlik ortamındaki pratik problemleri çözebilir. Bir bulanık küme $\tilde{a}$ bir çifttir (U, m) , burada U bir kümedir ve $m : U \rightarrow [0, 1]$ $\mu_{\tilde{a}}(x)$ tarafından verilen üyelik fonksiyonudur. $\mu_{\tilde{a}}(x)$ 'e atıfta bulunarak, bir X söylemi evrenindeki her bir x ögesi $[0, 1]$ aralığında gerçek bir sayıya eşlenebilir.

Aşağıdaki durumlarda $\tilde{a} \in F(R)$ bir bulanık sayı olsun:

- 1) $\mu_{\tilde{a}}(x_0) = 1$ olacak şekilde $x_0 \in R$ vardır;
- 2) herhangi bir $\alpha \in [0, 1]$ için, $\tilde{a}_\alpha = [x, \mu_{\tilde{a}_\alpha}(x) \geq \alpha]$ kapalı bir aralıktır.

Burada R reel sayılar kümesidir ve $F(R)$ bulanık kümeyi temsil eder.

R üzerinde bir bulanık sayı $\tilde{a}$, üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{a}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$ aşağıdaki fonksiyona eşitse, üçgen bulanık sayı (TFN) olarak tanımlanır.

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x < m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases}$$

burada l, m ve u sırasıyla $\tilde{a}$ desteğinin alt, modal ve üst değerini temsil eder, bunların tümü kesin sayılardır ($-\infty < l \leq m \leq u < \infty$). Bir TFN bir üçlü (l, m, u) olarak temsil edilebilir.

Bir TFN $\tilde{a}$ 'nın dereceli ortalama entegrasyon gösterimi (GMIR) $R(\tilde{a})$ üçgen bulanık sayının sıralamasını temsil etsin (Zhao, 2014, Chen, 2000, Liao, 2013).

$\tilde{a}_i = (l_i, m_i, u_i)$ ve TFN $\tilde{a}_i$ 'nin GMIR $R(\tilde{a}_i)$ değeri şu şekilde hesaplanabilir:

$$R(\tilde{a}_i) = \frac{l_i + 4m_i + u_i}{6}$$

4.1.3. Bulanık En İyi En Kötü Yöntemi

Sürdürülebilirlik faktörlerinin öznel doğası göz önüne alındığında, bu çalışma, kriterlerin ağırlığını hesaplamak için Dong ve diğerleri tarafından tanıtılan bulanık BWM'yi uygular (Dong vd., 2021). En iyi ve en kötü kriterin belirlenmesinin ardından bulanık BWM yönteminin uygulanması için her bir kriter, dilsel bir ölçek kullanılarak en iyi ve en kötü kriter ile karşılaştırılır. Birden fazla uzman için, daha fazla değerlendirme için kararların fikir birliği dikkate alınmalıdır. Alternatifleri değerlendirmek için “n” kriter olduğunu varsayalım. Bu durumda, her bir kriterin ağırlığını hesaplamak için toplam $(2n - 3)$ ikili karşılaştırmalar yapılmalıdır. İkili karşılaştırma, Tablo 4.2.'de gösterildiği gibi bulanık dil ölçeğine göre yapılabilir (Roy ve Shaw, 2022).

Tablo 4.2. Karar Vericilerin Dilsel Değişkenlerinin Dönüşüm Kuralları

Dilsel Terimler	Üyelik Fonksiyonu
Eşit önemde (EÖ)	(1,1,1)
Zayıf önemde (ZÖ)	(2/3,1,3/2)
Oldukça önemli (OÖ)	(3/2,2,5/2)
Çok önemli (ÇÖ)	(5/2,3,7/2)
Kesinlikle önemli (KÖ)	(7/2,4,9/2)

Dong ve diğerleri tarafından önerilen bulanık BWM metodolojisinin adım adım prosedürü şu şekilde sunulmaktadır (Dong vd., 2021):

Adım 1. Uzmanlar, karar problemini etkileyen $C_1, C_2, \dots, C_n$ kriter kümesini oluşturur.

Adım 2. Her bir kriter grubundan en iyi kriter C_B (en önemli) ve en kötü kriter C_W (en az önemli) belirlenir

Adım 3. Diğerlerine göre en iyi vektörü elde etmek için en iyi kriter C_B 'nin diğer kriterlere göre bulanık ikili karşılaştırmaları gerçekleştirilir.

$$\tilde{A}_B = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{Bn})$$

Burada, en iyi C_B kriterinin diğer C_j kriterine göre bulanık derecelendirmesi $\tilde{a}_{Bj}$ ile temsil edilir.

$$j = 1, 2, \dots, n \text{ ve } \tilde{a}_{BB} = (1, 1, 1)$$

Adım 4. Benzer şekilde, diğerlerinden en kötüye vektörünü elde etmek için diğer tüm “j” kriterlerinin en kötü kriter C_W üzerinden bulanık derecelendirmesini gerçekleştirilir.

$$\tilde{A}_W = (\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{nW})$$

Burada, diğer “j” kriterinin en kötü kriter C_W üzerindeki bulanık tercihi, $\tilde{a}_{jW}$ ile temsil edilir.

$$j = 1, 2, \dots, n \text{ ve } \tilde{a}_{WW} = (1, 1, 1)$$

Adım 5. 1 ile 9 arasındaki tolerans değeri belirlenir. Bu çalışmada, tolerans parametresi 1 alınarak global optimum çözüm hesaplanmıştır.

Adım 6. Memnuniyet derecesi β 'yi maksimize ederek kriterlerin bulanık optimum ağırlıklarını $(\hat{w}_1^*, \hat{w}_2^*, \hat{w}_3^*, \dots, \hat{w}_n^*)$ belirlenir. Bu çalışmada, Karma Yaklaşımı-I'e göre tarafsız bir karar vericinin bakış açısıyla kriterlerin ağırlıkları, aşağıda verilen doğrusal programlama modeli çözülerek hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} & \max \beta \\ \text{s.t.} & \begin{cases} 1 - \frac{w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, & 0 \leq w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 + \frac{w_j^t - w_W^t a_{jW}^t}{q_j^t} \beta, & -q_j^t \leq w_j^t - w_W^t a_{jW}^t \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n w_i^m = 1, \quad w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, \quad w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

Burada d_j^t ve q_j^t ($j = 1, 2, \dots, n$; $t = l, m, u$) tolerans parametrelerinin değerleridir. Genel olarak, d_j^t ve q_j^t , benzersiz bir optimal çözüm elde etmek için 1'den 9'a kadar herhangi bir değer alır. Bu çalışmada tüm d_j^t ve q_j^t 1 olarak kabul edilmiştir.

Adım 7. İkili karşılaştırmaların tutarlılığı, $\xi^* = (\xi^l, \xi^m, \xi^u)$ karşılaştırmalarının bulanık sapmasından kontrol edilir.

$$\xi^l = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*l} - w_j^{*l} a_{Bj}^l| + |w_j^{*l} - a_{jw}^l w_w^{*l}|)$$

$$\xi^m = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*m} - w_j^{*m} a_{Bj}^m| + |w_j^{*m} - a_{jw}^m w_w^{*m}|)$$

$$\xi^u = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*u} - w_j^{*u} a_{Bj}^u| + |w_j^{*u} - a_{jw}^u w_w^{*u}|)$$

ξ^l, ξ^m, ξ^u bulanık sapma ξ^* 'nin olası alt, orta ve üst sınırını temsil eder.

Adım 8. Aşağıdaki eşitliği kullanarak $\tilde{a}_{BW}$ için Tablo 4.3.'de gösterildiği gibi bulanık sapma $\xi^* = (\xi^l, \xi^m, \xi^u)$ ve bulanık tutarlılık indeksinden (FCI) FCR'yi belirlenir

$$\text{Bulanık tutarlılık oranı (FCR)} = \frac{\xi^*}{\text{Bulanık tutarlılık indeksi (FCI)}}$$

$$\text{FCR} = \xi^* / \xi' = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u}) / (\xi^l, \xi^m, \xi^u) = (\xi^{*l}/\xi^u, \xi^{*m}/\xi^m, \xi^{*u}/\xi^l)$$

Tablo 4.3. Bulanık BWM için Bulanık Tutarlılık İndeksleri (FCI)

Dilsel Terimler	Eşit önemde (EÖ)	Zayıf önemde (ZÖ)	Oldukça Önemli (OÖ)	Çok önemli (ÇÖ)	Kesinlikle önemli (KÖ)
$\tilde{a}_{BW}$	(1,1,1)	(2/3,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)	(7/2,4,9/2)
FCI	(0, 0, 0)	(0, 0, 1.36)	(0.34, 0.44, 2.16)	(0.71, 1, 4.29)	(1.31, 1.63, 5.69)

Adım 9. Aşağıdaki denklemi kullanarak tutarlılığı elde etmek için FCR, R(FCR)'nin dereceli ortalama entegrasyon temsilini (GMIR) belirleyin.

$$R(\text{FCR}) = \frac{1}{6} \left(\frac{\xi^{*l}}{\xi^u} + \frac{4\xi^{*m}}{\xi^m} + \frac{\xi^{*u}}{\xi^l} \right)$$

$R(\text{FCR}) \leq 1$ ise, bulanık ikili karşılaştırmalar tutarlı kabul edilir; ancak, eğer $R(\text{FCR}) \geq 0.1$ ise, karşılaştırmalar tutarlı olarak kabul edilemez (Dong vd., 2021).

4.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemleri, mekânsal verilere dayalı yapılan işlemlerle oluşturulan grafik ve grafik olmayan verilerin elde edilmesi, muhafaza edilmesi, analizi ve kullanıcılara sunulması işlemlerini bir arada uygulayan bir bilgi sistemi olarak tanımlanabilir (Yomralıoğlu, 2009).

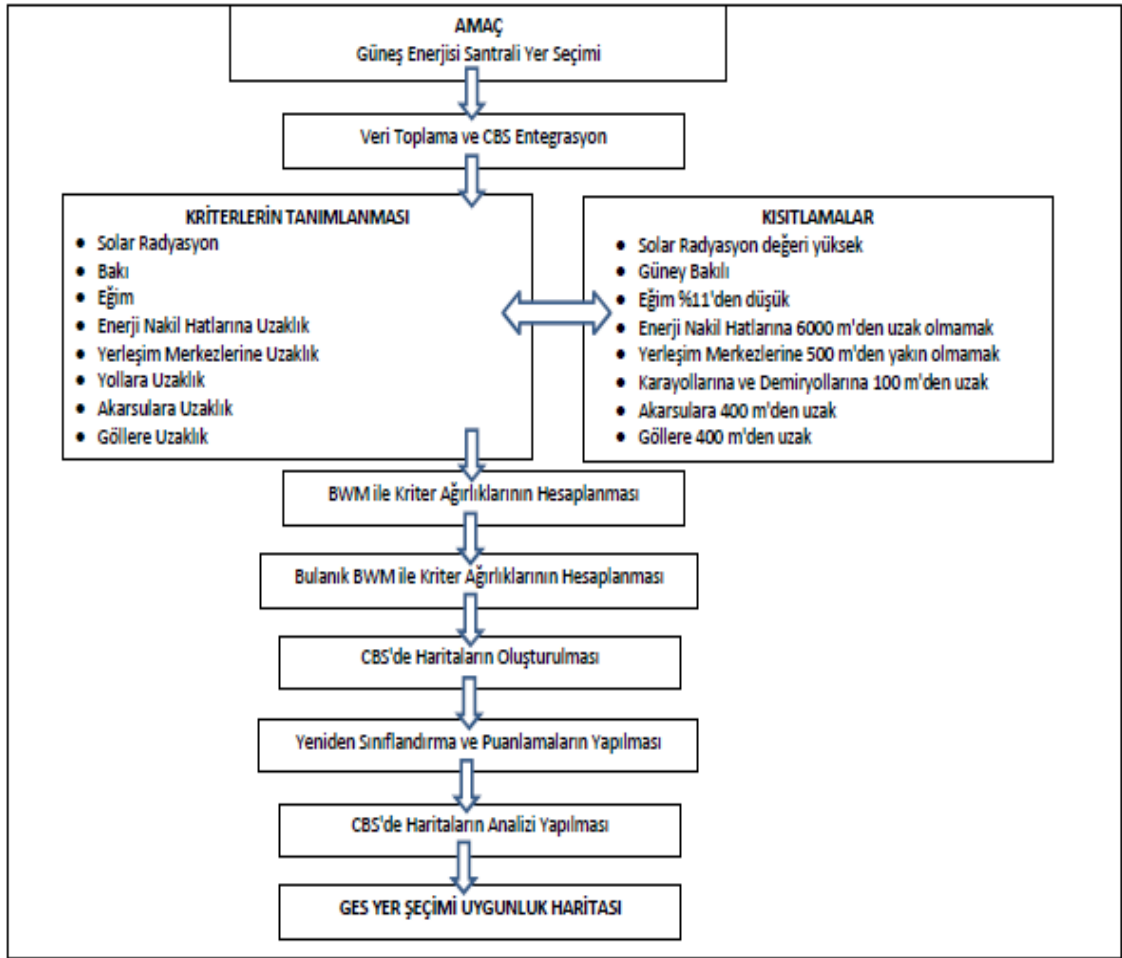
Bilgisayar destekli sistemler genellikle kullanıcıların yaptığı işlemlerde tam otomasyonlu olarak oluşturulmuşken, CBS bu sistemlerden farklı olarak gerekli hallerde mekânsal verilerden yeni bilgiler üretme özelliklerine sahiptir. Coğrafi bilgi sistemleri özellikle grafik ve grafik olmayan veri tabanları arasındaki etkileşimlerde kullanıcı açısından farklı çözümler sunar.

Coğrafi bilgi sistemleri bilgisayar destekli tasarım, uzaktan algılama, bilgisayar destekli kartoğrafya, veri tabanı sistemlerinin gelişimlerini tamamlamalarıyla ortaya çıkmış ve birçok özellikleriyle bu sistemlerden etkilenmiştir.

Coğrafi bilgi sistemleri yeryüzü Şekillerini ve yeryüzünde gelişen olayları haritaya aktararak bu verilerin analizi için gereken bilgisayar destekli araçlardan oluşan bir bilgi sistemi olarak bilinmektedir. Coğrafi bilgi sistemleri ortak veri tabanlarını bir araya getirerek haritaların sağladığı görsel ve coğrafi analiz avantajları sorgulama ve matematiksel analizler olarak kullanıcılara sunar. Coğrafi bilgi sistemleri hizmet alanındaki olayların tanımlanmasında ve geleceğe yönelik öngörüler yaparak stratejik planların yapılmasında oldukça yoğun bir şekilde kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir (Yomralıoğlu, 2009).

4.3. Önerilen Yaklaşım

Bu çalışmanın yapılmasında kullanılacak olan yöntemler için oluşturulan önerilen yaklaşım şeması Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmanın Önerilen Yaklaşım Şeması

5. UYGULAMA

5.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada güneş enerji santrali yer seçimi problemine bir çözüm bulunmaktadır. Yapılan literatür taraması sonucunda kriterler tespit edilerek en iyi en kötü metodu ile kriter ağırlıkları belirlenecektir. Bu kriter ağırlıkları kullanılarak Konya ili için coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olan ArcGIS yardımıyla analiz yapılarak kriter ağırlıklarına göre haritalandırma işlemi yapılacaktır. Bunun sonucunda yapılan puanlamaya göre kullanılamaz, uygun ve uygun olmayan alanlar tespit edilerek hibrit bir çözüme ulaşılmış olacaktır.

5.2. Kriterlerin Tespit Edilmesi

Bir bölgede GES kurulabilmesi için belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar çalışma amacına ve bölgesine göre değişiklik arz etmektedir. Bu çalışmada uygun olmayan bölgelerin belirlenmesi için, yapılan literatür araştırması (Asakereh vd., 2017; Al Garni & Awasthi, 2017; Noorollahi vd., 2016; Şenlik, 2017) sonucunda altı adet koşul kullanılmıştır. Bu koşullar;

- Göllere 400 m'den yakın olmamak,
- Eğimi %11'in altında olmak,
- Akarsulara 400 m'den yakın olmamak,
- Karayollarına ve demiryollarına 100 m'den yakın olmamak,
- Yerleşim merkezlerine 500 m'den yakın olmamak,
- Enerji nakil hatlarına 6000 m'den uzak olmamak.

Bu koşullar altında 8 farklı kriter belirlenmiştir. Bunlar; güneş radyasyonu, enerji nakil hatlarına uzaklık, bakı, eğim, yerleşim merkezlerine uzaklık, yollara uzaklık, akarsulara uzaklık ve göllere uzaklıktır.

5.2.1. Güneş Radyasyonu

Güneş radyasyonu, dünyanın yüzeyindeki bir noktada alınan güneş enerjisi miktarıdır ve çeşitli faktörlere bağlıdır: enlem, boylam, güneş saati, nem, buharlaşma, hava sıcaklığı, güneşin açısı ve diğer faktörler. İşte bu faktör güneş enerjisi

potansiyelinin kullanımı için en önemli kriterlerden biri olarak kabul edilebilir (Zoghi, 2017).

Güneş enerji santrali kurulumu için öncelikle bölgenin güneş enerji potansiyeli açısından ne kadar verimli olduğu irdelenmelidir. Güneş enerji potansiyeli düşük olan bir bölgeye santral kurmak kaynakların boşuna kullanılmasına sebep olmaktadır (Aslan, 2019).

5.2.2. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

Enerji Nakil Hatlarının (ENH) kurulum maliyeti düşünüldüğünde GES kurulumunda en önemli kriterlerden birinin ENH'lerden olan uzaklık olduğu anlaşılr. Genel olarak kurulacak GES'in enerji nakil hattına 6000 metreden uzak olmaması istenir (Uyan, 2013; Eroğlu, 2018; Gül, Karakoç & Rehimbeyli, 2017).

5.2.3. Bakı

Güneş ışınlarının düşme açısı eğim durumuna bağlı olarak değişir. Güneş ışınları dönenceler haricindeki bir merkeze eğim şartlarına bağlı olarak dik açılarla gelebilir. Yengeç dönencesinin kuzeyinde yer alan Türkiye'de düz zeminlere güneş ışınları dik açıyla gelmezken, eğimli olan dik yamaçlarda dik ve dike yakın açılarla gelebilir. Kuzey Yarım Küre'de Yengeç Dönencesi'nin kuzeyinde bakı yönü, her zaman dağların güney yamaçları olduğu için Türkiye'nin güneş ışınlarını iyi alabileceği bakı yönü güneydir. Bu yüzden güneş enerji santrali kurulacak yerin bakı durumu dikkate alınmalıdır.

5.2.4. Eğim

GES'lerin yerlerinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden birisi eğim kriteridir. Genel olarak %11 üzerindeki bölgeler uygunsuz olarak kabul edilir. %4 ve altı eğim ise uygun olarak görülmektedir. Fazla eğim güneş panellerinin birbirine gölge yapmasına neden olacağından verimlilik etkilenebilmektedir. Bunun yanında yüksek eğim, santralin kurulum maliyetini arttırmaktadır (Noorollahi, 2016).

5.2.5. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık

GES'lerin yerleşim merkezlerine belirli mesafede olmaları gerekmektedir. Çünkü yerleşim yerleri her geçen gün büyümektedir. Uzun vadede düşünüldüğünde ise GES'lerin bu bölgeler içinde kalma ihtimalleri vardır. Bu nedenle genel olarak

GES'lerin bu bölgelere 500 m'den yakın olmaması gerektiği kabul edilir (Uzar ve Koca, 2020).

5.2.6. Yollara Uzaklık

Güneş enerji santrali kurulacak alanlara ulaşımın kolay bir şekilde yapılabilmesi için değerlendirilen bir diğer faktör ise yollara olan uzaklıktır. Karayolu olmayan bir bölgeye yapılan yer seçimi ayrıca bir yol yapımı maliyeti oluşturacaktır. Bu nedenle güneş enerji santrali kurulacak alanlar karayoluna yakın yerler seçilmelidir.

Karayolu faktöründe olduğu gibi güneş enerji santrali kurulacak alanlara ulaşımın kolay bir şekilde yapılabilmesi için demiryollarına olan uzaklıkta önemlidir. Bu nedenle güneş enerji santrali kurulacak alanlar demiryoluna yakın yerler seçilmelidir (Aslan, 2019). Genel olarak literatürde, GES'lerin karayollarına ve demiryollarına 100 m'den yakın olmaması kabul görmüştür.

5.2.7. Akarsulara Uzaklık

Literatür incelendiğinde, güneş enerji santrallerinin su kaynaklarına yakın olması panellerin temizlenmesi için suya erişimi kolaylaştırmaktadır. Ancak literatürde belirlenenin aksine bu çalışmada temizleme suyuna duyulan ihtiyaçtan ziyade santrallerin akarsulara yakın alanda kurulması verimliliğini etkilediği düşünülün; sis, buharlaşma, nem ve akarsu taşkın riski gibi faktörleri sebebi ile santrallerin akarsu ağlarına uzak mesafede kurulması verimliliği arttıracığı yönünden belirlenmiştir (Obut, 2016). Genel olarak literatürde, GES'lerin 400 m'den yakın olmaması kabul edilmektedir.

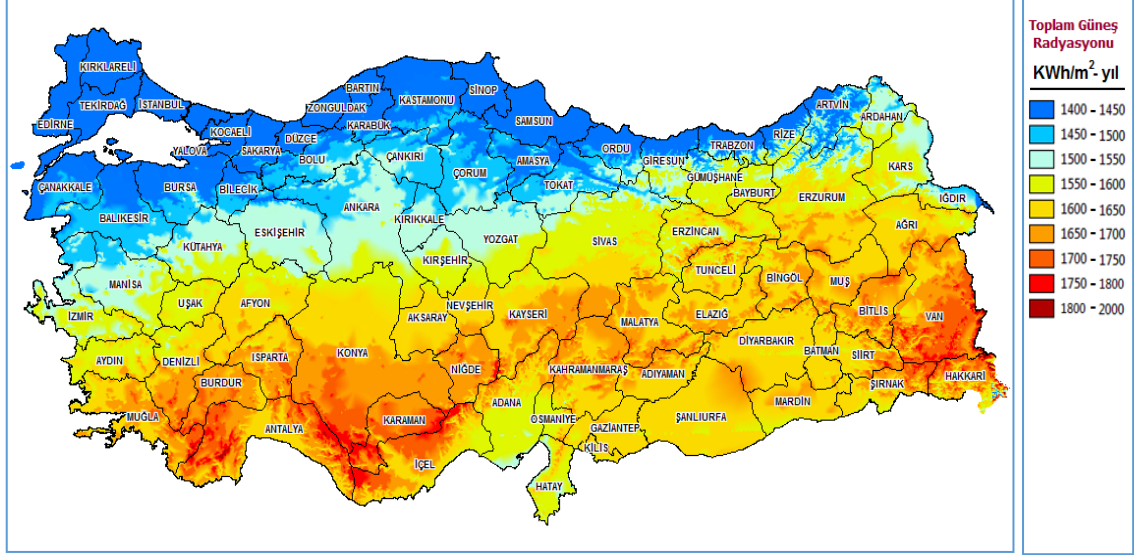
5.2.8. Göllere Uzaklık

Yılın farklı zamanlarında, göllerin hacimlerinin değişiklik göstermesi sebebi ile göllerde yaşanacak taşkınların oluşturacağı olumsuz etkilere karşı alınacak güvenlik gerekçesi ve çevresel kirliliğin önlenmesi amaçlı GES'lerin göllerden en az 400 m uzaklıkta olması istenir (Uzar ve Koca, 2020).

5.3. Çalışma Alanının Belirlenmesi

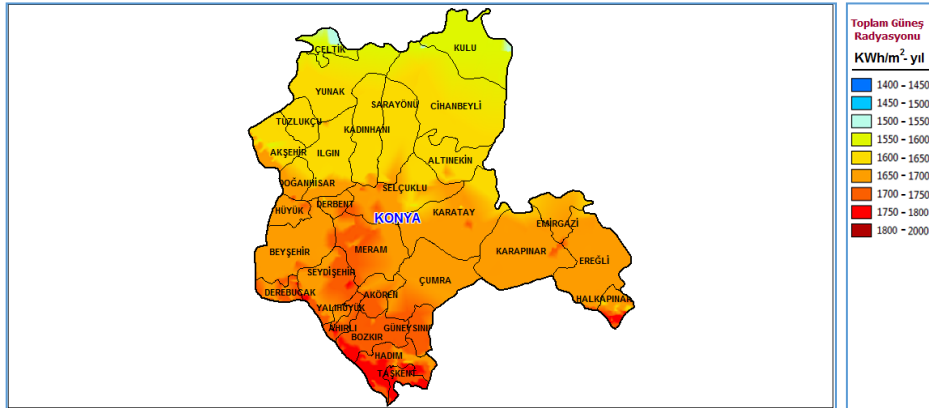
Çalışma alanı olarak güneş enerji potansiyeli yüksek olan Konya ili seçilmiştir. Konya, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin güneyinde 36°41' ve 39°16' kuzey enlemleri ile 31°14' ve 34°26' doğu boylamları arasında yer alan yüzölçümü bakımından

en büyük ilidir. Konya İli, güneş enerjisi potansiyel atlasına (GEPA) göre güneş enerjisi potansiyeli yüksek şehirler arasında olduğu Şekil 5.1.'de gösterilmiştir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 5.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Konya İli'ne ait güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 5.2.'de gösterilmektedir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

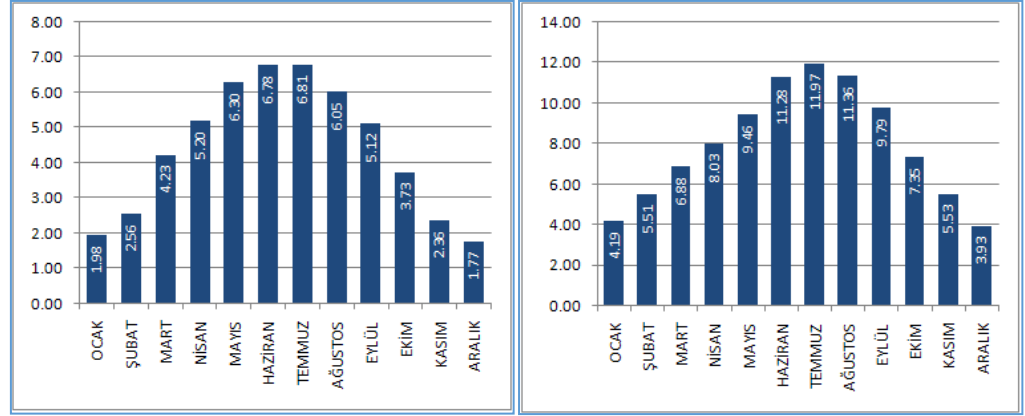


Şekil 5.2. Konya İli'ne Ait Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

Konya İli'ne ait global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.

KONYA Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

KONYA Güneşlenme Süreleri (Saat)

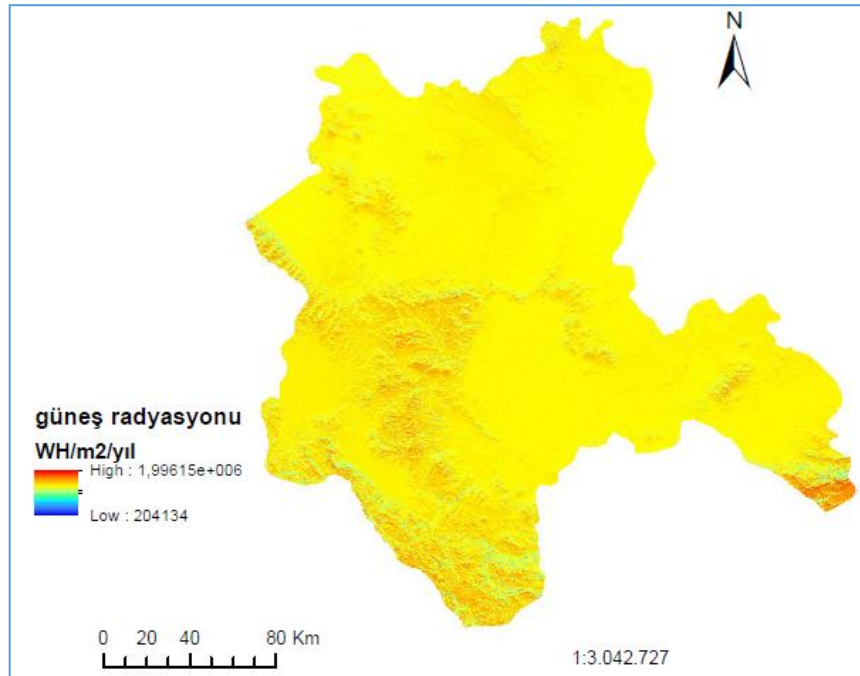


Şekil 5.3. Konya İli'ne Ait Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri

5.4. Çalışma Verileri

5.4.1. Güneş Radyasyonu Haritası

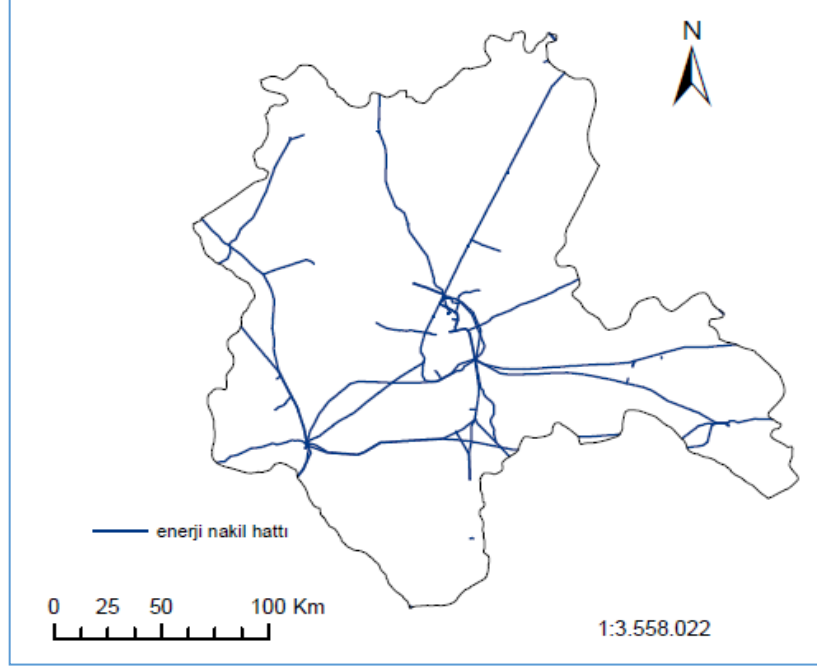
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili güneş radyasyonu haritası watt.saat/metrekare/yıl (WH/m²/yıl) birimi cinsinden değerlerle Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Konya Güneş Radyasyonu Haritası

5.4.2. Enerji Nakil Hatları Haritası

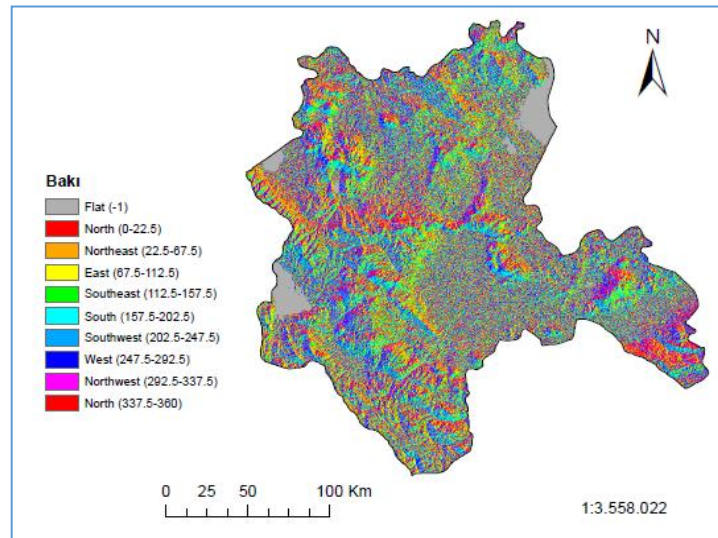
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili enerji nakil hatları haritası Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Konya Enerji Nakil Hattı Haritası

5.4.3. Bakı Haritası

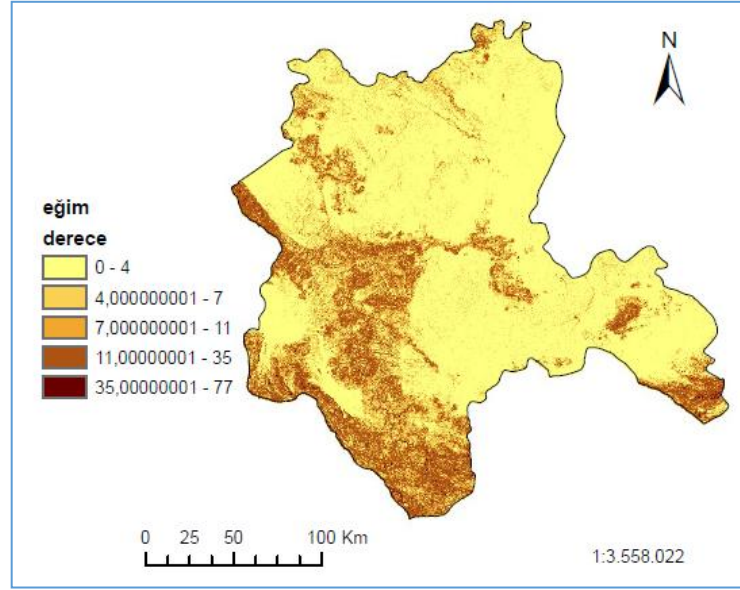
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili bakı haritası düz, kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı ve kuzey yönleri olarak Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Konya Bakı Haritası

5.4.4. Eğim Haritası

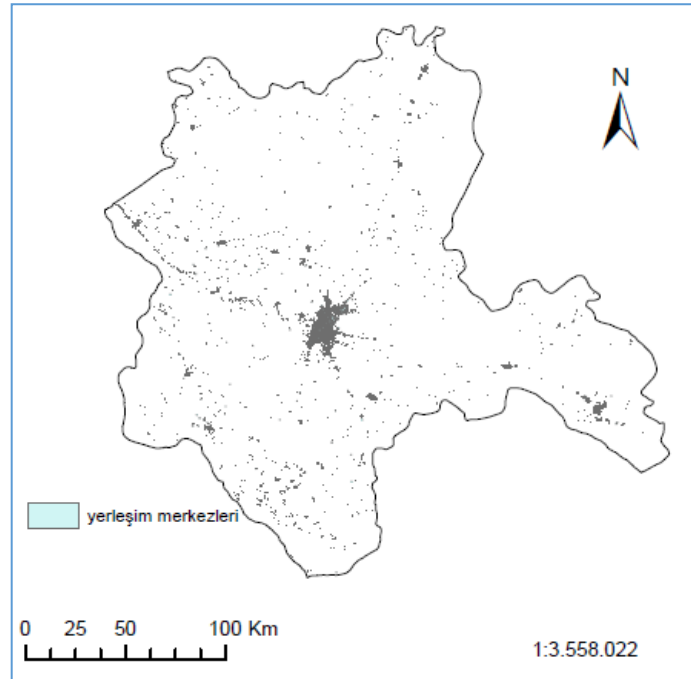
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili eğim haritası derece birimi cinsinden değerlerle Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Konya Eğim Haritası

5.4.5. Yerleşim Merkezleri Haritası

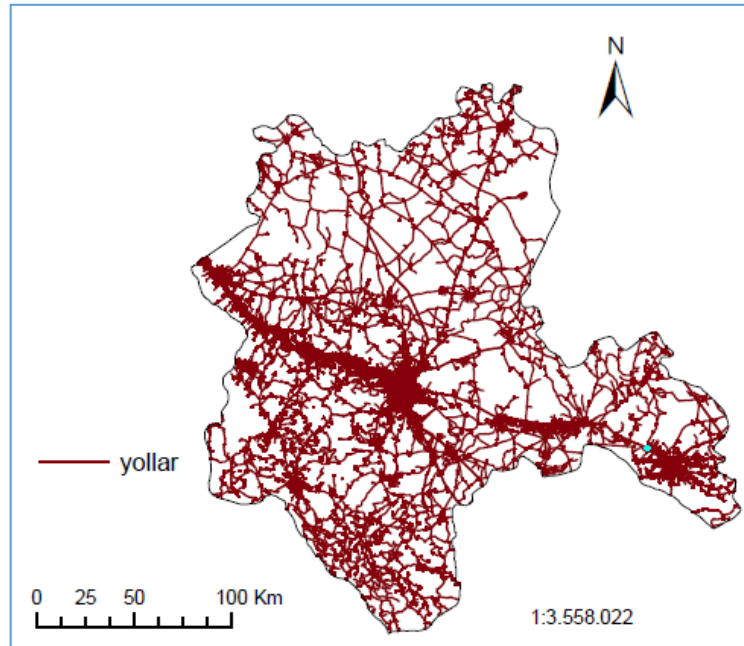
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili yerleşim merkezleri haritası olarak Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Konya Yerleşim Merkezleri Haritası

5.4.6. Yol Haritası

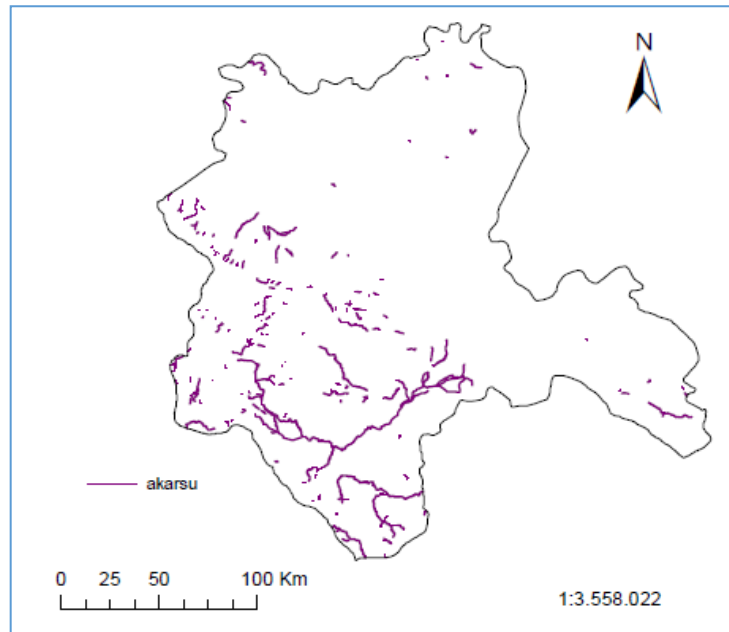
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili karayolları ve demiryolları, yol haritası olarak Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Konya Yol Haritası

5.4.7. Akarsu Haritası

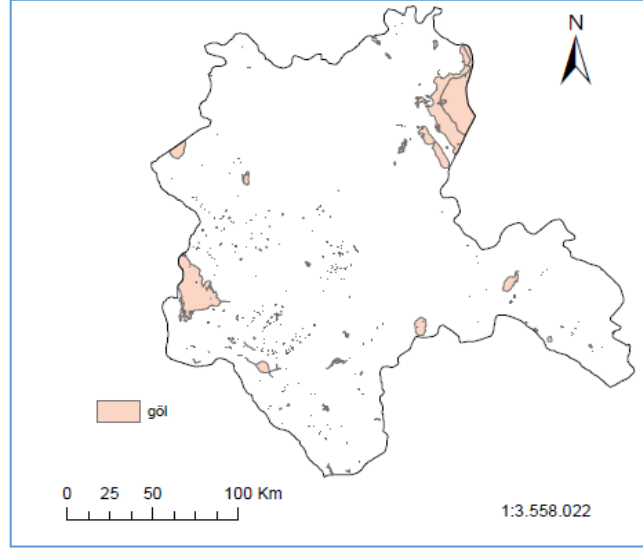
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili akarsu haritası Şekil 5.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Konya Akarsu Haritası

5.4.8. Göl Haritası

ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan Konya ili göl haritası Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.



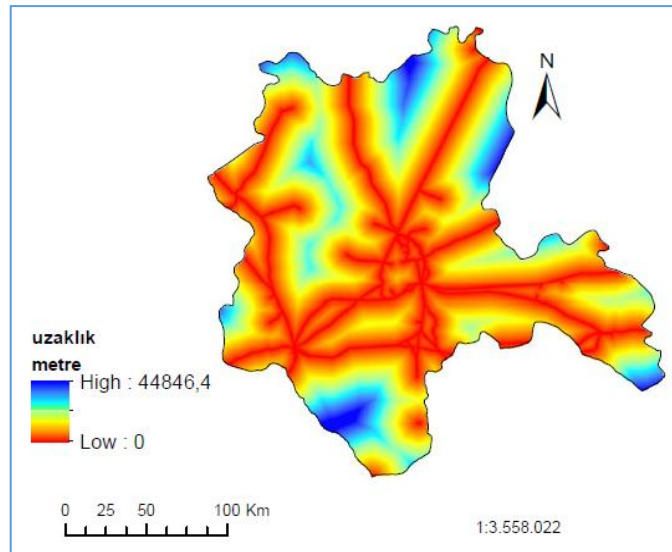
Şekil 5.11. Konya Göl Haritası

5.5. Uzaklık Haritalarının Düzenlenmesi

ArcGIS programında yeniden sınıflandırma yapabilmemiz için enerji nakil hatlarına, yerleşim merkezlerine, yollara, akarsulara ve göllere uzaklık haritalarının elde edilmesi gerekmektedir.

5.5.1. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Haritası

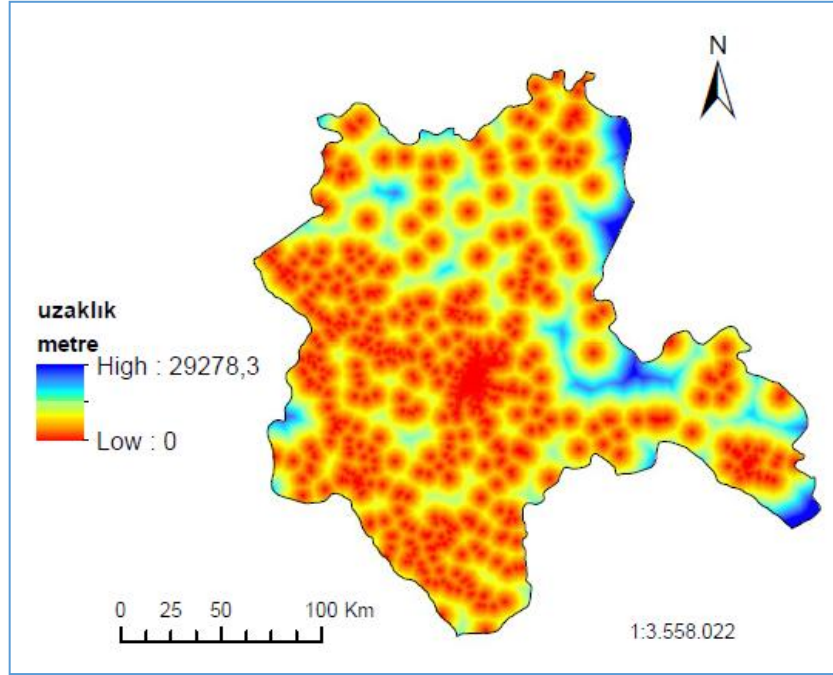
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan enerji nakil hatlarına uzaklık haritası Şekil 5.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Haritası

5.5.2. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Haritası

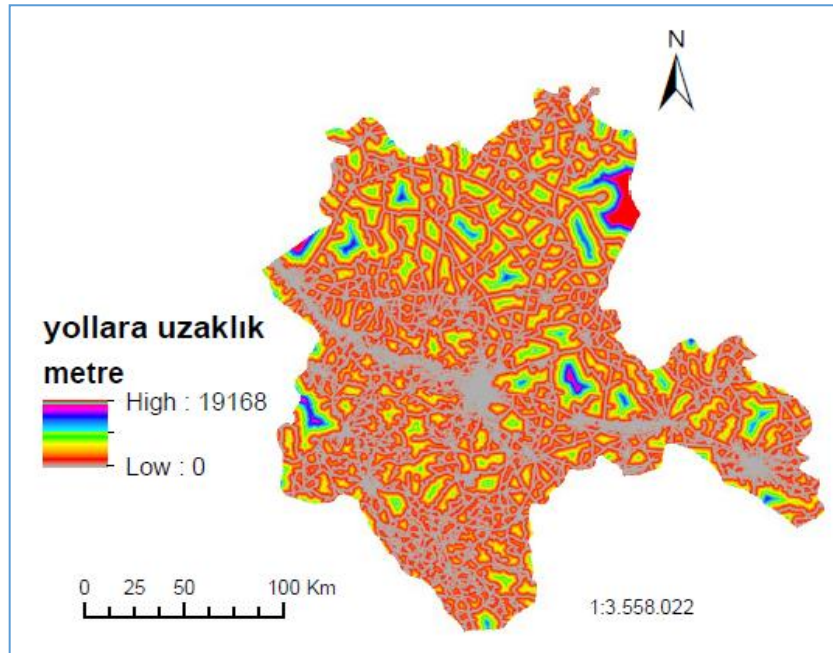
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan yerleşim merkezlerine uzaklık haritası Şekil 5.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Haritası

5.5.3. Yollara Uzaklık Haritası

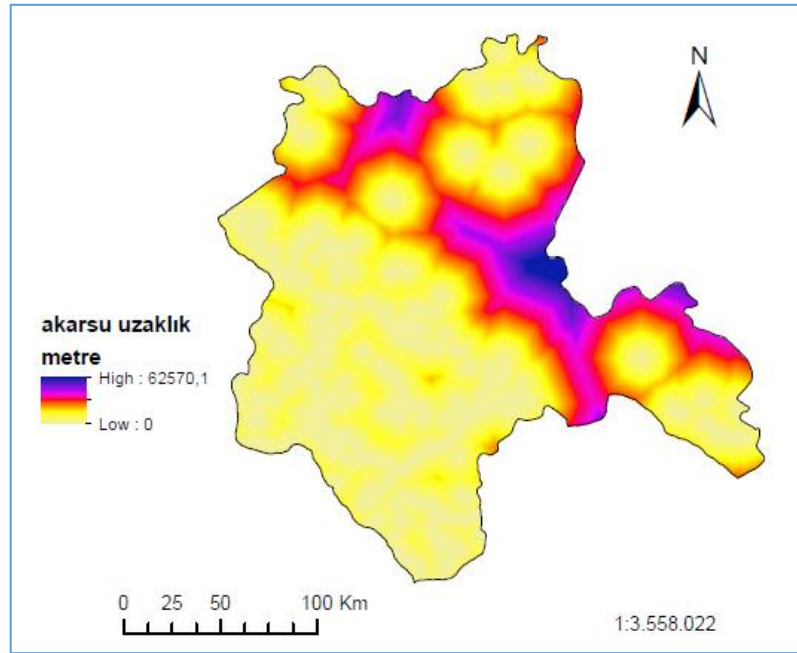
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan yollara uzaklık haritası Şekil 5.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Yollara Uzaklık Haritası

5.5.4. Akarsulara Uzaklık Haritası

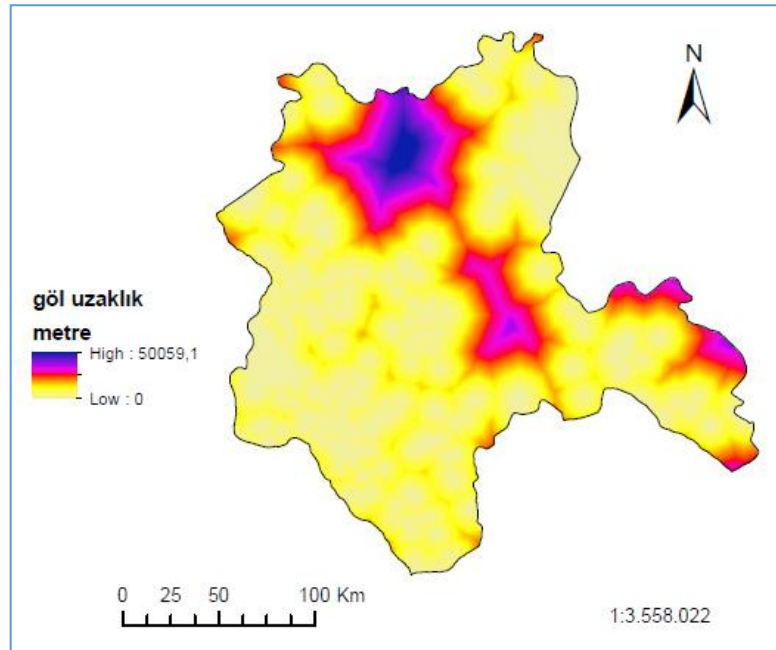
ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan akarsulara uzaklık haritası Şekil 5.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Akarsu Uzaklık Haritası

5.5.5. Göllere Uzaklık Haritası

ArcGIS programı kullanılarak oluşturulan göllere uzaklık haritası Şekil 5.16.'da gösterilmiştir.



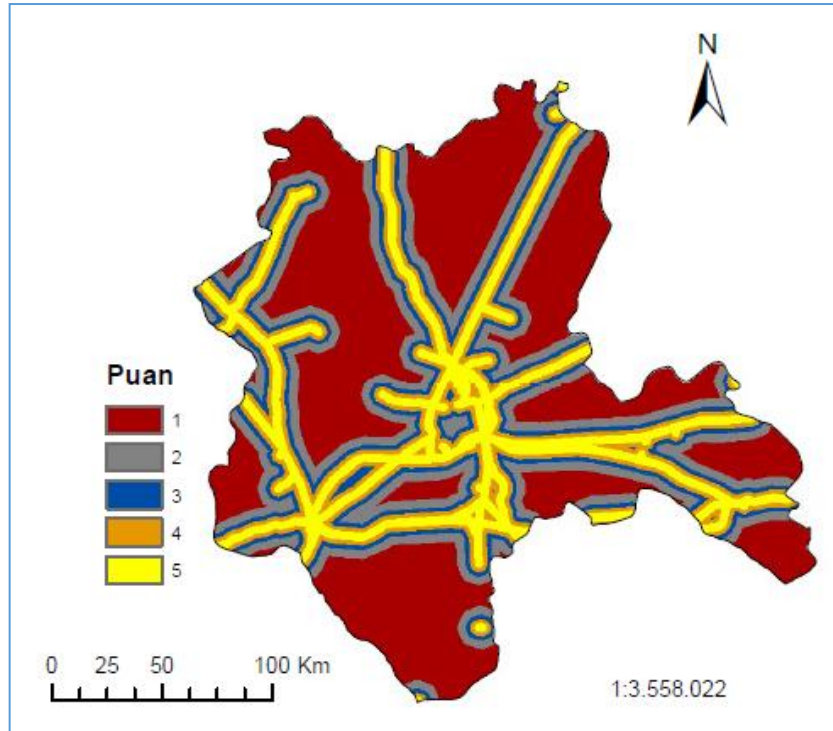
Şekil 5.16. Göllere Uzaklık Haritası

5.6.2. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Yeniden Sınıflandırma

Daha önce Şekil 5.5.'de oluşturmuş olduğumuz enerji nakil hattı haritası ArcGIS programında metre birimi cinsinden değerlerle Şekil 5.12.'de enerji nakil hatlarına uzaklık haritasına çevrilmiştir. Bu haritada uzaklık değerleri sınıflandırılıp belirlenen aralıklara 1 ile 5 değerleri arasında puanlar verilerek Tablo 5.2.'de gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz bu sınıflandırma işlemi sonrasında ArcGIS programında oluşturulan Konya ili enerji nakil hattı yeniden sınıflandırma haritası Şekil 5.18.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Enerji Nakil Hattı Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

Enerji Nakil Hattı (metre)	Puanlama	Açıklama
0-2000	5	En Uygun
2000-4000	4	Uygun
4000-6000	3	Az Uygun
6000-10000	2	Uygun Değil
10000-50000	1	Hiç Uygun Değil



Şekil 5.18. Enerji Nakil Hattı Yeniden Sınıflandırma Haritası

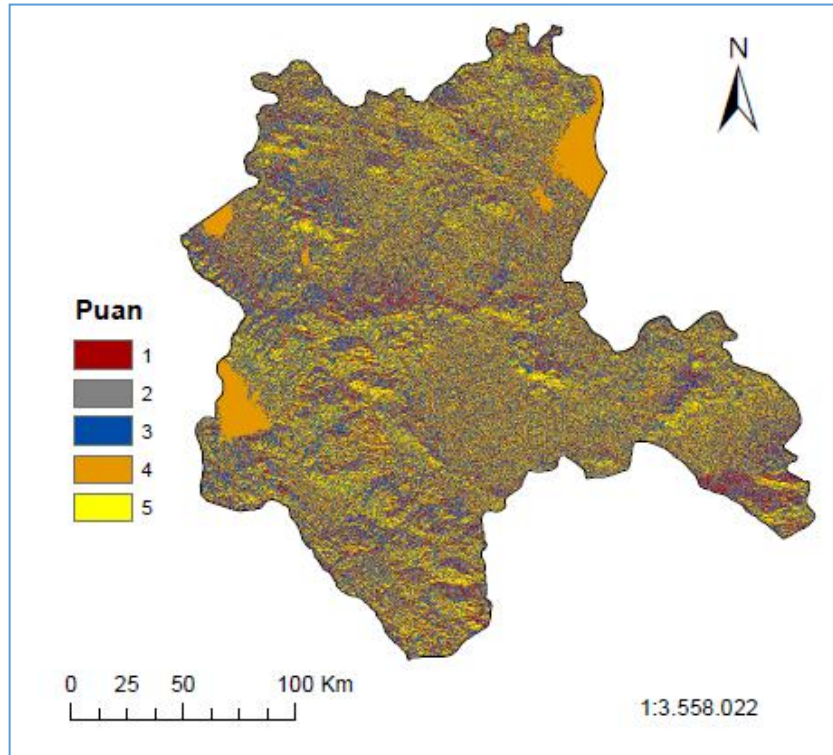
5.6.3. Bakı Yeniden Sınıflandırma

Daha önce Şekil 5.6.'da oluşturmuş olduğumuz bakı haritasında yönler gösterilmiştir. Bu yönler yeniden sınıflandırılarak belirlenen yönlere 1 ile 5 değerleri

arasında puanlar verilerek Tablo 5.3.'de gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz bu sınıflandırma işlemi sonrasında ArcGIS programında oluşturulan Konya ili bakı yeniden sınıflandırma haritası Şekil 5.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Bakı Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

Bakı (yön)	Puanlama	Açıklama
düz	4	Uygun
kuzey	1	Hiç Uygun Değil
kuzeydoğu	2	Uygun Değil
doğu	3	Az Uygun
güneydoğu	4	Uygun
güney	5	En Uygun
güneybatı	4	Uygun
batı	3	Az Uygun
kuzeybatı	2	Uygun Değil



Şekil 5.19. Bakı Yeniden Sınıflandırma Haritası

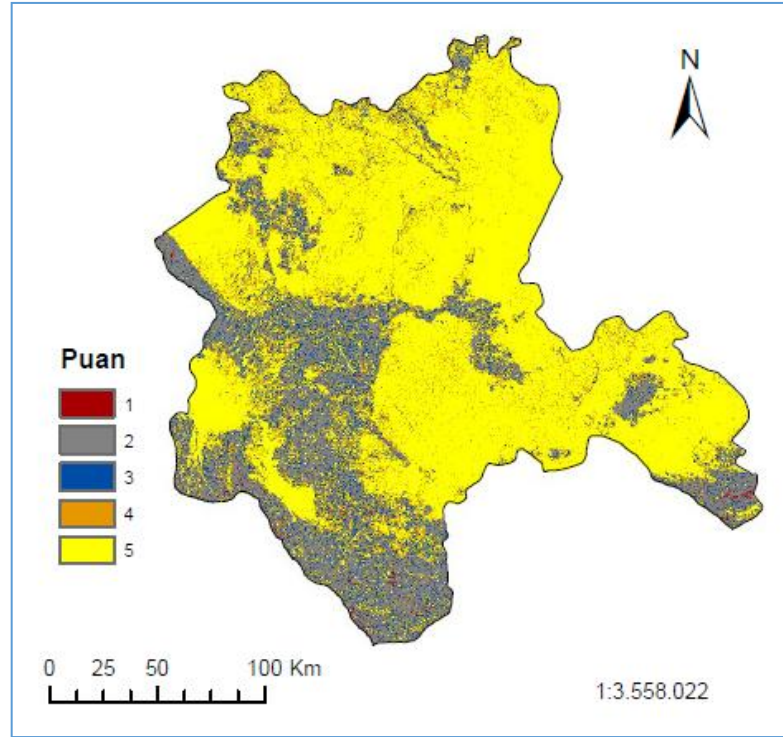
5.6.4. Eğim Yeniden Sınıflandırma

Daha önce Şekil 5.7.'de oluşturmuş olduğumuz eğim haritasında değerlerin derece birimi cinsinden olduğu gösterilmiştir. Bu değerler yeniden sınıflandırılarak belirlenen aralıklara 1 ile 5 değerleri arasında puanlar verilerek Tablo 5.4.'te

gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz bu sınıflandırma işlemi sonrasında ArcGIS programında oluşturulan Konya ili eğim yeniden sınıflandırma haritası Şekil 5.20.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Eğim Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

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



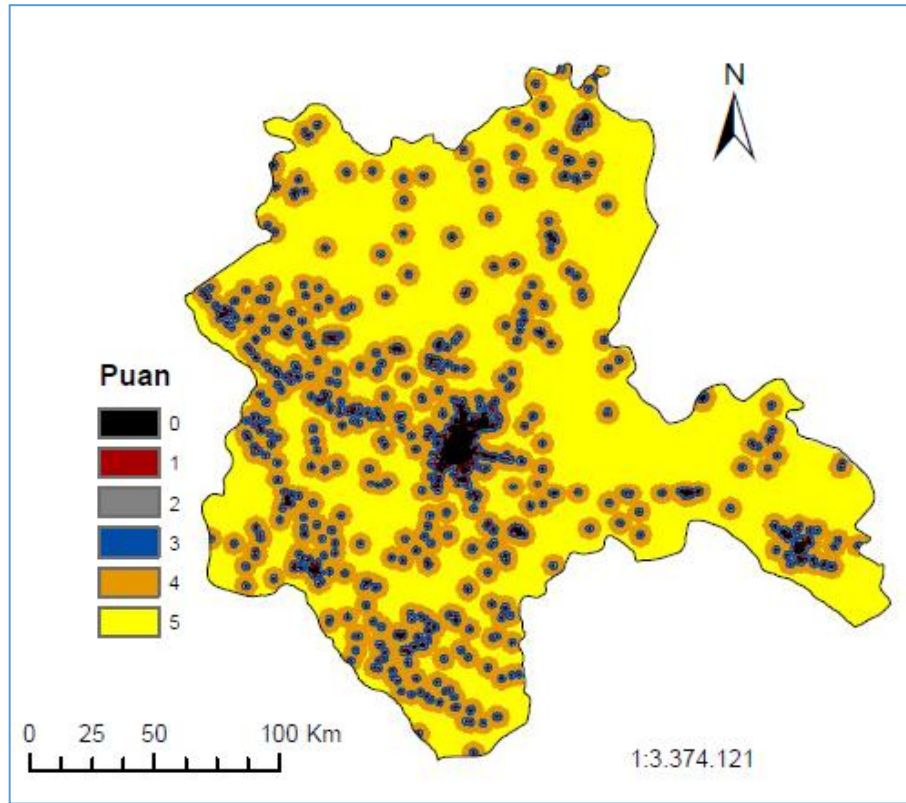
Şekil 5.20. Eğim Yeniden Sınıflandırma Haritası

5.6.5. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma

Daha önce Şekil 5.8.'de oluşturmuş olduğumuz yerleşim merkezleri haritası ArcGIS programında metre birimi cinsinden değerlerle Şekil 5.13.'de yerleşim merkezlerine uzaklık haritasına çevrilmiştir. Bu haritada uzaklık değerleri sınıflandırılıp belirlenen aralıklara 0 ile 5 değerleri arasında puanlar verilerek Tablo 5.5.'de gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz bu sınıflandırma işlemi sonrasında ArcGIS programında oluşturulan Konya ili yerleşim merkezlerine uzaklık yeniden sınıflandırma haritası Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

Yerleşim merkezlerine uzaklık (metre)	Puanlama	Açıklama
0-500	0	Kullanılamaz
500-750	1	Hiç Uygun Değil
750-1000	2	Uygun Değil
1000-2000	3	Az Uygun
2000-5000	4	Uygun
5000-30000	5	En Uygun

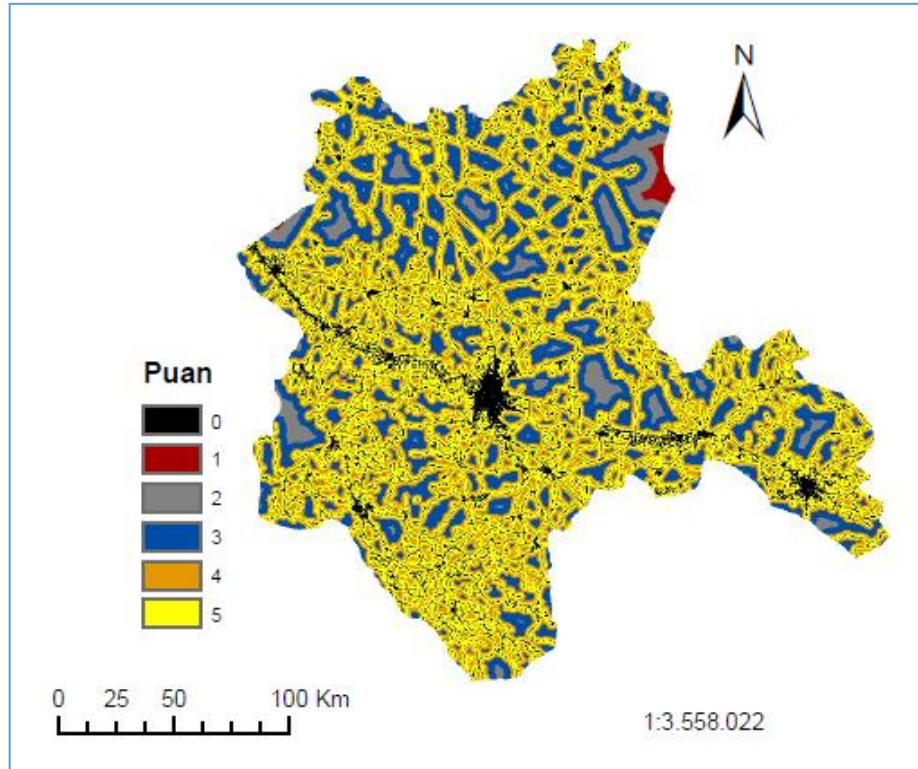
**Şekil 5.21.** Yerleşim Merkezlerine Uzaklık Yeniden Sınıflandırma Haritası

5.6.6. Yollara Uzaklık Yeniden Sınıflandırma

Daha önce Şekil 5.9.'da oluşturmuş olduğumuz yol haritası ArcGIS programında metre birimi cinsinden değerlerle Şekil 5.14.'te yollara uzaklık haritasına çevrilmiştir. Bu haritada uzaklık değerleri sınıflandırılıp belirlenen aralıklara 0 ile 5 değerleri arasında puanlar verilerek Tablo 5.6.'da gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz bu sınıflandırma işlemi sonrasında ArcGIS programında oluşturulan Konya ili yol yeniden sınıflandırma haritası Şekil 5.22.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Yol Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

Yol (metre)	Puanlama	Açıklama
0-100	0	Kullanılamaz
100-1000	5	En Uygun
1000-2000	4	Uygun
2000-5000	3	Az Uygun
5000-10000	2	Uygun Değil
10000-20000	1	Hiç Uygun Değil

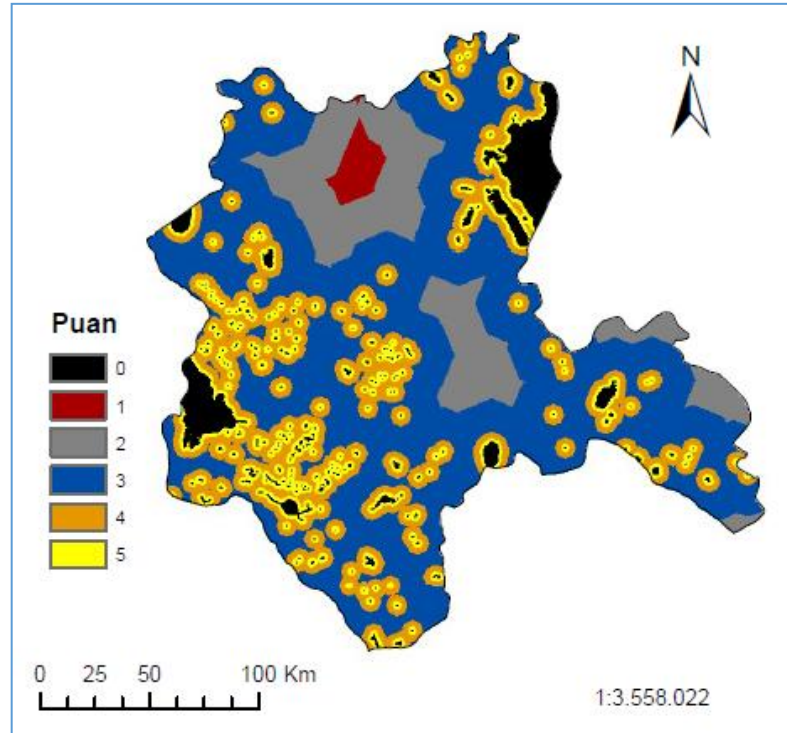
**Şekil 5.22.** Yol Yeniden Sınıflandırma Haritası

5.6.7. Akarsu Uzaklık Yeniden Sınıflandırma

Daha önce Şekil 5.10.'da oluşturmuş olduğumuz akarsu haritası ArcGIS programında metre birimi cinsinden değerlerle Şekil 5.15.'de akarsulara uzaklık haritasına çevrilmiştir. Bu haritada uzaklık değerleri sınıflandırılıp belirlenen aralıklara 0 ile 5 değerleri arasında puanlar verilerek Tablo 5.7.'de gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz bu sınıflandırma işlemi sonrasında ArcGIS programında oluşturulan Konya ili akarsu yeniden sınıflandırma haritası Şekil 5.23.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Göl Yeniden Sınıflandırma Çizelgesi

Göl (metre)	Puanlama	Açıklama
0-400	0	Kullanılamaz
400-2000	5	En Uygun
2000-5000	4	Uygun
5000-20000	3	Az Uygun
20000-40000	2	Uygun Değil
40000-65000	1	Hiç Uygun Değil

**Şekil 5.24.** Göl Yeniden Sınıflandırma Haritası

5.7. Kriter Ağırlıklarının Bulunması

5.7.1. BWM ile Kriter Ağırlıklarının Bulunması

Adım 1. Kriter kümesinin belirlenmesi

ArcGIS programını kullanarak elde ettiğimiz harita verileri için kullanılan sekiz kriter şu şekildedir:

C ₁	Güneş Radyasyonu	C ₂	Bakı
C ₃	Eğim	C ₄	Enerji Nakil Hattına Uzaklık
C ₅	Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	C ₆	Yollara Uzaklık
C ₇	Akarsulara Uzaklık	C ₈	Göllere Uzaklık

Adım 2. En iyi ve en kötü kriteri belirleme

En iyi kriter olarak Güneş Radyasyonu seçilmiştir.

En kötü kriter olarak Göllere Olan Uzaklık seçilmiştir.

Adım 3. En iyi kriterin diğer kriterlere göre önceliğini belirleme

En iyi kriterin diğer kriterlere göre öncelik tercihi 1 ile 9 arasında bir sayı kullanarak Tablo 5.9.'da gösterilmiştir. Eşit öneme sahip olduğunu 1 ile çok önemli olduğu ise 9 ile belirtilmektedir.

Tablo 5.9. En İyi Kriterin Diğer Kriterlere Göre Öncelik Tercihi Çizelgesi

Diğerlerine Göre En İyi	Güneş Radyasyonu	Bakı	Eğim	Enerji Nakil Hattına Uzaklık	Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	Yollara Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	Göllere Uzaklık
Güneş Radyasyonu	1	3	3	5	6	5	7	9

Adım 4. En kötü kriterin diğer kriterlere göre önceliğini belirleme

En iyi kriterin diğer kriterlere göre öncelik tercihi 1 ile 9 arasında bir sayı kullanarak Tablo 5.10.'da gösterilmiştir. Eşit öneme sahip olduğunu 1 ile çok önemli olduğunu ise 9 ile belirtilmektedir.

Tablo 5.10. En Kötü Kriterin Diğer Kriterlere Göre Öncelik Tercihi Çizelgesi

En Kötüye Göre Diğerleri	Göllere Uzaklık
Güneş Radyasyonu	9
Bakı	6
Eğim	6
Enerji Nakil Hattına Uzaklık	4
Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	3
Yollara Uzaklık	4
Akarsulara Uzaklık	2
Göllere Uzaklık	1

Adım 5. Son ağırlıkların ve çözümün elde edilmesi

Aşağıdaki modelin Excel Solver ile çözülmesi sonucu elde edilen kriter ağırlıkları ve sapma değeri Tablo 5.11.'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
&\min \xi \\
&|W_B - W_J a_{BJ}| \leq \xi \\
&|W_J - W_W a_{JW}| \leq \xi \\
&\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0
\end{aligned}$$

Tablo 5.11. BWM Kriter Ağırlıkları ve Sapma Değeri

Kriterler	Güneş Radyasyonu	Bakı	Eğim	Enerji Nakil Hattına Uzaklık	Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	Yollara Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	Göllere Uzaklık
Ağırlıklar	0,37	0,14	0,14	0,09	0,07	0,09	0,06	0,04
Sapma (ξ)	0,06							

Adım 6. Tutarlılık oranı hesaplama

Tablo 4.1.'de gösterilen tutarlık endekslerine göre tutarlılık oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\text{Tutarlılık Oranı (TO)} = \xi / \text{Tutarlılık endeks değeri (TE)}$$

$$\text{Tutarlılık Oranı (TO)} = 0,06 / 5,23$$

$$\text{Tutarlılık Oranı (TO)} = 0,011$$

Tutarlılık oranı 0,011 olarak bulunmuştur ve $TO \leq 0,1$ olduğu için elde edilen vektörün kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

5.7.2. Bulanık BWM ile Kriter Ağırlıklarının Bulunması

Adım 1. Karar kriterleri kümesi $C_1, C_2, \dots, C_n$ oluşturulur.

Kriter kümesinin elemanları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

C_1	Güneş Radyasyonu	C_2	Bakı
C_3	Eğim	C_4	Enerji Nakil Hattına Uzaklık
C_5	Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	C_6	Yollara Uzaklık
C_7	Akarsulara Uzaklık	C_8	Göllere Uzaklık

Adım 2. Her bir kriter grubundan en iyi kriter C_B (en önemli) ve en kötü kriter C_W (en az önemli) belirlenir. C_B ve C_W aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

C_B : Güneş Radyasyonu

C_W : Göllere Uzaklık

Adım 3. En iyi-Diğerleri (Best-to-Others) karşılaştırma vektörünü elde etmek için en iyi kriter C_B 'nin diğer kriterlere göre bulanık ikili karşılaştırmaları gerçekleştirilir.

Tablo 4.2.'de belirtilen karar vericilerin dilsel değişkenlerinin dönüşüm kurallarına göre yapılan bulanık ikili karşılaştırmaları Tablo 5.12.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Diğerlerine Göre En İyi Kriterin Bulanık İkili Karşılaştırması

Diğerlerine Göre En İyi	Güneş Radyasyonu	Bakı	Eğim	Enerji Nakil Hattına Uzaklık	Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	Yollara Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	Göller Uzaklık
Güneş Radyasyonu	EÖ (1,1,1)	OÖ (3/2,2,5/2)	OÖ (3/2,2,5/2)	ÇÖ (5/2,3,7/2)	KÖ (7/2,4,9/2)	ÇÖ (5/2,3,7/2)	KÖ (7/2,4,9/2)	KÖ (7/2,4,9/2)

Adım 4. Benzer şekilde, Diğerleri-En kötü (Others-to-Worst) karşılaştırma vektörü elde etmek için diğer tüm “j” kriterlerinin en kötü kriter C_W üzerinden bulanık derecelendirmesi gerçekleştirilir.

Tablo 4.2.'de belirtilen karar vericilerin dilsel değişkenlerinin dönüşüm kurallarına göre yapılan ikili bulanık karşılaştırmalar Tablo 5.13.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.13. En Kötüye Göre Diğer Kriterlerin Bulanık İkili Karşılaştırması

En Kötüye Göre Diğerleri	Göller Uzaklık
Güneş Radyasyonu	KÖ (7/2,4,9/2)
Bakı	ÇÖ (5/2,3,7/2)
Eğim	ÇÖ (5/2,3,7/2)
Enerji Nakil Hattına Uzaklık	OÖ (3/2,2,5/2)
Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	OÖ (3/2,2,5/2)
Yollara Uzaklık	OÖ (3/2,2,5/2)
Akarsulara Uzaklık	ZÖ (2/3,1,3/2)
Göller Uzaklık	EÖ (1,1,1)

Adım 5. Tolerans değerleri (d_j^t ve q_j^t) için 1 - 9 arasında bir değer seçilir. Bu çalışmada, tolerans parametreleri 1 alınarak global optimum çözüm hesaplanmıştır.

Adım 6. Memnuniyet derecesi β 'yi maksimize ederek kriterlerin bulanık optimum ağırlıklarını ($\hat{w}_1^*, \hat{w}_2^*, \hat{w}_3^*, \dots, \hat{w}_n^*$) belirlenir.

Bu çalışmada, Dong vd. (2021) tarafından önerilen Karma Yaklaşım-I 'e göre tarafsız bir karar vericinin bakış açısıyla kriterlerin ağırlıkları, aşağıdaki doğrusal programlama modeli çözülerek hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
& \max \beta \\
& \text{s.t.} \begin{cases} 1 - \frac{w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t}{a_j^t} \geq \beta, & 0 \leq w_B^t - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 + \frac{w_j^t - w_w^t a_{jw}^t}{a_j^t} \beta, & -q_j^t \leq w_j^t - w_w^t a_{jw}^t \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n w_i^m = 1, \quad w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, \quad w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases}
\end{aligned}$$

Modelin Lingo versiyon 19 ile çözülmesiyle elde edilen optimum ağırlıklar Tablo 5.14.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.14. Bulanık BWM Kriter Bulanık Optimum Ağırlıkları

Kriterler	Güneş Radyasyonu	Bakı	Eğim	Enerji Nakil Hattına Uzaklık	Yerleşim Merkezlerine Uzaklık	Yollara Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	Göllere Uzaklık
Ağırlıklar	0,32	0,13	0,13	0,10	0,07	0,09	0,08	0,08

Adım 7. İkili karşılaştırmaların tutarlılığı, Dong ve diğerlerine göre $\xi^* = (\xi^l, \xi^m, \xi^u)$ karşılaştırmalarının bulanık sapmasından kontrol edilir.

$$\xi^l = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*l} - w_j^{*l} a_{Bj}^l| + |w_j^{*l} - a_{jw}^l w_w^{*l}|)$$

$$\xi^m = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*m} - w_j^{*m} a_{Bj}^m| + |w_j^{*m} - a_{jw}^m w_w^{*m}|)$$

$$\xi^u = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*u} - w_j^{*u} a_{Bj}^u| + |w_j^{*u} - a_{jw}^u w_w^{*u}|)$$

ξ^l, ξ^m, ξ^u bulanık sapma ξ^* 'nin olası alt, orta ve üst sınırını temsil eder.

Bu çalışmada ξ^l, ξ^m, ξ^u bulanık sapma değerleri hesaplanarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\xi^l = 0,028$$

$$\xi^m = 0,035$$

$$\xi^u = 0,066$$

Adım 8. Aşağıdaki eşitliği kullanarak $\tilde{a}_{BW}$ için Tablo 4.3.'de gösterildiği gibi bulanık tutarlılık indeksine göre bulanık FCR belirlenir.

$$\text{Bulanık tutarlılık oranı (FCR)} = \frac{\xi^*}{\text{Bulanık tutarlılık indeksi (FCI)}}$$

$$\text{FCR} = \xi^* / \xi^l = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u}) / (\xi^l, \xi^m, \xi^u) = (\xi^{*l}/\xi^l, \xi^{*m}/\xi^m, \xi^{*u}/\xi^u)$$

$$\text{FCR} = (0,004932, 0,021334, 0,05006)$$

Adım 9. Aşağıdaki denklemi kullanarak tutarlılığı elde etmek için FCR, R(FCR)'nin dereceli ortalama entegrasyon temsili (GMIR) belirlenir.

$$R(FCR) = \frac{1}{6} \left(\frac{\xi^{*l}}{\xi^u} + \frac{4\xi^{*m}}{\xi^m} + \frac{\xi^{*u}}{\xi^l} \right)$$

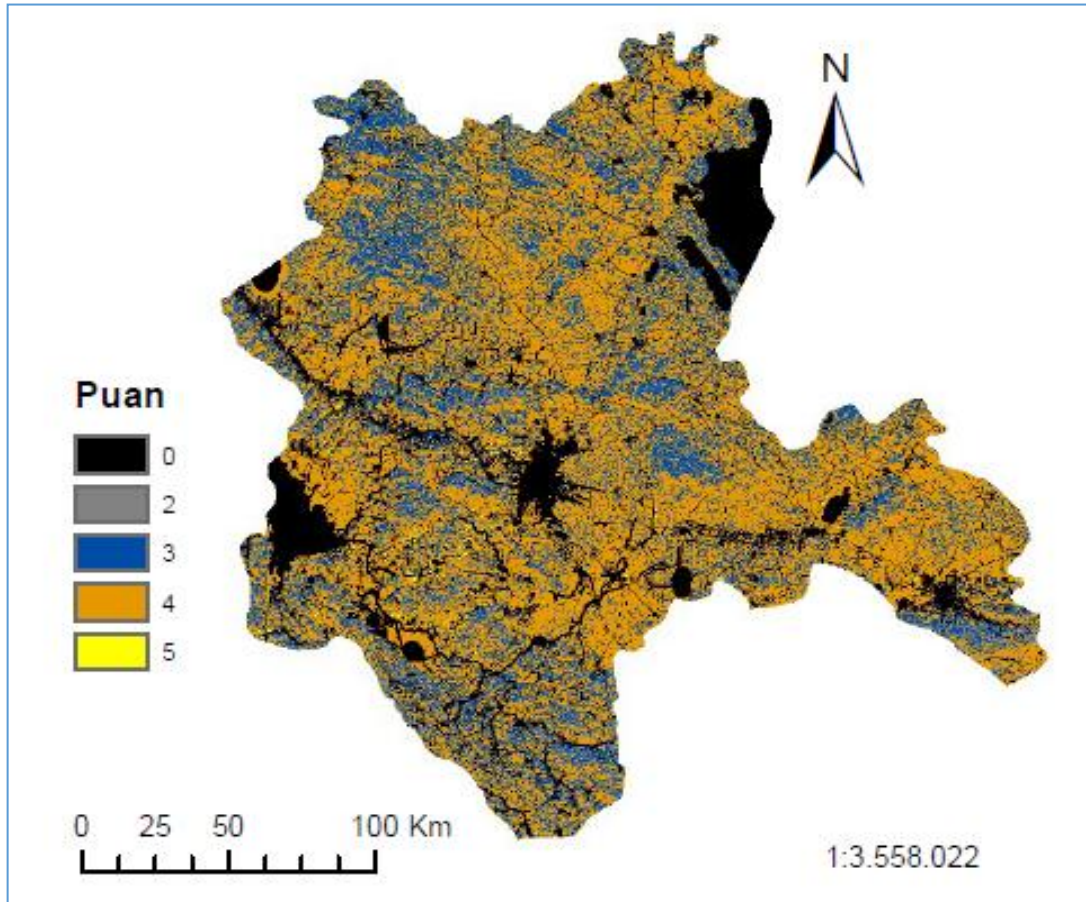
$$R(FCR) = 0,023$$

$$R(FCR) = 0,023 \leq 0,1 \text{ olduğu için çözümün tutarlı olduğu kabul edilir.}$$

5.8. Sonuçların Analizi ve Tartışma

5.8.1. BWM Kriter Ağırlıklarına Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası

ArcGIS programını kullanarak Tablo 5.11’de belirlemiş olduğumuz kriter ağırlıklarına göre ağırlıklı kaplama yapılarak elde ettiğimiz güneş PV enerji santrali yer seçimi uygunluk analizi sonuç haritası Şekil 5.25’de gösterilmiştir. Buna göre güneş PV enerji santrali için kullanılamayan, hiç uygun olmayan, uygun olmayan, az uygun olan, uygun olan ve en uygun olan alanların puanlaması Tablo 5.15.’de gösterilmiştir.



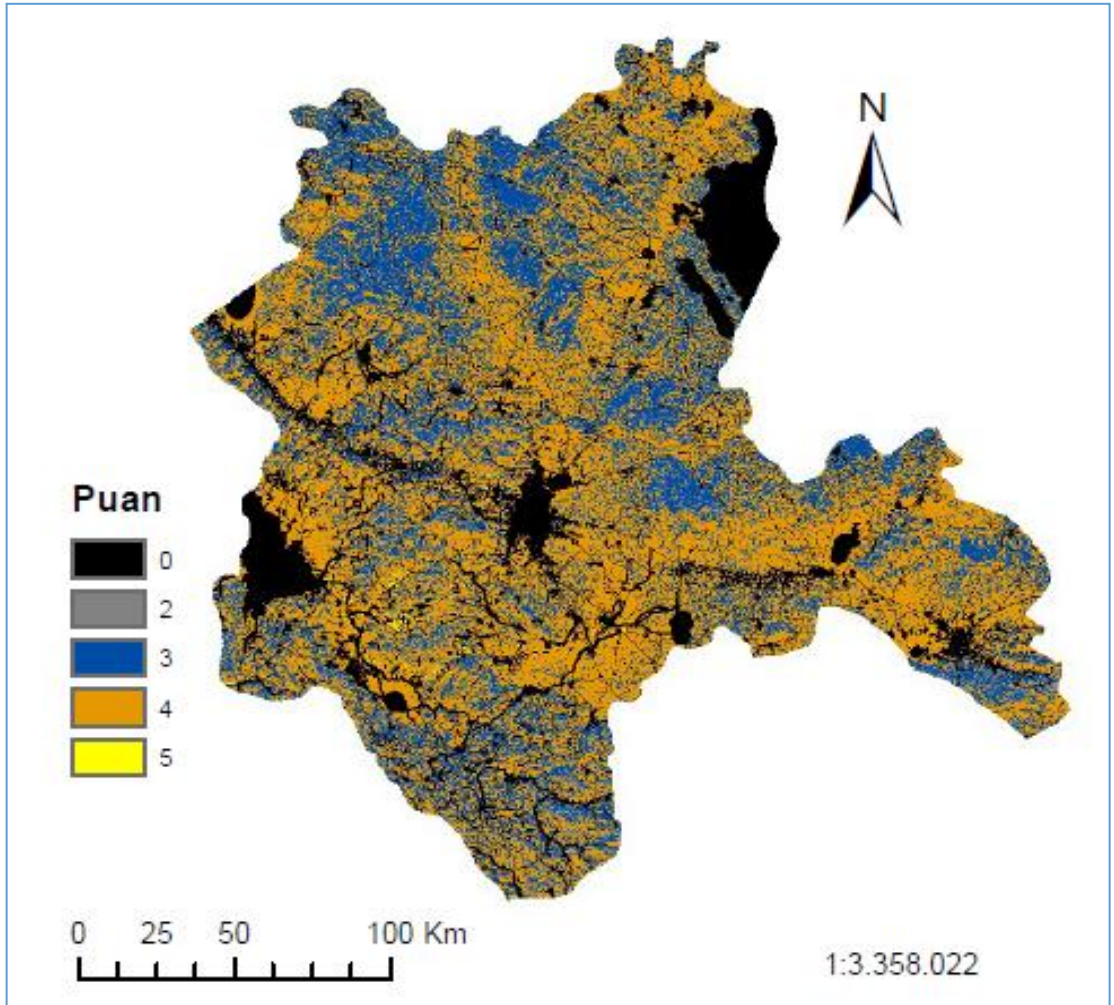
Şekil 5.25. Klasik BWM’ye Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası

Tablo 5.15. Alanların Puanlama Çizelgesi

Sonuç	Puan
Kullanılamaz	0
Hiç Uygun Değil	1
Uygun Değil	2
Az Uygun	3
Uygun	4
En Uygun	5

5.8.2. Bulanık BWM Kriter Ağırlıklarına Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası

ArcGIS programını kullanarak Tablo 5.14.'te belirlemiş olduğumuz kriter ağırlıklarına göre ağırlıklı kaplama yapılarak elde ettiğimiz güneş PV enerji santrali yer seçimi uygunluk analizi sonuç haritası Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Alanların puanlandırılması Tablo 5.15.'teki gibi yapılmıştır.

**Şekil 5.26.** Bulanık BWM'ye Göre Uygunluk Analizi Sonuç Haritası

Sonuç haritasına göre sınıflandırma alan değerleri Tablo 5.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.16. Sonuçların Harita Alan Değerleri

Sonuçlar		BWM	Bulanık BWM
Puan	Sonuç	Alan (km2)	Alan (km2)
0	Kullanılamaz	7328,42	7327,98
1	Hiç Uygun Değil	0,00	0,00
2	Uygun Değil	1158,70	931,31
3	Az Uygun	9877,37	11956,80
4	Uygun	22306,71	20484,89
5	En Uygun	115,09	85,31

5.9. Senaryo ve Duyarlılık Analizi

Oluşturulan uygunluk haritasının kararlılığı bu adımda kontrol edilir. Duyarlılık analizi, karar vericilerin görüşleri ile bağlantılı olarak sonuçların güvenilirliğini kontrol etmenin ideal yolu olarak tanımlanır. Tablo 5.17.'deki senaryolar, kriterlerin orijinal ağırlık katsayıları kullanılarak yapılan bu çalışmada gerçekleştirilen duyarlılık analizinin sonuçlarını temsil etmektedir.

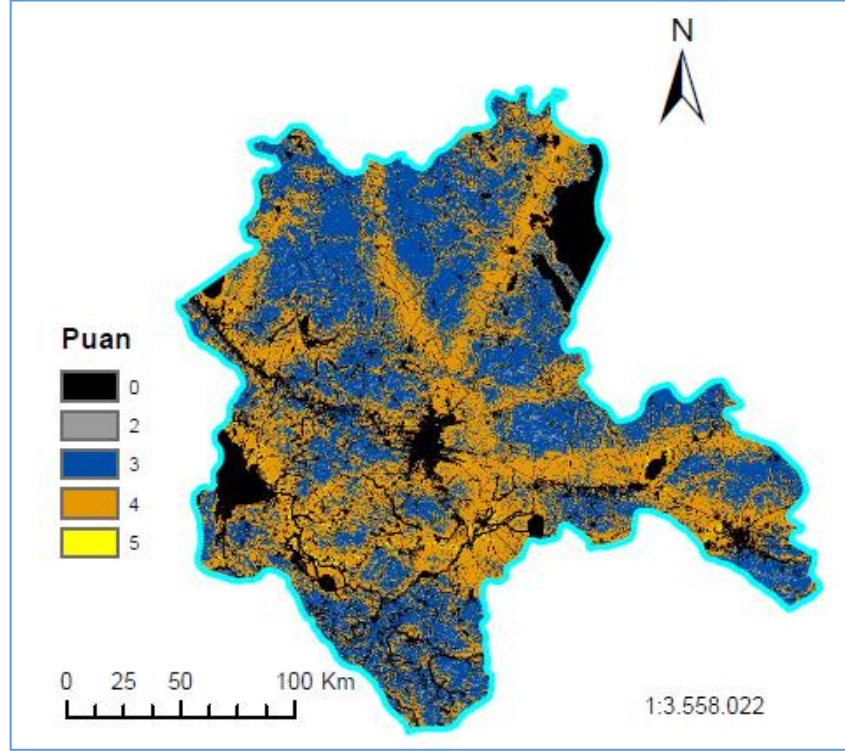
Tablo 5.17. Duyarlılık Analizi Senaryoları

Senaryolar	Kriter Ağırlıkları							
	C1- Güneş radyasyonu	C2- Bakı	C3- Eğim	C4- Enerji nakil hatları na uzaklık	C5- Yerleşim merkezleri ne uzaklık	C6- Yollar a uzaklık	C7- Akarsula ra uzaklık	C8- Göller e uzaklık
Senaryo 1 -tüm kriterlere eşit ağırlık atanır	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Senaryo 2- uzaklık kriterlerini dahil etme	0,435	0,177	0,177	0,000	0,000	0,000	0,104	0,108
Senaryo 3- akarsu ve göllere uzaklık kriterlerini dahil etme	0,382	0,155	0,155	0,110	0,087	0,110	0,000	0,000
Mevcut durum - Bulanık BWM	0,322	0,131	0,131	0,093	0,073	0,093	0,077	0,080

Uygunluk haritasının üretilmesi sürecinde kümelerin değiştirilmiş ağırlık katsayıları esas alınarak her bir senaryonun haritaları elde edilecektir.

Senaryo 1'de tüm kriterlere eşit ağırlık atanarak Tablo 5.17.'deki kriter ağırlıklarıyla ArcGIS programında analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda sonuç haritası

Şekil 5.27.'de gösterilmiştir. Sonuç haritasına göre sınıflandırma alan değerleri Tablo 5.18.'de gösterilmiştir.

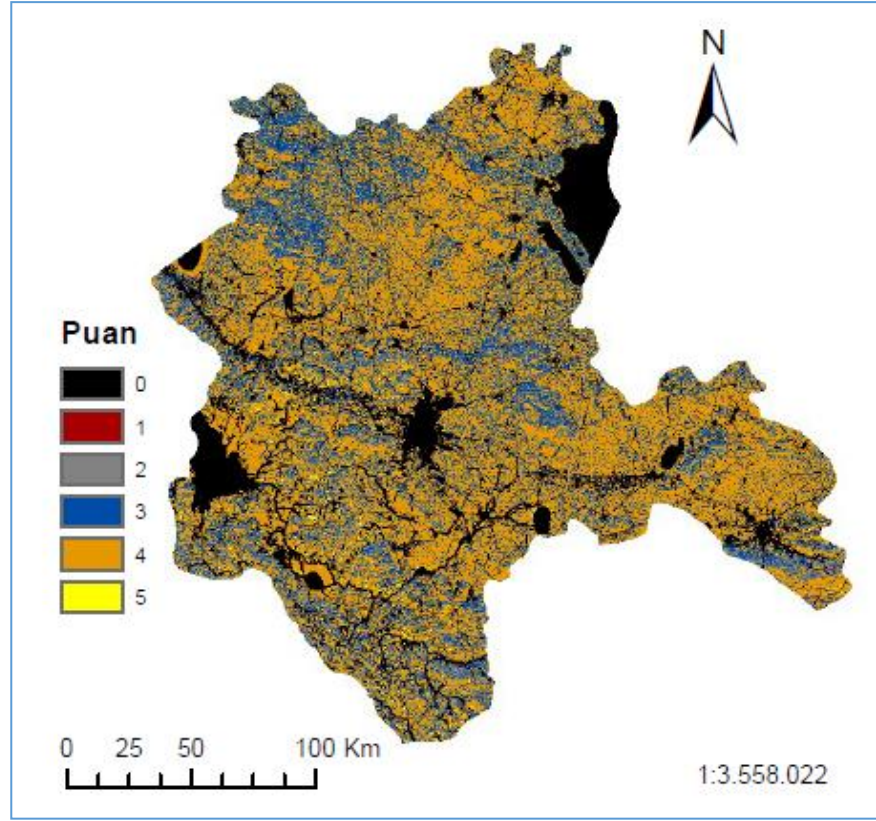


Şekil 5.27. Senaryo-1 Sonuç Haritası

Tablo 5.18. Senaryo-1 Harita Alan Değerleri

Puan	Sonuç	Alan (km2)
0	Kullanılamaz	7325,29
1	Hiç Uygun Değil	0,00
2	Uygun Değil	302,70
3	Az Uygun	16759,80
4	Uygun	16244,06
5	En Uygun	154,54

Senaryo 2’de enerji nakil hatlarına, yerleşim merkezlerine ve yollara uzaklık kriterlerinin ağırlıklarına sıfır atanarak mevcut ağırlıkları diğer kriterlere oransal olarak dağıtılmıştır ve Tablo 5.17.’deki kriter ağırlıklarıyla ArcGIS programında analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda sonuç haritası Şekil 5.28.’de gösterilmiştir. Sonuç haritasına göre sınıflandırma alan değerleri Tablo 5.19.’da gösterilmiştir.

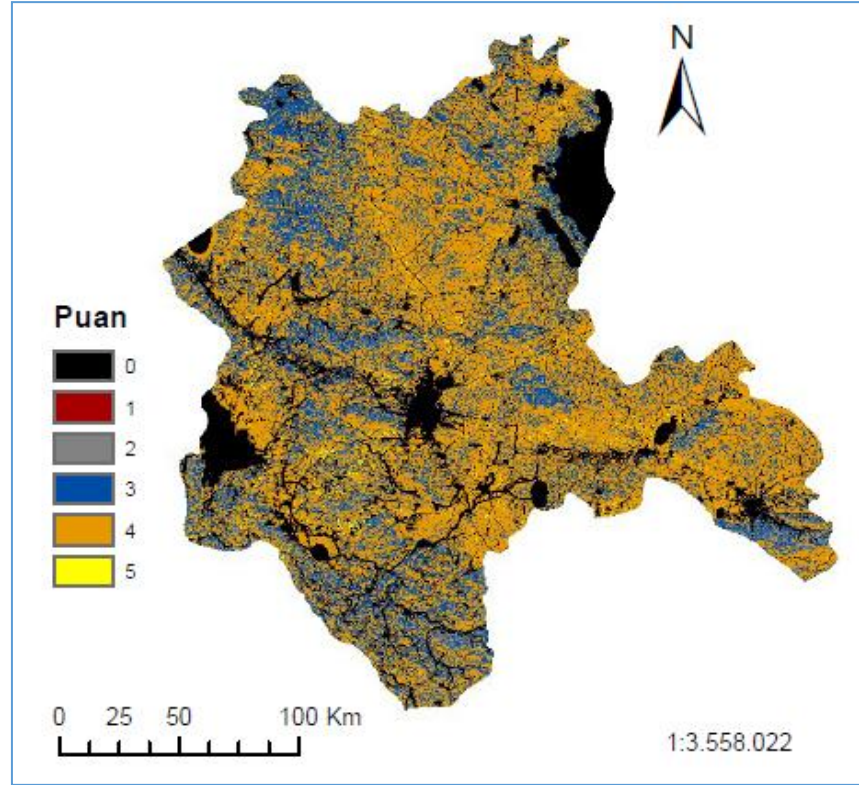


Şekil 5.28. Senaryo-2 Sonuç Haritası

Tablo 5.19. Senaryo-2 Harita Alan Değerleri

Puan	Sonuç	Alan (km2)
0	Kullanılamaz	7331,52
1	Hiç Uygun Değil	29,57
2	Uygun Değil	1545,18
3	Az Uygun	9908,66
4	Uygun	21641,53
5	En Uygun	329,81

Senaryo 3'te akarsu ve göllere uzaklık kriterlerine 0 atanarak ağırlıkları diğer kriterlere oransal olarak dağıtılmıştır ve Tablo 5.17.'deki kriter ağırlıklarıyla ArcGIS programında analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda sonuç haritası Şekil 5.29.'da gösterilmiştir. Sonuç haritasına göre sınıflandırma alan değerleri Tablo 5.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Senaryo-3 Sonuç Haritası

Tablo 5.20. Senaryo-3 Harita Alan Değerleri

Puan	Sonuç	Alan (km2)
0	Kullanılamaz	7329,72
1	Hiç Uygun Değil	0,87
2	Uygun Değil	1353,39
3	Az Uygun	9252,06
4	Uygun	22473,29
5	En Uygun	376,96

Mevcut durum ise Bulanık BWM kullanarak elde ettiğimiz kriter ağırlıklarına göre ArcGIS programı ile oluşturmuş olduğumuz Şekil 5.26.'daki sonuç haritasıdır. Tablo 5.17.'de verilen kriter ağırlıklarıyla ArcGIS programında analiz yapılmıştır. Sonuç haritasına göre sınıflandırma alan değerleri Tablo 5.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.21. Mevcut Durum Bulanık BWM Harita Alan Değerleri

Puan	Sonuç	Alan (km2)
0	Kullanılamaz	7327,98
1	Hiç Uygun Değil	0,00
2	Uygun Değil	931,31
3	Az Uygun	11956,80
4	Uygun	20484,89
5	En Uygun	85,31

Duyarlılık analizinin sonuçları Tablo 5.22.'de gösterilmiştir. Sonuçlar, uygun arazinin alan değerlerinin her bir senaryo için farklı olduğunu göstermektedir. Kriterlere eşit ağırlıklar uygulamak, uygun alanın azalacağını ve az uygun, en uygun alanın artacağını gösterir. Ancak ikinci senaryoda enerji nakil hatlarına, yerleşim merkezlerine ve yollara uzaklık kriterlerini sıfır yapmak, istenilen sonuçlar için durum tamamen farklı olmaktadır ve en uygun alan, uygun alan belirli bir sayıda artışa sahipken az uygun alan azalmaktadır. Uygun ve en uygun alanlar için maksimum değişiklik senaryo 3'de gerçekleşir. Akarsu ve göllere uzaklık kriterlerinin sıfır yapılması güneş enerji santrali için uygun ve en uygun arazi alanını arttırmaktadır.

Tablo 5.22. Duyarlılık Analizi Sonuçları

Duyarlılık Analizi		Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Bulanık BWM
Puan	Sonuç	Alan (km2)	Alan (km2)	Alan (km2)	Alan (km2)
0	Kullanılamaz	7325,29	7331,52	7329,72	7327,98
1	Hiç Uygun Değil	0,00	29,57	0,87	0,00
2	Uygun Değil	302,70	1545,18	1353,39	931,31
3	Az Uygun	16759,80	9908,66	9252,06	11956,80
4	Uygun	16244,06	21641,53	22473,29	20484,89
5	En Uygun	154,54	329,81	376,96	85,31

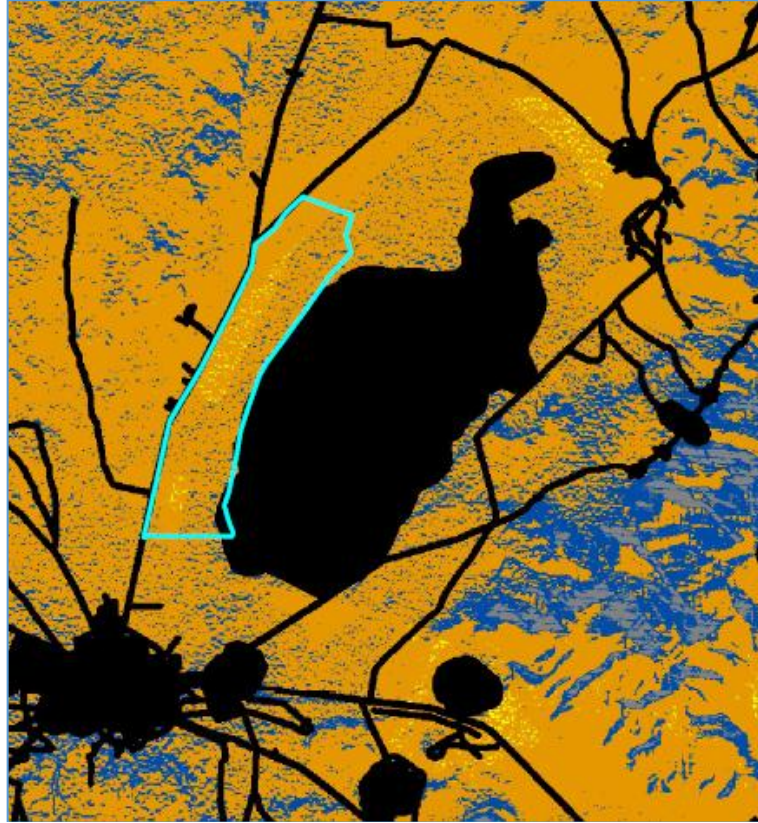
5.10. Konya'da Bulunan Mevcut Santrallerin Uygunluk Durumları

Konya'da bulunan mevcut güneş enerji santralleri OpenStreetMap uygulamasından elde edilerek ArcGIS üzerinde haritalandırılmıştır. Bu harita mevcutta bulduğumuz BWM ve Bulanık BWM sonuç haritalarıyla karşılaştırılarak uygunluk sonuçları Tablo 5.23.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.23. Konya’da Bulunan Mevcut Santrallerin Uygunluk Sonuçları

Santral Adı	İlçe	Güç (MW)	BWM	Bulanık BWM
Konya Karapınar Güneş Enerji Santrali Projesi Alanı	Karapınar	285,00	0-3-4-5	0-3-4-5
Konya Apa Güneş Enerjisi Santrali	Çumra	13,00	0-3-4	0-3-4
Makascı Mühendislik Güneş Enerji Santrali	Tuzlukçu	10,00	4	4
Yaysun Güneş Enerji Santrali	Ereğli	9,98	0-3-4	0-3-4
Karatay Güneş Enerji Santrali	Karatay	6,00	3-4	3-4
Konya Çumra Güneş Enerji Santrali	Çumra	5,91	4	4
Karadona Güneş Enerji Santrali	Karatay	5,90	3-4	3-4
EkoRE Konya Kulu Güneş Enerji Santrali	Kulu	5,00	3-4	3-4
Omega Güneş Enerji Santrali	Karatay	5,00	3-4	3-4
Konar Enerji Konya Hadım Güneş Enerji Santrali	Hadım	4,97	0-3-4	0-3-4

Yapılan analiz sonucunda Konya Karapınar’da bulunan 1000 MW Güneş Enerji Santrali projesi alanı BWM ile bulduğumuz sonuçlara göre Şekil 5.30.’da gösterilen seçili alan en uygun (sarı), uygun (turuncu) ve az uygun (mavi) alan ağırlıklı olarak değerlendirilmiştir. Bulanık BWM ile bulduğumuz sonuçlara göre Şekil 5.31.’de gösterilen seçili alan en uygun (sarı) ve uygun (turuncu) alan ağırlıklı olarak değerlendirilmiştir.

**Şekil 5.30.** BWM’ye Göre Konya Karapınar GES Projesi Alanı



Şekil 5.31. Bulanık BWM'ye Göre Konya Karapınar GES Projesi Alanı

5.11. Belirlenen Potansiyel Alanlar

Konya ilinde potansiyel GES alanlarını belirlemek için ArcGIS programı kullanarak elde ettiğimiz uygunluk sonuç haritasında (Şekil 5.26.) sarı renk ile vurgulanan (5 puan) en uygun görülen alanların koordinatları Tablo 5.24.'te verilmiştir. Tabloda enlem ve boylam koordinatları ondalık derece cinsinden değerlerle belirtilmiştir. Belirlediğimiz kriterlere ve yapılan analiz çalışmasına göre Tablo 5.24.'te verilen alanlar güneş PV enerji santrali kurulması en uygun alanlar olarak görülmektedir.

Tablo 5.24. GES Kurulabilecek En Uygun Alanlar

EN UYGUN ALAN KOORDİNATLARI			
No	İlçe	Enlem	Boylam
1	Akşehir	38,295326	31,522141
2	Beyşehir	37,592212	31,816172
3	Bozkır	37,131629	32,425150
4	Cihanbeyli	38,779406	33,004275
5	Çumra	37,603654	32,834951
6	Derbent	37,960353	31,999826
7	Derebucak	37,416894	31,639236
8	Doğanhisar	38,031072	31,691073
9	Ereğli	37,542448	33,947175
10	Güneysınır	37,083701	32,722400
11	Hadim	37,035898	32,502788
12	Hüyük	37,970550	31,682855
13	İlgin	38,301721	31,876194
14	Karapınar	37,859844	33,700171
15	Karatay	37,803377	32,687795
16	Kulu	39,049952	33,145835
17	Meram	37,726933	32,313850
18	Sarayönü	38,155209	32,455823
19	Selçuklu	37,960195	32,324491
20	Seydişehir	37,554352	31,998911

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada öncelikle yenilenebilir enerji, BWM, Bulanık BWM ve CBS hakkında bilgi verilmiştir. Ardından güneş PV enerji santrali yer seçimi problemi için CBS'ye dayalı hibrit bir yaklaşım sunulmuştur. Bu amaçla, literatür taraması sonucunda CBS'den elde edebileceğimiz haritalar için 8 farklı kriter belirlenmiştir ve çalışma alanı olarak Konya ili seçilmiştir. Bu kriter haritalandırmaları ve yeniden sınıflandırmaları ArcGIS programı kullanılarak yapılmıştır. Bu işlemten sonra BWM kullanılarak kriter ağırlıkları Excel Solver ile Bulanık BWM kullanılarak Lingo programı ile hesaplanmıştır. Bulduğumuz bu ağırlıklar ile ArcGIS programında ağırlıklı kaplama analizi yapılarak BWM ve Bulanık BWM'ye göre sonuç haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalarda kullanılamayan, uygun olmayan ve uygun alanlar puanlanarak gösterilmiştir. Çalışmanın tutarlılığını kontrol etmek amacıyla Konya'da bulunan mevcut güneş enerjisi santrallerinin uygunluk sonuçları BWM ve Bulanık BWM yöntemine göre karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak güneş PV enerji santrali yer seçimi için CBS'ye dayalı hibrit bir çözüm elde edilmiştir. Bu çözümde Konya ilinde kurulabilecek güneş PV enerji santrali için kullanılamayan, uygun olmayan ve uygun alanlar belirlenmiştir. Konya'da bulunan mevcut güneş PV enerji santrallerinden yüksek güce sahip olanların hangi alan içinde kaldıkları gösterilmiştir.

Konya ili için güneş PV enerji santrali için kurulabilecekler en uygun alanlar 5 puan ile BWM'ye göre Şekil 5.25.'de ve Bulanık BWM'ye göre Şekil 5.26.'da gösterilmiştir. Belirlemiş olduğumuz kriterlere göre bu alanlara santral kurulması daha uygun olacaktır. Sonuç olarak bulmuş olduğumuz sınıflandırma haritası ArcGIS programında analiz edilerek BWM ve Bulanık BWM'ye göre sınıflandırma değerlerinin haritada ne kadar alan kapladığı bulunmuştur. Sonuçların harita alan değerleri Tablo 5.16.'da gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkas, O. P., Erten, M. Y., Cam, E., & Inanc, N. (2017). Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey. *International Journal of Biomedical Imaging*, 1–13.
- Aktas, A., & Kabak, M. (2019). A Hybrid Hesitant Fuzzy Decision-Making Approach for Evaluating Solar Power Plant Location Sites. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(8), 7235.
- 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.
- Alami Merrouni, A., Elwali Elalaoui, F., Mezrhab, A., Mezrhab, A., & Ghennioui, A. (2018). Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. *Renewable Energy*, 119, 863–873.
- Asakereh, A., Soleymani, M., & Sheikhdavoodi, M. J. (2017). A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*, 155, 342-353.
- Aslan, Ş. (2019). Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde CBS Kullanımı: Kayseri İli Örneği (Master's thesis, Erciyes Üniversitesi).
- Azizi, Ali & Malekmohammadi, Bahram & Jafari, Hamid & Nasiri, Hossein & Amini Parsa, Vahid. (2014). Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 186. 10.1007/s10661-014-3883-6.
- Badi, I.A., Pamucar, D., Gigovic, L., & Tatomirovic, S. (2021). Optimal site selection for sitting a solar park using a novel GIS- SWA'TEL model: A case study in Libya. *International Journal of Green Energy*, 18, 336 - 350.
- Chen, S.H. & Hsieh, Chih. (2000). Representation, ranking, distance, and similarity of L-R type fuzzy number and application. *Australian Journal of Intelligent Processing Systems*. 6. 217-229.
- Colak, H. E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable Energy*, 149, 565–576.
- Demir, G. & Bircan, H. (2020). Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden BWM ve FUCOM Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Bir Uygulama . *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* , 21 (2) , 170-185 . DOI: 10.37880/cumuiibf.616766
- Dong, J., Wan, S., & Chen, S. M. (2021). Fuzzy best-worst method based on triangular fuzzy numbers for multi-criteria decision-making. *Information Sciences*, 547, 1080–1104. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.09.014>
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2022). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Eroğlu, H. (2018). Güneş Enerji Santralleri İçin Uygunluk Haritasının Elde Edilmesi: Bir Uygulama. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4), 97-106.
- Fuh-Hwa Franklin Liu, & Hui Lin Hai. (2005). The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. *International Journal of Production Economics*, 97(3), 308–317.
- Garni, H.A., & 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.

- Gigović, L., Pamučar, D., Božanić, D. and Ljubojević, S. (2017) Application of the GIS-DANP-MABAC Multi-Criteria Model for Selecting the Location of Wind Farms: A Case Study of Vojvodina, Serbia. *Renewable Energy*, 103, 501-521. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.057>
- Gül, A., Karakoç, A., & Rehimbeyli, S. (2017). Mekansal Planlama Alan Kullanım Kararlarında Güneş Enerji Santrallerinin Yer Seçimi Kriterleri. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan).
- Işıldar, A. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Katı Atık Bertaraf Yöntemi Seçimi. Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 1-75.
- Kabir, E. & Kumar, P. & Kumar, S. & Adelodun, A. & Kim, K. (2017). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82. 10.1016/j.rser.2017.09.094.
- Kumar, D., Rahman, Z., & Chan, F. T. S. (2017). A fuzzy ahp and fuzzy multi-objective linear programming model for order allocation in a sustainable supply chain: A case study. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30, 535–551.
- L.A. Zadeh , Fuzzy sets, *Inf. Control* 8 (3) (1965) 338–353 .
- Liao, Mao-Sheng & Liang, Gin-Shuh & Chen, Chin-Yuan. (2012). Fuzzy grey relation method for multiple criteria decision-making problems. *Quality & Quantity*. 47. 10.1007/s11135-012-9704-5.
- Lima Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between fuzzy ahp and fuzzy topsis methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194–209.
- Moradi, Siamak & Yousefi, Hossein & Noorollahi, Younes & Rosso, Diego. (2020). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strategy Reviews*. 29. 100478. 10.1016/j.esr.2020.100478.
- Nazari, M., Aslani, A., & Ghasempour, R. (2018). Analysis of Solar Farm Site Selection Based on TOPSIS Approach. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 9, 12-25.
- Noorollahi, E., Fadaei, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)—a case study of Iran. *Energies*, 9(8), 643.
- Obut, Z. (2016). “Göksun İlçesinde Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS Yöntemi İle Belirlenmesi.” Master Thesis, August 06, 2018. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/206141>.
- Ozdemir, S., & Sahin, G. (2018). Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. *Measurement*, 129, 218–226.
- Pitt, D., Michaud, G. (2015). Assessing the Value of Distributed Solar Energy Generation. *Curr Sustainable Renewable Energy Rep* 2, 105–113 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40518-015-0030-0>
- Rezaei, D. J. (2015), Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. 49-50.
- Rios, R. & Duarte, S., (2021). "Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 149(C).
- Roy, P.K., Shaw, K. (2022). Developing a multi-criteria sustainable credit score system using fuzzy BWM and fuzzy TOPSIS. *Environ Dev Sustain* 24, 5368–5399. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01662-z>

- Sampaio, P. & González, M. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601. 10.1016/j.rser.2017.02.081.
- Shorabeh, S.N., Firozjaei, M.K., Nematollahi, O., Firozjaei, H.K., & Jelokhani-Niaraki, M. (2019). A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, 143, 958-973.
- Sindhu, S. (1), Nehra, V. (1), & Luthra, S. (2,3). (n.d.). Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496–511.
- Sun, Lijian & Jiang, Yuncheng & Qingsheng, Guo & Ji, Ling & Xie, Yl & Qiao, Qinhua & Huang, Guohe & Xiao, Kun. (2020). A GIS-based multi-criteria decision making method for the potential assessment and suitable sites selection of PV and CSP plants. *Resources, Conservation and Recycling*. 168. 105306. 10.1016/j.resconrec.2020.105306.
- Suuronen, A., Lensu, A., Kuitunen, M., Andrade-Alvear, R., Celis, N. G., Miranda, M., Perez, M., & Kukkonen, J. V. K. (2017). Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile. *Environmental Earth Sciences*, 24, 1.
- Şenlik, İ. (2017). Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 462, 94- 98.
- Tecim, V. (2016). Bilgi Teknolojilerinde Yeni Bir Gelişme: Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bilgi Sistemleri Arasındaki Yeri . *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* , 14 (1) , 1-12.
- TEİAŞ, (2022). Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, Kurulu Güç Raporu, Nisan 2022.
- Türkseven, S. C. (2019). “Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Destek Sisteminin Uygulanması (Eskişehir İli Örneği)”, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, (Yüksek Lisans Tezi)*, Eskişehir.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Uzar, M. & Koca, H. (2020). Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için uygunluk haritasının oluşturulmasında klasik ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin analizi: Menemen örneği . *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* , 7 (1) , 11-28 . DOI: 10.9733/JGG.2020R0002.T
- Yomralıoğlu, T. (2009). Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar Ve Uygulamalar, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, İber Ofset, Trabzon*, 480 s.
- Zhao, H., Guo, S. (2014). Selecting Green Supplier of Thermal Power Equipment by Using a Hybrid MCDM Method for Sustainability. *Sustainability* 2014, 6, 217-235. <https://doi.org/10.3390/su6010217>
- Zoghi, M., Houshang Ehsani, A., Sadat, M., javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(Part 2), 986–996.