



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİ İÇİN SAHA UYGUNLUĞUNUN CBS VE ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

İrem CENGİZ BOZ

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİ İÇİN SAHA
UYGUNLUĞUNUN CBS VE ÇOK KRİTERLİ
KARAR ANALİZİ YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İrem CENGİZ BOZ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ

**Güneş Enerjisi Anabilim Dalı
Enerji Teknolojisi**

**İzmir
2023**

İrem Cengiz Boz tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Rüzgâr Enerji Santralleri için Saha Uygunluğunun CBS ve Çok Kriterli Karar Analizi Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 2.05.2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza****Jüri Başkanı**

:

.....

Raportör Üye

:

.....

Üye

:

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Rüzgâr Enerji Santralleri için Saha Uygunluğunun CBS ve Çok Kriterli Karar Analizi Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

05 / 05 / 2023

İrem CENGİZ BOZ

RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİ İÇİN SAHA UYGUNLUĞUNUN CBS VE ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

CENGİZ BOZ, İrem

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ

Mayıs 2023, 80 sayfa

Rüzgârın özellikleri coğrafi farklılıklardan, bölgelerin topografik yapılarından ve yeryüzünün farklı ısınmasından dolayı zamansal ve bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Rüzgârın potansiyeli rüzgâr hızına, esme yönü ve esme süresi gibi faktörlere göre belirlenmektedir. Aynı şekilde rüzgâr enerji santralleri kurulurken de bu faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Fakat RES'lerin kurulacağı uygun alanların seçilmesinde sadece rüzgâr hızı ve kapasite faktörü değil aynı zamanda teknik, çevresel, ekonomik ve toplumsal kriterlerin de ele alınması gerekmektedir.

Rüzgar enerji santrallerinin yer seçimi sürecinde karşılaşılan zorluklar, doğaya karşı olan sorumluluklarımızın günümüz ekonomik şartları ile yatırımcı için de en uygun hale getirilmesi gibi farklı hususların birlikte incelenmesi gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin de çalışma prensibini çok kriteri bir arada incelemek gelmektedir. Bu tez çalışması, yukarıda değinilen sorunların çözümü olarak, rüzgâr enerjisinin sürdürülebilirliği ve RES'lerin kurulacağı alanların planlaması için Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi teknikleri kullanılarak bir saha uygunluk analizi yöntemi geliştirilmesi ve bu yöntemin örnek bir sahada uygulanmasını amaçlamaktadır. Çalışma bölgesi olarak İzmir ili seçilmiştir.

Çalışmanın değerlendirilmesinde 14 farklı kriter kullanılmıştır. Bunlar; rüzgar hızı, karayollarına uzaklık, kuş göç yollarına uzaklık, yerleşim alanları,

orman alanları, tarım alanları, sanayi ve ticari alanlar, kentsel yeşil alanlar, fay hatlarına uzaklık, tuzla ve göller, maki ve doğal bitki örtüsü, eğim ve enerji nakil hatlarına uzaklıktır. Bu çalışmanın amacı; önemli kriter ve kısıtlara karar vererek, bunları Çok Kriterli Karar Analizi yaklaşımı yardımıyla değerlendirip belirli bir sıraya koyarak derecelendirmek ve bu düzeni Coğrafi Bilgi Sistemleri sayesinde görsel bir haritaya transfer ederek rüzgâr santrallerinin kurulumu için uygun sahalar önceden tespit etmektir.

Çalışma sonucunda Ege Bölgesinin en fazla nüfusa sahip büyük şehri olan İzmir ilindeki kurulumu planlanan rüzgâr santralleri için kurulumunda yaşanabilecek sorunları yaşamamak amacıyla uygun sahalar belirlenmiştir ayrıca bu sahaların olumlu ve olumsuz yanları değerlendirmeye dahil edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Çeşme ilçesinde ve Bergama ilçesinde çok uygun alanlar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç haritasında gösterilmiştir.

Anahtar sözcükler: Rüzgâr, enerji, çok kriterli karar analizi, coğrafi bilgi sistemi, çevre.

ABSTRACT**ASSESSMENT OF SITE SUITABILITY FOR WIND POWER
PLANTS BY GIS AND MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS
APPROACH**

CENGİZ BOZ, İrem

MSc in Solar Energy Institute

Supervisor: Assoc. Assist.Prof Dr. Hasan SARPTAŞ

May 2023, 80 pages

The characteristics of the wind differ temporally and regionally due to geographical differences, topographic structures of the regions and different warming of the earth. The potential of the wind is determined by factors such as wind speed, blowing direction and blowing time. Likewise, these factors should be examined when establishing wind power plants. However, not only the wind speed and capacity factor, but also technical, environmental, economic and social criteria should be considered in the selection of suitable areas where WPPs will be installed.

Different issues such as the difficulties encountered in the process of choosing the location of wind power plants, and optimizing our responsibilities towards nature for today's economic conditions and for the investor should be examined together. The working principle of Geographic Information Systems is to examine many criteria together. This thesis study aims to develop a site suitability analysis method using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process techniques for the sustainability of wind energy and the planning of the areas where WPPs will be installed, as a solution to the problems mentioned above, and to apply this method in a sample field. İzmir province was chosen as the study area.

14 different criteria were used in the evaluation of the study. These; wind speed, distance to highways, distance to bird migration routes, residential areas,

forest areas, agricultural areas, industrial and commercial areas, urban green areas, distance to fault lines, salt flats and lakes, maquis and natural vegetation, slope and distance to energy transmission lines. The aim of this study; to decide on the important criteria and constraints, to evaluate them with the help of Multiple Decision Analysis approach, to put them in a certain order and to transfer this order to a visual map with the help of Geographic Information Systems to create a suitable site for wind farms.

As a result of the study, suitable sites for wind farms in İzmir, the biggest city of the Aegean Region, were selected and the positive and negative aspects of these sites were included in the evaluation. According to the results of the study, very suitable areas were determined in Çeşme district and Bergama district. And the result obtained is shown in the map.

Keywords: Wind, energy, geographic information system, Multi criteria decision analysis, environment.

xi
ÖNSÖZ

2019 yılında İzmir Katip Çelebi Üniversitesinde lisans eğitimimi tamamladım. 2020 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojileri programında yüksek lisans eğitimi almaya hak kazandım. Daha önce çalıştığım şirketimin bende uyandırmış olduğu enerji konusuna olan merakla ve Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Hasan Sarptaş hocamla da birlikte belirlediğimiz hem harita, hem de enerji için katkı sağlayacağını düşündüğümüz konumuz ile tez sürecimize başladık. Daha önceki benzer örneklerle göre farklı vurgular yaparak enerjinin hayatımızdaki önemine yer verdik. Bu süreçte benden desteğini esirgemeyen danışmanımla birlikte literatüre farklı bir görüş daha kazandırmaktan mutluluk duyuyorum. Birlikte yeniden çalışmak en büyük temennimdir. Aynı zamanda bu süreçte Güneş Enerjisi Enstitüsünde bulunmak ve o ortamda birikimler yapmak akademik anlamda gurur vericiydi.

İZMİR

05/05/2023

İrem CENGİZ BOZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Çıkış Noktası.....	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Araştırma Soruları ve Hipotez	9
2 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ (ÇKKA)	10
2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Veri Kavramı	10
2.2 Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA)	13
2.3 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	14
3 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	20
3.1 Rüzgar Enerji Santralleri için Yer Seçimi Kriterleri.....	26
3.1.1 Rüzgar hızı.....	26
3.1.2 Yükseklik.....	27
3.1.3 Eğim.....	28
3.1.4 Yüzey Pürüzlülüğü	29
3.1.5 Kuş Göç Yollarına Uzaklık	30
3.1.6 Fay Hatlarına Uzaklık.....	29
3.1.7 Ormanlık Alanlar	30
3.1.8 Yerleşim Alanları.....	31
3.1.9 Karayollarına Uzaklık.....	32

3.1.10	Demiryollarına Uzaklık.....	33
3.1.11	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	34
3.1.12	Trafo Merkezine Uzaklık	33
3.1.13	Tarım Alanları.....	34
3.1.14	Havaalanları	35
3.1.15	Sulak Alanlar (Göl, akarsu, su kaynakları).....	36
3.1.16	Kapasite Faktörü	36
3.1.17	Arazi Örtüsü / Kullanımı.....	35
3.1.18	Endüstriyel Alanlar	37
3.1.19	Turistik Alanlar	37
3.1.20	Maden Sahaları	37
3.1.21	Baz İstasyonlarına Uzaklık (radyo sinyalleri, televizyon sinyalleri, radar sinyalleri)	38
3.1.22	Askeri Bölgeler	38
3.1.23	Milli Parklar	39
3.1.24	Koruma Alanları (Sit, Tarihi, Arkeolojik)	39
4	VERİ VE YÖNTEM	40
4.1	Tez Yöntemi	40
4.1.1	Kriterlerin Belirlenmesi	40
4.1.2	Veri Toplama ve Veritabanı Geliştirme.....	40
4.1.3	Saha Uygunluk Analizi	41
4.1.4	Faktör Standardizasyonu.....	41
4.1.5	Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi (AHP)	42
4.2	Yazılım: ArcGIS.....	43
4.3	Rüzgar Enerji Santralleri Yer Seçim Kriterleri	44
4.4	Ağırlıklandırma	45

5	ÖRNEK ÇALIŞMA: İZMİR	47
5.1	Çalışma Bölgesi	47
5.2	Veritabanı Geliştirme	52
5.2.1	Karayollarına Uzaklık	52
5.2.2	Arazi Örtüsü / Kullanımına Uygunluk	53
5.2.3	Kuş Göç Yolları	63
5.2.4	Fay Hatlarına Uzaklık	64
5.2.5	Rüzgar Hızı	65
5.2.6	Eğim	66
5.2.7	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	67
5.3	Çalışmanın Kriterleri	69
5.3.1	Eleyici Kriterler: Kısıtlar	70
5.3.2	Karar Verici Faktörler	73
6	BULGULAR VE TARTIŞMA	76
7	SONUÇ VE ÖNERİLER	79
	KAYNAKLAR DİZİNİ	81
	TEŞEKKÜR	87
	ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Enerji tüketiminin ve Dünya nüfusunun karşılaştırılması (Aydın, 2016).	3
Şekil 1.2 Türkiye'nin rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücünün yıllara göre değişimi (ETKB, 2022).	5
Şekil 1.3 Rüzgâr enerjisinin kurulu gücünün Türkiye'deki toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB, 2022).	5
Şekil 1.4 Tezin hipotezi niteliğindeki aşamalar.	9
Şekil 2.1 Raster veri ve Vektör verinin kavramsal şeması (Başkurt, 2017).	10
Şekil 2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin temel bileşenleri (Sarptaş, 2020'den uyarlanmıştır.).	11
Şekil 2.3 CBS veri gösterimleri	12
Şekil 2.4 Raster veri ve vektör verinin farkı	12
Şekil 2.5 CBS ve ÇKKA yöntemlerin birlikte kullanımına ait şema (Başkurt 2017).	14
Şekil 2.6 AHP hiyerarşisinin oluşturulma diyagramı.	16
Şekil 4.1 Tez yöntemi akım şeması.	42
Şekil 4.2 ArcGIS programı 10.8 versiyonu arayüzü.	43
Şekil 5.1 İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımını gösteren grafik (TUREB, 2021a).	47
Şekil 5.2 İzmir ilinin Türkiye'deki lokasyonunun haritada gösterilmesi.	48
Şekil 5.3 İzmir iline ait rüzgâr hakim yönünü gösteren rüzgâr gülü. Güzelyalı, İzmir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü).	49
Şekil 5.4 İzmir ili için 10m deki ortalama rüzgâr hızı (Global Wind Atlas).	51
Şekil 5.5 İzmir ili için 100m deki ortalama rüzgâr hızı (Global Wind Atlas).	51
Şekil 5.6 İzmir ili yol ağını gösteren harita.	53
Şekil 5.7 İzmir ili arazi örtüsü / kullanım haritası.	54
Şekil 5.8 İzmir ili meskun alanlar haritası.	54
Şekil 5.9 İzmir ili yerleşim alanlarını gösteren harita.	55
Şekil 5.10 İzmir ili endüstri ve ticaret alanlarını gösteren harita.	56
Şekil 5.11 İzmir ili rekreasyon ve kentsel yeşil alanları gösteren harita.	57
Şekil 5.12 İzmir ili sulak alanlar şeklinde sınıflandırılmış harita.	58
Şekil 5.13 İzmir ili göller haritası.	59
Şekil 5.14 İzmir ili tuzla alanını gösteren harita.	59

Şekil 5.15 İzmir ili yeşil alanlar şeklinde gösteren harita.	60
Şekil 5.16 İzmir ili makilik alanları ve doğal bitki örtüsünü gösteren harita.	61
Şekil 5.17 İzmir ili orman alanlarını gösteren harita.	62
Şekil 5.18 İzmir ili tarım alanlarını gösteren harita.	63
Şekil 5.19 İzmir ili Kuş Göç Yolları.	64
Şekil 5.20 İzmir ili Deprem Fay Hatları.	65
Şekil 5.21 İzmir ili ortalama rüzgâr hızı (50m) haritası.	66
Şekil 5.22 İzmir ili eğim haritası (%).	67
Şekil 5.23 İzmir ili enerji nakil hatlarını gösteren harita.	68
Şekil 5.24 Çalışmada kullanılan kısıtlar ve faktörler.	69
Şekil 6.1 İzmir ili için arazi kullanım verisinde kısıtlarla hazırlanmış saha uygunluk haritası.	76
Şekil 6.2 İzmir ili için elde edilen rüzgâr enerji santralleri saha uygunluk haritası.	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Çok Kriterli Karar Verme Problemleri ve Teknikleri (Dalbudak, Rençber, 2022).....	14
Çizelge 2.2 Faktörlerin derecelendirilmesi (Saaty, 1977).....	16
Çizelge 3.1 Rüzgar hızı kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	26
Çizelge 3.2 Yükseklik kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	27
Çizelge 3.3 Eğim kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	28
Çizelge 3.4 Yüzey pürüzlülüğü kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	29
Çizelge 3.6 Fay hatlarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	29
Çizelge 3.5 Kuş göç yollarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	30
Çizelge 3.7 Ormanlık alanlar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	30
Çizelge 3.8 Yerleşim alanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	31
Çizelge 3.9 Karayollarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	32
Çizelge 3.10 Demiryollarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	33
Çizelge 3.12 Trafo merkezine uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	33
Çizelge 3.11 Enerji nakil hatlarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	34
Çizelge 3.13 Tarım alanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	34
Çizelge 3.14 Havaalanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	35

Çizelge 3.17 Arazi örtüsü / kullanımı kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	35
Çizelge 3.15 Sulak alanlar (göl, akarsu, su kaynakları) kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	36
Çizelge 3.16 Kapasite faktörü kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	36
Çizelge 3.18 Endüstriyel alanlar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	37
Çizelge 3.19 Turistik alanlar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	37
Çizelge 3.20 Maden sahaları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	37
Çizelge 3.21 Baz istasyonlarına uzaklık (radyo sinyalleri, televizyon sinyalleri, radar sinyalleri) kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	38
Çizelge 3.22 Askeri bölgeler kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	38
Çizelge 3.23 Milli parklar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.	39
Çizelge 3.24 Koruma alanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.....	39
Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan veritabanları.	41
Çizelge 4.2 Rüzgar enerji santralleri için yer seçiminde kullanılan kriterler.	44
Çizelge 4.3 Kişilere göre ikili kıyaslama matrisleri.	45
Çizelge 4.4 Ağırlık matris tablosu.	46
Çizelge 5.1 Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan İzmir ili iklimsel özellikleri (URL2).	50
Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan Open Street Map yol sınıflarının örnekleri.	52
Çizelge 5.3 Karayollarına uzaklık sınıflandırma tablosu.....	70
Çizelge 5.4 Çalışmada kullanılan arazi kullanımı ile ilgili eleyici kısıtların kaynak ve sınır gösterim tablosu.	72
Çizelge 5.5 Kuş Göç Yollarına uzaklık sınıflandırma tablosu.	73
Çizelge 5.6 Fay Hatlarına uzaklık sınıflandırma tablosu.....	73
Çizelge 5.7 Ortalama rüzgâr hızları sınıflandırma tablosu.	74

Çizelge 5.8 Rüzgar hızı faktör değerlendirilmesi.....	74
Çizelge 5.9 Eğim(%) sınıflandırma tablosu.	74
Çizelge 5.10 Eğim faktör değerlendirilmesi.....	75
Çizelge 5.11 Enerji Nakil Hatları sınıflandırma tablosu.	75
Çizelge 5.12 Enerji Nakil Hatları faktör değerlendirilmesi.	75



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Birimler</u>	<u>Açıklama</u>
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CORINE	Coordination of Information on the Environment
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇKKA	Çok Kriterli Karar Analizi
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
DEM	Digital Elevation Model
ENH	Enerji Nakil Hatları
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EUDEM	Digital Elevation Model over Europe
GIS	Geographic Information System
GW	Gigawatt

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Birimler</u>	<u>Açıklama</u>
İZKA	İzmir Kalkınma Ajansı
kW	kilowatt
kWh	Kilowatt-saat
m	metre
m ²	metrekare
m ³	metreküp
MADM Verme	Multiple Attribute Decision Making - Çok Ölçütlü Karar
MCDM	Multiple Criteria Decision Making - Çok Kriterli Karar Verme
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MW	Megawatt
OSM	Open Street Map
REPA	Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santralleri
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Birimler</u>	<u>Açıklama</u>
TUREB	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
UTM	Universal Transverse Mercator
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

1 GİRİŞ

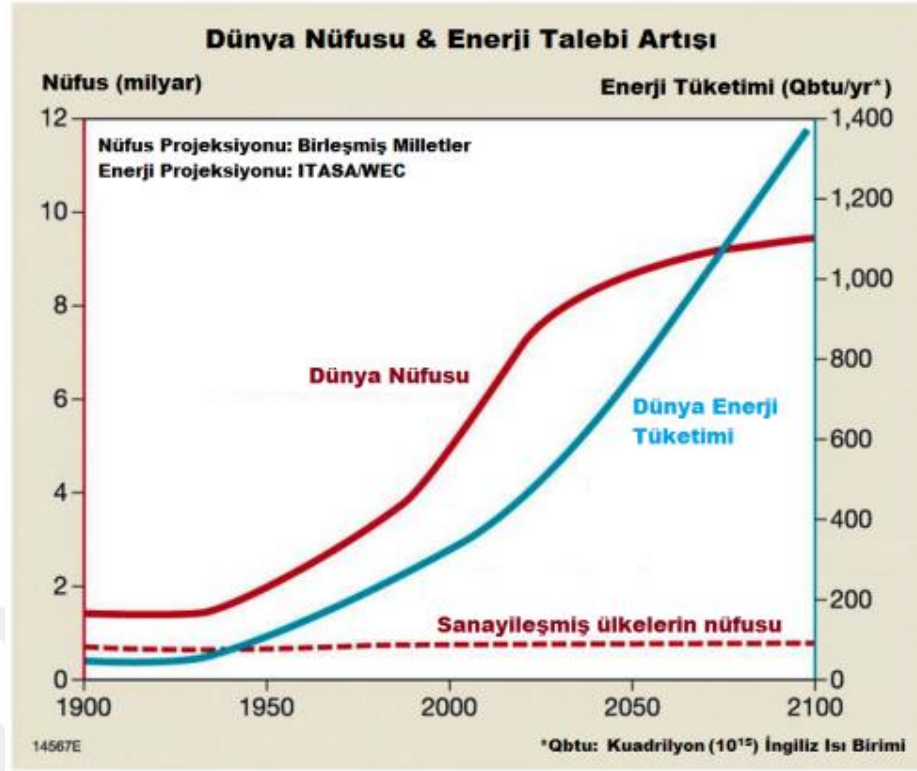
1.1 Tezin Çıkış Noktası

Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisinin en temelinde yer alan fiziksel ihtiyaçlarını karşılaması için gerekli olan yiyecek, barınma ihtiyaçları nüfusun artışı ile enerjiye tamamen bağımlı hale gelmiştir. Bundan 90 yıl önce bir çiftçi herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan hayatını idame ettirebilmekteydi. Günümüzde ise en ücra köylerdeki çiftçiler bile en temel besinlerden biri olan sütü, endüstriyel olarak işlenebilir hale getirilmesi amacıyla köylerdeki süt toplama merkezlerine teslim etmektedir. Bu merkezlerdeki depolar, sütün bozulmasını engelleyecek iklimlendirme sistemleri kullanmaktadır. Ayrıca depolarda toplanan sütün fabrikaya taşınması için fosil yakıt ya da elektrik enerjisi ile çalışan motorlar kullanılması gerekmektedir. Fabrikaya ulaşan süttten peynir üretimi, paket süt üretimi için pastörizasyon amacıyla da elektriğe ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstriyel paket sütün üretiminin paketleme ve dağıtım süreçleri ile en temel ürünlerin dahi ihtiyaç duyduğu enerji miktarı yıldan yıla artmaktadır. Bu enerji ihtiyacı ve dünya nüfusu ilişkisi bu bakımdan önemlidir. Şekil 1.1'de nüfus ve enerji tüketimi hakkında sayısal verilerle hazırlanmış bir tahmin şeması yer almaktadır. Dünyada bu enerji ihtiyacının büyük kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaya çalışıldı. Ancak fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunların artması ve fosil yakıt rezervlerinin azalması gibi durumlara karşı bir çözüm bulunma ihtiyacı ortaya çıktı. Bu durumun çözümü için temel stratejiler enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı olarak belirlenmiştir.

Yukarıda belirttiğimiz süt üretim hikayesi üzerine tümünden gelim ya da tüme varım akıl yürütme yöntemlerinden hangisini kullanırsak kullanalım; ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin karşılanması için yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır (Ağpak ve Özçiçek, 2018). Enerjiye duyulan ihtiyaç sürekli olduğu için rüzgârdan elde edilen elektrik enerjisinin üretimine sürekli olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgar enerjisi, temiz bir enerji kaynağı olduğu, uzun vadede maliyet etkin bir enerji üretimi sağladığı, güneş enerjisi ile kıyaslandığında arazi kullanım etkileri daha az olduğu ve enerji arzını çeşitlendirmeye yardımcı olduğu için en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Enerji ihtiyacının geçtiğimiz 2 yüzyılda giderek artan şekilde karşılandığı fosil yakıtlar gün geçtikçe oransal olarak enerji üretiminde azalmaktadır. Dünyanın sahip olduğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların özellikle 20. yüzyılda yoğun bir şekilde kullanılması ile iklim değişikliği, asit yağmurları, hava kirliliği gibi uzun vadede sonuçlarını görebildiğimiz alanlarda bilimsel çalışma yapılması ve çözüm önerileri oluşturulmalıdır. (Doğan ve Tüzer, 2020) Fosil yakıt rezervlerinin uzun vadede tükeneceği gerçeği ve enerji ihtiyacını karşılamada yetersizliği temiz enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji, günümüzde elektrik üretimi ve tüketimi konusunda büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de enerji tüketimi enerji üretiminden daha fazla olduğu için dışa bağımlı olduğu bilinmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji ve ısıya dönüştürerek elektrik tüketim miktarının elektrik üretim miktarına yakınlaştırılması amaçlanmaktadır (11. Kalkınma Planı, SBB,2023).

Fosil yakıtların zararlarının en aza indirgenmesi açısından da yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak önemli bir adımdır. Bu dönüşümün sürdürülebilir bir şekilde ilerlemesi enerji de olan artışı kaynaklar bakımından zenginleştirmektedir. Şekil 1.1’de nüfus ve enerji tüketimi hakkında sayısal verilerle hazırlanmış bir tahminleme yer almaktadır.



Şekil 1.1 Enerji tüketiminin ve Dünya nüfusunun karşılaştırılması (Aydın, 2016).

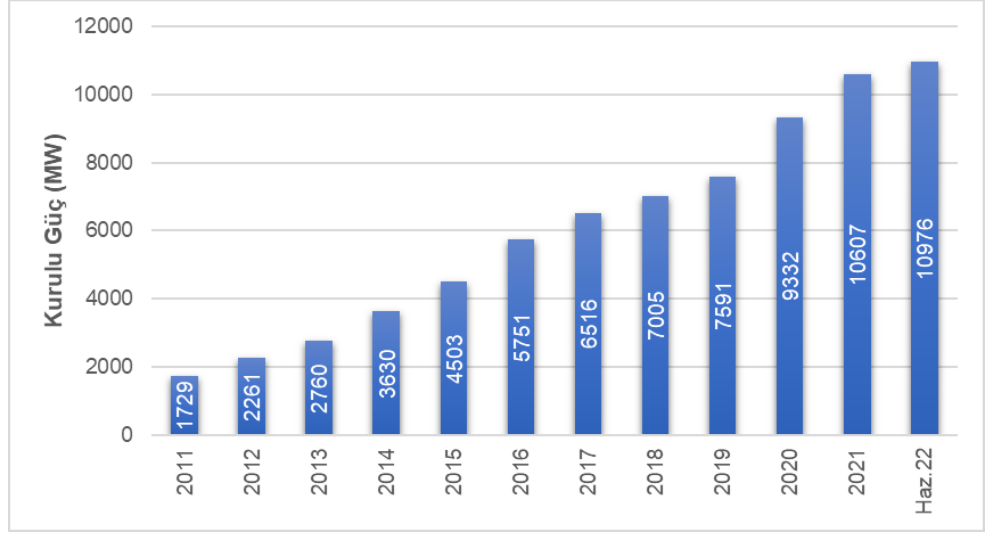
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2021 yılında ülkemiz elektrik üretimi %9,4'ü rüzgâr enerjisinden, %4,2'si güneş enerjisinden, %16,7'si hidrolik enerjiden, %3,2'si jeotermal enerjiden, %30,9'u kömürden, %33,2'i doğal gazdan, ve kalan %2,4'ü de diğer kaynaklardan elde edilmiştir (ETKB, 2022). Tüm Dünya'daki elektrik üretimi ile ülkemizdeki verileri karşılaştırdığımız zaman 2021 yılı için baktığımızda rüzgâr enerjisinden üretilen elektriğin Dünya'da üretilen elektriğin %6,59'u iken ülkemizde bu değer %9,4 olmuştur. Elektrik enerjisi için kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları içinde de rüzgâr enerjisinin ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Bu durum Dünya'da bölgelere göre veya ülkelere göre farklılıklar gösterse de rüzgâr enerjisinin elektrik üretiminde kullanımı yıldan yıla artmaktadır (Ember's Global Electricity Review 2022).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında Dünya'daki sıcaklık artışının 2 derecenin altında tutulmasını amaçlayan Paris Anlaşmasına ülkemiz de taraftır (7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmî Gazete). Bununla birlikte ülkemiz Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı ile Yürütülmesi Öngörülen Plan Politikalar ile rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin

2030 yılına kadar yıllık 16 GW, güneş enerjisinden elektrik üretimini yıllık 10 GW kapasiteye ulaşması hedefi getirilmiştir.

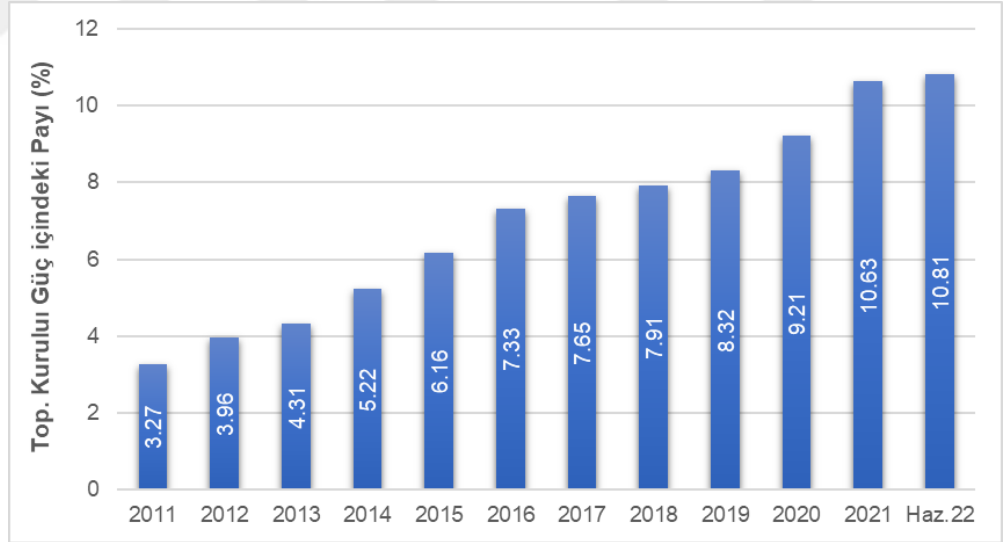
Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz, jeotermal enerjide dünya potansiyelinin %8'ine, coğrafi konumundan dolayı önemli bir güneş enerjisi potansiyeline, yer şekil özellikleri nedeniyle önemli bir hidrolik enerji potansiyeli ve ciddi bir rüzgâr potansiyeline sahiptir (Yılmaz, 2012). Rüzgâr enerjisi, Türkiye için üretiminde gerekli koşulları sağlama kolaylığı bakımından tercih edilmektedir. Bu koşullara örnek olarak sürdürülebilir olması, hammadde maliyetinin olmaması, yerel olarak kullanılabilmesi verilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların kullanım teknolojileri sürdürülebilir kalkınma ve çevre koruma hedeflerine ulaşmada stratejik bir rol oynamaktadır. Dünyada ve Türkiye'de rüzgâr enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması için çeşitli teşvikler sağlanmaktadır. Bu durumlar araştırmalarda da ilgi duyulan yenilenebilir enerji türü olarak rüzgâr enerjisinin tercih edilmesine sebep olmaktadır. Türkiye'de kullanılan en yaygın yenilenebilir enerji kaynaklarından biri rüzgâr enerjisidir. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliğinin (TUREB) 2019 yılı Temmuz ayı istatistik verilerine göre, Türkiye'de işletmede 183 adet RES bulunmakta olup, 17 adet RES'in inşası da devam etmektedir. Ayrıca kurulu türbin sayısı 3155'e ulaşmıştır. Rüzgâr enerji santrallerinden üretilen elektrik ile toplam elektrik ihtiyacımızın %7,40 'ı karşılandığı yine bu raporlarda belirtilmektedir (TUREB, 2021).

Rüzgâr enerjisinin ülkemizdeki durumunu incelemek amacıyla REPA bilgilerine baktığımızda, Haziran 2022 sonu itibariyle rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüzün toplam kurulu güç içindeki oranı %10,81 değer olarak da 10.976 MW, olduğu görülmektedir ve aşağıdaki grafikte yıllara göre kurulu güç değişimi gösterilmektedir. (ETKB, 2022).



Şekil 1.2 Türkiye’nin rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücünün yıllara göre değişimi (ETKB, 2022).

Rüzgâr enerjisinin ülkemizde elektrik enerji için kullanımı giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında daha çok tercih edilen bir tür olmaktadır. Bu durum REPA bilgilerine dayanarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının sitesinde aşağıdaki grafikte ifade edilmektedir.



Şekil 1.3 Rüzgâr enerjisinin kurulu gücünün Türkiye’deki toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB, 2022).

Rüzgâr enerjisi için yapılan yatırımlar ve konuşulan hedefleri göz önünde bulundurduğumuzda; REPA yani “Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası” önem arz

etmektedir. REPA çalışmasına göre yer yüzünden 50 m yükseklikte ve 7,5 m/s üzerinde rüzgâr hızlarına sahip yerler ülkemiz için 5 MW/ km² lik güce sahip rüzgâr enerji santralleri kurulabilir alanlar olarak kabul edilmektedir. Böylelikle karadaki rüzgâr potansiyeli toplamda 48 GW olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda YEKDEM ve YEKA uygulamaları ile rüzgâr enerjisinde yatırımlar hızlı bir artış gösterdiği düşünülse de İzmir Kalkınma Ajansının Denizüstü Rüzgâr Enerji Yol Haritası raporunda karadaki rüzgâr enerji potansiyelinin yeteri kadar kullanılmadığı sonucuna varılmaktadır (İzmir Kalkınma Ajansı).

Rüzgâr enerjisi için dışa bağımlılığımızın azaltılması ihtiyaç niteliğindedir. Son yıllarda işletmeye alınan rüzgâr enerji santralleri ile birlikte ülkemizdeki rüzgâr enerji potansiyelinin %15'nin kullanılabildiği düşünülmektedir (İzmir Kalkınma Ajansı). Dışa bağımlılığımız ancak potansiyelimizin daha fazlasını kullanabilmek ile mümkün olacaktır.

CBS elde edilen coğrafi içerikli verilerin işlenmesi ve bilgi üretilmesi konusunda karar vericilere fayda sağlamaktadır. RES yer seçiminde kullanılan verilerin bilgi haline getirilmesi de CBS'nin kullanım alanlarından bir tanesidir. Hem vektör hem de raster olarak kullanılan haritalar sayesinde mekansal istatistiki yöntemler uygulanabilmekte, çeşitli analizler yapılabilmekte, bu işlemlerin sonucunda da veriler bilgiye dönüştürülebilmektedir (Yomralıoğlu, 2015). CBS kullanılarak RES'lerin kurulumundaki harcanacak kurulum sermayelerinin aşağı çekilmesi amacıyla RES'lerin kurulacağı alanların eğim haritalarına bakılarak belirlenmesi, bunun yanında ana yollara uzaklıklarından dolayı lojistik problemlerin oluşması gibi durumlar önceden belirlenebilir. Bunun yanında bölgede yer alan şehirleşme yapıları ve elektrik tüketim miktarları, şebeke yönetiminde kullanılan trafo bağlantı izinlerinin mekânsal olarak takip edilebilmesi CBS kullanılarak sağlanabilir.

Rüzgâr enerjisi yer seçimi sürecinde birçok kriter değerlendirilir. Bu kriterler arasında rüzgâr hızı, rüzgâr yoğunluğu, topografik özellikler, ulaşım koşulları, alanın ekonomik değeri ve çevresel etkiler yer alır (Duffy, 2010). Bu kriterler arasındaki ilişkilerin ağaç yapısı şeklinde gösterilmesi, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemini kullanılmasını gerektirir.

Rüzgârın özellikleri coğrafi farklılıklardan, bölgelerin topografik yapılarından ve yeryüzünün farklı ısınmasından dolayı zamansal ve bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Rüzgârın potansiyeli rüzgâr hızına, esme yönü ve esme süresi gibi faktörlere göre belirlenmektedir. Aynı şekilde rüzgâr enerji santralleri kurulurken de bu faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Fakat RES'lerin kurulacağı uygun alanların seçilmesinde sadece rüzgâr hızı ve kapasite faktörü değil aynı zamanda teknik, çevresel, ekonomik ve toplumsal kriterlerin de ele alınması gerekmektedir. Bunlar;

-Orman alanlarına kurulum ve etkileri...

-Kuş göç yollarında olması durumunda hayvan hakları savunucularının tepkileri...

-Yerleşim yerlerinde gürültü kirliliğinden doğan zorluklar

-Mevcut RES'lere halkın tepkisi ... gibi mevcut problemler ve farklı sorunlar RES'lerin kurulum aşamasında uygun alan seçimi için dikkat edilmesi gereken ve önceden araştırılması gereken konulardır.

1.2 Tezin Amacı

RES yer seçimi sürecinde karşılaşılan zorluklar, doğaya karşı olan sorumluluklarımızın günümüz ekonomik şartları ile yatırımcı için de en uygun hale getirilmesi farklı veri setleri ve yaklaşımlar ile kesin sonuçlar vermemektedir. Bunun yanında eksik veriler ile yapılan çalışmalardan dolayı doğada geri dönülemez hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tez çalışması, yukarıda değinilen sorunların çözümü olarak, rüzgâr enerjisinin sürdürülebilirliği ve RES'lerin kurulacağı alanların planlaması için CBS ve AHP teknikleri kullanılarak bir saha uygunluk analizi yöntemi geliştirilmesi ve bu yöntemin örnek bir sahada uygulanmasını amaçlamaktadır.

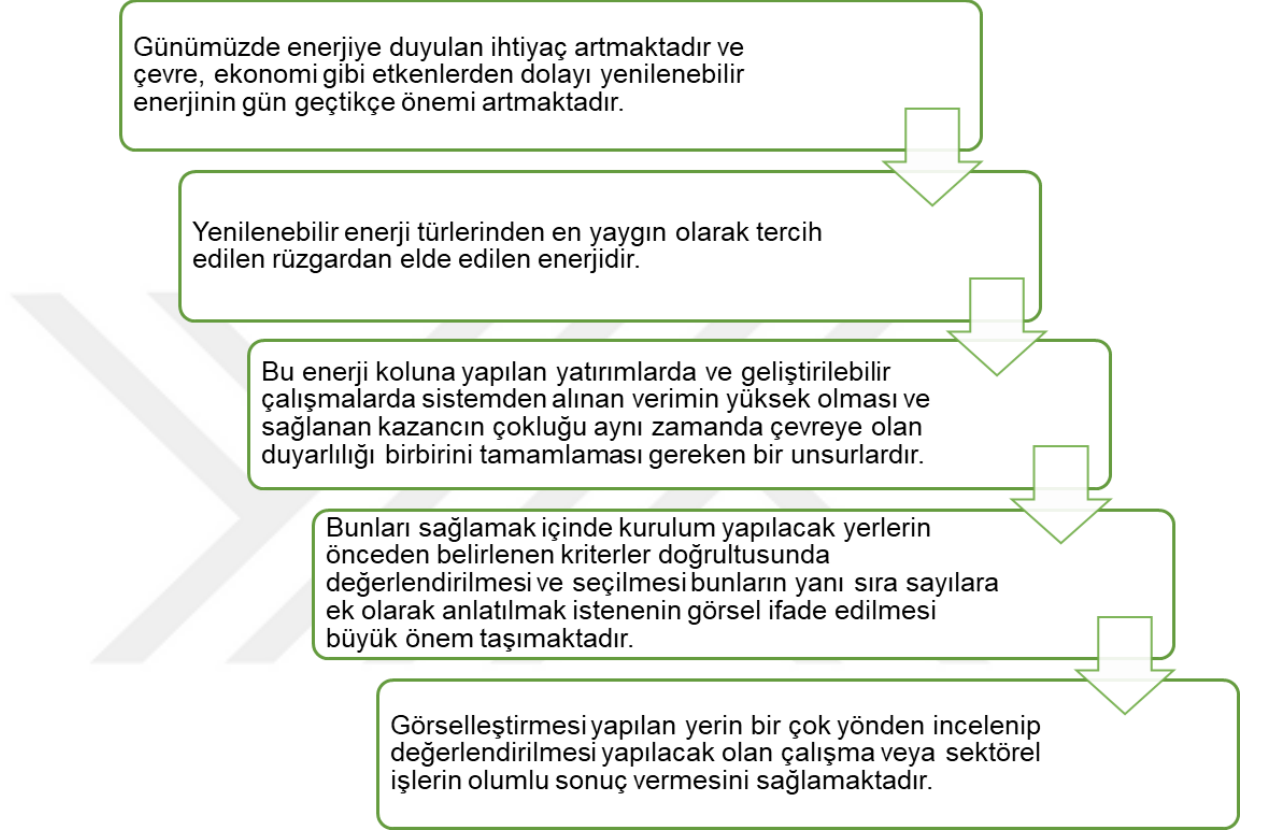
Bu çalışmada gürültü kirliliği sorunu için şehir merkezine uzaklık, hayvansesverlerin isyanı sorunu için göç yollarına uzaklık, ormanlık alanlara kurulmaması için ormanlık alanların dışında olması gibi kısıtlar kullanılmaktadır.

CBS'nin birbiriyle çelişen birçok faktörü birlikte değerlendirmesi konusundaki yetenekleri bilinmektedir. Bu durum esas alınarak bu çalışmada CBS-tabanlı bir karar analiz yaklaşımı yapılmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde RES kurulumundaki farklı sorunların çözümleri birbirine entegre edilerek son ürün olarak bir harita yardımıyla değerlendirme yapılmaktadır.

Genel anlamda haritaların sağladığı yararlar düşünülerek rüzgâr haritalarının da sadece enerji verimliliği konusunda değil göç yolları, yerleşim yerlerinin güvenliği, ulaşım koşullarının iyileştirmesi gibi birçok konuda araştırılanı görsel anlamda daha anlaşılabilir hale getirmesi esasında yarar sağladığı görülmektedir. Çalışmada sonuç ürününün harita olarak ele alınması, çalışmanın net bir şekilde ifade edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, araştırma ve geliştirme anlamında destek olacağı düşünülen bir sistemin uygulanabilirliği seçilen çalışma bölgesi ölçeğinde değerlendirilmektedir.

1.3 Araştırma Soruları ve Hipotez

Rüzgar enerjisi santralleri kurulacak sahalara için teknik, çevresel, ekonomik ve toplumsal kriterleri birlikte değerlendirerek saha uygunluklarını belirleyen CBS ve AHP destekli bir çoklu kriter karar destek sistemi geliştirilebilir mi?



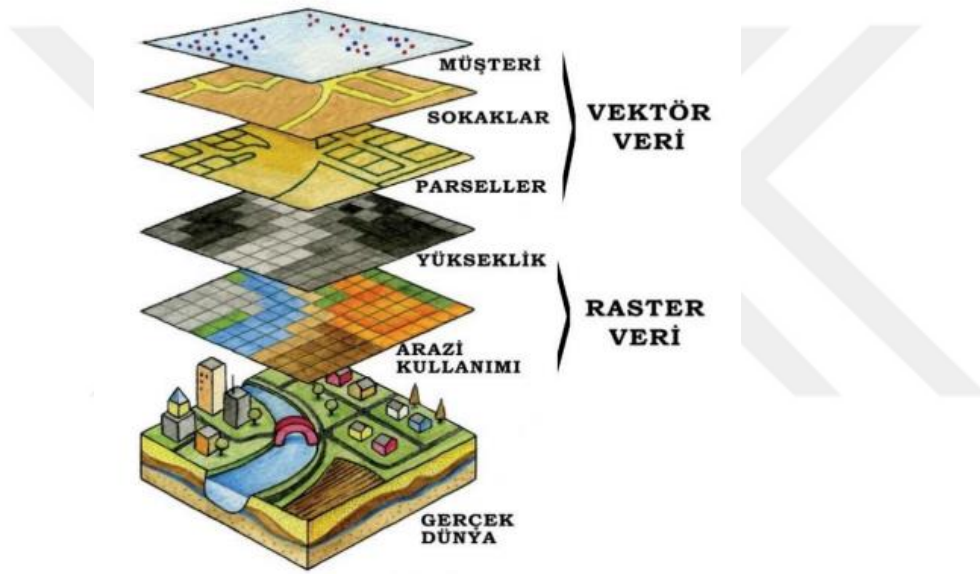
Şekil 1.4 Tezin hipotezi niteliğindeki aşamalar.

Bu çalışmada yukarıdaki maddelere göre yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisine, rüzgâr enerjisinin yatırımcılar tarafından talebine ve bu talep doğrultusunda kurulum aşamasında yaşanılacak sorunların önceden çözümüne, İzmir ilinde rüzgâr enerjisi santrallerine uygun sahalara kriterlerinin belirlenmesine ve bu kriterlerin derecelendirilerek nihai sonuca varılmasına çözüm niteliğindedir.

2 COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ (ÇKKA)

2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Veri Kavramı

Veriler bilginin üretilmesi için gerekli olan temel bileşenlerdir. Günümüzde çok farklı kaynaklardan gelen verilerin işlenmesi, bilgi haline getirilmesi ve sunulması işlemleri bilgi sistemleri sayesinde yapılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bilgi sistemleri içinde konum bilgisinin bulunduğu veri setlerinin kullanıldığı sistemlerdir (Goodchild, 1991).



Şekil 2.1 Raster veri ve Vektör verinin kavramsal şeması (Başkurt, 2017).

Genel itibariyle CBS coğrafi verilerin işlenip, görselleştirilip, depolanıp kullanılabilir hale getirildiği sistemler bütünü olarak hayatımızda yer almaktadır. (Yomralıoğlu, 2000)

CBS'nin, insan, veri, yazılım, yöntem ve donanımdan oluşan 5 temel bileşeni bulunduğu kabul edilmektedir. Burada;

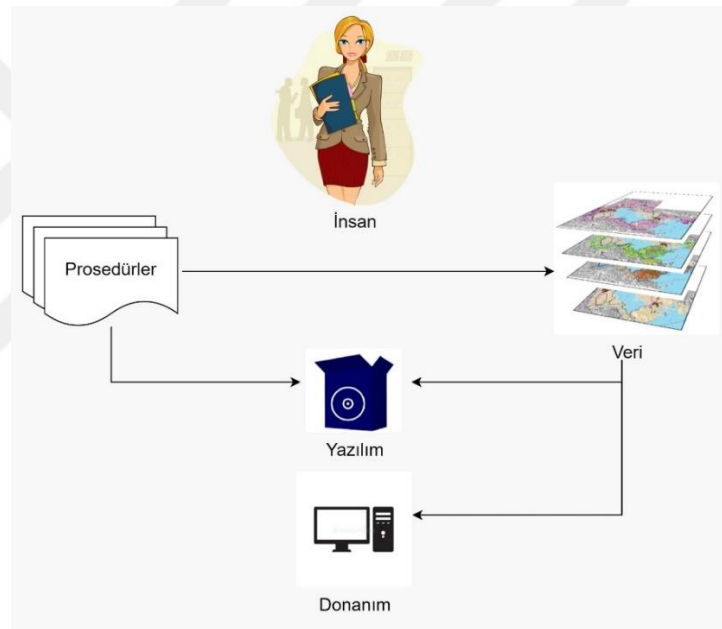
İnsan, elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi ve girdi verilerinin oluşturulması için gerekli kullanıcıyı;

Veri, CBS içinde kullanılmak üzere elde edilen konum bilgisi olan yahut konum bilgisi eklenebilen tüm verileri;

Yazılım, verilerin işleyeceği, analizlerin yapılacağı, gerekli çıkarımların elde edileceği CBS yazılımını;

Yöntem, amaca yönelik yapılan düzenli planlar, ortaya konulan ilkeler ve yollar bütünü;

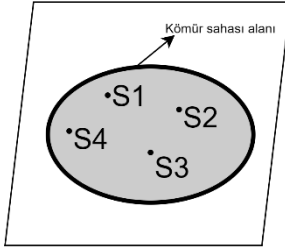
Donanım; CBS veri üretimi ya da sistemin kurulması için gerekli olan tüm, bilgisayar, GNSS, tablet ve tarayıcı gibi cihazları ifade eder.



Şekil 2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin temel bileşenleri (Sarptaş, 2020'den uyarlanmıştır.).

Coğrafi bilgi sistemlerinde veri modelleri grafik ve grafik olmayan veriler olmak üzere 2 ye ayrılır. Grafik olmayan veriler grafik verilerin öznitelikleri olarak bilgi sunmaktadır. Grafik veriler koordinat sistemleri belirlenerek uzayda herhangi bir yerdeki bağlı oldukları koordinat sistemlerinden elde etikleri konum verisini sunmaktadır.

Grafik Veri

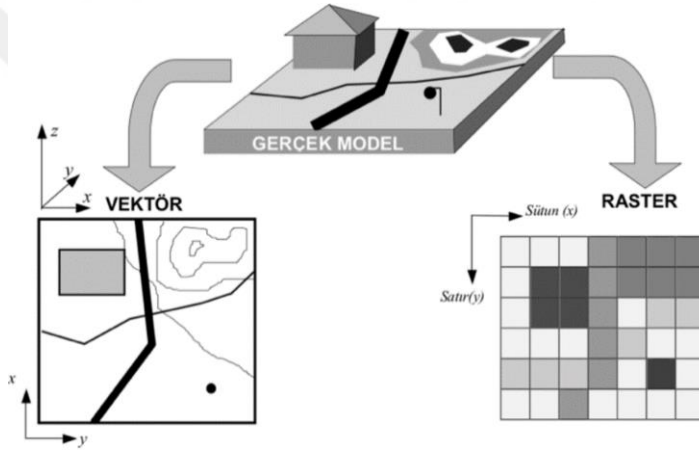


Grafik Olmayan Veri

Sondaj No	Koordinat	Kömürlü Seviye	Sorumlu Mühendis
S1			
S2			
S3			
S4			

Şekil 2.3 CBS veri gösterimleri (Yomralıoğlu,2000).

CBS’de grafik veri modelleri de vektör ve raster olmak üzere 2 ana modele ayrılmaktadır. Şekil 2.4’de bu ayrım ve gösterimi yapılmıştır (Yomralıoğlu,2000).



Şekil 2.4 Raster veri ve vektör verinin farkı (Yomralıoğlu,2000).

CBS’de kullanılacak konumsal (mekânsal) verileri elde edilme yöntemleri çeşitlik göstermektedir. Veri toplama konusunda en temel ayrım doğrudan veri toplama ve ikincil veri toplama olarak yapılmaktadır. Doğrudan veri toplama verileri uzaktan algılama görüntüleri, radar verileri, ortofoto gibi raster veriler ve yersel ölçümlerden elde edilen noktalar, GNSS verileri gibi vektör verilerdir. İkincil veri toplama ise eski hava fotoğraflarının taraması ile elde edilen raster veriler ve ekran üzerinden çeşitli programlar yardımıyla çizilen sayısal vektör verilerdir (Yomralıoğlu, 2000).

2.2 Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA)

Çok Kriterli Karar Analizi adından da anlaşıldığı gibi verilecek bir kararın birden fazla kritere dayanmasından dolayı ortaya çıkan kararın verilmesi problemidir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV), karar vericinin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda seçenekten oluşan bir küme içinde en az iki kriter kullanarak yaptığı seçim işlemi olarak tanımlanabilir. Bunu güncel hayatta basit bir örnek ile açıklayacak olursak bir ev almak sürecinde kişiye temel olan 2 kriteri verildiği durumda bunlar fiyat ve m² ise basit bir yarar oranı ile daha düşük metrekare fiyatı olanı almak mantıklı olacaktır. Ama bu bir ÇKKV problemi olduğu için evin konumu, yaşı, banyo sayısı, otopark durumu ve benzeri kriterler eklenip karar verilmesi gerekmektedir.

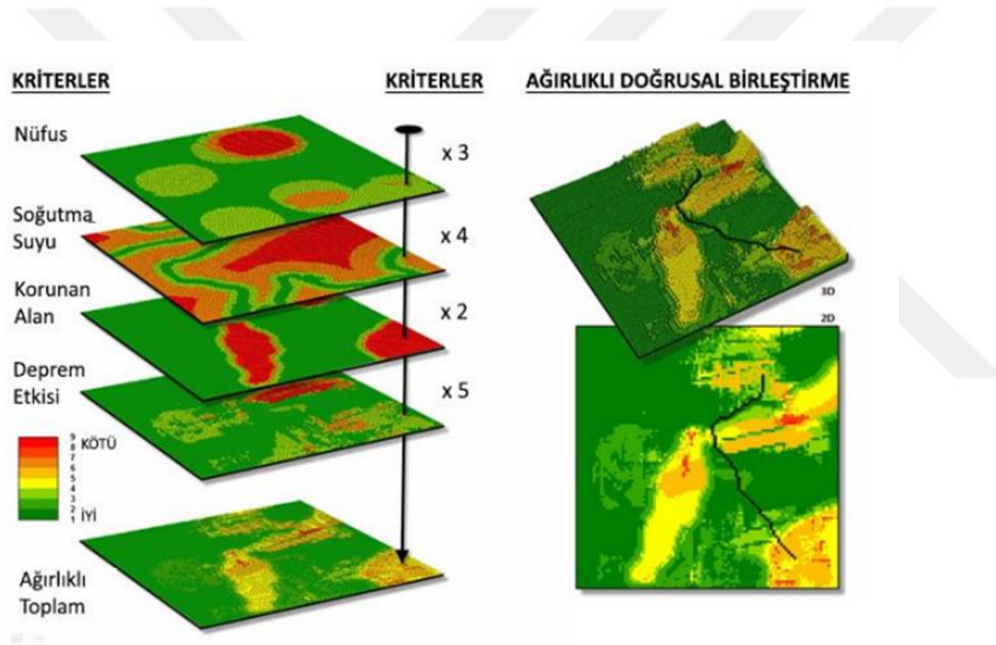
ÇKKV temelde karar vericiye 3 aşamada sonuç vermek üzerine kuruludur. Birinci aşamada kriterlerin tespiti ve kriterlerin önem derecelendirilmesinin yapılması gerekmektedir. İkinci aşamada alternatiflerin kriterleri ne oranda doğru tahmin ettikleri belirlenerek, tek tek tüm kriterler için, her alternatif için son değerlendirmeye ulaşmasıdır. En son aşama ise en yüksek puanlı alternatifin seçilmesidir (Ersöz ve Kabak, 2010).

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümleri için kullanılacak verilerin tam ve net olması ya da eksik ve net olmayan bilgilerle seçim yapılacağına bağlı olarak değişmektedir. Bu iki veri setinin içeriğine göre yapılabilecek olan yöntemler klasik ÇKKV ya da bulanık ÇKKV olarak adlandırılabilir.

ÇKKV diğer birçok problem ayırma mantığında olduğu gibi temelde seçim, sınıflama ve sıralama problemleri ile ilgilenir. Bu problemlerinde hangi ÇKKV tekniklerinin kullanıldığı Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Çok Kriterli Karar Verme Problemleri ve Teknikleri (Dalbudak, Rençber, 2022).

Seçim Problemleri	Sınıflama Problemleri	Sıralama Problemleri
AHP	AHP	AHPSoft
ANP	ANP	UTADIS
Mmaut/uta	Mmaut/uta	FlowSort
Macbeth	Macbeth	ELECTRE-Tri
Promethee	Promethee	
Electre I	Electre III	
Topsis	Topsis	



Şekil 2.5 CBS ve ÇKKA yöntemlerin birlikte kullanımına ait şema (Başkurt 2017).

2.3 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP, bir karar verme sürecinde farklı alternatifler arasında seçim yapmak için kullanılan bir yöntemdir (Saaty, 1980). Bu yöntem, karar vericinin önceliklerini ve değerlendirme kriterlerini belirlemek için bir hiyerarşik yapı kullanır. Hiyerarşik yapı, öncelikleri gösteren bir ağaç şeması şeklindedir. Rüzgâr enerjisi yer seçimi sürecinde, AHP yöntemi kullanılarak birkaç farklı kriter belirlenebilir. Örneğin, rüzgâr hızı, rüzgâr yoğunluğu, topografik özellikler, ulaşım koşulları, alanın

ekonomik değeri ve çevresel etkiler gibi kriterler belirlenebilir. Bu kriterler arasındaki ilişkiler ağaç yapısı şeklinde gösterilerek değerlendirilebilir. Örneğin, rüzgâr enerjisi yer seçimi sürecinde, rüzgâr hızı en önemli kriter olarak belirlenebilir. Rüzgâr hızı, diğer kriterlerden daha önemli olduğu için, ağaç yapısının en üst düzeyinde yer alır.

AHP yöntemi, Alpert ve Myers isimli araştırmacılar tarafından 1968 yılında açıklanmış ve model çalışmalarına başlayan bir teoridir. 1977 yılına gelindiğinde Saaty tarafından AHP çalışan bir model haline getirilip karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir yapıya kavuşturmuştur. AHP hiyerarşik bir karar yapısının oluşturulması için kullanılan, sonuç kararı etkileyen kriterler açısından karar noktalarının dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir. AHP burada önceden belirlenmiş karşılaştırma ölçütü kullanarak hem kararı etkileyen kriterleri hem de bu kriterler açısından karar noktalarının birebir karşılaştırmalara dayanmaktadır. (Yaralıoğlu, 2001).

Karar verme probleminin AHP ile çözülebilmesi için takip edilmesi gereken adımlar aşağıda sıralanmıştır (Çelikkilek, 2018).

1. Adım: Problemin Tanımlanması

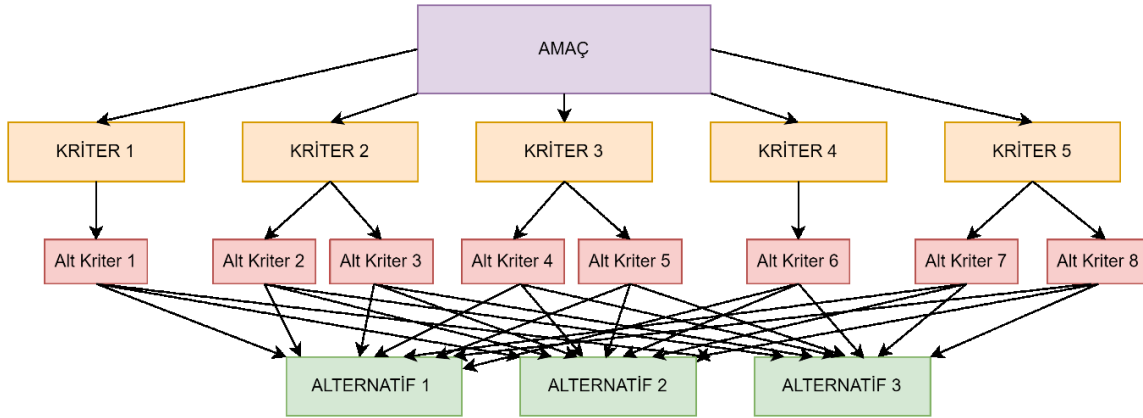
Tüm problem çözüm yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de ilk önce yapılması gereken problemin tanımlanmasıdır. Problem tanımlanırken her detayı incelenmeli ve açık bir şekilde ortaya koyulmalıdır. Problemin doğru tanımlanabilmesi yapılacak çalışmanın vereceği sonuçları direk olarak etki etmektedir. Yanlış problem tanımları karar vericileri yanlış yönlendirmede en önemli faktördür.

2. Adım: Kriter ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Çözülme istenen problemi etkileyen tüm ana ve alt kriterlerin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada kriterlerin değerlendirmelerinin yapılacağı alternatiflerin de belirlenmesi gerekmektedir.

3. Adım: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Burada ilk 2 adımın uygulamasıyla problemin amacının en üstte olduğu onun altında problemi etkileyen ana kriterlerin olduğu ve onun altında da var ise diğer kriterleri etkileyen alt kriterler yer alır.



Şekil 2.6 AHP hiyerarşisinin oluşturulma diyagramı.

4. Adım: İkili karşılaştırmaların gerçekleştirilmesi

Hiyerarşi ortaya çıkmasıyla birlikte bu hiyerarşi altında her bir seviye için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu matrislerde alternatifler, alt kriterler ve kriterler kendi aralarında karşılaştırılır. Karşılaştırma matrisleri oluşturulurken aşağıdaki çizelge 2.2 kullanılır.

Çizelge2.2 Faktörlerin derecelendirilmesi (Saaty, 1977).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derece Önemli	Her iki faktör aynı öneme sahiptir
3	Orta Derece Önemli	Tecrübeler göre bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derece Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir
7	Çok Kuvvetli Derece Önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derece önemli	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir

2, 4, 6, 8	Ara Değerleri Temsil Edilmesi	İki faktör arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalarda bulunan derecelerin ara değerleridir.
------------	-------------------------------	---

5.Adım: Karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu

Bir önceki adımda elde edilen matrislerin satır toplamalarının alınmasıyla normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. $[x_{ij}]_{n \times n}$ ile normalize edilmiş matris $[y_{ij}]_{n \times n}$ ile gösterilen normalizasyon işlemi;

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

Formülü ile gerçekleştirilir.

6. Adım: Öncelik vektörlerinin hesaplanması

Normalizasyon adımları tamamlandıktan sonra normalize edilmiş matrisin satır sayılarının ortalamaları alınır. Bu işlem kriterler ya da alt kriterler için gerçekleştirildi ise elde edilen sonuçlar kriterlerin problemdeki önem derecelerini verecektir. Alternatifler için aynı işlem yapılırsa alternatiflerin belirli kriter için ağırlık vektörü olarak belirlenecektir. Öncelik vektörü $A=[a_i]_{n \times n}$ olarak hesaplanmasında,

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n y_{1j}}{n}$$

Formülü kullanılır.

7. Adım Tutarlılık testleri

Elde edilen ikili karşılaştırma matrislerin kendi içerisinde tutarlılığı kontrol edilmelidir. Matrislerin uyumsuzluğu durumunda karşılaştırma matrisleri tekrar düzenlenmelidir. n kriterin, ikili karşılaştırmanın tutarlılığının testi i için geçerli olan formül ;

$$[t_i]_{nx1} = [x_{ij}]_{nxn} \cdot [a_i]_{nx1}$$

Öncelikler vektörüne bölünen her bir vektör $\lambda_{\max}$ en büyük özdeğerinin hesaplanması amacıyla elde edilen değerlerin ortalamasını alınır;

$$\frac{t_i}{a_i}, \lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{a_i}}{n}$$

$\lambda_{\max}$ 'ın hesaplanmasının ardından bunun yardımıyla uyum indeksi (CI) değeri hesaplanır. Son işlemde ise rastgele indeks (RI) ve uyum indeksi (CI) değerlerinin birbirine bölümü vasıtasıyla tutarlılık oranı sonuçları hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$CR < 0,1$ ise tutarsızlık oranının kabul edilebilir seviyede kabul edilir. $CR > 0,1$ ise tutarsızlık oranının kabul edilebilir seviyenin üzerinde olduğu söylenir ve karşılaştırma matrisi yeniden değerlendirilerek önceki adımlara gere dönülür.

8. Adım: Karar Matrisinin oluşturulması

Tüm alternatif ve kriterlerin öncelik vektörlerinin elde edilmesinden sonra bu vektörlerin birleştirilmesi ile karar matrisi oluşturulur. N adet kriterin m adet alternatifin olduğu problem A_i , i kriteri için alternatif karşılaştırması ile elde edilmiş öncülük vektörü olur ve W kriterine göre aşağıdaki matris oluşur.

$$D = [A_1 \ A_2 \ \dots \ A_n]_{m \times n}$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

$$D = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]_{1 \times n}$$

9. Adım: Nihai Öncelik Vektörlerinin Hesaplanması

Nihai öncelik vektörlerinin hesaplanması, en iyi alternatif seçiminin sağlanması AHP yönteminin son adımıdır. Bir önceki adımda oluşturulan D karar matrisi ile W kriter ağırlıkları çarpılır. $A = D \cdot W$ alternatiflerin nihai öncelik vektörü olmak üzere alternatiflerin her birinin ağırlıkları aşağıdaki gibi belirlenir;

$$A = D \cdot W$$



3 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünya’da yenilenebilir enerji hakkında yıldan yıla artan sayıda bilimsel çalışma yapılmaktadır. Sadece 2022 yılında “renewable energy” anahtar kelimesi ile yapılan yayın sayısı 55.288 iken “wind energy” anahtar kelimesi ile yapılan yayın sayısı 37.988 adettir (URL1). Yapılan çalışmalarda “Rüzgâr ve güneş enerjisinden en fazla yararlanan ülkeler İspanya, Almanya, Hindistan, Danimarka İngiltere, İtalya, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Portekiz ve Kanada’dır.” (Mwanza, 2019).

Mwanza (2019), güneş ve rüzgar santrallerinin kurulumunda Zambiya için uygun alanları belirlemek amacıyla çalışmasını yapmıştır. Çalışmasında kullandığı kısıtlayıcı ve eleyici kriterler şöyledir; idari sınır, arazi yüksekliği, tarımsal alanlar, nüfus yoğunluğu dağılımı, vahşi yaşam alanları, elektrik erişim seviyeleri, yerleşim alanları, havaalanları, yol ağları, mevcut enerji nakil ağları, trafo merkezleri 2015-2020, trafo merkezleri 2020-2030, yüzeysel su oluşumu, arazi sınıflandırması, yıllık güneş ışıınımı, yıllık en yüksek ortalama sıcaklık, yıllık açıklık indeksi, yıllık ortalama rüzgâr hızı.

Değirmenci vd. (2017), çalışmasında rüzgar enerji santrallerine uygun yer seçimi yapmak amacıyla kriterler seçmiştir, seçilen kriterlere ana kriter olan rüzgâr hızının dışında rüzgâr türbin yüksekliği ve kapasitesi, hava yoğunluğu gibi kriterlerde değerlendirilmiştir. Donma süresinin uzunluğu da ilk kez bu çalışmada değerlendirilmeye alınmıştır. Çalışmada yöntem olarak AHP kullanılmış, kriterlerin ağırlık değerlerini belirlemek için 2 akademisyen, 1 proje mühendisi, 1 şirket müdürü, 2 lisansüstü öğrencinin görüşü alınmıştır. Ağırlıklandırma sonucunda kullanılan kriterlerden sonuca en düşük etki olarak arazi maliyeti olarak belirlenmiştir. Diğer yandan en yüksek etki de ormanlık arazilerin varlığı ve arazinin engebe durumu olarak belirlenmiştir. Türkiye genelinde yapılan bu çalışmada sonuç olarak ülkenin %24 ü uygun olmayan, %54,5 i ise uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Fakat çalışmada kuş göç yolları, sit alanları, askeri yasak bölgeler, çeşitli koruma altındaki türlerin yaşadığı alanlar gibi RES kurulacak alanların belirlenmesinde irdelenmesi gereken bazı verilerin elde olmaması ve paylaşımına kapalı olmasından dolayı çalışmaya dahil edilemediğinden

bahsedilmiştir. Türkiye’de yürürlükte olan sulak alanların korunmasına ilişkin mevzuattan dolayı aynı şekilde göllere de yer verilmediği belirtilmiştir.

Güçlüer vd. (2010), yapmış olduğu çalışmada, güneş enerjisine uygun alanlar üzerine coğrafi bilgi sisteminin çok kriterli karar analiziyle değerlendirme yapılmıştır. Bu haritaların üretiminde ArcGIS programı ile çalışılmıştır. Çalışmada kriter ve kısıt olarak; rüzgâr elektrik santrallerine uzaklık, havalimanına uzaklık, göllere yakınlık, su kaynak alanlarına yakınlık, nehirlerle yakınlık, eğim, çevre koruma alanlarına uzaklık, kuş göç yollarına uzaklık, güneş enerjisi potansiyel atlası, global radyasyon değeri, il sınırları, trafo merkezlerine yakınlık, enerji nakil hattına yakınlık, kara ve demir yollarına yakınlık, fay hattına uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, gibi değerlere yer verilmiştir.

Can ve Yücel’in (2019), birlikte yürüttükleri çalışmalarında, Çanakkale ili için rüzgâr enerji santralleri için yer tespitini coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesinden yararlanarak ortaya koymuşlardır. Etkin faylar, Arazi eğimi ve yüksekliği, yollar, orman alanları, koruma alanları, yerleşim alanları, akarsular, göller, kurulu RES’ler, elektrik hatları ve rüzgâr kapasitesi değerlerine yer verilmiştir. Kurulu RES’lere de yer verilmesi bu çalışmayı diğerlerinden farklı kılmıştır. Bu çalışmada, Analitik hiyerarşi yöntemiyle analizde kullanılacak ağırlıklar; fay hatlarına olan uzaklık %3, yerleşim alanlarına uzaklık %5, eğim faktörü %10, karayollarına uzaklık %11, elektrik iletim hatlarına uzaklık %25, ve en yüksek değere kapasite faktörü %46 olarak hesaplanmıştır. Yapılan uygulama sonucunda Çanakkale ili için orman alanlarının çalışmaya dahil edilmediği durumda 5-8 aralığında puan alan bölgelerin oranı ise %91,44, 1-4 aralığında puan alan bölgelerin, uygun alanların oranı %8,56 olduğu hesaplanmıştır. Orman alanlarının dahil edildiği durumda 5-8 aralığında puan alan bölgelerin oranı ise %88,29, 1-4 aralığında puan alan bölgelerin oranı %11,71 olarak hesaplanmıştır.

Başkurt’un (2017), yaptığı çalışmada benzer uygulamalar ile nükleer enerji santralleri için bir örnek oluşturulmuştur.

Parry vd. (2001), yaptıkları çalışmada, rüzgar tarlaları oluşturmak amacıyla uygun yer seçimi yapmayı hedeflemiştir. Çalışma için seçtikleri faktörleri dört

dereceye göre önem sırasına koymuşlardır. Buna göre birinci derecede eğim, yollar ve şehir merkezleri, ikinci derecede, tarımsal alanlar, demiryolları, nehirler, göller, sulak alanlar ve ekolojik sit alanları, üçüncü derecede tarihi alanlar ve doğal kaynaklar ve dördüncü derecede ise karayolları alınmıştır.

Güner vd. (2021), güneş santrallerinin kurulumu için uygunluk haritası oluşturma amacıyla yaptığı çalışmada kriterler üç ana kriter (çevresel, topografik, ekonomik) olarak sınıflandırılmıştır. Çevresel kriterlere alt kriter olarak; küresel radyasyon değeri, güneş ışıınım şiddeti ve yıllık toplam güneşlenme süresi kullanılmıştır. Topoğrafik kriterlere alt kriter olarak eğim, bakı ve yükseklikten yararlanılmıştır. Ekonomik kriterler alt kriter olarak ise; yerleşim ve endüstri mesafe, enerji nakil hatlarına mesafe, ulaşım ağına mesafe şeklinde karar verilmiştir. Öncelikle ana kriterler ağırlıklandırılmış ve sırasıyla çevresel faktör %60, topoğrafik faktör %30 ve ekonomik faktör %10 olarak hesaplanmıştır. En önemli alt kriter olarak güneş radyasyonu belirlenmiştir.

Gerçek'in (2018), yaptığı çalışma güneş santrallerinin kurulumu için uygun yer tespiti yapmak amacıyla çalışılmıştır. Gerçek kriter olarak; güneşlenme potansiyeli, trafo merkezleri, doğalgaz boru hatları güzergâhı, eğim, baraj ve göl lokasyonları, bakı, demiryollarının ve karayolu varlığı, enerji nakil hatları, mevcut yerleşim yerleri ve fay hatları olarak seçmiştir. Gerçek, seçtiği bazı kriterleri de kısıt olarak değerlendirmiştir. Örneğin; eğim için %20 den yüksek eğimli alanları hesaba katmamıştır. Faktörlerin kendi içinde öncelik değerlerinin belirlenmesi için uzman görüşü alınmıştır ve daha önceki çalışmalar incelenmiştir.

Altınışik'in (2020), yaptığı çalışmada çalışma konusu olarak fotovoltaik güç santralleri için yer seçimi belirlenmiştir, çalışma bölgesi olarak İzmir tercih edilmiştir. Kriter olarak 7 yer seçimi kriteri belirlenmiştir. Bunlar; eğim, arazi kullanımı, bakı, enerji nakil hatlarına uzaklık, yola olan uzaklık, güneş ışıınımı ve güneşlenme süresi (Güneş Enerjisi Potansiyeli) dir. Belirlenen kriterler; iklimsel ve çevresel, ekonomik, arazi kullanımı ve topografik olarak farklı alanlara göre değerlendirilmiştir. Güneş enerji potansiyeli, en önemli kriter olarak ele alınmıştır. Diğer çalışmalarda olduğu gibi AHP yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılmıştır.

Çalışmada mükemmel olarak sınıflandırılan alan 14.499,51 hektar ve değerlendirilen toplam alanın %1,24'ü şeklinde sonuçlanmıştır.

Akkaya (2019), çalışmasında coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak Tekirdağ ili için rüzgâr enerji santralleri için uygun alanları belirlemeyi amaçlamıştır. Meteorolojiden alınan iklim verileri, sayısal yükseklik modelinden elde edilen eğim ve yükseklik haritaları, son olarak enerji nakil hatları kullanılmıştır. Kriterler birlikte değerlendirilerek uygun kısımlar belirlenmiştir. Bu çalışmada açık kaynaklı bir program oluşundan dolayı QGIS tercih edilmiştir. Tekirdağ ili için yapılan bu çalışmada, Saray, Kapaklı, Malkara, Süleymanpaşa, ve Hayrabolu ilçelerinin bir kısmı uygun bulunmuştur.

Ekiz vd. (2021), yaptığı çalışmada rüzgâr enerji santrallerinin konumlanması için uygun saha belirleme çalışması yapmıştır. Bu çalışma kapsamında literatürdeki önceki çalışmalardan esinlenerek 13 kriter belirlemiş ve her kriterin uygunluğunu derecelendirmiştir. Bu çalışmayı coğrafi bilgi sistemlerini çok kriterli karar analizini ve analitik hiyerarşi prosesini kullanarak sonuçlandırmıştır. Çalışma bölgesi olarak Kocaeli ili seçilmiştir. Çalışma içinde iki farklı senaryoya yer verilmiş, kriterler eşit ağırlıkta kabul edilerek de yansıtılmıştır. Sonuç olarak Kocaeli için uygun yerler tespit edilmiş ve iki farklı senaryoda birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Ünaldık (2019), yayınladığı makalesinde yer seçimi kararında çok kriterli karar analizi ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımını konu almıştır. Yer seçiminden arazi kullanım planlaması şeklinde bahsetmiştir.

Eren'in (2019), güneş enerji santrallerinin kurulabileceği uygun alan tespitini konu alan çalışmasında, çalışma bölgesi olarak İzmir ili seçilmiştir. Çalışmada kuruluma uygun olmayan araziler değerlendirilmemiştir. Işınım ve sıcaklığın etkisi bir olarak alındığında enerji nakil hatlarının etkisinin %70,3, eğimin %7,7, bakının %14,8 ve fotovoltaik santrallerin etkisinin %7,2 olduğu görülmüştür. Eğimi %20 den fazla olan araziler, enerji nakil hatlarına 500 metreden yakın veya 6 kilometreden uzak olan araziler, yollara 100 metreden yakın olan araziler fotovoltaik santralleri kurulumu yapılamayacağı gerekçesiyle değerlendirme

alınmamıştır. Sonuç olarak İzmir ili için fotovoltaik santrallerinin kurulumu için uygun toplam alan 653,5 km² çıkmıştır.

Aitzhanov'un (2016), yaptığı çalışmada, çalışma bölgesi için Kazakistan'da bir bölgeyi seçmiştir. Bu bölgede rüzgâr enerji santralleri için uygun yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar analizi yöntemini kullanmayı tercih etmiştir. Bu çalışmada ArcGIS programından yararlanılmaktadır. Seçilen kriterler; havaalanları, karayollarına ve demiryollarına uzaklık, şehir merkezlerine uzaklık, toplumsal ve turistik alanlar, rüzgâr enerji potansiyeli, eğim, göller ve su kanallarına uzaklık, yüzey pürüzlülüğü, enerji nakil hatlarına uzaklık, tarihi ve arkeolojik alanlar, kuş göç yolları, ormanlık alanlar, maden sahaları, fay hatları ve baz istasyonlarına uzaklık olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmaya ekonomik faktörler de dahil edilmiştir. Örneğin; arazi masrafları, elektrik entegrasyon maliyeti, nakliye maliyeti gibi.

Arca ve Çıtıroğlu'nun (2020), rüzgâr enerjisi hakkında yaptığı çalışmada, Karabük ilinde Yenice ilçesindeki uygun rüzgâr enerjisi santrallerinin yapım yerleri araştırılmıştır. Yöntem olarak coğrafi bilgi sistemlerine dayalı çok kriterli karar analizinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak bölgenin düşük ve orta düzeyli olduğuna karar verilmiştir. Rüzgâr hızı, bakı, yollara olan uzaklık, eğim, yükseklik, akarsulara uzaklık, fay hatlarına uzaklık, trafoları uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı kriterleri bu çalışma için değerlendirilmeye alınmıştır. Çalışmada tampon bölge analizi yapılmıştır. Sonuç REPA'nın kurulabilir alanlar raporuyla karşılaştırılmıştır.

Şimşek (2020), çalışmasında açık kaynaklı CBS programlarından yararlanmış olup rüzgâr santrallerinin yer seçim sürecini konu almıştır. Bu süreci modelleyerek açıklamıştır. Çalışma bölgesi olarak İzmir ili seçilmiştir. İki model oluşturulmuştur; bunlardan birincisi RES kurulamayacak alanlar, ikincisi ise RES kurulabilecek alanlardır. Çalışmada ÇED raporlarından yararlanılmıştır. Buna bağlı olarak iki senaryoyla çalışılmaktadır. Rüzgâr hızı, yükseklik, eğim, enerji nakil hatları, göller, akarsular, koruma alanları, kara ve demiryolları, havaalanları, yerleşim alanları, madenler, fay hatları, askeri bölge, orman ve park alanları, endüstri ve turizm alanları çalışma kriterleri olarak belirlenmiştir.

Urfalı ve Eymen'in (2021), yaptığı çalışmada, rüzgâr enerji santrallerinin Kayseri ilinde uygun yerlere kurulabilmesi amacıyla bu çalışmayı yapmıştır. Çalışma için 12 kriter belirlenmiştir. Kriterler şu şekildedir; rüzgâr hızı, rüzgâr kapasitesi, yükseklik, anayollara uzaklık, eğim, arazi kullanımı, yerleşim merkezine uzaklık, trafo merkezine uzaklık, havaalanına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, yüzey sularına uzaklık, korunan alanlara uzaklık. Kriterlerin hepsi belli aralıklarla derecelendirme yapılarak AHP yöntemiyle şekillendirilmiştir. Bu kriterlerden uzman görüşleri ile değerlendirilerek 3 tanesi önemli olarak belirlenmiştir. Rüzgâr kapasitesi, rüzgâr hızı ve yükseklik olarak seçilmiştir. AHP ve CBS yöntemlerinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. REPA ile çalışmada bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Atıcı vd. (2015), çalışmasında, rüzgâr enerji santralleri için uygun kurulum sahası belirlemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda Balıkesir ve Çanakkale ili birlikte çalışma bölgesi olarak tercih edilmiştir. Eğim, yükseklik, kapasite faktörü, enerji nakil hatlarına uzaklık, korunan alanlara uzaklık, göl ve nehirlere uzaklık, karayollarına ve demiryollarına uzaklık, havaalanlarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık, şehir merkezlerine uzaklık, maden sahalarına ve baz istasyonlarına uzaklık olmak üzere 14 kriter belirlenmiştir. Önceki 13 çalışmadan aynı kriterler ile ilgili değerler tablolaştırılarak bu çalışma içinde değerler belirlenmiştir.

Şimşek'in (2014), çalışmasında rüzgâr enerjisi santralleri için uygun alan seçimi konusunda ÇKKA tekniklerinden ELECTRE kullanılmıştır. Çalışmada rüzgâr enerjisi potansiyelleri göz önünde bulundurularak Balıkesir ve Çanakkale çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak kriterler, senaryolar şeklinde incelenmiştir. Çalışmada kuş göç yollarına değinilmediği sonuç olarak belirtilmiştir. Ayrıca kısa bir maliyet değerlendirilmesi de yapılmıştır fakat türbin sınıflarının konuya dahil edilerek daha iyi sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kaimbekova (2020), yaptığı çalışmada güneş enerjisi santralleri için uygun alanların belirlenebilmesi için uzaktan algılama yöntemleri ve CBS tekniklerinden yararlanmıştır. Çalışma bölgesi olarak Türkistan ve Kazakistan'ın Karaganda ve Türkistan bölgesi seçilmiştir. Literatür çalışmasında çok fazla kriter incelenmiştir.

Bunlardan 8 tanesi bu çalışma için kriter seçilmiştir; güneş enerjisi potansiyeli, eğim, bakı, trafolarla uzaklık, yollara uzaklık, su kaynaklarına uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık şeklindedir. Sonuç olarak uygun alanlar belirlenmiş ve kurulu güneş enerjisi santrallerinin konumuyla kıyaslama yapılmıştır.

Sarsıcı (2020), güneş enerji santrallerine uygun sahaları bulmak için yaptığı çalışmada çalışma bölgesi olarak Karabük ilini seçmiştir ve seçim bölgesinde değerlendirilmesi gereken ana kriterler arasına bölgenin morfolojik yapısını da katmıştır. Heyelan alanlarına uzaklık, sel kapanına yakınlık, gibi doğal afet değerlerini de göz önünde bulundurmıştır. Bu doğrultuda Karabük ilinde kurulan güneş enerjisi santrallerinin uygun yerde kurulmadığına ve Karabük ili için en uygun alanın Safranbolu platosu olduğuna karar verilmiştir.

3.1 Rüzgar Enerji Santralleri için Yer Seçimi Kriterleri

3.1.1 Rüzgar hızı

Çizelge 3.1 Rüzgar hızı kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Yıl	Kriterin Kullanım Şekli
Mwanza	2019	Zambiya için yapılan çalışmada 10 metredeki rüzgar hızları hesaplanarak 3,75 m/sn'den küçük değer uygun şeklinde ifade edilmektedir.
Değirmenci	2017	Türkiye için 50 m ve 100 m yüksekliklerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Örnek rüzgar türbinlerinden alınan değerler esas alınmıştır.
Baban and Parry	2001	Rüzgar hızı 5 m/sn'den yüksek olmalı şeklinde ifade edilmektedir.
Akkaya	2019	REPA'dan alınan bilgiye göre rüzgar hızı 50 metre yükseklikte 7m/sn'den yüksek olan alanlar uygundur şeklinde değerlendirilmiştir.
Ekiz vd.	2021	Rüzgar hızı 5m/sn'den yüksek olan değerleri uygun olarak nitelendirmiştir.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	Rüzgar hızı 5-5,50 m/sn olarak çalışma bölgesinin ortalama rüzgar hızı ile değerlendirilmiştir.
Şimşek A.	2014	Rüzgar hızı 5 m/sn ile 20 m/sn arasında uygunluk sınıfları verilerek hesaplanmıştır.
Urfalı ve Eymen	2021	7 m/sn'den düşük rüzgar hızı uygun değil olarak nitelendirilmiştir.

3.1.2 Yükseklik

Çizelge 3.2 Yükseklik kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Mwanza	2019	Zambiya için yapılan çalışmada bölgenin yükseklik haritası değerlendirmeye alınmıştır.
Değirmenci	2017	Türkiye genelinde yapılan çalışmada 1500 metrenin üzerinde yüksekliğe sahip alanlar uygun değildir denmiştir.
Can ve Yücel	2019	Çanakkale ili için yapılan çalışmada arazinin yüksekliği 1500 metreden küçük değerler uygun kabul edilmiştir.
Akkaya	2019	Tekirdağ ili için yapılan çalışmada 1000 metreden yüksek alanlar uygun değil olarak değerlendirilmiştir.
Ekiz vd.	2021	Kocaeli için yapılan çalışmada 1500 metreden yüksek yerler değerlendirmeye alınmamıştır.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	Karabük ili Yenice ilçesi için yapılan çalışmada bölgenin yükseklik haritasından yararlanılmıştır.
Şimşek A.	2014	Çanakkale ve Balıkesir illeri için yapılan çalışmada 2000 metreden yüksek yerler değerlendirmeye alınmamıştır.
Urfalı ve Eymen	2021	Kayseri ili için yapılan çalışmada arazi yüksekliği değerlendirmeye faktör olarak alınmıştır. 0 ile 1000 metre aralığı ve 2750 metreden yüksek yerler uygun değil şeklinde ifade edilmiştir.
Atıcı vd.	2015	Çanakkale ve Balıkesir illerinde yapılan çalışmada 1500 metreden yüksek değerler için uygun değildir ifadesi kullanılmıştır.
Şimşek G.	2020	İzmir ili için yapılan çalışmada 2000 metreden yüksek yerler uygun değildir şeklinde değerlendirmeye alınmıştır.

3.1.3 Eğim

Çizelge 3.3 Eğim kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Can ve Yücel	2019	Çanakkale ili için yapılan çalışmada arazinin eğimi %20'den büyük değerler türbin kurulamayacak alanlar şeklinde belirtilmiştir.
Baban and Parry	2001	Eğim %10'dan az olmalıdır şeklinde ifade edilmektedir.
Akkaya	2019	Tekirdağ ili için yapılan çalışmada eğimi %12 den yüksek olan yerler uygun değil olarak değerlendirilmiştir.
Ekiz vd.	2021	Kocaeli için yapılan çalışmada arazi eğimi %30'dan büyük yerler çalışmaya dahil edilmemiştir.
Aitzhanov	2016	Arazi eğimi %30'dan küçük değer kabul edilebilir olarak ifade edilmiştir.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	Karabük ili Yenice ilçesi için yapılan çalışmada bölgenin eğimi 0 ile %50 şeklinde çıkmıştır. Tümü hesaba dahil edilmiştir.
Şimşek A.	2014	Çanakkale ve Balıkesir illeri için yapılan çalışmada arazi eğimi %10'dan az eğimli yerler uygun diye belirtilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	Kayseri ili için yapılan çalışmada arazi eğimi değerlendirmeye faktör olarak alınmıştır. Arazi eğimi %20'den büyük olan yerler uygun değil şeklinde ifade edilmiştir.
Atıcı vd.	2015	Çanakkale ve Balıkesir illerinde yapılan çalışmada %10'dan büyük arazi eğimine sahip alanlar uygun değildir şeklinde işaretlenmiştir.
Şimşek G.	2020	İzmir ili için yapılan çalışmada %30'dan yüksek eğime sahip yerler uygun değildir şeklinde değerlendirmeye alınmıştır.

3.1.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Çizelge 3.4 Yüzey pürüzlülüğü kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Hesaplamaya ağırlıklandırma yapılarak dahil olmuştur.
Aitzhanov	2016	200 mm'den yüksek değerler uygun değildir şeklinde ifade edilmektedir.
Şimşek A.	2014	400 mm'den büyük değerler uygun değildir olarak kabul edilmiştir.

3.1.5 Fay Hatlarına Uzaklık

Çizelge 3.6 Fay hatlarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Fay hatları ve çevresindeki 150 m tampon bölgeler değerlendirmeye dahil edilmemiştir.
Ekiz vd.	2021	Fay hatlarına 1000 metre mesafeden yakın alanlar uygun değildir şeklinde değerlendirilmiştir.
Aitzhanov	2016	Fay hatlarına 200 metreden uzak yerler uygun kabul edilmiştir.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	Fay hatlarına 1000 metreden yakın olan yerler uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir. 1000 metre ile 2000 metre arası da uygunluk sınıflarına ayrılmıştır.
Atıcı vd.	2015	Fay hatlarına 200 metreden uzak yerler uygun kabul edilmiştir.
Şimşek G.	2020	Fay hatlarına 100 metreden uzak yerler uygun kabul edilmiştir.

3.1.6 Kuş Göç Yollarına Uzaklık

Çizelge 3.5 Kuş göç yollarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Ekiz vd.	2021	Kuş göç yollarına 500 metreden yakın alanlar uygun değil olarak kabul edilmiştir.
Aitzhanov	2016	Kuş göç yollarına 500 metreden uzak alanlar uygun olarak ifade edilmiştir.
Şimşek A.	2014	Kuş göç yollarına 1 km den yakın alanlar uygun değildir şeklinde ifade edilmiştir.

3.1.7 Ormanlık Alanlar

Çizelge 3.7 Ormanlık alanlar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Ormanlık alanlar ağırlıklandırma ile dahil edilmiştir.
Can ve Yücel	2019	Ormanlık alanların kendisi uygun değildir, dışında kalan alanlar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.
Baban and Parry	2001	Ormanlık alanların 500 metre dışında kalan alanlar uygundur şeklinde belirtilmiştir.
Aitzhanov	2016	Ormanlık alanların 500 metre dışında kalan alanlar uygundur şeklinde belirtilmiştir.
Şimşek A.	2014	Ormana uzaklığı 500 metreden fazla alanlar uygundur.

3.1.8 Yerleşim Alanları

Çizelge 3.8 Yerleşim alanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Yerleşim yerleri ve çevresindeki 1 km tampon bölgeler uygun değildir şeklinde belirtilmiştir.
Can ve Yücel	2019	İl ve ilçelerden uzaklık 2500 metreden fazla olmalıdır, belde ve köylerden uzaklık 1000 metreden fazla olması yeterli olarak belirtilmiştir.
Baban and Parry	2001	Yerleşim yerlerinden 2000 metre uzaklıktaki alanlar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.
Ekiz vd.	2021	Yerleşim yerlerinden 2000 metre uzaklıktaki alanlar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.
Aitzhanov	2017	Şehirler için 2500 metreden uzak alanlar uygundur, köy ve kasabalar için ise 2000 metreden uzak alanlar uygundur denilmiştir.
Şimşek A.	2014	Az yoğun yerleşim yerlerine 500 metre uzaklık, çok yoğun yerleşim yerlerine 2000 metre uzaklık uygun olarak belirlenmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	500 metreden yakında olmak ve 5000 metreden uzakta olmak uygun değil şeklinde seçilmiştir ve arada kalan değerler faktör olarak sınıflara ayrılmıştır.
Atıcı vd.	2015	2000 metreden uzak alanlar uygun olarak belirlenmiştir.
Şimşek G.	2020	Yerleşim alanı dışında kalan alanlar uygun olarak değerlendirilmiştir.

3.1.9 Karayollarına Uzaklık

Çizelge 3.9 Karayollarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Yollar ağırlıklandırma ile dahil edilmiştir.
Can ve Yücel	2019	Karayollarına 20 metreden yakın alanlara kurulum yapılamaz şeklinde ifade edilmiştir.
Baban and Parry	2001	10000 metrelik tampon bölge oluşturularak dışında kalan alanlar uygun değildir şeklinde seçilmiştir.
Ekiz vd.	2021	100 metreden yakın ve 10000 metreden uzak alanlar uygun değildir diye belirtilmiştir.
Aitzhanov	2017	10000 metrelik tampon bölge oluşturularak dışında kalan alanlar uygun değildir şeklinde seçilmiştir.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	1500 metreden uzak alanlar çalışmaya dahil edilmemiştir.
Şimşek A.	2014	100 metreden yakın ve 10000 metreden uzak alanlar uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	100 metreden yakın alanlar ve 5000 metreden uzak alanlar uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.
Atıcı vd.	2015	500 metreden yakın alanlar uygun değildir şeklinde değerlendirmeye alınmıştır.

3.1.10 Demiryollarına Uzaklık

Çizelge 3.10 Demiryollarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Baban and Parry	2001	10000 metrelik tampon bölgenin dışında kalan alanlar uygun değildir denmiştir.
Aitzhanov	2017	500 metreden yakın alanlar uygun değildir şeklinde belirtilmiştir.
Şimşek A.	2014	150 metrelik tampon bölgeler oluşturarak dışında kalan alanlar uygundur denmiştir.
Atıcı vd.	2015	500 metreden yakın alanlar uygun değildir şeklinde değerlendirmeye alınmıştır.
Şimşek G.	2020	100 metre tampon bölge oluşturarak dışında kalan alanlar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.

3.1.11 Trafo Merkezine Uzaklık

Çizelge 3.12 Trafo merkezine uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Ekiz vd.	2021	25000 metreden uzak alanlar uygun değildir diye belirtilmiştir.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	Trafo merkezine 10000 metreden fazla uzaklık uygun değildir şeklinde ifade edilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	Trafo merkezine 25000 metreden uzak alanlar uygun değildir diye belirtilmiştir.

3.1.12 Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

Çizelge 3.11 Enerji nakil hatlarına uzaklık kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Can ve Yücel	2019	İletim hatlarına uzaklık ağırlıklandırma ile dahil edilmiştir.
Baban and Parry	2001	10000 metreden uzak alanlar uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.
Akkaya	2019	Enerji nakil hatları noktasal olarak çalışmaya dahil edilmiştir.
Ekiz vd.	2021	100 metreden yakın ve 10000 metreden uzak alanlar uygun değildir diye belirtilmiştir.
Aitzhanov	2017	10000 metrelik tampon bölge oluşturularak dışında kalan alanlar uygun değildir şeklinde seçilmiştir.
Şimşek A.	2014	10000 metreden uzak alanlar uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	5000 metreden uzak alanlar uygun değildir şeklinde ifade edilmiştir.
Atıcı vd.	2015	250 metrelik tampon bölgeler oluşturularak dışında kalan alanlar uygundur şeklinde seçilmiştir.

3.1.13 Tarım Alanları

Çizelge 3.13 Tarım alanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Baban and Parry	2001	1. ve 2. derece tarım alanları dışında kalan alanlar uygundur şeklinde ifade edilmektedir.
Şimşek A.	2014	Tarım arazilerine 500 metre uzaklıktaki alanlar uygundur şeklinde yer almıştır.

3.1.14 Havaalanları

Çizelge 3.14 Havaalanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Mwanza	2020	Hava sıcaklığı ve hava basıncı şeklinde iki ayrı verinin karşılaştırılması ile ağırlıklandırma yapılarak kullanılmıştır.
Değirmenci	2017	Havaalanları ve çevresindeki 3 km tampon bölgeler uygun değildir şeklinde belirtilmiştir.
Ekiz vd.	2021	3000 metreden uzak alanlar uygun olarak değerlendirilmiştir.
Aitzhanov	2016	5000 metreden uzak alanlar uygun olarak değerlendirilmiştir.
Şimşek A.	2014	2000 metreden uzak alanlar uygun olarak değerlendirilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	3000 metreden uzak alanlar uygun olarak değerlendirilmiştir.
Atıcı vd.	2015	5000 metreden uzak alanlar uygun olarak değerlendirilmiştir.
Şimşek G.	2020	Havaalanlarının içinde bulunduğu alan uygun değildir, dışında kalan alanlar uygundur şeklinde belirtilmiştir.

3.1.15 Arazi Örtüsü / Kullanımı

Çizelge 3.17 Arazi örtüsü / kullanımı kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Arca ve Çıtıroğlu	2020	Arazi örtüsünü orman ve yerleşim alanı şeklinde ikiye ayırarak değerlendirme yapılmıştır.
Urfalı ve Eymen	2021	Yeşil alanlar, yerleşim alanları ve sulak alanlar uygun değildir ama tarım alanları ve kayalıklar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.

3.1.16 Sulak Alanlar (Göl, akarsu, su kaynakları)

Çizelge 3.15 Sulak alanlar (göl, akarsu, su kaynakları) kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Can ve Yücel	2019	Göller ve barajlar için 1000 metreden uzak alanlar uygundur ve akarsular için 500 metreden uzak alanlar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.
Baban and Parry	2001	Sulak alanlara 400 metre uzak olan yerler uygun olarak değerlendirilmiştir.
Ekiz vd.	2021	Akarsu ve göller için 3000 metreden uzak alanlar uygundur diye belirtilmiştir.
Aitzhanov	2016	Sulak alanlar için 3000 metre uzaklık uygundur şeklinde seçilmiştir.
Arca ve Çıtıroğlu	2020	1000 metreden uzak alanlar uygundur şeklinde ifade edilmiştir.
Şimşek A.	2014	3000 metreden uzak alanlar uygundur şeklinde ifade edilm
Urfalı ve Eymen	2021	Yüzey sularına 500 metre uzak olan yerler uygun olarak değerlendirilmiştir.
Atıcı vd.	2015	3000 metre uzak olan yerler uygun olarak nitelendirilmiştir.
Şimşek G.	2020	100 metre ile belirlenen tampon bölgenin dışında kalan alan uygun olarak seçilmiştir.

3.1.17 Kapasite Faktörü

Çizelge 3.16 Kapasite faktörü kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Can ve Yücel	2019	%50 den az olan yerler uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	%25 den az olan yerler uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.
Atıcı vd.	2015	%35 den az olan yerler uygun değil şeklinde ifade edilmiştir.

3.1.18 Endüstriyel Alanlar

Çizelge 3.18 Endüstriyel alanlar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Şimşek A.	2014	250 metreden uzak alanlar uygun olarak belirlenmiştir.
Şimşek G.	2020	Endüstriyel alanların dışında kalanlar uygun olarak seçilmiştir.

3.1.19 Turistik Alanlar

Çizelge 3.19 Turistik alanlar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Şimşek A.	2014	1000 metreden uzak alanlar uygun olarak belirlenmiştir.
Şimşek G.	2020	Turistik alanların dışında kalanlar uygun olarak seçilmiştir.

3.1.20 Maden Sahaları

Çizelge 3.20 Maden sahaları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirilmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Aitzhanov	2016	100 metreden uzak alanlar uygun olarak belirlenmiştir.
Şimşek A.	2014	100 metreden uzak alanlar uygun olarak belirlenmiştir.
Şimşek G.	2020	Maden sahalarının dışında kalanlar uygun olarak seçilmiştir.

3.1.21 Baz İstasyonlarına Uzaklık (radyo sinyalleri, televizyon sinyalleri, radar sinyalleri)

Çizelge 3.21 Baz istasyonlarına uzaklık (radyo sinyalleri, televizyon sinyalleri, radar sinyalleri) kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Radarların koordinatları ve çevresindeki 5 km tampon bölgeler, Hava/Yer Haberleşme İstasyonlarından 2 km; VOR-DME, NDB seyrüsefer yardımcı sistemlerinden 15 km tampon bölge dışında kalan alanlar uygun olarak belirlenmiştir.
Atıcı vd.	2015	600 metreden uzak alanlar uygun olarak nitelendirilmiştir.
Şimşek A.	2014	600 metreden uzak alanlar uygun olarak nitelendirilmiştir.

3.1.22 Askeri Bölgeler

Çizelge 3.22 Askeri bölgeler kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Can ve Yücel	2019	Askeri bölgenin dışında kalan alanlar uygun olarak belirtilmiştir.
Şimşek A.	2014	Ulusal güvenlik alanlarından 15000 metre uzak alanlar uygun olarak belirtilmiştir.
Şimşek G.	2020	Askeri bölgelerin dışında kalan alanlar uygun olarak seçilmiştir.

3.1.23 Milli Parklar

Çizelge 3.23 Milli parklar kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Can ve Yücel	2019	Milli parkların dışında kalan alanlar uygun olarak belirtilmiştir.
Şimşek A.	2014	2000 metreden uzak alanlar uygun olarak belirlenmiştir.

3.1.24 Koruma Alanları (Sit, Tarihi, Arkeolojik)

Çizelge 3.24 Koruma alanları kriteri için çalışmanın literatüründe yer alan çalışmaların kriter değerlendirmesi.

Yazar(lar)	Çalışmanın yılı	Kriterin Kullanım Şekli
Değirmenci	2017	Koruma alanı dışındaki yerler uygun olarak değerlendirilmiştir.
Can ve Yücel	2019	Koruma alanı dışındaki yerler uygun olarak değerlendirilmiştir.
Baban and Parry	2001	Tarihi alanlara 1000 metreden uzak alanlar uygun olarak ifade edilmiştir.
Ekiz vd.	2021	2000 metreden uzak olan alanlar uygun olarak ifade edilmiştir.
Aitzhanov	2016	Tarihi ve arkeolojik alanlar için 3000 metreden uzak olan alanlar uygun olarak ifade edilmiştir.
Şimşek A.	2014	1000 metreden uzak alanlar uygun olarak ifade edilmiştir.
Urfalı ve Eymen	2021	500 metre uzak olan yerler uygun olarak değerlendirilmiştir.
Atıcı vd.	2015	2000 metreden uzak olan alanlar uygun olarak ifade edilmiştir.

4 VERİ VE YÖNTEM

4.1 Tez Yöntemi

Bu çalışmada RES alanları kurulumu yapılabilecek alanların uygunluğunun analiz edilmesi için CBS ve AHP teknikleri kullanılarak uygulanan yöntem aşağıdaki adımları içerecek şekilde planlanmıştır.

4.1.1 Kriterlerin Belirlenmesi

RES kurulumu için saha uygunluğunu belirleyen kriterlerin seçilmesi aşamasıdır. Bu kapsamda RES kurulumu için gerekli koşullar, yasal sınırlamalar ve düzenlemeler, konuyla ilgili bilimsel bilgi birikimi incelenmiştir. Önceki çalışmalarda değerlendirilen kriterlerin yanı sıra bu çalışmada karayollarına uzaklık kriteri için iki senaryo üzerinde çalışılmıştır. Karayollarına uzaklık kriteri, kısıt kriterleri içine dahil edilerek ve edilmeksizin incelenmiştir.

4.1.2 Veri Toplama ve Veritabanı Geliştirme

Tez çalışmasının en çok zaman alan aşaması olan veri toplama aşamasında tez materyalleri bölümündeki veritabanlarından yararlanılarak veriler temin edilmiştir. Bu bölümde çalışma için toplanan verilerin kullanılacak olan programa uygunluğunu sağlamak, koordinat sistemi ile düzleme oturtmak ve çalışma bölgesine göre sınırlandırmak amacıyla veri düzenlemesi yapılmıştır. Veri setleri oluşturulmuş ve çalışma içi uygun format haline getirilmiştir.

Çizelge 4.1’de bu çalışmada incelenecek veriler ve bu veriler için yararlanılacak veri tabanları gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan veritabanları.

Veri	Veritabanı Adı
Arazi Örtüsü / Kullanımı	CORINE
Topoğrafya	EUDEM
Karayolları	OpenStreetMap
Kuş Göç Yolları	BirdLife International
Enerji Nakil Hatları	OpenStreetMap
Fay Hatlarına Uzaklık	İTÜ ATAG
Rüzgâr Hızı	Global Wind Atlas

4.1.3 Saha Uygunluk Analizi

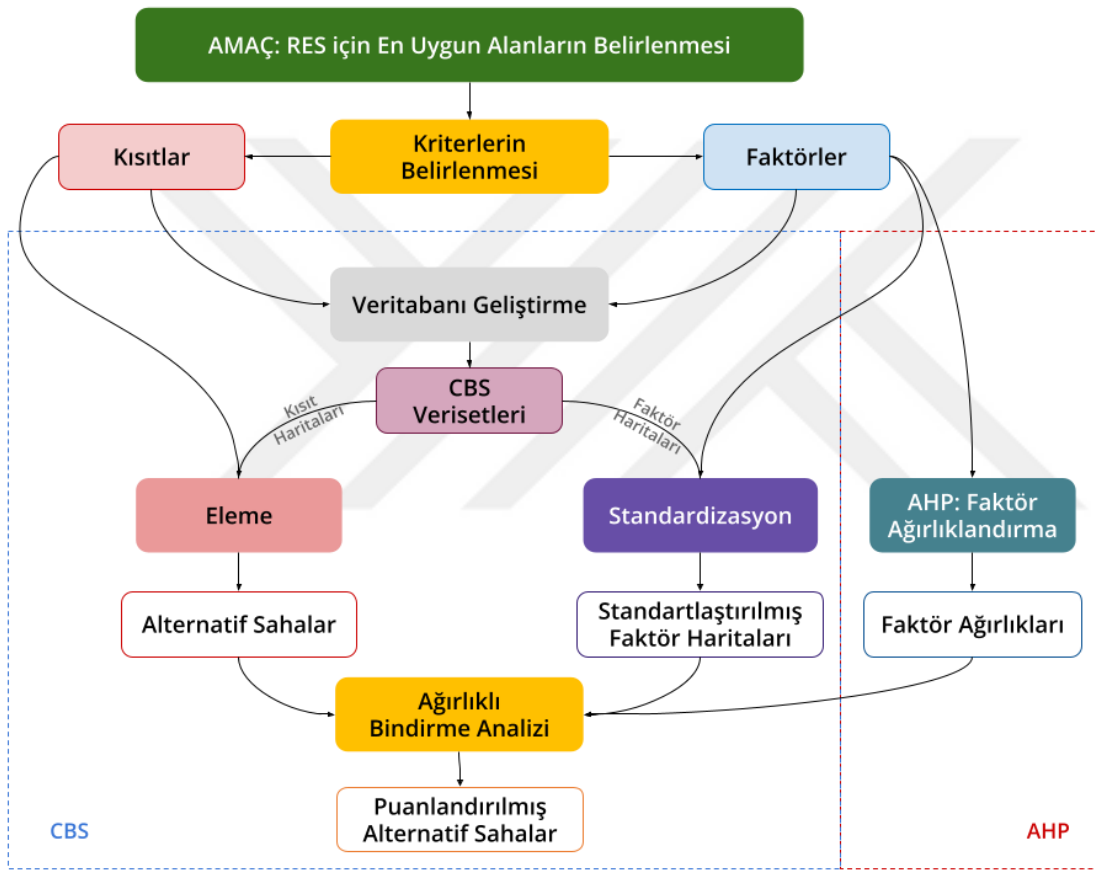
Çalışma bölgesinde RES kurulacak sahaların seçilmesi için önceden belirlenen kısıtlar ArcGIS programı tarafından uygun değil (0) veya uygun (1) olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sayede RES kurulumu için uygun alanlar ortaya konmaktadır. Yani çalışma için tüm kısıtların uygunluklarının gösterildiği haritalar ile çakıştırılmış bir bölge oluşturulmuştur. Sonuç olarak bu işlemde kısıtlar göz önünde bulundurularak uygun olmayan alanlar elenmiştir ve uygun olan (alternatif) sahalar belirlenmiştir. Eleyiciler ile kısıtlandırılan saha sonrasında karar verici faktörlerde eklenerek incelenmiştir.

4.1.4 Faktör Standardizasyonu

RES kurulacak alanların belirlenmesinde esas alınacak konumsal faktör veri setleri (haritaları) her zaman aynı birimde veya aynı aralıkta değerler almazlar. Bu durum birlikte değerlendirme yaparken hatalı sonuçların ortaya çıkmasına neden olur. Örneğin; enerji nakil hatlarına uzaklık konumsal veri setinde ölçü birimi kilometre iken rüzgâr hızı verisetinde ölçü birimi m/s şeklinde incelenmektedir. Bununla birlikte enerji nakil hatlarına uzaklık veri setinde değerler 0 – 3000 – 4000 m gibi bir aralıkta yer alırken rüzgâr hızı veri setinde değerler 0 – 10 veya 11 m/s gibi bir aralıktadır. Aralıkların aynı standarta getirilmesi ve tek bir standart üzerinde devam etmek gerekmektedir.

4.1.5 Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi (AHP)

Her faktör farklı bir alan için farklı derecede önem taşımaktadır. Örneğin; bir orman mühendisi için kurulacak RES'lerin ne kadar ormanlık alan üzerinde olduğu çok önemli iken, bir hayvansever için göç yollarında olması daha büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada farklı araştırma gruplarından farklı kimliklerin önem sıralamaları ve yüzdeleri düşünülerek nihai karar için ağırlıklar belirlenmektedir. Bu aşamada **AHP** yöntemi ile karar verilmektedir.

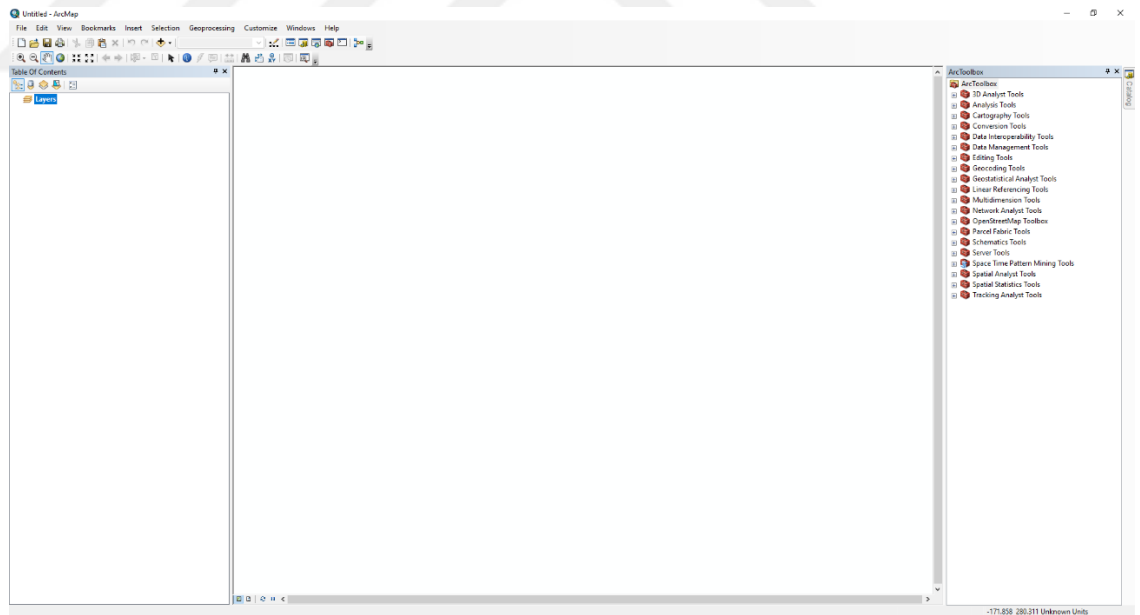


Şekil 4.1 Tez yöntemi akım şeması.

4.2 Yazılım: ArcGIS

Çalışmada kullanılan yazılım, ArcGIS'tir. ArcGIS yazılımının farklı araçları ile konumsal veri işlemleri, veritabanı hazırlama, tampon bölge oluşturma, enterpolasyon gibi konumsal analizler ve görselleştirme gibi işlemler gerçekleştirilmiştir.

ArcGIS, haritalar ve coğrafi bilgilerle çalışmak amacıyla Environmental System Research Institute (ESRI) tarafından geliştirilmiş bir coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. Harita oluşturmak ve kullanmak, coğrafi verileri derlemek, haritalanmış bilgileri analiz etmek, coğrafi bilgileri paylaşmak ve keşfetmek, çeşitli uygulamalarda bu bilgileri kullanmak ve bir veri tabanındaki coğrafi bilgileri yönetmek için kullanılır. ArcGIS, 2001 yılında ilk defa yayınlanmıştır ve kullanılmaya da o tarihten itibaren başlanmıştır. ArcGIS, farklı modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller her sürümde güncellenmekte ve geliştirilmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.2' de ArcGIS programı 10.8 versiyonunun arayüzü verilmiştir.



Şekil 4.2 ArcGIS programı 10.8 versiyonu arayüzü.

4.3 Rüzgar Enerji Santralleri Yer Seçim Kriterleri

Çizelge 4.2 Rüzgar enerji santralleri için yer seçiminde kullanılan kriterler.

Kriter	Birim	Uygun yerler
Rüzgar hızı	m/sn	50 metrede >5m/sn
Yükseklik	m	>1500 m
Eğim	%	<%10
Yüzey pürüzlülüğü		
Kuş göç yolları	m	>500 m
Fay hatlarına uzaklık	m	>200 m
Ormanlık alanlar	m ²	Dışında
Yerleşim alanları	m ²	Dışında
Karayollarına uzaklık	m	100m < <10000 m
Demiryollarına uzaklık	m	100m < <10000 m
Enerji nakil hatlarına uzaklık	m	100m < <10000 m
Trafo merkezlerine uzaklık	m	100m < <10000 m
Tarım alanları	m ²	Dışında
Havaalanları	m	Dışında
Sulak alanlar	m ²	Dışında
Kapasite faktörü	%	>%35
Arazi örtüsü / kullanımı	m ²	Dışında
Endüstriyel alanlar	m ²	Dışında
Sanayi ve ticaret alanları	m ²	Dışında
Turistik alanlar	m ²	Dışında
Koruma alanları	m ²	Dışında
Maden sahaları	m ²	Dışında
Tarihi alanlar	m ²	Dışında
Baz istasyonlarına uzaklık	m	100m < <10000 m
Askeri bölgeler	m ²	Dışında
Milli parklar ve rekreasyon alanları	m ²	Dışında

4.4 Faktör Ağırlıkları

Bu çalışmada ağırlıklar; Almanya Rüzgâr Enerjisi Enstitüsünde görev yapan bir fizik mühendisi ve 1 micrositing uzmanı, serbest çalışan 1 harita mühendisi, ve 1 akademisyenden oluşan uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 Kişilere göre ikili kıyaslama matrisleri.

A	Rüzgar hızı	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Eğim
Rüzgar hızı	1	7	3
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık		1	1/5
Eğim			1
Tutarlılık	%95		
B	Rüzgar hızı	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Eğim
Rüzgar hızı	1	9	3
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık		1	1/3
Eğim			1
Tutarlılık	%100		
C	Rüzgar hızı	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Eğim
Rüzgar hızı	1	7	3
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık		1	1/3
Eğim			1
Tutarlılık	99%		
D	Rüzgar hızı	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Eğim
Rüzgar hızı	1	9	3
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık		1	1/5
Eğim			1
Tutarlılık	97%		

Çizelge 4.4 Ağırlık matris tablosu.

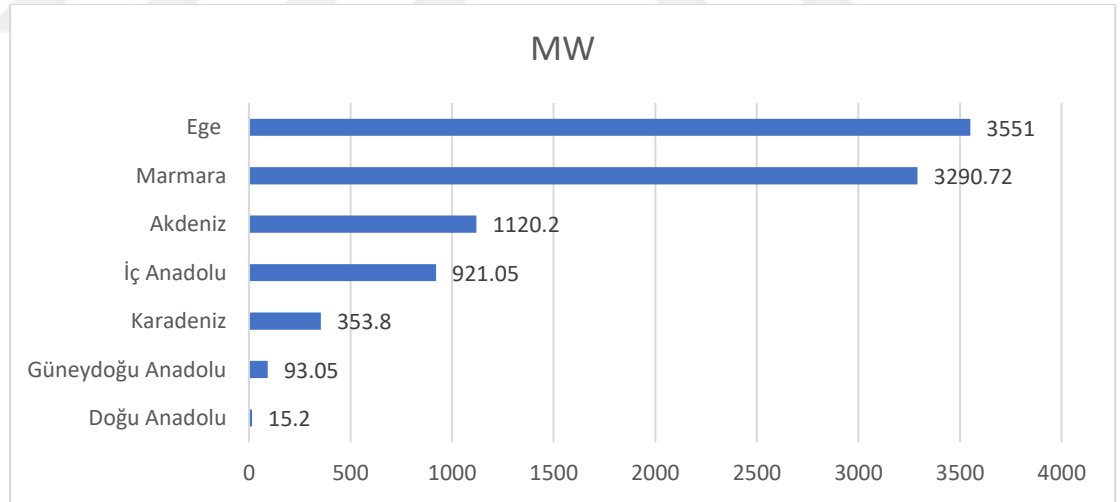
Kullanıcı	Rüzgâr Hızı	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	Eğim
A	65	7	28
B	69	8	23
C	67	9	24
D	67	6	27
Ortalama	67	7.5	25.5

5 ÖRNEK ÇALIŞMA: İZMİR

5.1 Çalışma Bölgesi

Türkiye'nin 7 bölgesinden biri olan ve konum olarak en batısında kalan Ege Bölgesi iklim olarak ılıman iklim özellikleri göstermektedir. Her iki denize kıyısı olmasından dolayı denizellik özelliği yoğun olarak hissedilmektedir. Türkiye'nin en uzun kıyı şeridinde sahip bölgesi olması da bu özelliğini pekiştirmektedir. İsmi Ege Denizi'nden, iklimini ise Akdeniz ikliminden edinmektedir. Akdeniz ve Ege Denizi'ne olan kıyısı yine denizden gelen rüzgârın etkisinin görülmesine sebep olmaktadır.

Ülkemizdeki 9.3 MW'lık RES kurulu gücünün 3.5 GW'lık kısmının Ege Bölgesinde, bunu takiben 3.2 GW'lık kısmının da Marmara Bölgesinde olduğu TUREB tarafından yayınlanan Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporunda belirtilmiştir. Yani Batı Anadolu bölgesindeki yatırımlar toplam yatırımların %72 sini oluşturmaktadır (İzmir Kalkınma Ajansı).



Şekil 5.1 İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımını gösteren grafik (TUREB, 2021a).

Ege Bölgesi sadece karadaki rüzgâr enerji santralleri için değil deniz üstü rüzgâr enerji santralleri içinde uygundur. Ege Denizi'nin kuzeybatı kıyıları 9 m/sn'lik rüzgâr hızı potansiyeline sahiptir (İZKA, 2021).

Ege Bölgesi'nin en önemli illerinden biri İzmir'dir. İzmir, aynı zamanda Türkiye'nin 3 büyük şehrinden biri olma özelliği taşımaktadır. İzmir ilinin yüzölçümü 11 891 km²'dir (Harita Genel Müdürlüğü, 2019). İzmir'in rüzgâr enerjisiyle olan tarihi Foça ve Alaçatı da bulunan yer değirmenlerine dayanmaktadır. Rüzgâr enerjisinin kullanımının İzmir için çok eski yıllara dayandığının nostaljik bir kanıtı olmuştur. TUREB' den alınan verilere göre, Türkiye'nin kurulu gücünün 9.305 MW olduğu bilinmekte, bunun 3.511 MW' nun Ege Bölgesine ait olduğu ve 1.798 MW' nunda İzmir iline ait olduğu düşünüldüğünde, İzmir ilinin rüzgâr enerjisi kurulu gücü bakımından ülkemizin en önemli ili olduğu söylenebilir (İZKA, 2021).

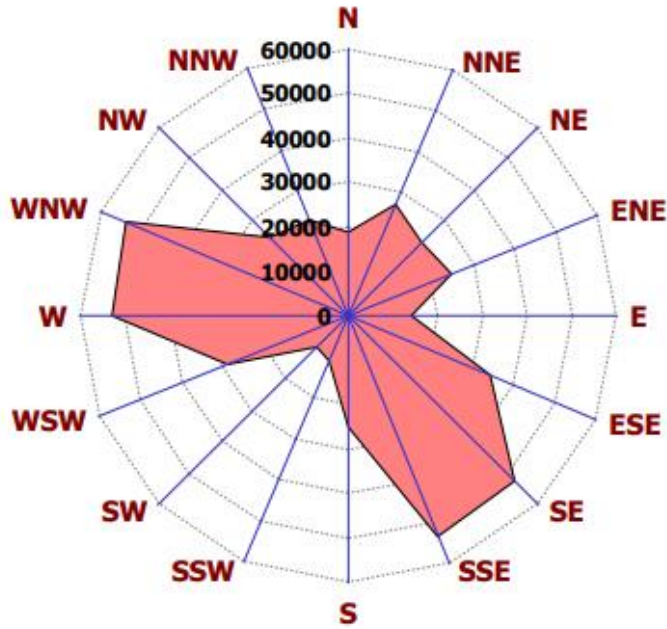


Şekil 5.2 İzmir ilinin Türkiye'deki lokasyonunun haritada gösterilmesi.

Günümüzde İzmir, ülkemizdeki kurulu olan rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi gücünün yaklaşık %20'sini bulundurmaktadır. İzmir'in rüzgâr enerjisi sektöründe önemli özelliklerinden bir tanesi de rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan endüstriyel ve sanayi ürünlerinin üretiminin merkezi haline

gelmesidir (İZKA). Bu durum rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu içinde önem taşımaktadır. Örneğin; Rüzgâr türbinlerinin kurulumu İzmir’de bir sahaya yapılacak ise nakliye işlemi daha kısa sürede ve kolay sağlanacaktır.

İzmir, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisi için yüksek potansiyelde sayılabilmektedir. Rüzgâr için kıyı şeridinin denize açık olması ve topoğrafik yapısı bakımında çeşitliliğe sahip olması nedeniyle önemli bir potansiyele sahiptir. Hakim rüzgâr yönü Güney-Güneydoğudur fakat bu durum mevsimlere göre farklılık gösterebilmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü- İzmir iklimi).



Şekil 5.3 İzmir iline ait rüzgâr hakim yönünü gösteren rüzgâr gülü.
Güzelyalı, İzmir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü).

Ülkemizde rüzgâr enerjisine dair yapılan ilk rüzgâr enerji santrali çalışması 1.5 MW kapasitesiyle İzmir ilinde kurulmuştur. 1998 yılında Çeşme ilçesinde kurulan bu santral Çeşme ilçesi, İzmir ili hatta Ege Bölgesi için rüzgâr gücünü kullanılabılır hale getirmeyi ön plana çıkarmıştır (Ekiz, Şirin, Erener, 2021). Aynı zamanda İzmir ülkemizdeki ilk ölçüm direğine de ev sahipliği yapmıştır (İZKA, 2021). Daha sonraki yıllarda İzmir ve Ege Bölgesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi, ikliminin, coğrafi konumunun, topoğrafyasının elvermesiyle önem kazanmıştır.

Çizelge 5.1 Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan İzmir ili iklimsel özellikleri (URL2).

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1938 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.8	9.6	11.7	15.8	20.8	25.4	27.9	27.7	23.7	18.9	14.3	10.5	17.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.4	13.6	16.3	20.9	26.1	30.7	33.2	33.0	29.2	24.0	18.6	14.1	22.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.8	6.2	7.7	11.1	15.5	19.8	22.5	22.4	18.7	14.6	10.8	7.6	13.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.3	5.2	6.4	7.9	9.8	11.6	12.3	11.9	10.1	7.6	5.6	4.2	8.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.82	11.47	10.47	7.47	6.82	4.06	0.29	0.71	2.76	5.59	8.82	12.88	84.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	136.9	102.9	75.8	46.0	31.5	12.3	4.1	5.6	15.3	44.6	92.0	146.8	713.8
Ölçüm Periyodu (1938 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.5	27.0	30.5	32.5	37.6	41.3	42.6	43.0	40.1	36.0	30.3	25.2	43.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.2	-5.2	-3.8	0.6	4.3	9.5	15.4	11.5	10.0	3.6	-2.9	-4.7	-8.2

En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.

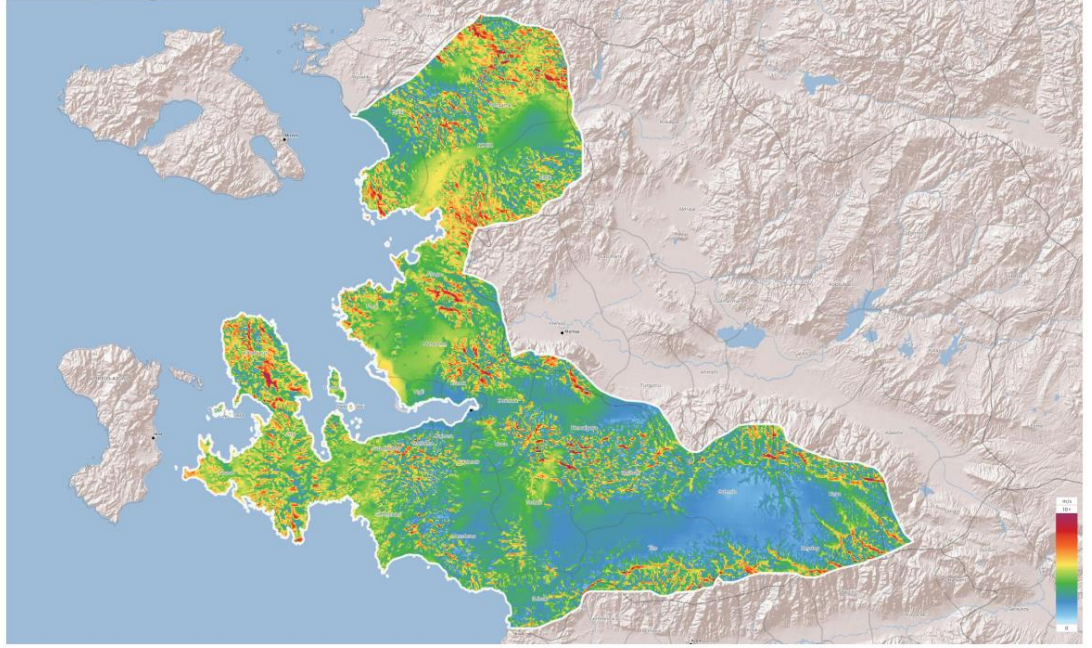
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	Günlük En Hızlı Rüzgar	En Yüksek Kar
29.09.2006 145.3 mm	29.03.1970 35.3 m/sn	31.01.1945 32 cm

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



İzmir ilinde şu an için kullanılan rüzgâr enerji santrali sayısı 56'dır. Ek olarak kurulum aşamasında olan 7 rüzgâr enerji santrali vardır. Bunlardan 5 tanesinin planlaması Bergama ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. Kurulu işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin 10 tanesi Çeşme ilçesinde, 7 tanesi Karaburun ilçesinde, 7 tanesi Bergama ilçesinde ve 7 tanesi Aliaga ilçesinde bulunmaktadır (URL3). Bu bilgiye göre Bergama ve Çeşme rüzgâr enerji santralleri kurulumunda tercih edilen İzmir ilçeleridir.

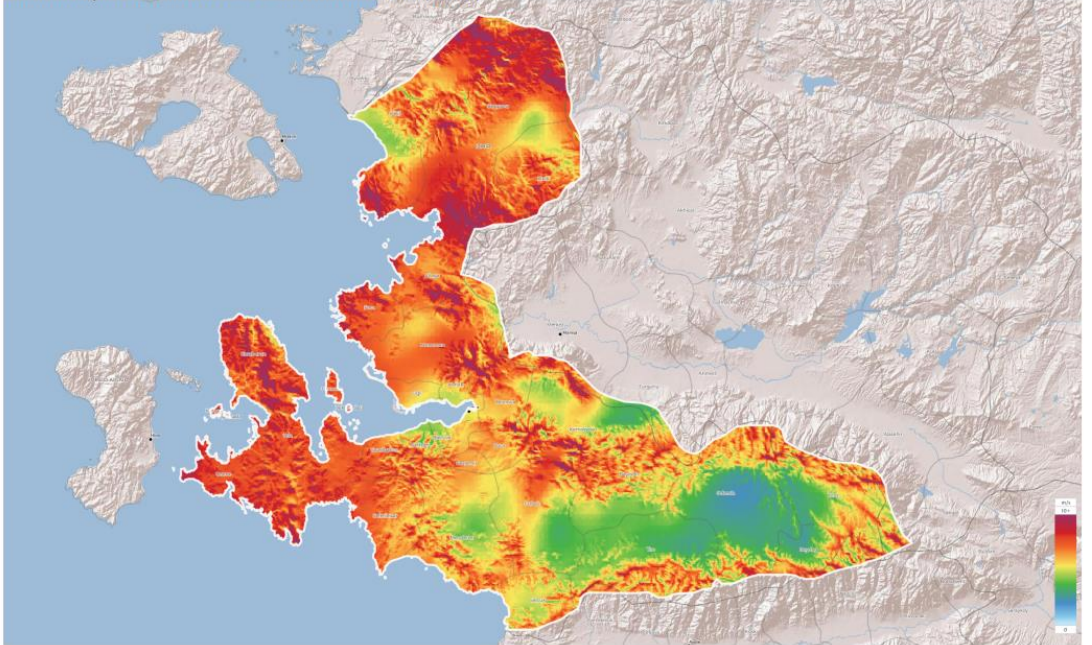
GLOBAL WIND ATLAS
 MEAN WIND SPEED AT 10m
 İZMİR İLİ İÇİN ORTALAMA RÜZGAR HIZI HARİTASI (10M)



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v.3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Şekil 5.4 İzmir ili için 10m deki ortalama rüzgâr hızı (Global Wind Atlas).

GLOBAL WIND ATLAS
 MEAN WIND SPEED AT 100m
 İZMİR İLİ İÇİN ORTALAMA RÜZGAR HIZI HARİTASI(100M)



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v.3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Şekil 5.5 İzmir ili için 100m deki ortalama rüzgâr hızı (Global Wind Atlas).

5.2 Veritabanı Geliştirme

Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumunda yapılan literatür çalışması doğrultusunda; rüzgâr hızı, karayollarına uzaklık, eğim, şehir merkezlerine uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, arazi kullanım alanları sıklıkla kullanılan kriterler olmuştur. Literatürdeki çalışmalarda bu kriterler, önem derecesine göre değerlendirilerek veya değerlendirmeden direkt eleyici olarak incelenmiştir. Kriterler belirlenirken araştırmacılar, rüzgâr enerjisi santrallerindeki verimliliğin ve elverişliliğin yanı sıra yatırımlarının maliyetlerinin artmaması, nakliyesinin kolaylığı, insan hayatına olan etkisi, hayvanseverlerin ve doğa severlerin tepkilerini göz önünde bulundurmıştır.

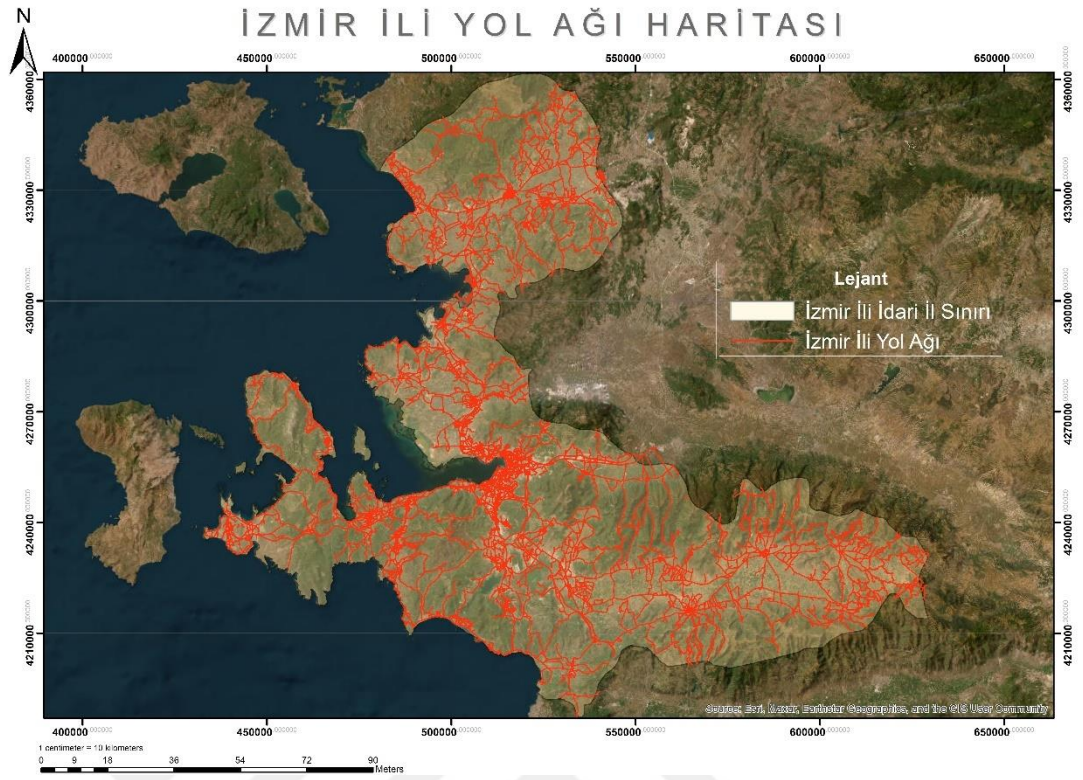
5.2.1 Karayollarına Uzaklık

Rüzgâr enerji santralleri kurulumunda yol ağı önemlidir. Çünkü rüzgâr türbinlerinin üretim konumlarından kurulum konumlarına, eğer su içerisinde yapılan denizüstü bir proje değil ise, karayolları vasıtasıyla taşınmaktadır. Karayollarının ulaşımının sorunlu olduğu, sarp bölgelerde yapılan kurulumlarda lojistik sorunlar yaşanmaktadır. Bu çalışmada da yol ağı verisi Open Street Map ile elde edilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 5.6’da İzmir ili için Open Street Map verileri kullanılarak, üzerinden rüzgar türbinlerinin nakliye edilebileceği otoyol, motorlu taşıt yolu, bölünmüş yollar, iller arası yollar, ilçeler arası yollar seçilerek ile oluşturulan yol ağı haritası gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan Open Street Map yol sınıflarının örnekleri.

Open Street Map Yol Sınıfı	Örnek yol
Otoyol (motorway)	TEM- Çanakkale- Malkara Otoyolu
Bölünmüş Yollar (trunk)	Seferihisar-Kuşadası Karayolu
İller Arası Yollar (primary)	Aydın- Denizli Karayolu
İlçeler Arası yollar (secondary)	Zeytindağ-Yuntdağ Karayolu

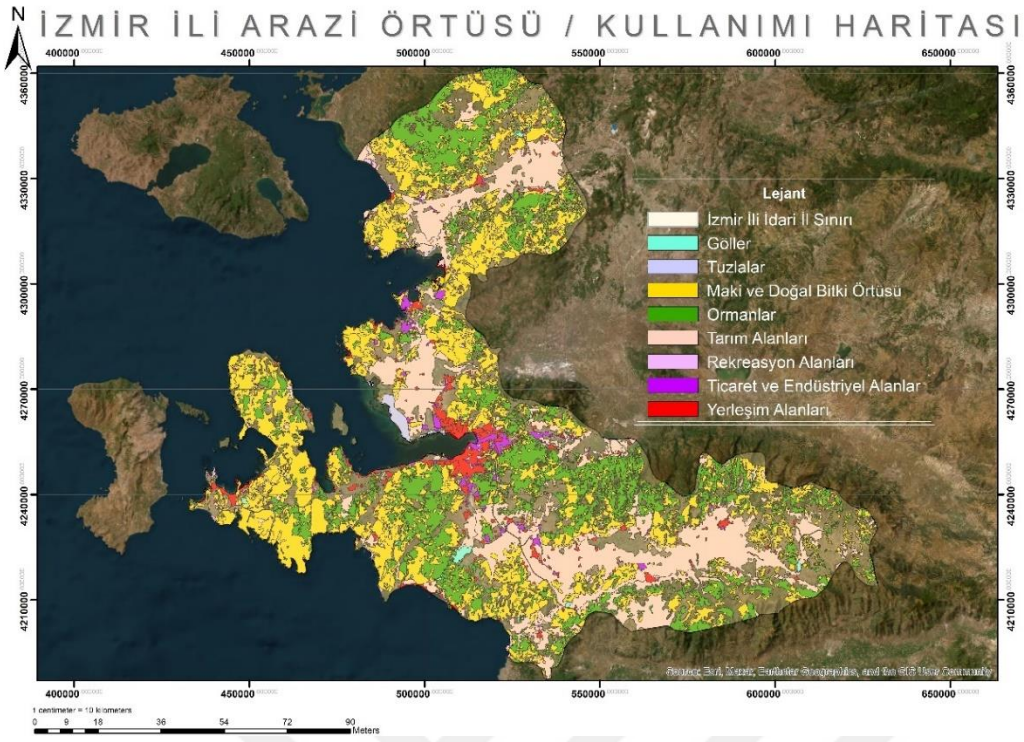


Şekil 5.6 İzmir ili yol ağını gösteren harita.

5.2.2 Arazi Örtüsü / Kullanımına Uygunluk

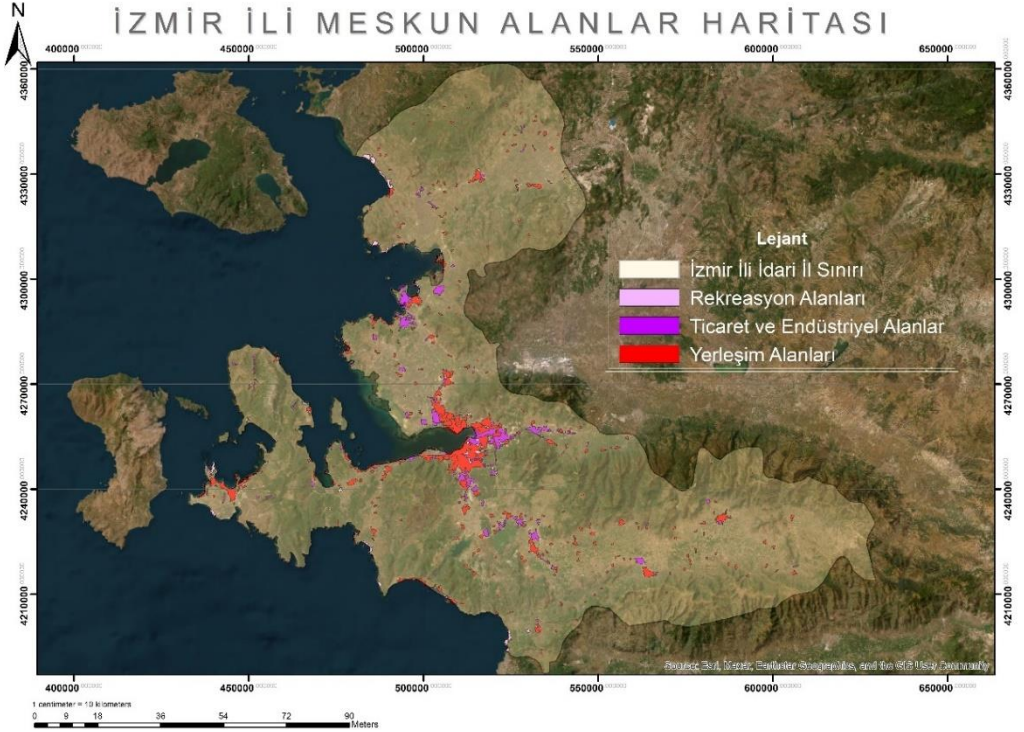
Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için karar verilen sahaların yeterli derecede rüzgâr alması türbin kurulumu için yeterli değildir. Sahanın kullanımına da dikkat edilmelidir (Şimşek, 2014). Ormanlık alanlar, sulak alanlar, ticari alanlar, tarım alanları gibi kullanılan araziler üzerinde rüzgâr enerji türbinleri kurmak çok yüksek maliyetlerin yanında ciddi zararlara yol açacaktır.

RES'lerin kurulacağı yerlerin seçiminde arazi kullanımı, RES'lerin kurulacağı yerlerin önceden planlanmasında etkin bir rol oynamaktadır (Urfalı ve Eymen 2021). Arazi kullanımı arazinin topoğrafik yapısıyla dolaylı yoldan ilgilidir. Topoğrafya dolaylı şekilde rüzgâr hızına da arazinin yapısının belirlenmesine de katkı sağlamaktadır.



Şekil 5.7 İzmir ili arazi örtüsü / kullanım haritası.

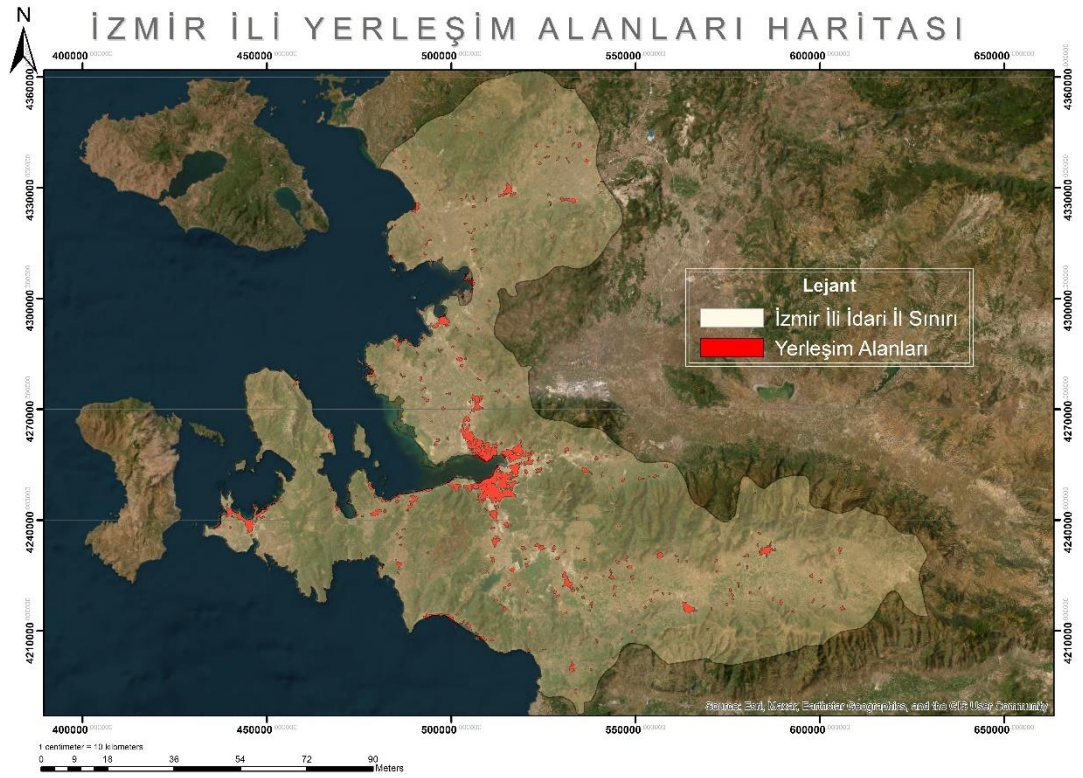
5.2.2.1 Meskun Alanlar



Şekil 5.8 İzmir ili meskun alanlar haritası.

Yerleşim Yerleri

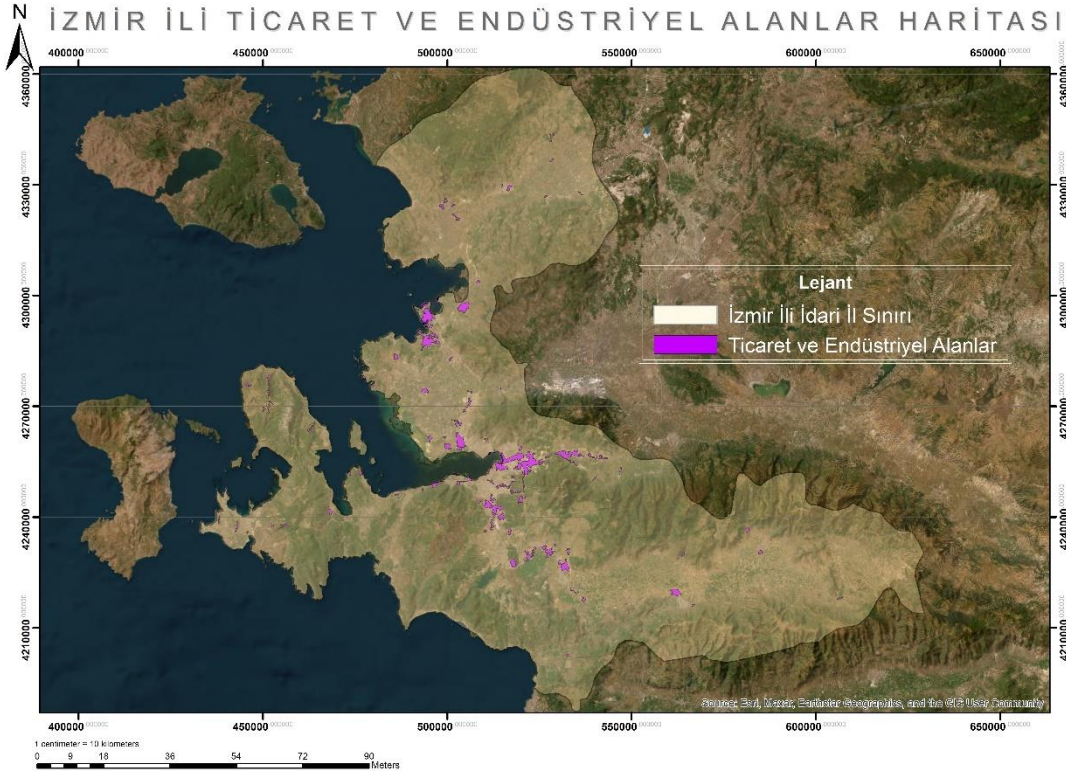
Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumunda yerleşim yerleri, hem kurulum da taşınacak parçaların kontrollü nakliyesi hem de oluşabilecek gürültü gibi unsurlardan dolayı önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir. Bunların engellenebilmesi için yerleşim yerlerinden uzak alanlara kurulum yapılması gerekmektedir (Şimşek, 2014).



Şekil 5.9 İzmir ili yerleşim alanlarını gösteren harita.

Endüstri ve Ticaret Alanlarına Uzaklık

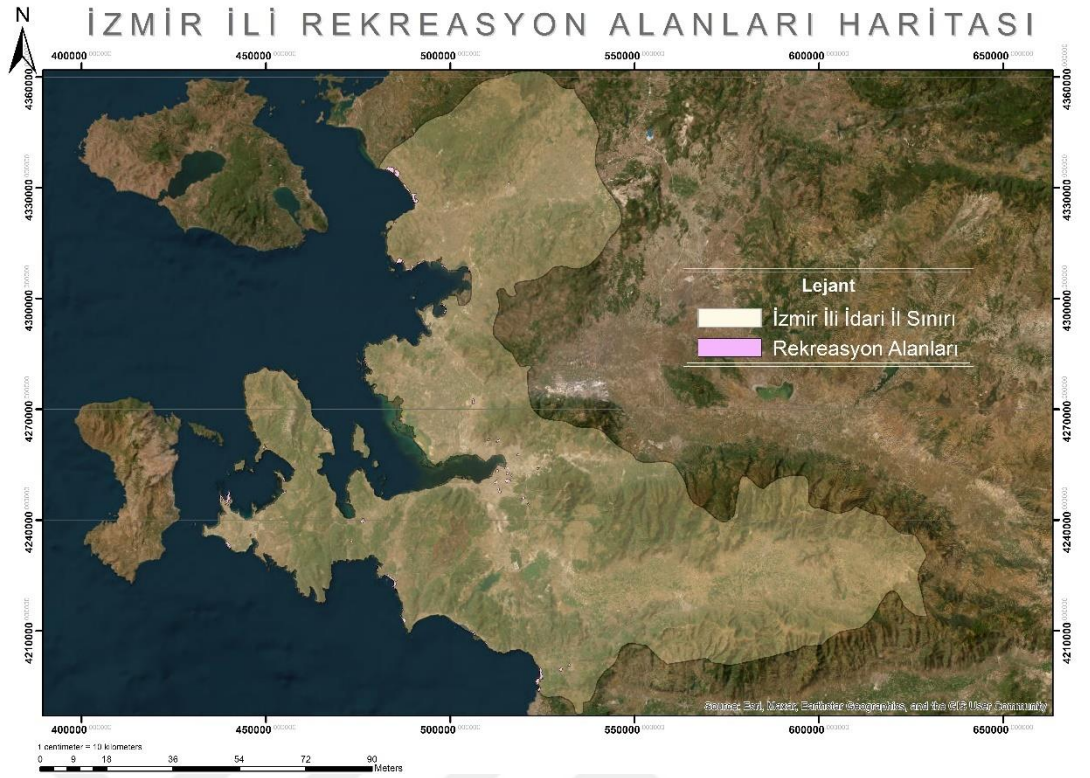
Ticaret alanları içinde bulunan üretim sahalarının korunması endüstriyel gelişimin devam etmesi açısından saha olarak kullanılamaz. Zaten rüzgar türbinlerinin üretimlerinin de rahatça sağlanabilmesi için sanayi bölgelerinin aktif şekilde çalışması gerekmektedir.



Şekil 5.10 İzmir ili endüstri ve ticaret alanlarını gösteren harita.

Rekreasyon Alanlarına Uzaklık

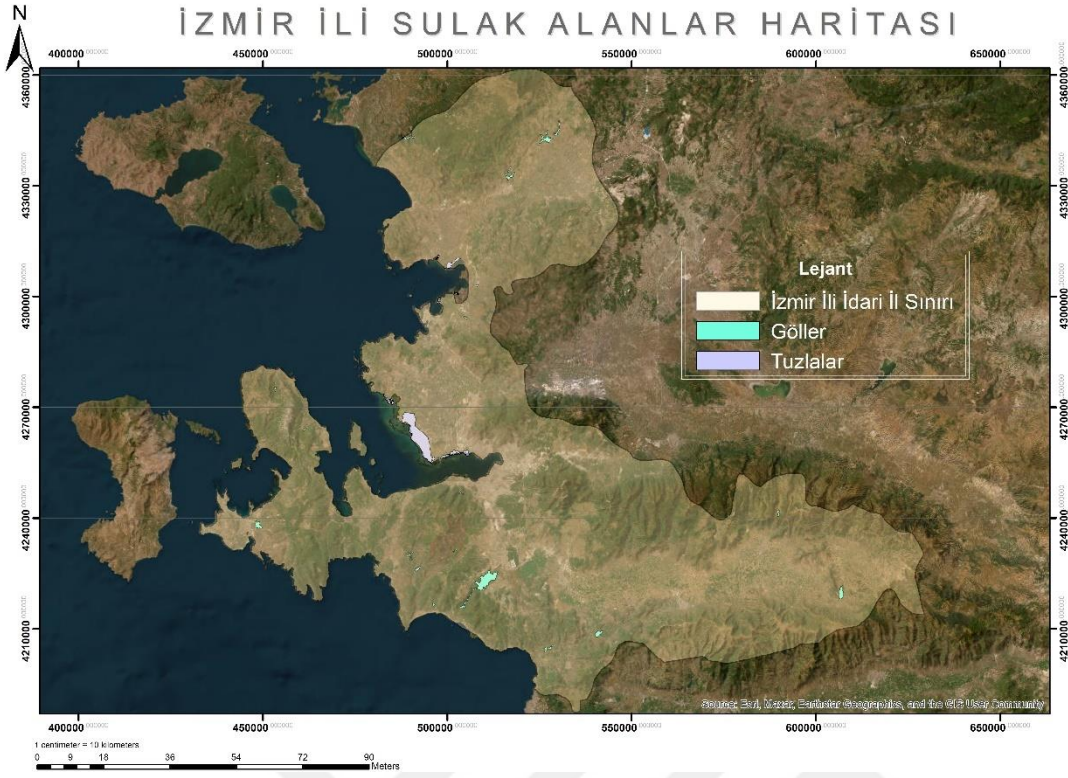
Rekreasyon ve kentsel yeşil alanlar, insanların şehir yaşamından uzaklaşmasını sağlaması açısından önemlidir. İnsan hayatına değer veren yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisinin amacıyla çelişmesinin yanında şehir merkezlerine olan yakınlık açısından da uygun olmayan alanlar arasına girmektedir.



Şekil 5.11 İzmir ili rekreasyon ve kentsel yeşil alanları gösteren harita.

5.2.2.2 Sulak Alanlar

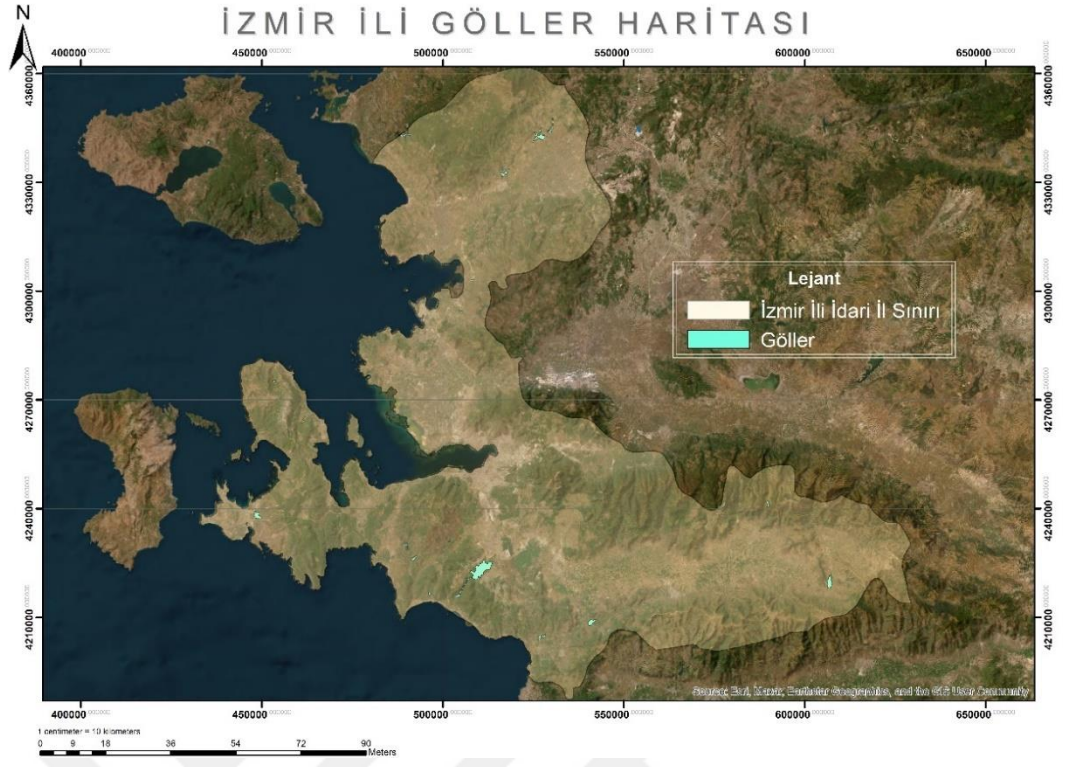
Rüzgâr türbinleri, kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren mekanizmalardır. Basitçe düşünersek suyun olduğu yerde elektriğin olması güvenlik açısından tehlike arz etmektir. Aynı zamanda sulak alanların zemini çok büyük oldukları bilinen rüzgâr türbinlerinin konumlandırılması için elverişli değildir.



Şekil 5.12 İzmir ili sulak alanlar şeklinde sınıflandırılmış harita.

Göller ve Tuzlalar

Sulak alanların yapılan literatür çalışmasında rüzgar enerji santrallerinin kurulumu için uygun olmadığı gözlenmektedir. Tuzlalar da oluşturduğu bataklıklar nedeniyle sulak alanları şeklinde bir başlık altında incelenebilmektedir. Akarsu ve göller gibi tuzlalara da uzak olunması uygun saha belirlenmesinde önemlidir.



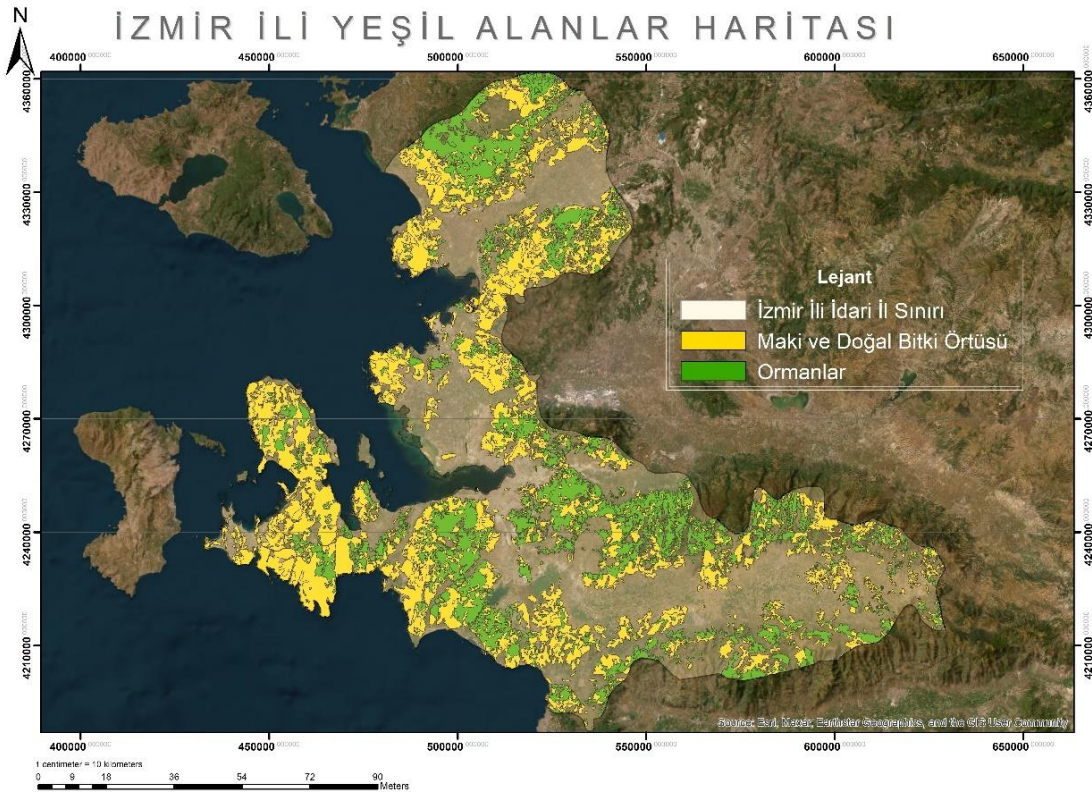
Şekil 5.13 İzmir ili göller haritası.



Şekil 5.14 İzmir ili tuzla alanını gösteren harita.

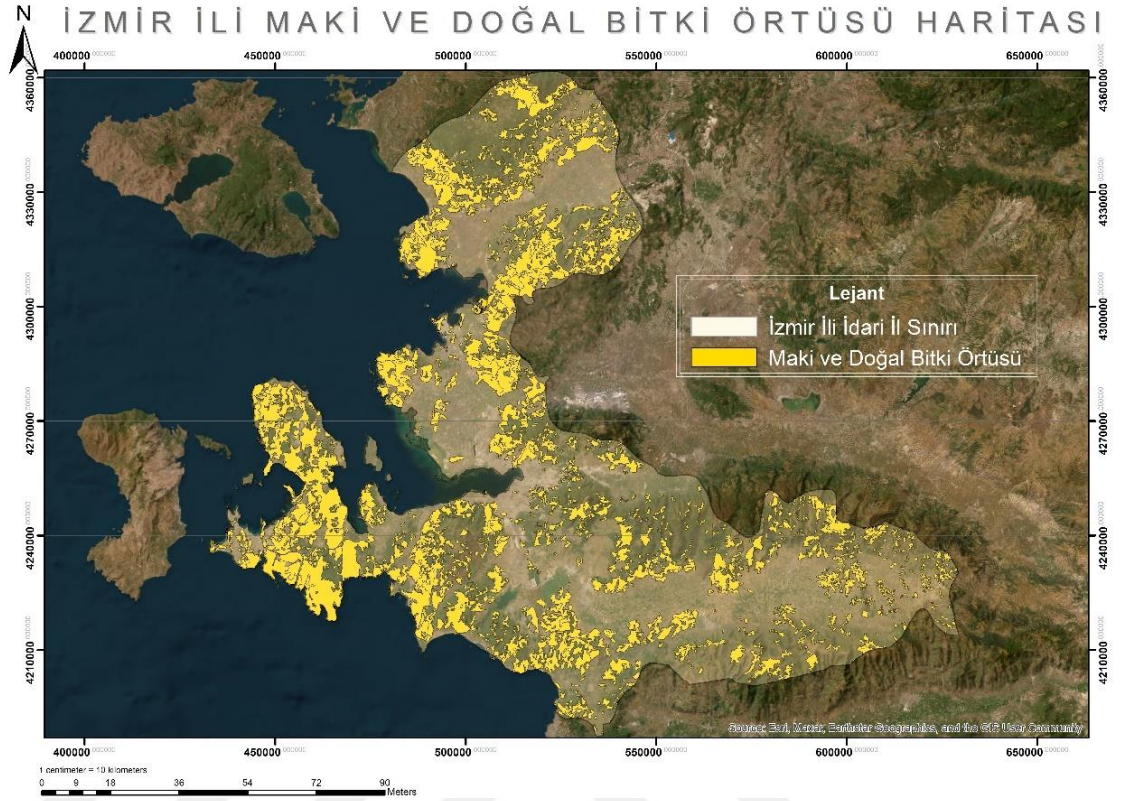
5.2.2.3 Yeşil Alanlar

Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumunda arazinin çıplak olması tercih edilebilir bir husustur. Çünkü rüzgâr hızı binalardan, ağaçlardan, dağlardan tepelerden etkilenmektedir. Ek olarak bataklık alanlara göre kayalık sert alanlar tercih edilmektedir. Buna neden olarak rüzgâr türbinlerinin temellerinin sağlam olması gerektiği söylenilebilmektedir (Şimşek, 2014).



Şekil 5.15 İzmir ili yeşil alanlar şeklinde gösteren harita.

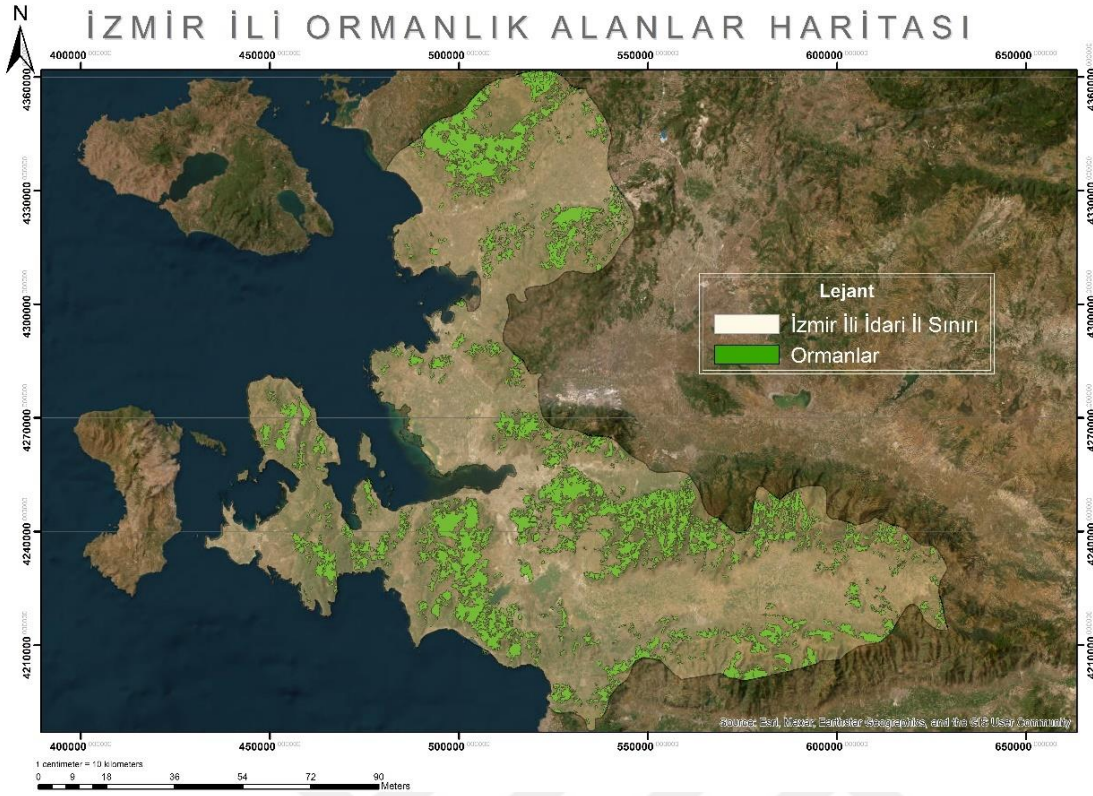
Maki ve Doğal Bitki Örtüsü



Şekil 5.16 İzmir ili makilik alanları ve doğal bitki örtüsünü gösteren harita.

Ormanlar

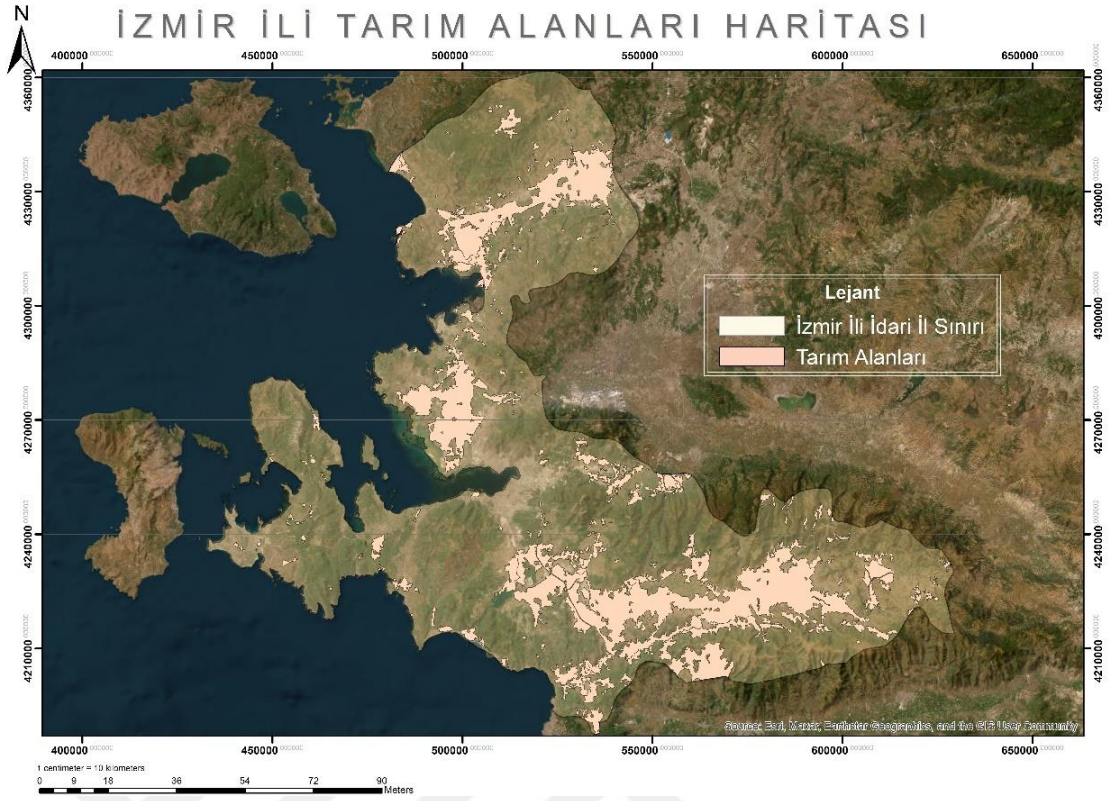
Ormanlık alanlar yasal kısıtlamalara konu olan hassas bir konudur. Rüzgâr türbinlerinin sadece bir tanesinin bile büyük alanda temellendirildiği bilinmektedir. Bu yüzden rüzgâr enerji santrallerini kurmak için saha belirlenirken ağaç kesimlerini önlemek amacıyla ormanlık alanların içi çalışmalara dahil edilmemektedir.



Şekil 5.17 İzmir ili orman alanlarını gösteren harita.

5.2.2.4 Tarım Alanları

Tarımsal alanlar enerji santrallerinin kurulumuna elverişli alanlar olsalar da tarımsal alanlarda türbinleri kurmak alanın tarımsal faaliyetlerinin önüne geçmektedir.

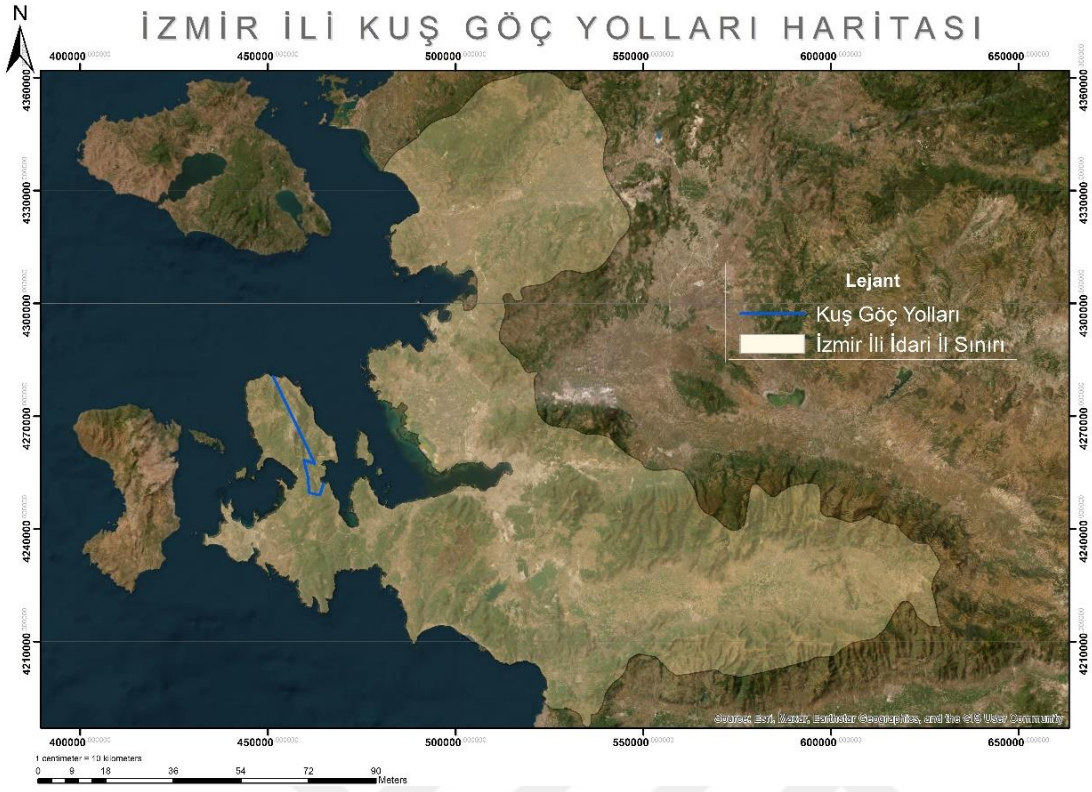


Şekil 5.18 İzmir ili tarım alanlarını gösteren harita.

5.2.3 Kuş Göç Yolları

Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumunda kuş göç yollarının değerlendirilmesi önemli bir kriterdir. Çünkü rüzgâr türbinlerinin kanatlarının hayvan dostlarımıza zarar vermesi kabul edilebilecek bir durum değildir. Direklerin uzunlukları dikkate alındığında aynı seviyede olan kuş göç yolları bu şekilde kötü sonuçlar doğurabilir. Kuş göç yolları ile ilgili veriye ulaşmak zor olduğu için doğru sonuçların eldesi güç olmaktadır.

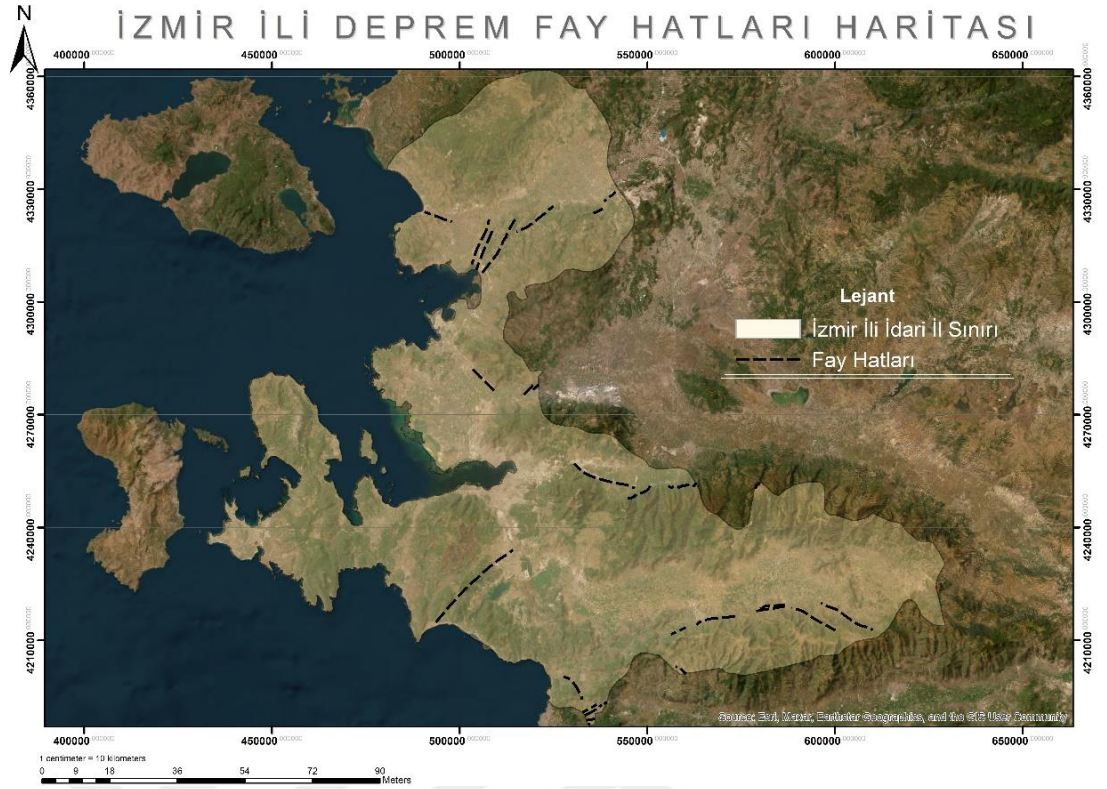
Çalışmada kullanılmak üzere BirdLife International adlı kurum ile e-posta aracılığıyla iletişime geçilmiştir. Elde edilen veriler İzmir ili sınırları ile karşılaştırıldığında kurumun araştırmasını yaptığı kuş türlerinin göç yollarının İzmir hava sahası üzerinden yalnızca birinin geçtiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.19 İzmir ili Kuş Göç Yolları.

5.2.4 Fay Hatlarına Uzaklık

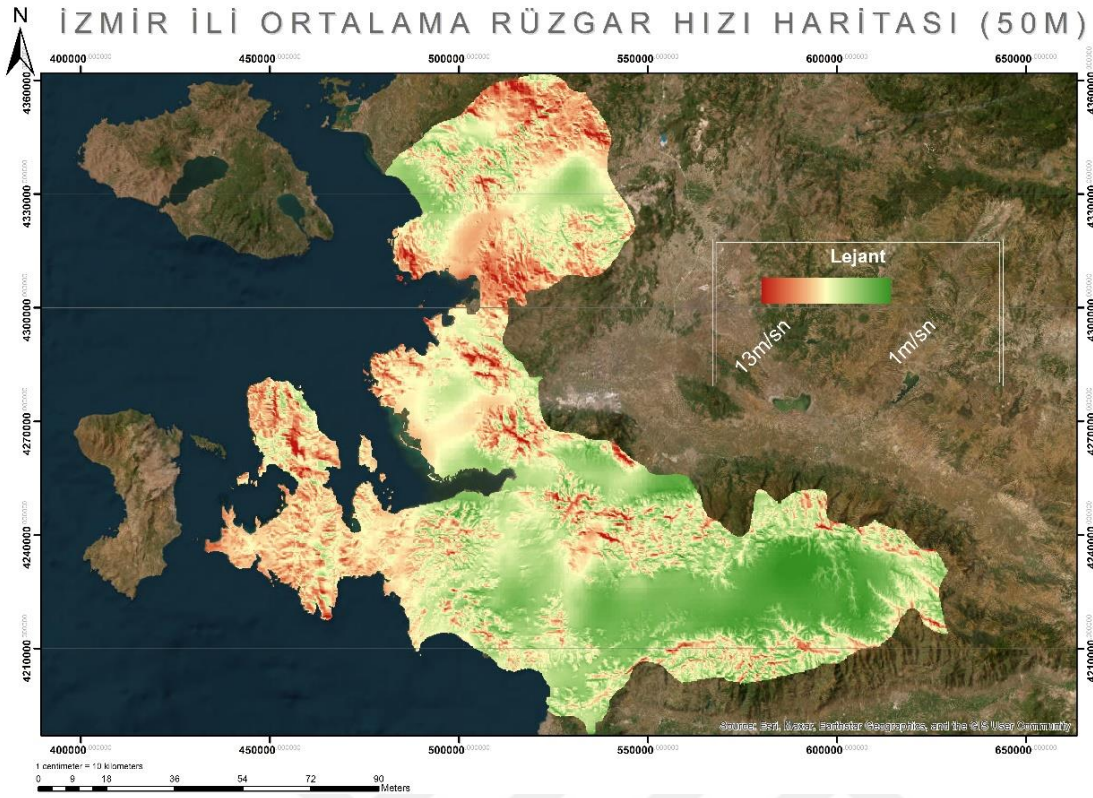
Deprem doğal bir afettir. Bu afete karşı hazırlıklı olmak inşaa sırasında fay hatlarının konumlarını bilmek sadece türbin kurulumlarında değil her inşaa için önem taşımaktadır.



Şekil 5.20 İzmir ili Deprem Fay Hatları.

5.2.5 Rüzgar Hızı

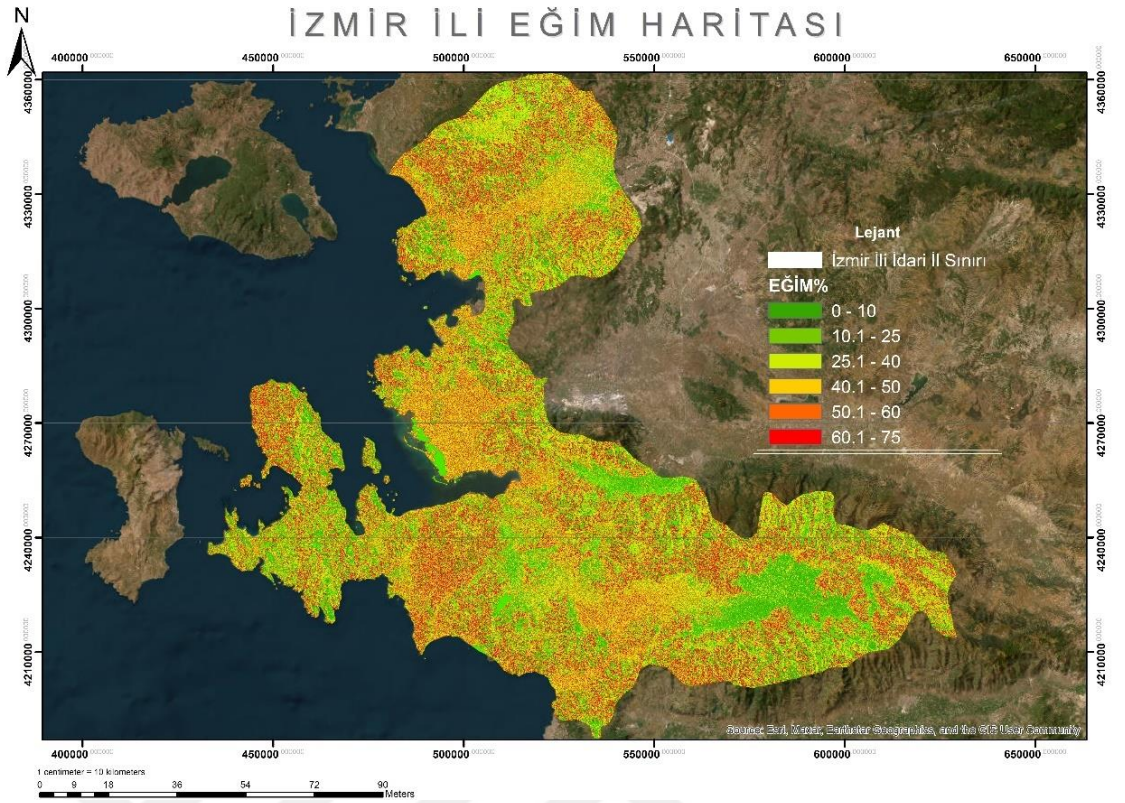
Rüzgâr enerji santrallerin kurulumundaki temel kriter rüzgâr hızıdır. Rüzgâr hızı faktörü yatırımcılar içinde önemli bir kriterdir. Rüzgâr hızı ölçümleri farklı yüksekliklerden yapılabilmektedir. Bu durumdan dolayı rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için belirlenecek uygun sahaların seçiminde rüzgâr hızı bir kısıt olarak değerlendirilmek yerine bir faktör yani karar verici olarak değerlendirilirse daha doğru sonuçlar elde edilecektir (Urfalı ve Eymen 2021).



Şekil 5.21 İzmir ili ortalama rüzgâr hızı (50m) haritası.

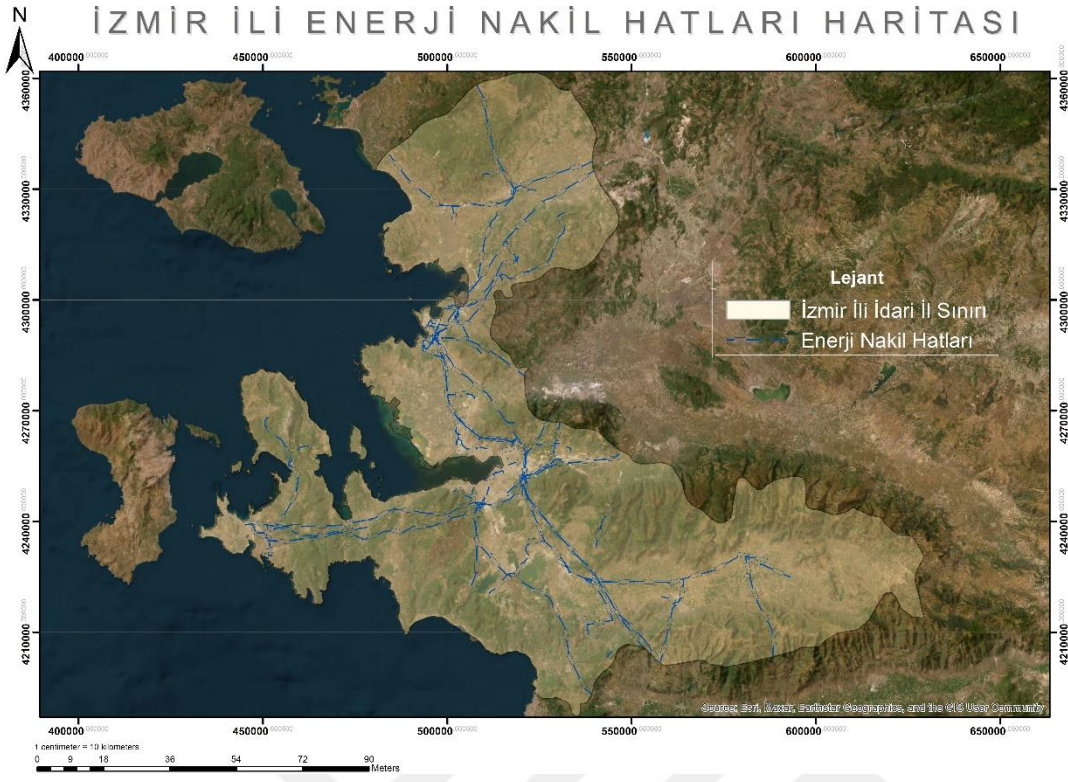
5.2.6 Eğim

Arazi eğimi, arazinin yükseklik modeline göre belirlenmektedir. Düz arazinin, yüksek eğimli arazilere göre yüksek yatırım maliyetlerine sebep olduğu bilinmektedir. Rüzgâr hızı da yükseklikle yani eğim ile ilişkili biçimde artmaktadır (Urfalı ve Eymen, 2021). Arazinin eğimi, bölgenin topoğrafik özelliklerinden biridir. Topoğrafya rüzgâr türbinlerinin kurulumları maliyet ve verim açısından değerlendirildiğinde önemli bir unsurdur (Şimşek, 2014). Bu çalışmada sayısal yükseklik modelinden oluşturulan arazi eğimi kullanılmıştır.



5.2.7 Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

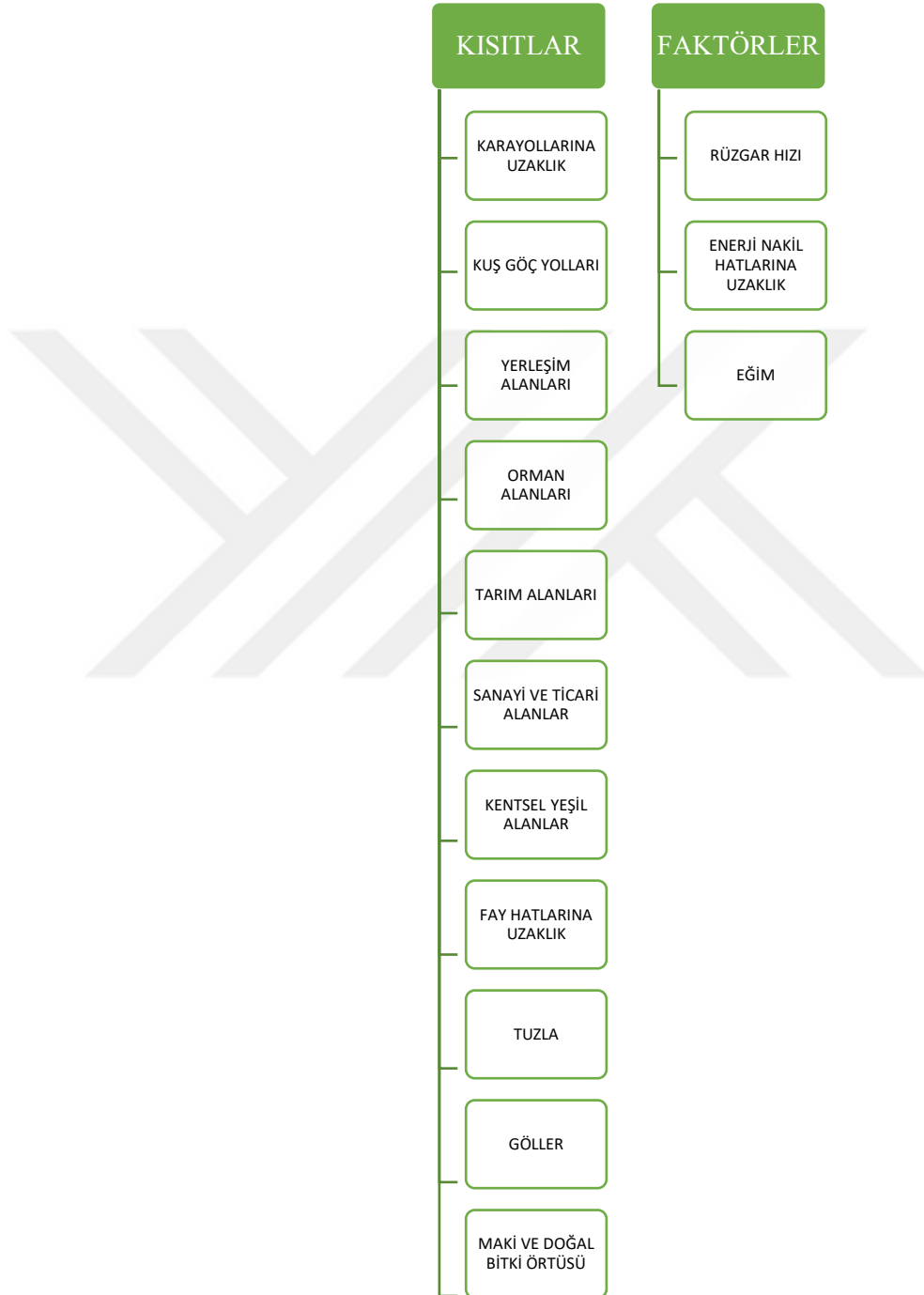
Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumunda santralin ürettiği elektriğin dağıtılabilmesi için enerji nakil hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji nakil hatlarına olan uzaklık arttıkça maliyet o kadar artıracaktır. Rüzgâr enerji santrali kurulumu için yer seçiminde enerji nakil hatlarına olan uzaklık göz önünde bulundurulursa maliyetin düşeceği ve enerji kaybının azalacağı bilinmektedir (Gerçek, 2018).



Şekil 5.23 İzmir ili enerji nakil hatlarını gösteren harita.

5.3 Çalışmanın Kriterleri

Bu çalışmada toplam 14 tane kriter kullanılmıştır. Bunların; 11 tanesi kısıt, 3 tanesi faktör olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.24’de gösterilmiştir.



Şekil 5.24 Çalışmada kullanılan kısıtlar ve faktörler.

5.3.1 Eleyici Kriterler: Kısıtlar

Karayollarına Uzaklık

Karayollarına uzaklık kriteri incelenirken veri vektör veri seti olduğu için önce tampon bölge oluşturma işlemi ile 10 km'lik bir tampon bölge oluşturulmuştur. Sonrasında vektör veriden raster veriye dönüşüm yapılmıştır. Bu kısıt için yeniden sınıflandırma yapılarak uygun olan alanlara aşağıdaki çizelgedeki 5.2'deki ölçüt kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 5.3 Karayollarına uzaklık sınıflandırma tablosu.

Kısıt	Verinin Kaynağı	Uygun	Uygun değil	Literatür
Karayollarına uzaklık	Open Street Map	0-10 km	10 km- ...	Baban and Parry, 2001 – Aitzhanov, 2017

Arazi Örtüsü / Kullanımına Uygunluk

Bu çalışmada arazi kullanım ile ilgili yerleşim alanları, endüstri ve ticaret merkezleri, göller, tuzlalar, maki ve doğal bitki örtüsü alanları, tarım alanları, orman alanları, rekreasyon ve kentsel yeşil alanlar içinde kalan alanlar analizde uygun olmayan alanlar şeklinde kısıtlanmıştır.

Yerleşim Yerleri

Literatür araştırmasındaki incelenen çalışmalar doğrultusunda bu çalışma içinde yerleşim yerleri bir kısıt olarak seçilmiştir. Yerleşim yerleri içindeki alanlar çalışmaya kuruluma uygun değildir şeklinde dahil edilmiştir.

Endüstri ve Ticaret Alanlarına Uzaklık

Bu çalışmada arazi kullanım ölçütlerinden biri olan endüstri ve ticaret alanları içindeki alanlar çalışmaya uygun değil şeklinde dahil edilmiştir.

Rekreasyon Alanlarına Uzaklık

Rekreasyon ve kentsel yeşil alanlar, bu çalışmada literatür incelemeleri göz önünde bulundurularak kısıt olarak rekreasyon alanlarının dışındaki alanlar uygundur şeklinde değerlendirilmiştir.

Sulak Alanlar

Bu çalışmada sulak alanlar içinde kalan sahalar (göller ve tuzla olmak üzere) çalışmaya uygun olmayan alanlar şeklinde dahil edilmiştir.

1. Göller

2. Tuzlalar

Yeşil Alanlar

Bu çalışmada uygun sahalar oluşturulurken verilebilecek tahribattan dolayı yeşil alanların içinde kalan bölge uygun değil şeklinde değerlendirilmiştir.

1. Maki ve Doğal Bitki Örtüsü

2. Ormanlık Alanlar; Ormanlık alanlar uygun olmayan alanlar olarak bu çalışmaya dahil edilmiştir.

Tarım Alanları

Çalışmada tarım alanları içinde kalan alanlar uygulamada uygun olmayan alanlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.4 Çalışmada kullanılan arazi kullanımı ile ilgili eleyici kısıtların kaynak ve sınır gösterim tablosu.

Kriter	Verinin Kaynağı	Kısıtlama	Literatür
Yerleşim Yerleri	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Değirmenci, 2017 – Şimşek, 2020.
Endüstri ve Ticaret Alanları	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Şimşek A., 2014 – Şimşek G., 2020.
Göller	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Baban and Parry, 2001 – Urfalı ve Eymen, 2021.
Tuzla	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Baban and Parry, 2001.
Maki ve Doğal Bitki Örtüsü	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Urfalı ve Eymen, 2021.
Tarım Alanları	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Baban and Parry, 2001 – Şimşek, 2014.
Orman Alanları	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Can ve Yücel, 2019.
Rekreasyon ve Kentsel Yeşil Alan	CORINE	Dışındaki alanlar uygundur.	Urfalı ve Eymen, 2021.

Kuş Göç Yolları

Çalışmada kuş göç yolu için 500 m’lik bir tampon bölge oluşturulmuştur ve bu tampon bölge dışında kalan alanlar uygun kabul edilmiştir.

Çizelge 5.5 Kuş Göç Yollarına uzaklık sınıflandırma tablosu.

Kısıt	Verinin Kaynağı	Uygun	Uygun değil	Literatür
Kuş Göç Yollarına Uzaklık	BirdLife International	500 m- ...	0-500m	Ekiz vd., 2021 – Aitzhanov, 2017

Fay Hatlarına Uzaklık

Bu çalışmada fay hatlarına uzaklık dikkate alınmıştır. Fay hatlarına uzaklık kısıtı için 200 metrelik tampon bölge oluşturulmuştur. Bu alanın dışında kalan alanlar çalışma için uygun kabul edilmiştir.

Çizelge 5.6 Fay Hatlarına uzaklık sınıflandırma tablosu.

Kısıt	Verinin Kaynağı	Uygun	Uygun değil	Literatür
Fay Hatlarına Uzaklık	İTÜ- ATAG	200 m- ...	0-200m	Atıcı vd., 2015 – Aitzhanov, 2017

5.3.2 Karar Verici Faktörler

Çalışmada rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için uygun saha belirlenirken kriterlerin bazıları eleyici kısıt olarak, bazıları ise karar verici faktör olarak belirlenmiştir. Rüzgâr hızı, eğim ve enerji nakil hatlarına uzaklık kesin bir sınırı olmadığı için ve farklı görüşlere açık olduğu için karar verici faktör olarak seçilmiştir. Karar verici faktörlerin derecelendirilmesi için analitik hiyerarşi prosesinden yararlanılarak ağırlıklandırma yapılmıştır.

Rüzgâr Hızı(50m)

Bu çalışmada Rüzgar Enerji Potansiyeli Atlası olan REPA gibi 50 metredeki ortalama rüzgâr hızları dikkate alınmıştır ve faktör olarak değerlendirilerek ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırma için sınıf tablosu aşağıda Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.7 Ortalama rüzgâr hızları sınıflandırma tablosu.

Faktör	Çok Uygun	Uygun	Orta Derecede Uygun	Az Uygun	Çok Az Uygun	Uygun Değil
Rüzgâr hızı	9-10 m/s	8-9 m/s	7-8 m/s	6-7 m/s	5-6 m/s	0-5 m/s 10 m/s-...

Çizelge 5.8 Rüzgar hızı faktör değerlendirilmesi.

Faktör	Verinin Kaynağı	Literatür
Rüzgar hızı	Danimarka Teknik Üniversitesi	Akkaya, 2019 – Değirmenci, 2017

Eğim

Eğim yorumlanabilir bir kriter olduğu için ve değişken tablosu kısa aralıklarla değiştiği için faktör olarak ele alınmıştır. Sayısal yükseklik modelinden oluşturulan eğim aşağıdaki Çizelge 5.9’a göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.9 Eğim(%) sınıflandırma tablosu.

Faktör	Çok Uygun	Uygun	Orta Derecede Uygun	Az Uygun	Çok Az Uygun	Uygun Değil
Eğim(%)	0-5	5-10	10-13	13-16	16-20	20-...

Çizelge 5.10 Eğitim faktör değerlendirilmesi.

Faktör	Verinin Kaynağı	Literatür
Eğitim	EUDEM	Can ve Yücel, 2019 – Urfalı ve Eymen, 2021.

Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

Bu çalışmada enerji nakil hatlarına uzaklık faktör olarak ele alınmıştır. Trafo Merkezlerinin ihtiyaç duyulan lokasyona kurulumu yapılabileceğinden çalışmaya dahil edilmemiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.8'e göre derecelendirilmiştir.

Çizelge 5.11 Enerji Nakil Hatları sınıflandırma tablosu.

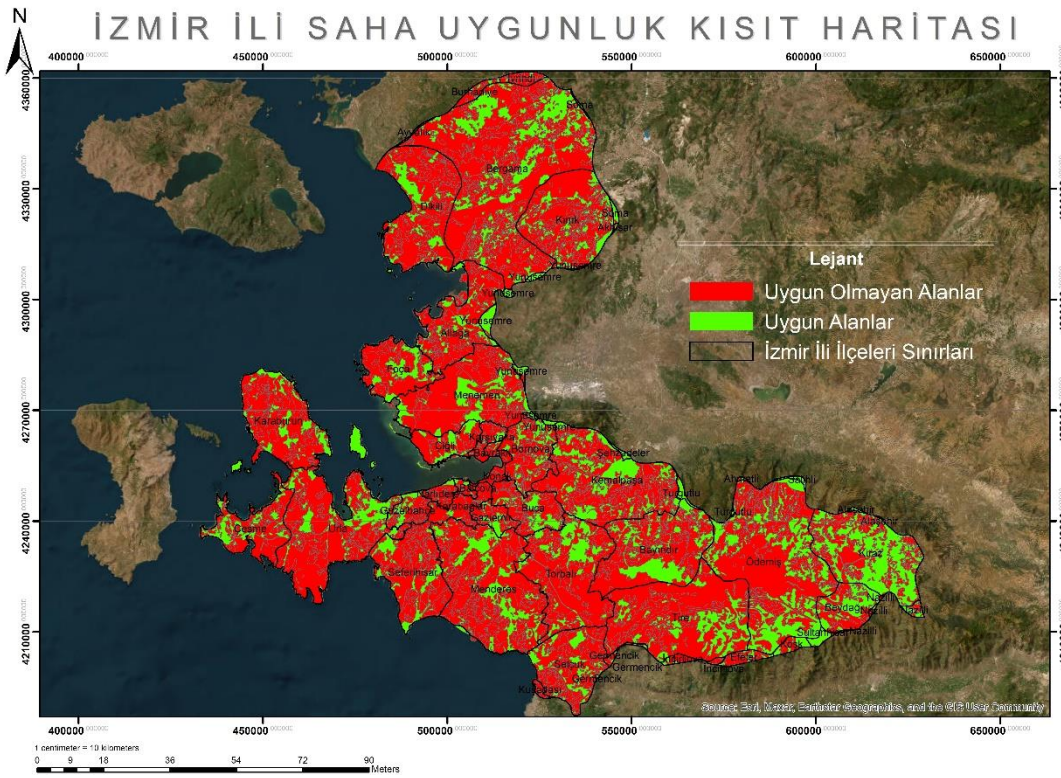
Faktör	Çok Uygun	Uygun	Orta Derecede Uygun	Az Uygun	Çok Az Uygun	Uygun Değil
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	0-100	100-500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-...

Çizelge 5.12 Enerji Nakil Hatları faktör değerlendirilmesi.

Faktör	Verinin Kaynağı	Literatür
Enerji Nakil Hatları	Open Street Map	Urfalı ve Eymen, 2021.

6 BULGULAR VE TARTIŞMA

Başlangıçta saha uygunluğu incelenirken sadece kısıtların kullanıldığı bir harita oluşturulmuştur. Bu haritada önceki bölümde belirtilen tüm kısıtlar ArcGIS programında raster veri setlerine dönüştürülüp yeniden sınıflandırma işlemi yapılarak uygun olan yerler ve olmayan yerler şeklinde belirlenmiştir. Bütün kısıt haritalarının uygun olan yerleri ile uygun olmayan yerleri birleştirilerek son hali Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 İzmir ili için arazi kullanım verisinde kısıtlarla hazırlanmış saha uygunluk haritası.

Yukarıda gösterilen harita eleyici kriter yani kısıt olarak belirlediğimiz kriterlere göre İzmir ili için rüzgâr enerji santrallerinin kurulabileceği uygun ve uygun olmayan sahaları göstermektedir. Haritadaki yeşil yerler uygun olan sahaları, kırmızı alanlar ise uygun olmayan sahaları göstermektedir.

Kısıt Haritası’na (Şekil 6.1) bakılarak yorum yapacak olursak Beydağ, Çeşme, Bergama gibi bazı ilçelerimizde uygun sahalar bulunmaktadır. Zaten İzmir ilindeki hali hazırda bulunan RES’lere bakacak olursak bu bölgelerde daha yoğun

şekilde konumlandığı görülmektedir. Yine kısıt haritasına bakarak Ödemiş ve çevresinin de uygun olduğu gözlemlenmektedir. Öte yandan rüzgâr hızı, eğim, enerji nakil hatları faktörleri ağırlıklandırılarak dahil edildiğinde aynı alanların uygun sahalar olmadığı gözlemlenmektedir.

Ağırlıklandırma işlemi yapılırken oluşturulan grup, çalışmanın kaderini belirlemektedir. Örneğin; bu çalışma için doğrudan rüzgâr enerji ile ilgili görev yapan bir fizik mühendisi ağırlıklandırmasında eğime göre daha önemli kriter olarak enerji nakil hatlarını görmektedir. Öte yandan aynı değerlendirmeyi yapan harita mühendisi için eğitim daha önemli bir kriter olarak belirlenmiştir. Nihayetinde değerlendirmeyi yapan tüm uzmanlar için rüzgâr hızı en önemli kriter olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.2 İzmir ili için elde edilen rüzgâr enerji santralleri saha uygunluk haritası.

Yukarıdaki Şekil 6.2’de gösterilen harita nihai sonuç haritasını oluşturmaktadır. Kısıtlar ve faktörlere göre eleme ve karar verme yapılan bu harita için çok uygun sahalardan az uygun sahalara doğru gösterim kırmızı renginin gradyan olarak tonlaması şeklinde haritanın lejantında gösterilmektedir. Harita oluşturulurken kısıt tanımlaması ile uygun olarak oluşturulan alanlar faktörlerden

elde edilen uygunluk değerlerinden çıkarılmış, daha sonrasında harita oluşturulmuştur.

Saha uygunluk analizi yaparken bazı kriterler gözardı edilmiştir. Bunlardan önemli olanları aşağıda verilmiştir;

- *Trafo merkezlerine uzaklık*; bu kriter enerji nakil hatlarının kurulu olduğu alanlarda ihtiyaç halinde konumlandırılabilceği için bu çalışmada göz ardı edilmiştir.
- *Kapasite Faktörü*; bu kriter, açık bir veri seti bulunamadığından dolayı bu çalışma da kullanılmamıştır.
- *Yükseklik*; rüzgar enerji santrallerinin kurulumu için ortalama yüksekliğin 2000 metreden az olması gerektiği düşünüldüğünde, çalışma bölgesi olarak seçilen İzmir ilinin en yüksek yerinin bile rüzgar enerji santralinin kurulmasına etki edecek farklılıklar göstermediği görülmektedir.
- *Koruma alanları*; çalışmamızın çevresel etki değerlendirmesini yapmak açısından etkin rol oynamaktadır. Ancak bu çalışma için gerekli veriye ulaşılamadığından değerlendirmeye dahil edilmemiştir.
- *Kuş göç yolları*; alınan verideki türler ile sınırlı kalındığından dolayı kesin bir sonuç değerlendirilmesi yapılamamıştır.
- *Kurum bağlantı görüşleri*: kurulum yapılacak sahalarda elektrik dağıtım firmaları tarafından bölge kapasitelerine göre alınan kararlar göreceli olduğu için değerlendirilmemiştir.
- *Mera alanları*; mera alanlarının değerlendirilmesinde çalışmanın bulunduğu bölgenin ekonomik geçim kaynakları, meralık alanları ve bu alanların kullanımının dikkate alınması gerekliliğinden değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Rüzgâr enerjisi için yaptığımız bu çalışma, rüzgârın enerjisinin kullanılabilirliğini arttırmak ve yatırımcıların yatırımlarına uygun alanların bilinebilmesi için sahaların uygunluğunun planlamasını önceden yapabilmeyi sağlamak amacıyla araştırılmıştır. İzmir ili için yapılan değerlendirmeler sonucunda İzmir ili rüzgar enerji santrali sahaları için uygun alanların belirlenmesi ile sonuçlandırıldı. İzmir ili ölçeğinde yapmış olduğumuz bu çalışmanın en önemli kısmı belirlemiş olduğumuz kriterlerdir ve bunların kullanım şeklidir. Her çalışmaya kriterleri yön vermektedir. Bu çalışma kriterlerinin değerlendirilme yöntemleri ile farklılık göstermektedir.

İzmir ili için bulduğumuz uygun sahalar ile halihazırda olan RES'lerin yerlerini karşılaştırdığımızda yaptığımız çalışmada bulunan alanlar ile uyum sağladığı görülmektedir. İzmir ili için ülkemizde rüzgâr enerji santrallerinin ve ölçüm direklerinin ilk kurulumunun yapıldığı ilçe olan Çeşme, birçok rüzgâr enerji santraline ev sahipliği yapmaktadır. Bu çalışmada ulaşılan nihai uygun saha haritasında Çeşme ilçesinin çevresi çok uygun olarak belirlenmiştir. Bergama'da lisans ve kurulum çalışmaları sürmekte olan rüzgâr enerji santralleri bulunmaktadır. Bu da Bergama ilçesini yatırımcıların rüzgâr enerji santrali kurulum planlamasında tercih edilebilir hale geldiğini göstermektedir. Yapılan çalışma sonucunda da bu tercihin elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Rüzgâr enerji santrallerinin yer seçiminde belirlenecek olan kriterler çoğaldıkça uygun sahalar daha doğru sonuçlar ile karşımıza çıkacakmış gibi görülse de bazı kriterler dahil edildiğinde aynı sonuçlar elde edilebilmektedir. Örneğin; bu çalışma için kullanılan ve Open Street Map' den elde edilen karayolları verisinde İzmir ili içindeki tüm yollar dahil edildiğinde çalışmanın kısıt sonuç haritasındaki değişikliklerin gözle görülebilir olmadığı görülmektedir. Bu duruma örnek oluşturmuştur.

Çalışmanın sonucunda İzmir ilinin rüzgâr enerjisinin kullanımı açısından uygun alanlara sahip olduğunu ancak Bergama, Çeşme, Kemalpaşa gibi ilçelerimizin daha tercih edilebilir olduğunu gözlemlemekteyiz.

Bu çalışma kendinden sonraki çalışmalara örnek olması sebebiyle ve diğer çalışmaların yönlendirmesine katkısıyla önem taşımaktadır. Çalışmanın sonraki aşamalarında kriterlerin değerlendirme yöntemleri değiştirilebilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Altınışik, A.**, (2020). İzmir İli için Fotovoltaik Güç Santralleri Yer Seçiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Gerçekleştirilmesi. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- Aitzhanov, C.** (2016). Site Selection Technique For Wind Turbine Power Plants Utilizing Geographical Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP) (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkaya, N.**, (2019). Rüzgâr Enerji Santralleri için Uygun Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Belirlenmesi: Tekirdağ İli Örneği, (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Atıcı, K. B., Şimşek, A. B., Ulucan, A., & Tosun M. U.** (2015). A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.
- Arca, D., & Çıtıroğlu, H. K.** (2020). Rüzgâr Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(2), 168-176.
- Artun, O.** (2020). Determination of the Suitable Areas for The Investment of the Wind Energy Plants (WEP) in Osmaniye Using Geographic Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). *European Journal of Science and Technology*, 20, 196-205.
- Atıcı, K. B., Şimşek, A. B., Ulucan, A., & Tosun M. U.** (2015). A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.
- Aydın, F.** (2016). Enerji Bitkisi Yetiştirilebilecek Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Desteği ile Tespiti, (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baban, S. M. J., & Parry, T.** (2000). Developing and Applying A GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms in The UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59-71.
- Başkurt, Z.M.** (2017). Nükleer Santraller için Yer Belirleme Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi. 45- 49.
- Can, G., & Yücel, M. A.** (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- Çelikkilek, Y.** (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Dalbudak, E., Rençber, Ö. F.,** (2022). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Literatür İncelemesi.
- Değirmenci, S., Bingöl, F., Sofuoğlu, C.S.,** (2017). Türkiye’de Rüzgâr Tarlası Arazilerinin Çok Kriterli Karar Analizi Kullanılarak Belirlenmesi. 4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, 28-30 Eylül 2017, İzmir.
- Doğan, E., Doğan, S., Tüzer, M.,** Küresel Isınma ve İklim Değişikliği: Bilimsel Uzlaşmadan Politik Ayrışmaya, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Yıl:19 Sayı:39 Güz:2020/3 s.1453-1484 DOI: <https://doi.org/10.46928/iticusbe.759056>.
- Eren, M. E.,** (2019). Güneş Enerji Santrallerinin Kurulacağı Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- Ekiz, S., Şirin, A., Erener, A.,** (2022). En Uygun Rüzgâr Enerji Santrali Yerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi: Kocaeli İli Örneği. Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmit, Kocaeli, Türkiye.
- Gerçek, Y.,** (2018). Güneş Enerji Santralleri İçin CBS ile En Uygun Yer Tayini: Malatya İli Örneği.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Goodchild, M.F.**, (1991). Geographic information systems, Progress in Human Geography 15, 2 (1991) pp. 194-200.
- Güçlüer, D.**, (2010). Güneş Enerji Santralleri Kurulacak Alanların CBS – Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güllüdağ, C.B., Altunsoy, M.**, (2018). Türkiye’de CBS Tabanlı Kömür Maden Bilgi Sistemi (KMBS) Kurulmasında Kullanılacak Bazı Kriterler. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya.
- Güner, E. D., Tekin, S., Çilek, A., Çilek, M. Ü.**, (2021).Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(1), ss. 11-24, Mart 2021.
- Kabak, M., Ersöz F.**, (2010). Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması, The Journal of Defense Sciences, Cilt 9, No 1, 97 – 125.
- Kadioğlu S., Tellioğlu Z.**, (1996). Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri, TMMOB Türkiye Enerji Sempozyumu, s. 55-67, 1996.
- Kaimbekova, A.**, (2020). Güneş Enerjisi Santrali Kurulumuna Uygun Alanların Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemleri ile Belirlenmesi (Türkistan, Karaganda, Kazakistan).
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ.** (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makina, 59(692), 86-114.
- Latinopoulos, D., & Kechagia K.** (2015). A GIS-Based Multi-Criteria Evaluation For Wind Farm Site Selection. A Regional Scale Application in Greece. Renewable Energy, 78, 550-560.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Memduhoğlu, A., Özmen, G., Göyçek, G., & Kılıç, F.** (2014). Rüzgâr Türbini Kurulacak Alanların CBS – Çok Ölçütlü Karar Analizi Kullanılarak Belirlenmesi: Davutpaşa Kampüsü. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim, İstanbul.
- Mwanza, M.**, (2019). Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Santralleri için Sürdürülebilir Sahaların Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- Özçiçek, Ö., Ağpak, F.**, (2018). Yenilenebilir Enerji Kullanımında Toplumsal Bilgi Stokunun Rolü.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K.** (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir CBS Analizi: Hatay Örneği. TÜBAV Bilim Dergisi, 6(2), 1-18.
- Pala, O.** (2013). Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Saaty, T. L.** (1986). Axiomatic Foundation of The Analytic Hierarchy Process. Management Science, 32(7), 841-855.
- Saaty, T. L.** (1990). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 48, 9-26.
- Saaty, T. L.** (1994). How to Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces, 24(6), 19-43.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G.** (2001). The Decision by The US Congress on China's Trade Status: A Multicriteria Analysis. In: Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, (s.305-317).
- Sarptaş H.**, (2020). Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, Enerji Teknolojileri Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sarsıcı, N.,** (2020). Karabül İlinde Güneş Enerji Santrali (GES) Kurulabilecek Alanların Çok Ölçütlü Karar Analizi ile Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Şimşek, A. B.,** (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterleri Karar Analizinin Rüzgâr Türbini Yer Seçim Probleminde Uygulanması.
- Şimşek G., Doğru A.Ö.,** (2019). Rüzgâr Haritası Üretimine Yönelik Uygun Ara Değer Hesap Yöntemi Seçimi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25 -27 Nisan 2019, Ankara.
- Urfalı, T., Eymen, A.,** (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi.
- Ünaldık, S. B.,** Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Yer Seçimi Kararı Üretimi'nde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı.
- Yarahoğlu, K.** (2001). Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Proses. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 16(1), 129-142.
- Yomraloğlu, T.,** (2000). Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Nominal Taşınmaz Değerlemesi ve Örnek Olay Analizi.
- Yılmaz, O. Y.,** (2006). Coğrafi Bilgi Teknolojilerinde Özgür Yazılım. Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi Sayı:95

URL1 <https://www.sciencedirect.com/>

MGM (2020): URL2 <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=IZMIR>

URL3 <https://www.enerjiatlasi.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/izmir>

URL4

https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

EMBER(2023),Global Electricity Review 2022. <https://ember-climate.org/app/uploads/2022/03/Report-GER22.pdf>

MGM (2021): İzmir ilinin İklim Durumu. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://izmir.mgm.gov.tr/files/iklim/izmir_iklim.pdf

STB (2021): Rüzgar Enerjisi Sektörü ve İzmir Denizüstü Rüzgar Enerjisi Yol Haritası. İzmir Kalkınma Ajansı. https://izka.org.tr/wp-content/uploads/2021/08/ruzgar_enerjisi_sekto%CC%88ru%CC%88-izmir_denizustu_ruzgar_enerjisi_yol-haritasi.pdf

SBB (2023): On Birinci Kalkınma Planlı. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr>

TEŞEKKÜR

Başta yüksek lisans eğitimi ile eğitimime devam etmemi tüm kalbiyle isteyen ve destekleyen ve hatta yüksek lisans çalışmalarında manevi anlamda benden daha fazla çabalayan canım annem Semray Cengiz'e, bana ne istersem ne zaman istersem o zaman her şeyi kendim için yapmam gerektiğini öğütleyen canım babam Ali Cengiz'e ve her zaman arkamda olduğunu bildiğim canım ablam Fatma Senem Seven, canım eniştem Zafer Seven, güzel yeğenlerim Mila Seven'e ve Naz Seven'e sevgiyle teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca olduğu gibi tüm hayatımı da paylaştığım, en büyük destekçim, yol arkadaşım, canım eşim Yüksek Harita Mühendisi Can Boz'a tüm kalbimle teşekkür ederim. İrem Cengiz olarak başladığım yüksek lisans eğitimimi yine onun sayesinde İrem Cengiz Boz olarak bitirmekten mutluluk duyuyorum.

Bu çalışma süresince gerekli verilerin sağlanmasında kolaylık gösteren Ege Üniversitesi'ndeki değerli hocalarım ve kıymetli çalışanlarına, özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım ve yakın ilgisini esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan Sarptaş'a, tezin biçimlenmesinde değerli katkılarını aldığım sevgili dostum Enerji Yüksek Mühendisi Utku Aybey'e teşekkürü bir borç bilirim. Enstitü de bulunduğum kısa süre zarfında güler yüzlü tavırları ve keyifli dersleriyle eğitimi keyifli hale getiren Dr. Öğretim Üyesi Neslihan Çolak Güneş'e teşekkür ederim. Yine lisans hayatım boyunca yanımda olan kıymetli bilgilerini benden esirgemeyen, sayın hocalarım, Öğr. Gör. Ömer Bilginer'e ve Dr. Öğr. Üyesi Osman Sami Kırtıloğlu'na, yüksek lisans hayatımda bilgilerinin bana yeni ufuklar açtığını düşündüğüm, uzaktan benimle bilgilerini paylaşan, desteğini sakınmayan Prof. Dr. İbrahim Öztuğ Bildirici hocama teşekkürü borç bilirim. Ayrıca Bird Life kurumu Coğrafi Bilgi Sistemleri geliştirici sorumlusu Mark Balman'a anlayışlı ve kibar yaklaşımıyla, hızlı verdiği cevapları ve desteği için teşekkür ederim.

İrem CENGİZ BOZ

ÖZGEÇMİŞ

İREM CENGİZ BOZ

AMAÇ:

Bugüne kadar kazanmış olduğum iş deneyimimi daha üst düzeye çıkarabilmek, mesleğimde yeni şeyler öğrenmek ve uzmanlaşmak teknik amacımdır. Bununla birlikte iş hayatında kendimi en iyi şekilde göstermek isterim.

EĞİTİM:

Eylül 2013– Ocak 2019

Lisans İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü (%100 İngilizce Eğitim Programı).

2008-2012

Lise Bornova Anadolu Lisesi, Fen Matematik Bölümü (İngilizce Eğitim

Mart 2020- Mayıs 2023

Yüksek Lisans Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Enerji Teknolojileri Anabilim dalı.

DİLLER:

Türkçe,

İleri düzeyde İngilizce, (B2)

Başlangıç seviyesinde Lehçe,

Başlangıç seviyesinde Rumence,

Temel düzeyde Fransızca, (A2).

SERTİFİKALAR:

Mayıs 2016

Başarsoft MapInfo Eğitimi

Şubat 2015

TMMOB HKMO 15.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı

Ekim 2016

TMMOB HKMO 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu

Nisan 2017

TMMOB HKMO 16.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı

Mayıs 2015

TMMOB HKMO Genç Haritacı Günleri

Ekim 2017

ISGGG

Mayıs 2018

FIG 2018 –Federal International Geodesy Congress.

Eylül 2018

UZAL CBS- Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu

Aralık 2018

Başarsoft MapInfo Pro

STAJLAR:

Ağustos 2016

Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü Etüt Proje Başmühendisliği

Harita Yüksek Mühendisi Bircan Parmaksız ile birlikte Denizli Honaz yolunu 10 km'den 12 km ye genişlettik. Başmühendis Zühtü Düzen ile kontrol ettik.

Ağustos 2017

EMAY Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş bünyesinde Mühendis Erhan Küçük şefliğinde Teknik Destek Zafer Pehlivan yardımıyla NETCAD üzerinde yol projelendirme üzerine çalışmalar yaptık ve yol bilgisine dair gerekli kontrol hesaplamalarını yaptık.

İŞ DENEYİMİ:

Ocak 2022 – Halen.

Edirne ili Keşan ilçesinde meslektaşım olan eşim ile kurduğumuz Boz Harita Mühendislik ofisimizde serbest haritacılık işlemleri dahilinde Aplikasyon krokisi hazırlama, tevhid dosyası düzenleme, cins değişikliği işlemlerini gerçekleştirme. İlgili kadastro birimi ve belediyeden evrak takibi.

İmar barışı uygulamaları ve hatalı bağımsız bölüm düzeltme işlemleri.

Bunun yanı sıra ofis arşivini düzenleme gerekli talep işlemlerini açma, diğer birimlere gidecek evrakların kontrolünü sağlama. Arazi de işlerin kontrolü.

Ağustos 2020 – Ocak 2021

Marmaris Lisanslı Harita ve Kadastro Bürosu, Muğla, Kontrol Mühendisi.

Aplikasyon krokisi hazırlama, tevhid dosyası düzenleme, cins değişikliği işlemlerini gerçekleştirme. İlgili kadastro birimi ve belediyeden evrak takibi.

İmar barışı uygulamaları ve hatalı bağımsız bölüm düzeltme işlemleri.

Bunun yanı sıra ofis arşivini düzenleme gerekli talep işlemlerini açma, diğer birimlere gidecek evrakların kontrolünü sağlama. Arazi de işlerin kontrolü.

Temmuz 2015 – Eylül 2018

DEWI Danışmanlık, UL Company, İzmir, Bilgisayarlı Harita Geliştirme Uzmanı.

Mühendislerin teknik anlamda iş yükünü hafifletmek ve koordinasyona yardım etmek. Enerji sektöründeki yenilenebilir enerji projelerinin veri analizlerini yaparak, haritalarını sayısallaştırmak. Haritaları sunuma hazır hale getirmek. Proje dosyalarını oluşturmak ve raporlarıyla sunuma ve teklife hazır hale getirmek.