



**RÜZGÂR SANTRALLERİNİN YER SEÇİMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ:
KONYA İLİ UYGULAMASI**

Gözde TAŞKINÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Gözde TAŞKINÖZ tarafından hazırlanan “RÜZGAR SANTRALLERİNİN YER SEÇİMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: KONYA İLİ UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KABAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

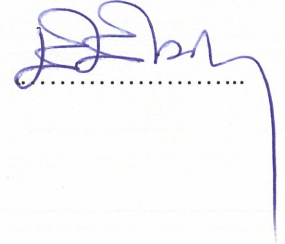
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

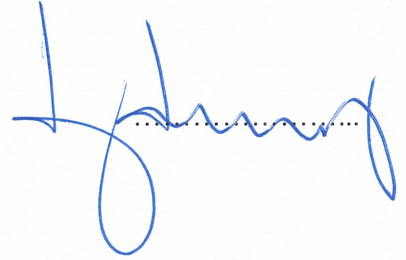
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN

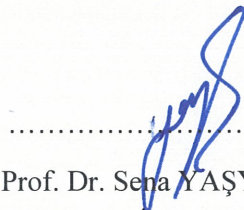
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 17/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gözde TAŞKINÖZ

17/06/2019

RÜZGÂR SANTRALLERİNİN YER SEÇİMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: KONYA
İLİ UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Gözde TAŞKINÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2019

ÖZET

Enerji hayatın devamlılığı açısından vazgeçilmez bir öğedir. Enerjiye olan ihtiyaç arttıkça enerji üretimi çalışmaları da artmaktadır. Hızla artan dünya nüfusu ve enerjiye olan talep kıt kaynakların yanı sıra insanları yeni enerji kaynakları aramaya itmiştir. Enerjiyi elde etmek için yüzyıllardır geliştirilmiş yöntemler artık sürdürülebilirliğini yitirmektedir. Bu nedenle enerji üretimi sadece kâr amacıyla yapılmamakta, enerjinin sürekliliği, elde edilme şartları, çevreye etkileri açısından da önem taşımakta, gün geçtikçe sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Bu enerji kaynaklarından en önemlilerinden birisi olan rüzgâr enerjisi hızla artan bir trendle enerji üretimi alanında gelişmeye ve geliştirilmeye açık sürdürülebilir bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisi; yel değirmenlerinden rüzgâr türbinleri ve rüzgâr santrallerine uzanan bir süreç yaşamış, teknolojinin ilerlemesiyle gelişen türbin tasarımları elde edilen enerjinin verimini de artırmıştır. Rüzgâr enerjisi elektrik enerjisi üretimi için yatırım yapmaya uygun bir enerji dalıdır. Çalışma, rüzgâr enerjisinin kuruluş aşamasındaki en önemli konularından biri olan santral sahası yer seçimi konusuna odaklanmaktadır. Yatırımların daha çok kıyı bölgelerde yapılması ve iç bölgelerdeki potansiyellerin farkedilmemesi nedeniyle çalışma iç bölgelerin farkındalığını arttırmak amacıyla ve coğrafi gerekçelerle yatırıma elverişli olduğu için Konya ilinde yapılmıştır. Yer seçimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulaması olan ArcGIS ve bir tamsayılı programlama modelinin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr santrali yer seçimi için göz önünde bulundurulması gereken kriterler belirlenmiş kriterlere eşit ağırlıklandırma yapılarak ArcGIS'e veriler girilmiştir. Kriterleri sağlayan uygun alternatifler maliyet minimizasyonu temelli tamsayılı modelle kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada birim enerji maliyeti minimize edilirken türbin sayısı kilometrekare başına standart bir sayı üzerinden belirlenmiştir. Türbin tipi olarak standart tek tip türbin kullanıldığı durum için değerlendirme yapılmıştır.

Bilim Kodu : 90608
Anahtar Kelimeler : Rüzgâr, Yenilenebilir Enerji, Yer Seçimi, Coğrafi Bilgi Sistemi,
Tamsayılı Programlama
Sayfa Adedi : 79
Danışman : Prof. Dr. Mehmet Kabak

SUGGESTION OF A MODEL FOR LOCATION OF WIND TURBINES:

APPLICATION FOR KONYA PROVINCE

(M. Sc. Thesis)

Gözde TAŞKINÖZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Energy is an indispensable element in the continuity of life. As the need for energy increases, energy production studies increase as well. The rapidly growing world population and the demand for energy have led people to seek new sources of energy except for scarce resources. The methods that have been developed for centuries to achieve energy are losing their sustainability. For this reason, energy production is not only made for profit but it is also critical in terms of the continuity of energy, production conditions and environmental effects and the orientation towards sustainable energy resources are increasing. Wind energy, one of the most important energy sources, is a rapidly growing trend and is a sustainable source open to development in the field of energy production. Wind power production transitioned from wind turbines to and wind power plants throughout the years, also with technological developments in turbine designs, the efficiency of energy obtainment went up. The wind energy used to prevent the energy problem caused by the consumption of scarce resources will be one of the most important energy sources in the future as it is today. Wind energy is a branch in electrical energy production that is suitable for investment. This study focuses on plant site selection, which is one of the most important issues regarding wind energy in the establishment phase. As the investments were mostly made in coastal regions and the potentials in the inner regions were not realized, the study was conducted in Konya to increase the awareness of the inner regions and to be suitable for investment on geographical grounds. The choice of location was carried out by using Geographic Information Systems application ArcGIS and a integer programming model together. The criteria to be taken into consideration for wind plant selection are determined and data have been entered into ArcGIS considering equal weight factors to each specified criteria. The appropriate alternatives that satisfy the criteria are compared with the integer model based on cost minimization. In this study, while the unit energy cost was minimized, the number of turbines per square kilometer was determined by a standard number. Regarding the turbine type, the evaluation is made for the case where a standard uniform turbine is used.

Science Code : 90608

Key Words : Wind, renewable energy, facility location, Geographic Information System, integer programming.

Page Number : 79

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet Kabak

TEŞEKKÜR

Eğitim sürecimi ve başarılarımı sağlığında görmeyi çok arzu eden, her zaman benimle gurur duyan, içimdeki başarıma gücünü ve azmini kendisinden aldığı ancak ömrü vefa etmeyerek aramızdan ayrılan çok sevgili babam Merhum Ahmet TAŞKINÖZ'ün aziz anısına ithaf etmek istiyorum. Ruhu şâd olsun. Çalışmalarım süresince değerli zamanını bana ayıran ve desteklerini benden esirgemeyen ve bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan değerli tez danışmanın Prof. Dr. Mehmet KABAK'a, Arş. Gör. Ahmet AKTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bir parçası olmaktan her zaman gurur duyduğum Türk Savunma Sanayii öncü şirketi ASELSAN A.Ş.'ye tezimi yazma imkânı sunduğu için şükranlarımı sunarım. Yüksek Lisans eğitimim süresince gerek ders gerek tez dönemimde her zaman yardımcı olan arkadaşlarım Sinem AKALIN ve Hatef JAVADI'ye teşekkürü borç bilirim. Ve son olarak başarılarımla sevinen, üzüntülerimle üzülen, eğitim hayatım boyunca bana hep destek veren, her umutsuzluğa düştüğümde tekrar ayağa kalkmamı sağlayan, bana benden çok güvenen annem Asuman TAŞKINÖZ ve kardeşim Gökhan TAŞKINÖZ'e sabırları ve güvenleri için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	5
2.1. Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi	7
2.1.1. Dünyada rüzgâr enerjisi.....	10
2.1.2. Türkiye’de rüzgâr enerjisi	12
3. RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNİN GENEL YAPISI.....	19
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	27
5. YÖNTEMLER	41
5.1. CBS’ye Genel Bakış.....	43
5.2. Tamsayılı Programlamaya Genel Bakış	47
6. UYGULAMA.....	49
6.1. Kısıt ve Parametrelerin Belirlenmesi	51
6.2. ArcGIS ile Uygun Alanların Belirlenmesi	53
6.3. Tamsayılı Model ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi.....	63
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	71

Sayfa

KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Boyutuna göre rüzgâr türbinlerinin karşılaştırılması [27]	24
Çizelge 3.2. Rüzgâr yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması [27].....	24
Çizelge 3.3. Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması [27]	25
Çizelge 4.1. Rüzgâr enerjisi literatür çalışmaları	28
Çizelge 4.2. Tamsayılı programlamanın yenilenebilir enerji alanında kullanımları	37
Çizelge 6.1. Literatürde kullanılan rüzgâr santrali yer seçimi kriterleri	49
Çizelge 6.2. Rüzgâr santrali yer seçimi kriterleri	50
Çizelge 6.3. Rüzgâr santrali yer seçimi faktörleri.....	51
Çizelge 6.4. Rüzgâr santrali yer seçimi kısıtları	52
Çizelge 6.5. Rüzgâr santrali yer seçimi kriterleri	52
Çizelge 6.6. Rüzgâr santrali çevresel etki kısıtları.....	53
Çizelge 6.7. Parametreler	64
Çizelge 6.1. Duyarlılık analizi	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya yıllık kurulu rüzgâr kapasitesi [20].....	11
Şekil 2.2. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum [26]	13
Şekil 2.3. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri için yıllık kurulum [26]	14
Şekil 2.4. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri için yıllık elektrik üretimi [23]	15
Şekil 2.5. Türkiye’deki rüzgârdan elektrik üretiminin önceki yıllara göre artışı [23]....	15
Şekil 2.6. EPDK 2017 Raporu’na göre Türkiye’de lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında gelişimi.....	16
Şekil 2.7. Türkiye’de rüzgâr santrallerinin elektrik tüketimini karşılama oranı [26].....	16
Şekil 2.8. İşletmedeki RES’lerin türbin markalarına göre dağılımı [26].....	17
Şekil 2.9. İşletmedeki RES’lerin bölgelere göre dağılımı 2018 [26]	18
Şekil 2.10. İşletmedeki RES’lerin illere göre dağılımı [26]	19
Şekil 3.1. Rüzgâr türbin çeşitleri [27].....	22
Şekil 5.1. Süreç akış şeması.....	42

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. James Blyth tarafından 1887'de geliştirilen ilk rüzgâr türbini [6].....	8
Resim 2.2. Charles Brush tarafından 1887'de geliştirilen otomatik çalışan ilk rüzgâr türbini [16]	9
Resim 5.1. Grafiksel ve sözel verilerin coğrafi yapısı [63]	44
Resim 5.2. Coğrafi tabakaların oluşturulması ve birleştirilmesi [63].....	45
Resim 5.3. Coğrafi verilerin düzenlenmesi [63].....	45
Resim 6.1. Gams'de küme, değişken ve parametrelerin tanımlanması	65
Resim 6.2. Gams'de eşitliklerin tanımlanması	66
Resim 6.3. Modelin optimal çözüm önerisi	67

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 6.1. Havaalanı mesafe kısıtları.....	54
Harita 6.2. Karayolu haritası.....	55
Harita 6.3. Afet bölgesi.....	55
Harita 6.4. Su kaynakları haritası.....	56
Harita 6.5. Trafo merkezleri haritası.....	58
Harita 6.6. Konya ili REPA haritası.....	59
Harita 6.7. REPA ve tüm kriterler haritası.....	60
Harita 6.8. Mevcut RES ve alternatif RES'ler.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

CO	Karbon Monoksit
CO₂	Karbondioksit
Dk	Dakika
GW	Gigawatt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
MW	Megawatt
M	Metre
NO	Azot Oksit
Sn	Saniye
SO₂	Kükürt Dioksit

Kısaltmalar

Açıklamalar

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DOP	Doğrusal Olmayan Programlama
DP	Doğrusal Programlama
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
MS	Milattan Sonra
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
USD	Amerikan doları

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu arttıkça enerjiye olan ihtiyaç artmakta bu da enerji üretimi için çalışmaların arttığını ve gelecekte de artacağını göstermektedir.

Ekonomik ve sosyal hayatın en önemli girdisi olan enerji ihtiyacı dünyanın gelişmesi ve teknolojik gelişmelerle de artış göstermektedir. Gelişmişliğin göstergesi olan enerjiye ve enerji kaynaklarına sahip olma durumu uluslararası gücün önemli bir unsurudur. Dünyanın liderliğini elinde tutma becerisi büyük ölçüde enerji kaynaklarına hâkim olmakla yakından ilişkilidir. Örneğin 19. yüzyılda sanayi devrimi ile birlikte İngiltere kömüre hâkim olduğu için “kömür çağı” olarak adlandırılan dönemin süper gücü olarak adlandırılırken bu güç 1945 yılından itibaren petrole hâkim olan ABD’nin eline geçmiştir [1].

Enerji kaynaklarının yarattığı rekabet ve enerji kaynaklarına sahip olmanın sağladığı dünya liderliğinin yanında kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yetersizliği ve olumsuz etkileri tüm dünyayı etkisi altına almaktadır. Dünyada kullanılan kaynakların yanında yeni kaynaklara da yönelme ve fosil kaynaklara bağımlılığın azalması önem kazanmakta ve rekabeti daha da tetiklemektedir.

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların iklim değişikliğine yol açmasının nedeniyse, yanma sırasında ortaya çıkan CO₂ ve metan gibi sera gazlarının bünyelerinde ısı tutma özelliğine sahip olmalarıdır. Güneş, gün doğumundan batımına kadar atmosferin içine ısı ve ışığını verir. Doğal döngünün devamı için, bu ısının tekrar uzaya transferi gereklidir. Oysa fosil yakıtların neden olduğu sera gazları, ısının bir kısmının atmosferde tutulmasına yol açar. Böylece dünya ısınmaya ve iklim değişmeye başlar [2].

İnsanın çevre üzerinde olumsuz etkileri doğanın kirlenmesi, küresel ısınma gibi ekolojik krizlere yol açmaktadır. Bu ekolojik krizlere neden olan olumsuz etkilerin en önemli sebeplerinden birisi enerji üretiminde fosil yakıtların kullanımıdır. Enerji ihtiyacının karşılanması gerekse de bunun üretimi ve tüketiminde fosil yakıtlara yönelim oranının yüksek olması insan sağlığı ve doğayı olumsuz etkilemektedir [3].

Küresel ısınmanın artması ve çevre faaliyetlerinin önem kazanmasıyla enerji konusunun önemi daha da artmıştır. İklim değişikliği ve enerji kaynaklarının tükenir olması, yeni ve

süreklilik sağlayan kaynaklara yönelimi arttırmıştır. Bu sebeple yenilenebilir enerjiye yönelimler olmuş, fosil enerji kaynaklarının yanında yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılmaya başlanmıştır [4].

Yenilenebilir enerji kaynakları enerji ihtiyaçlarının dışa bağımlılık olmadan karşılanmasını, enerji üretiminde çevreye ve insana verilen zararların azaltılmasını sağlamakta önemli bir yere sahiptir. Günümüzde dünya genelinde enerji tüketiminin %20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıtların kullanım oranı daha yüksek görünse de yenilenebilir enerjiye olan eğilim giderek artmaktadır. Türkiye coğrafi konumu sayesinde bütün yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi yapabilme imkânına sahiptir. Özellikle hidrolik, rüzgâr ve güneş enerjisi bakımından Avrupa Birliği ülkeleri ile kıyaslandığında son derece yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir [4].

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi en önemli enerji kaynaklarından birisi olarak gösterilebilir. Büyük yatırım hacmi olan ve birçok insana iş imkânı sağlayan rüzgâr enerjisi geçmişte yeterli farkındalık sağlanamadığından ilerlemesi daha kısıtlı olsa da dünyada pek çok insana elektrik sağlamakta, devletin de katkı ve teşvikleriyle gelişimi her gün daha da hız kazanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kapasitesi bakımından rüzgâr enerjisi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca elektrik üretiminde rüzgâr enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır.

2015 yılında Danimarka'nın toplam enerji üretiminin neredeyse yarısı rüzgâr enerjisi tarafından karşılanmıştır. Almanya'da bu oran %60; Uruguay, Portekiz, İrlanda ve İspanya'da ise %15 civarlarındadır. ABD dünyanın en büyük rüzgâr enerjisi üreticilerinden biri olmasına rağmen elektrik üretiminde rüzgâr enerjisi payı %4,5'te kalırken, Çin'de %3,2'de kalmaktadır. Dünyada yıllar itibarıyla elektrik üretiminde rüzgâr enerjisi kullanım oranı giderek artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre 2050 yılına gelindiğinde dünya üzerinde kullanılan elektriğin %18'lik kısmının rüzgâr enerjisi tarafından sağlanacağı tahmin edilmektedir [5].

Danimarkalı bilimadamı Paul LaCour 1891'de rüzgârdan elektrik ürettiğinden beri rüzgâr enerjisi kıt kaynaklara karşı umut vaad eden bir alternatif enerji kaynağı olmuştur. Rüzgâr enerjisinin kullanım talebinin artmasında karbondioksit emisyonunu ve sera gazlarının

etkisini azaltması, hava kirliliğini ve diğer zararlı gazların etkisini azaltması, su tasarrufu sağlaması, iş imkânı sağlaması ve en önemlisi elektrik enerjisi üretiminde dışa bağımlılığı azaltmasının etkileri vardır. Rüzgâr enerjisinin olumsuz etkileri; düşük, bölgesel ve kontrol edilebilirdir. Bu yüzden rüzgâr enerjisi dünyada gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve gelişmektedir [6].

Günümüzde Türkiye’de ve dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji üretiminde en büyük payı hidrolik enerji olsa da olgunluğa erişmiş bir kaynak olması açısından gerek mevcut yatırımlar gerekse gelecek için başka alternatiflerin yıldızının parlaması beklenmektedir. Bu çalışmanın da konusu olan rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ile birlikte son yıllarda üzerinde en fazla çalışılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Gelecekte de rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki payının artması beklenmektedir. Rüzgâr türbinlerinin ortalama işletme ömürleri 20 yıl civarında olsa da rüzgâr enerji santrallerinin özellikle kurulum aşamasında maliyetleri oldukça yüksektir. Dolayısıyla yapılacak olan yatırımdan en yüksek faydayı sağlamak için santral kurulacak sahanın yerinin seçimi hayati önem taşımaktadır [7].

Büyüyen rüzgâr enerjisi talebi ve artan rüzgâr santralleri nedeniyle rüzgâr enerjisi kurulumuna uygun bölgeler her yıl azalmaktadır. Ülkemizde de başta Ege Bölgesi olmak üzere rüzgâr santrali yerleşimlerinin şartları elverişli olduğu için daha çok kıyı bölgelerde olduğu dikkat çekmektedir.

Güney kıyılarında ve iç kesimlerde daha az olan rüzgâr santrali kurulumu için bu bölgelerin elverişliliğinin farkındalığını arttırmak üzere bu çalışmada iç bölgelerin güneyine denk gelen Konya ilinde yapılmıştır. Bu çalışma iç kesimlerdeki farkındalığı arttırmanın yanısıra bu bölgelerdeki alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesine ve uygun yerlerin tespitine imkân sağlamaktadır.

Rüzgâr enerjisi yer seçimi; coğrafi kısıtlar, ulusal ya da yasal engeller, özel koruma bölgeleri (milli park, doğal yaşam alanı vb) elektrik şebekeleriyle entegrasyon zorlukları gibi göz önünde bulundurulması gereken problemleri beraberinde getirmektedir. Enerji kaynağının başarılı sonuç vermesi ve uygun bölge seçiminde türbin yerleşimi için rüzgâr hızı en önemli faktör olmasına rağmen teknik gerekliliklerin yanında fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel ve politik gereklilikler de kullanılacak bölgede dikkat edilmesi gereken kısıtlardır.

Rüzgâr çiftliği kurulumunda çevresel etkiler önemlidir. Ve çevresel etkiler insanlar üzerinde (türbin gürültüsü, görsel etki), ekosistem üzerinde (kuşlar ve yarasaların doğal yaşam alanlarına zarar verebilir) etkilidir. Rüzgâr çiftliği kurulumunda ekonomik olarak arazi maliyeti, yol inşaatları göz önünde bulundurulmalıdır. Sosyal ve politik olarak önemli gereklilikler ise bölgede oturanlar tarafından projenin kabul edilmesi ve mevzuata uygunluktur. Bu karmaşık karar verme süreci, karar alternatiflerini ve karar verici tercihlerini birleştirecek bir araca ihtiyaç duymaktadır.

Sayısal ya da görsel birçok kriterin eşit ya da farklı önceliklendirmelerle aynı anda değerlendirilmesi her ortam için uygun değildir. Ancak haritada tespit edilen bir alanın her bir kriterin derecesine göre değerlendirilmesi ve ardından farklı yapıdaki kriterlerin eş zamanlı olarak aynı bölge için üst üste konularak bir sonuç vermesi işlemi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile sağlanabilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) alternatiflerin kişisel tercihlere göre değerlendirildiği bir karar verme sürecine dayanmaktadır. Kişisel tercihler; karar verici, yönetici, paydaş ya da ilgili bir grup tarafından yapılabilir. CBS karar vericiye coğrafi data sağlarken, eşit ağırlıklandırmanın uygun alternatifleri sağlamadığı durumlarda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniği karar vericiye rehberlik eden metodolojiye katkıda bulunur. Bu nedenle genellikle CBS ve ÇKKV birlikte kullanılarak, dönüştürülen coğrafi data ve karar vericinin tercihleri birleştirilir ve spatial karar verme problemi optimal sonuca ulaşılır.

Bu çalışmada Konya ili rüzgâr santrali yer seçimi çalışması yapılırken kriterlere göre CBS ile değerlendirilen bölgede alternatifler tespit edilmiş ardından alternatifler maliyet temelli tamsayılı programlama modeli oluşturularak en uygun alternatif tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji, insanların günlük yaşamlarını sürdürmeleri için gereklidir. Toplumların evrimi, tarih boyunca geliştirdikleri ve kullandıkları enerji kaynaklarına bağlı kalmıştır. Gelecekteki gelişmeler de aynı biçimde enerji kaynaklarının yeterliliğine dayanacaktır. Enerjinin zaman içinde artan miktarlarda bulunamayacağının, hatta uzun vadede tükeneceğinin bilinmesi, enerjinin geleceğiyle ilgili ciddi kaygılara neden olmaktadır [8].

Yüksek hızlı nüfus artışı ve sanayinin gelişmesi ile enerji gereksinimi mevcut kısıtlı kaynaklarla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki makas her geçen gün daha da açılmaktadır. 2035 yılına gelindiğinde küresel enerji tüketiminin, 1998 yılındaki tüketimin iki katı, 2055 yılında ise üç katı olacağı tahmin edilmektedir. Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan karbondioksit (CO_2) miktarı ormanların azalmasıyla giderek artmakta, bu nedenle atmosferdeki diğer gazlarla birlikte güneş ışınlarının yansımaları engellemektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan gazlardan bir diğeri karbon monoksit (CO) vücuttaki oksijen oranını azaltarak ölümlere yol açarken, kükürt dioksit (SO_2) de kanser sebepleri arasında sayılmaktadır. Doğalgazın yanmasıyla ortaya çıkan azot oksit (NO) ise atmosferde diğer gazlarla etkileşime girerek vücudun bağışıklık sistemine zarar vermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency - IEA) yenilenebilir enerjiyi tüketiminden daha hızlı biçimde yenilenebilen doğal süreçlerden elde edilen enerji olarak tanımlamaktadır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji ve biokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından bazılarıdır [9].

Özellikle son günlerde tartışılan fosil kaynaklı enerji politikalarının çevreye olan etkisi ve küresel ısınmanın gün geçtikçe büyük bir hızla artış göstermesi konuyu yenilenebilir enerji bakış açısıyla da değerlendirmeyi mecbur kılmaktadır. Enerji politikasının kısa bir süreç içerisinde birden değiştirilmesi mümkün olmayacağından, bu konudaki çalışmaların ivedilikle yapılarak dünyanın yeni bir enerji politikası dâhilinde bu sorunu çözmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yenilenebilir enerjilerin gelişiminin iyi incelenmesi gerekmektedir [2].

Konuyla ilgili özellikle sanayi devriminin lokomotif konumundaki İngiltere, alınması gereken tedbirler konusunda da lokomotif görevini üstlenmiştir. Bu bağlamda en önemli adımı 1956 yılında Temiz Hava Yasasını çıkararak yapmıştır. İngiltere'nin bu girişiminin

ardından benzer yasaları ABD (1963), Bulgaristan (1963), Belçika (1964), Japonya (1968), Hindistan (1981) ve diğer ülkeler sırayla parlamentolarından geçirmişlerdir. Türkiye de bu gelişmelere paralel olarak 1970'li yıllardan itibaren hava kirliliğinin önlenmesine yönelik önemli yasalar çıkarmıştır [10].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, yenilenebilir enerjiyi sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerji olarak tanımlamaktadır. Yenilenebilir enerjinin; tesisler, hayvanlar ve insanlar tarafından kalıcı olarak tüketilmesi mümkün değildir. Fosil yakıtlar, çok uzun bir zaman çizelgesi göz önüne alındığında teorik olarak yenilenebilir iken, istismar edilerek kullanılması sonucu yakın gelecekte tamamen tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Genel olarak yenilenebilir enerjiyi üretmek ve kullanmak fosil yakıt enerjisini elde etmekten daha maliyetlidir. Kullanıma uygun olan yenilenebilir enerji kaynakları genellikle uzak bölgelerdedir ve bu kaynaklardan elektrik ihtiyacı bulunan şehir merkezlerine güç hatları inşa etmek çoğu zaman yüksek maliyetlidir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları her zaman yeterli olmayabilir. Bulutlar güneş ışınlarını azaltabilmekte, düşük rüzgâr hızları türbinler için yetersiz kalabilmekte ya da kuraklıklar hidrolik enerji üretmeyi imkânsız hale getirebilmektedir [11].

Yenilenebilir enerjiler tükenmeme avantajına sahiptir. Fosil enerjilerle karşılaştırıldığında çevreye daha dost oldukları ve çok daha düşük sera etkisine sahip oldukları görülür. Başlıcaları; hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, biokütle, solar enerji ve jeotermal enerjidir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları grubu içinde yer alan güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi alışlagelmiş enerji kaynaklarının karşısında birer alternatiftir. Temelde rüzgâr enerjisi de dönüşüme uğramış güneş enerjisidir. Gerek güneş enerjisi ve gerekse rüzgâr enerjisi çevre dostu temiz enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların, yenilenebilir yani tükenmeyen kaynaklar oluşu, doğanın temel düzeninden kaynaklanmaktadır [12].

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendisini dünya var oldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynaklarıdır [13]. Dolayısıyla yukarıda sayılan maliyetlerine ve dezavantajlarına rağmen yenilenebilir enerji kaynakları gitgide talebi artan kaynaklar haline gelmiştir.

2.1. Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi

Rüzgâr enerjisi aslında, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Çünkü güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde aynı ısıtamaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgârı ortaya çıkarmaktadır.

Rüzgâr enerjisi; yenilenebilir ve sonsuz bir enerji kaynağı olup temeli güneşe dayanmaktadır. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Isınan bir hava kütlesi atmosferin yukarı kısmına doğru yükselir. Yükselen havanın boşalttığı yere aynı hacimde daha soğuk yeni bir hava kütlesi gelir. Hava kütlelerinin yer değiştirmeleri sonucun çıkan hava akımına rüzgâr adı verilmektedir. Yani rüzgâr; iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen bir hava akımıdır. Rüzgârlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri ve arazinin yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgârın özellikleri, coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve bölgesel değişiklik göstermektedir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında üstünlükleri genel olarak şöyle sıralanabilir;

- 1.Fazla ve sınırsız olarak bulunur.
- 2.Yenilenebilir ve zarar vermeyen çevre dostu bir enerji kaynağıdır.
- 3.Sürdürülebilirdir. Tükenme ve fiyatının artma riski yoktur.
- 4.Maliyeti günümüz güç santrallerine yakın düzeydedir.
- 5.Kurulum maliyetine göre bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
- 6.İstihdam yaratır.
- 7.Doğaldır, dışa bağımlılık yaratmaz.
- 8.İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleştirilebilir [14].

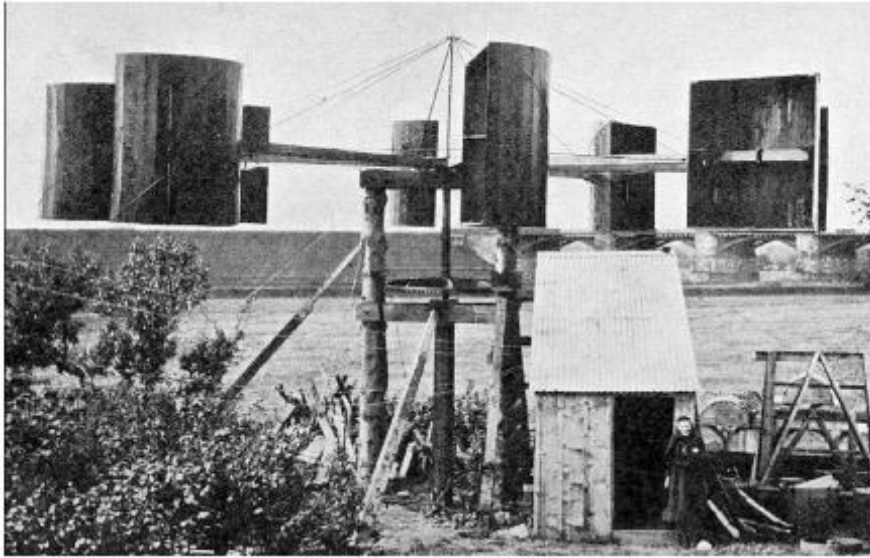
Dünyada ilk yel değirmeni, MS 644 yılında İran-Afganistan sınırındaki Seistan'da kurulmuştur. MS 750–850 yıllarında Çin'de pirinç tarlalarının sulanmasında da yel değirmenleri kullanılmıştır. Rüzgârın elektrik enerjisinde ilk kullanımı ise 1882 yılında

Amerika New York'ta gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr enerjisi Avrupalılar tarafından önceleri daha çok tahıl öğütme işlemlerinde kullanılmaktaydı. 19. yüzyılın sonlarına doğru da kuyulardan su çekme amacına yönelik olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Ayrıca İran, Suriye ve Türkiye'de de 12. yüzyıldan itibaren yaygın bir şekilde kullanılmıştır [15].

Geçmişte, gemilerin yelkenlerini şişirerek coğrafi keşiflerin yapılmasını sağlayan, tarımsal ürünleri öğütmek ve su pompalamak gibi amaçlarla kullanılan rüzgâr günümüzde elektrik üretimi sağlayan modern rüzgâr santrallerinin kurulmasını sağlamaktadır. Rüzgârdan elektrik üretiminin kilometre taşlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz;

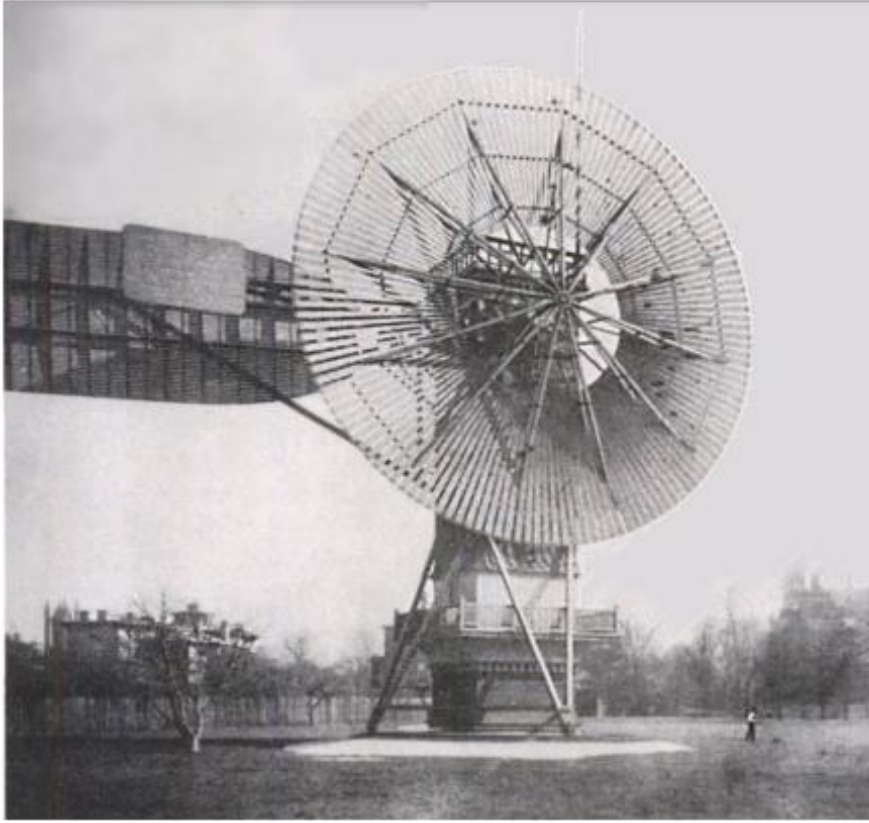
1887 Haziran ayında İskoç akademisyen Profesör James Blyth rüzgâr gücü deneylerine başlamış ve rüzgâr gücü ile çalışan bir pil şarj cihazı yaparak, 1891'de İngiltere'de patentini almıştır [15].

Resim 2.1.'de de görüldüğü gibi rüzgârdan ilk kez elektrik üretimi 1887 yılında İskoçyalı akademisyen James Blyth tarafından batarya şarj etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir [6].



Resim 2.1. James Blyth tarafından 1887'de geliştirilen ilk rüzgâr türbini [6]

Bu denemeden kısa süre sonra Amerikalı mucit Charles Brush Resim 2.2.'de görülmekte olan otomatik olarak çalışan ilk rüzgâr türbinini inşa etmiştir [16].



Resim 2.2. Charles Brush tarafından 1887'de geliştirilen otomatik çalışan ilk rüzgâr türbini [16]

1890'larda Danimarkalı bilim adamı ve mucit Paul La Cour elektrik üretmek için rüzgâr türbinlerini inşa etmiştir. 1900 yılına kadar evinin ve laboratuvarının elektriğini bu yapmış olduğu rüzgâr güç makinesi ile sağlamıştır [15]. Bu türbinler daha sonra hidrojen üretmek için kullanılmıştır.

1930'lara gelindiğinde özellikle ABD'de henüz şebeke bağlantısı olmayan rüzgâr jeneratörü santralleri kurulmaya başlanmıştır. Modern rüzgâr jeneratörlerinin ilk örneklerinden biri 1931'de eski adıyla Sovyetler Birliği'nin Yalta şehrinde kurulmuştur. 30 metre kule yüksekliğine sahip türbinden saatte 100 kW güç çıkışı elde edilmiştir [17].

1939 yılında ABD, Vermont, Granpa's Knob'da 53 metre çapında 1,25 MW'lık Smith Putnam rüzgâr türbini kurulmuştur. Rüzgâr türbini geliştirilmesinde bir sonraki dönüm noktası Gedser rüzgâr türbinidir. Marshall planı savaş sonrası finansman yardımı ile 1956 – 1957'de Danimarka'nın güney doğusunda Gedser adasında 200 kW'lık 24 metre çapında bir rüzgâr türbini kurulmuştur. Bu makine 1958 – 1967 arasında %20 kapasite ile çalışmıştır [18].

İlk megawatt sınıfı rüzgâr türbini 1941 yılında Vermont'ta şebekeye bağlanmıştır. Smith-Putnam adı verilen türbin yalnızca 1100 saat çalışabilmiş, birtakım teknik sorunlar nedeniyle arızalanmış ve savaş şartları nedeniyle de tamir edilememiştir [17].

Şebekeye bağlı çalışan ilk rüzgâr türbini 1951'de İskoç gemi inşaat ve denizcilik firması John Brown & Pompan tarafından İskoçya'nın kuzey kıyılarında bulunan Okey Adaları üzerinde kurulmuş ve işletilmiştir [19].

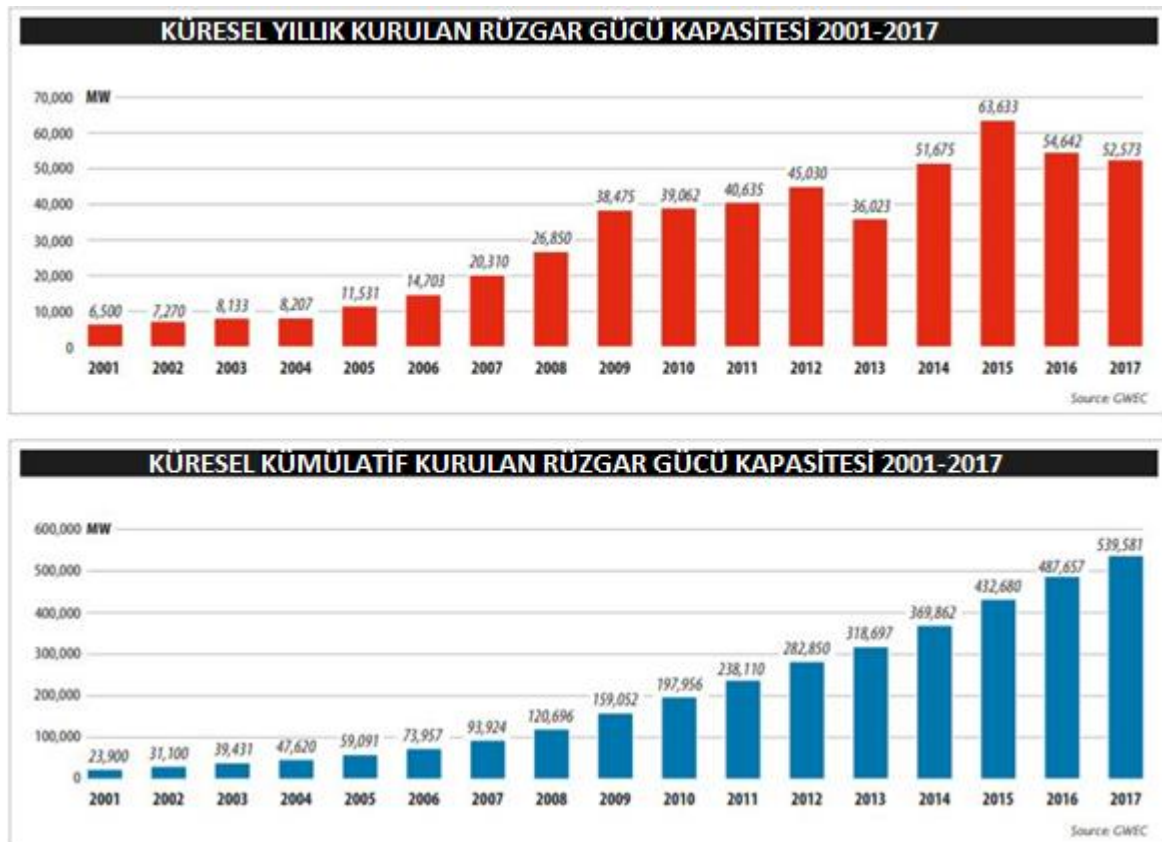
1960'lı yılların başında Prof. Ulrich Hütter 100 kW'lık 34 metrelik 2 kanatlı, yüksek rüzgâr hızlı kararsız pervanesi olan Hütter Allgaier rüzgâr türbinini geliştirmiştir. Modern rüzgâr güç endüstrisi 1979'da, Danimarkalı Kuriant, Vestas, Nordtank ve Bonus şirketlerinin rüzgâr türbinlerini seri üretmesiyle başlamıştır. Bunlar bugünkü standartlardan küçük ve her biri 20-30 kW'lıktır. Ondan sonra kapasitelerini 7 MW'a çıkartmışlar ve birçok ülkeye yayılmışlardır. 1980 yılında merkezi devlet ve federal devlet enerji ve yatırım vergi kredileri toplam %50'ye yakın vergi kredisi sağlamış ve bu California rüzgâr enerjisi patlamasını başlatmıştır. 1980 – 1995 arasında, çoğu vergi kredilerinin %15 civarına indirildiği 1985'ten sonra olmak üzere, 1700 MW rüzgâr kapasitesi kurulmuştur. 1990'lı yılların başında Almanya'da yılda 200 MW civarında kapasite artışı ile kuzey Avrupa piyasalarında çarpıcı gelişme kaydedilmiştir. Dünyada rüzgâr enerjisini kullanan ilk 10 ülke sırasıyla; Almanya, İspanya, ABD, Danimarka, Hindistan, İtalya, Hollanda, İngiltere, Çin ve İsveç'tir. Günümüzde ise tek bir rüzgâr türbininin gücü megawattlarla ifade edilecek kadar artmış ve artmaya devam etmektedir. Mevcut durumda 7-10 MW gücünde rüzgâr türbinleri bulunmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin yapısında ve mekanik kısmında yapılan çalışmalar sayesinde yakın zamanda bu değerlerin daha da artması kaçınılmazdır [15].

2.1.1. Dünyada rüzgâr enerjisi

Dünyada yenilenebilir enerjiye yönelik belirli seviyede farkındalık yaratıldığı ve yenilenebilir enerji kullanma bilincinin uygulamaya dönüştüğü eşige gelindiği söylenebilir. Ülkeler bu alanda ciddi yatırımlar yapmakta ve devletler bu yatırımları çeşitli teşviklerle desteklemektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Yatırımlarında Küresel Trendler 2016” raporunda 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların 266 milyar dolar tutarında olduğu belirtilmektedir. Aynı yılda fosil yakıtlara yapılan yatırımlar 130 milyar dolar civarında

kalmıştır. Bu durumda 2015 yılında yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar fosil yakıtlarla enerji üretmeyi amaçlayan yatırımların iki katından daha fazladır. Bu durum, enerji üretiminde yapısal bir değişim olduğunu göstermektedir. Dünyada yenilenebilir enerjiye yapılan bu yatırımlar neticesinde 2015 yılında 134 gigawattlık yeni enerji üretimi sağlanmıştır. Yapılan enerji üretimi yatırımlarında güneş ve rüzgâr enerjilerine olan yatırımlar başta gelmektedir. 2015 yılında rüzgârdan 62 gigawatt, güneşten de 56 gigawatt yeni enerji üretimi sağlanmıştır [18].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2018 yılı yenilenebilir enerji raporunda yer alan tahmine göre gelecek 5 yıllık dönemde yenilenebilir enerji gücü büyümeye devam edecek ve dünya çapındaki yenilenebilir enerjiye dayalı enerji üretimi 1000 GW'ın üzerinde bir artış kaydedecektir. IEA'nın tahminine göre 2023 yılına gelindiğinde dünya elektrik tüketiminin %40'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanacaktır. 5 yıllık dönemde yenilenebilir enerji alanındaki en büyük güç artışının güneş enerjisinde olacağı kaydedilen raporda ikinci sırada en fazla artış gösterecek kaynağınsa rüzgâr enerjisi olacağı belirtilmiştir [20].



Şekil 2.1. Dünya yıllık kurulu rüzgâr kapasitesi [20]

Dünyada yıllık kurulan rüzgâr enerjisi kapasitesi 2013, 2016 ve 2017 yılları dışında her yıl artarak devam etmiştir. 2015 yılında 63 633 MW rüzgâr enerjisi kurulumu gerçekleştirilmişken 2016 yılında bu kurulumla 54 600 MW, 2017 yılında 52 573 MW enerji kurulumu eklenmiştir. Kümülatif olarak bakıldığında ise her yıl artan bir ivmeyle yükselen kurulu enerji miktarı son yıllarda azalan ivmeyle artmaya başlamıştır.

2018 yılı itibariyle Avrupanın elektrik talebinin %10,5'i kara üstü (onshore), %2,2'si deniz üstü (offshore) olmak üzere %12,7'si rüzgar enerjisinden karşılanmaktadır. Enerjiye olan talep, ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Örneğin, gelişmekte olan ülkeler; gelişmiş ülkelere göre daha fazla enerji talebinde bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde enerjinin etkin kullanılamaması, sanayileşmenin artması ve enerji arzının kısıtlı kalması sebebiyle enerji fiyatları artmaktadır. Yerelde yükselen enerji maliyeti küresel rekabette bir dezavantaj oluşturmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde enerji politikalarındaki bir diğer önemli sorun olan dışa bağımlılık birinci derecede önem taşıyan konu olmaktadır. Bu duruma örnek olarak, Türkiye'nin petrol ve doğalgaza olan bağımlılığının siyasi kararlarını etkileyebilecek düzeyde olması verilebilir [21].

Gelişmekte olan ülkelerin gelecek 20 yılda yapacakları enerji üretiminde kullanacakları yenilenebilir enerji kaynakları oranının düşük olması sebebiyle ortaya çıkacak sera gazlarının, %50 civarında artması beklenmektedir. Bunun yanında 2010-2035 yılları arasında enerji talebindeki artışın %93'ünün gelişmiş ülkelere kaynaklanacağı ve bu talebin yaklaşık 30 trilyon dolarlık bir bütçe ihtiyacı oluşturduğu ifade edilmektedir [22].

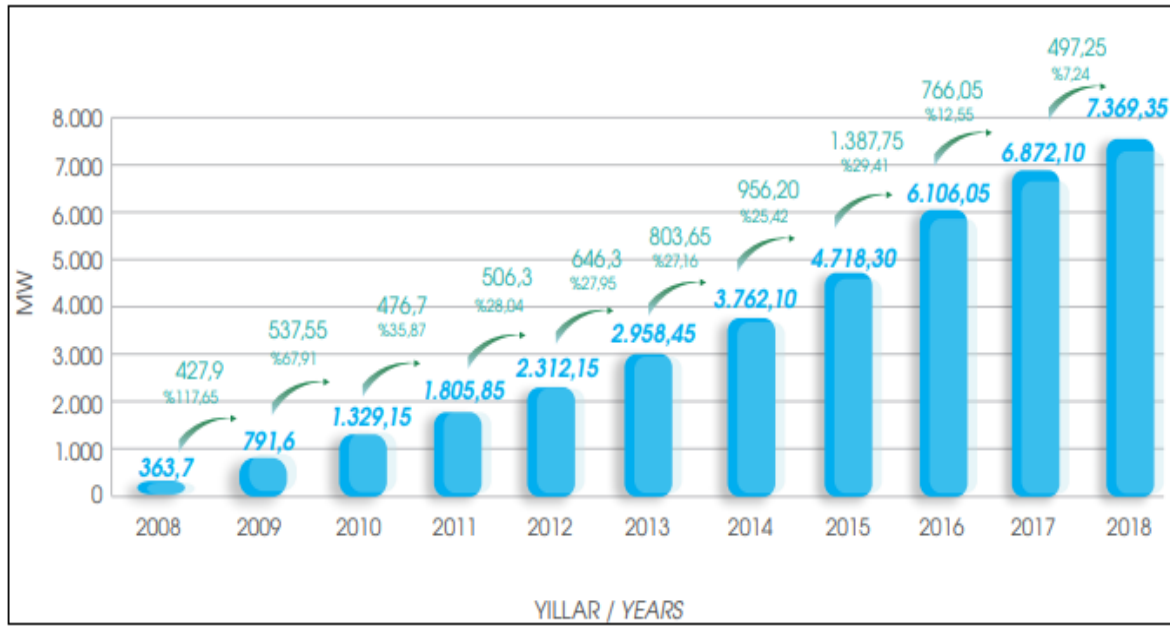
2.1.2. Türkiye'de rüzgâr enerjisi

Çeşitli kaynaklarda Türkiye'nin rüzgâr enerjisine dayalı teorik güç potansiyelinin yaklaşık 115 000 MW olduğu belirtilmekte, türbin kurulabilir kara alanlarının toplam RES potansiyelinin 48 000 MW olduğu ifade edilmektedir [23, 24]. Günümüzde bu potansiyelin %12'lik kısmı kullanılmaktadır ve yatırım açısından önemli bir alan olduğu söylenebilir. Aynı zamanda inşa halinde olan mevcut yatırımların toplam gücü 2.214 MW'tır [23].

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2017 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artışla 385 TWh'e ulaşması beklenmektedir. 2017 yılında elektrik

üretimimizin, %37 'si doğal gazdan, %33'ü kömürden, %20'si hidrolik enerjiden, %6'sı rüzgârdan, %2'si jeotermal enerjiden ve %2'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir [24].

2017 yılında rüzgâr enerjisinden 17,9 milyar kWh, 2018 yılında rüzgar enerjisinden 19,882 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2018 Haziran ayı sonu itibariyle işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü ise 6 671 MW'tır. 2018 yılı işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 7 005 MW'a ulaşmıştır [25].



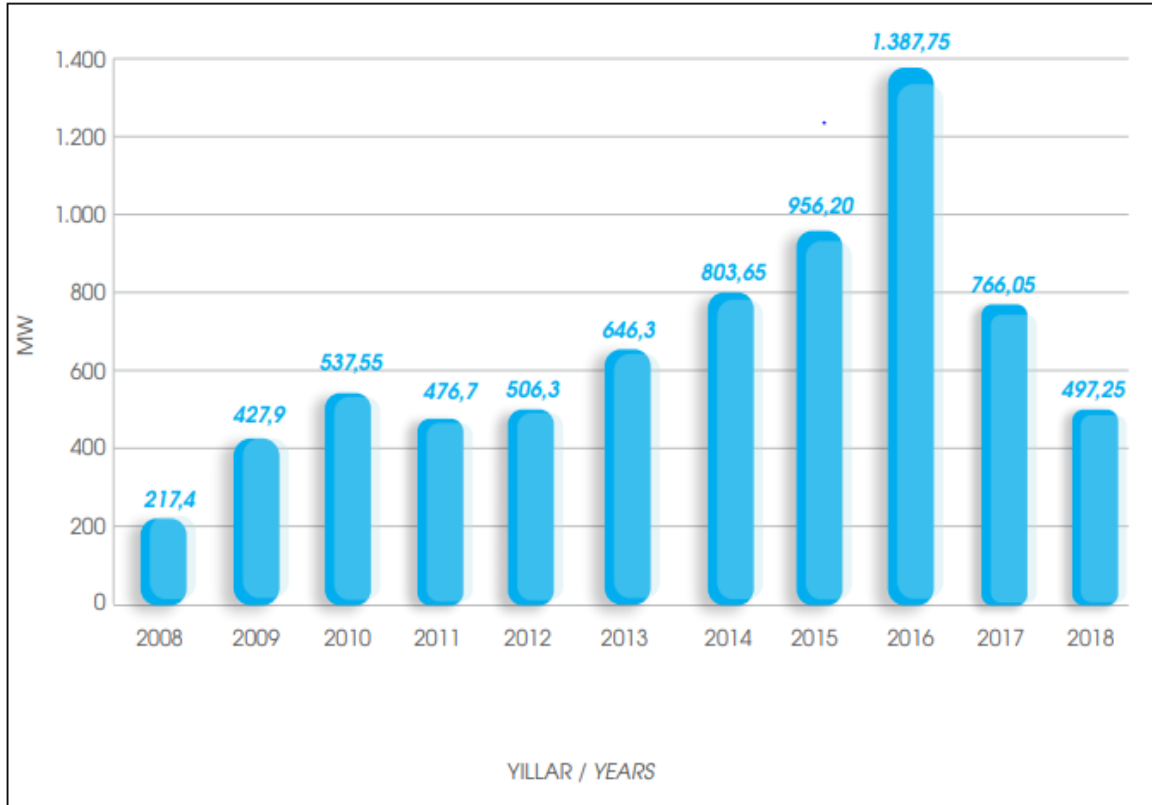
Şekil 2.2. Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum [26]

Resim 2.2.'ye göre Türkiye'de kurulan rüzgâr enerjisi santralleri kümülatif olarak artış gösterse de artış ivmesinde azalma görülmektedir. Potansiyel alanların değerlendirilmesinde önceliğin kıyı bölgeleri gibi benzer bölgelere verilmesi kurulum alanlarının azalmasına sebep olmuştur. Bu da bizi diğer iç kesimlerin değerlendirilmesi alternatifini sunmak üzere çalışmaya yöneltmiştir.

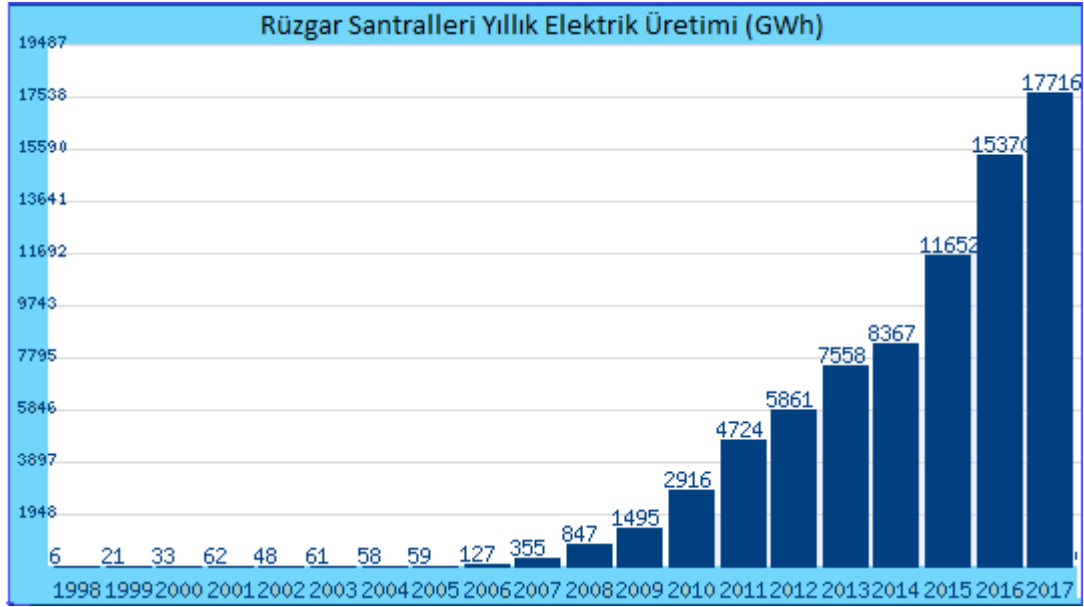
2016 yılında en fazla kuruluma ulaşan Rüzgâr Enerji Santralleri kurulumu 2017'de 2016'ya göre yaklaşık %50 kadar bir düşüş yaşamıştır. Santral kurulumlarında yer seçiminin kritik olması, kurulum ve bakım maliyetlerinin yüksek olması da rüzgâr enerjisine yapılan yatırımların azalmasında önemli etkenlerdendir.

2018 yılında Türkiye rüzgar enerjisi sektörü %7,2 büyümüş, kurulu toplam kapasite 7 369 MW'ye ulaşmıştır. 2018 yılında yapılan sektörel yatırım ise 650 milyon USD'dir.

Türkiye'de rüzgar enerjisinden elektrik üretimi 1998 yılında başlanmış olup her yıl artarak devam etmiştir. İlk yıl gerçekleşen rüzgar ile elektrik üretimi 6 milyon kilowattsattır. Sonraki yıl 21 milyon kilowattsate çıkan üretim miktarı %250 artış göstermiştir. Sektörün ilk yıllarında hızlı büyümeler görülse de 2014'ü 11,5 milyar kilowattsat üretim ile kapatan sektör 2014'e göre 2015'de üretimini %38 oranında arttırmayı başarmıştır. 2017 yılında rüzgar santrallerinden sağlanan elektrik üretim miktarı 17 716 gigawattsate ulaşmıştır.

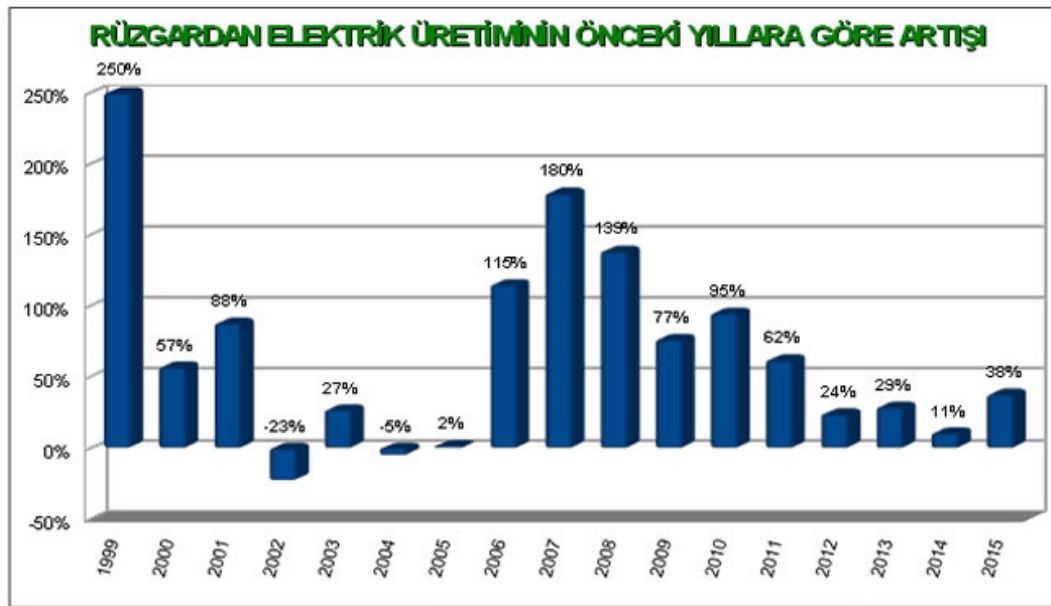


Şekil 2.3. Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santralleri için yıllık kurulum [26]



Şekil 2.4. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri için yıllık elektrik üretimi [23]

Türkiye’de ilk olarak 1998 yılında başlayan rüzgar ile elektrik üretimi ilk yılını 6 milyon kWh üretim ile kapatmıştır. Sonraki yıl 21 milyon kWh çıkan üretim miktarı %250 artış göstermiştir. Sektörün henüz emeklediği bu yıllarda hızlı büyümeler görülse de 2014’ü 11,5 milyar kWh üretim ile kapatan sektör 2014’e göre 2015 üretimini %38 oranında arttırmayı başarmıştır.

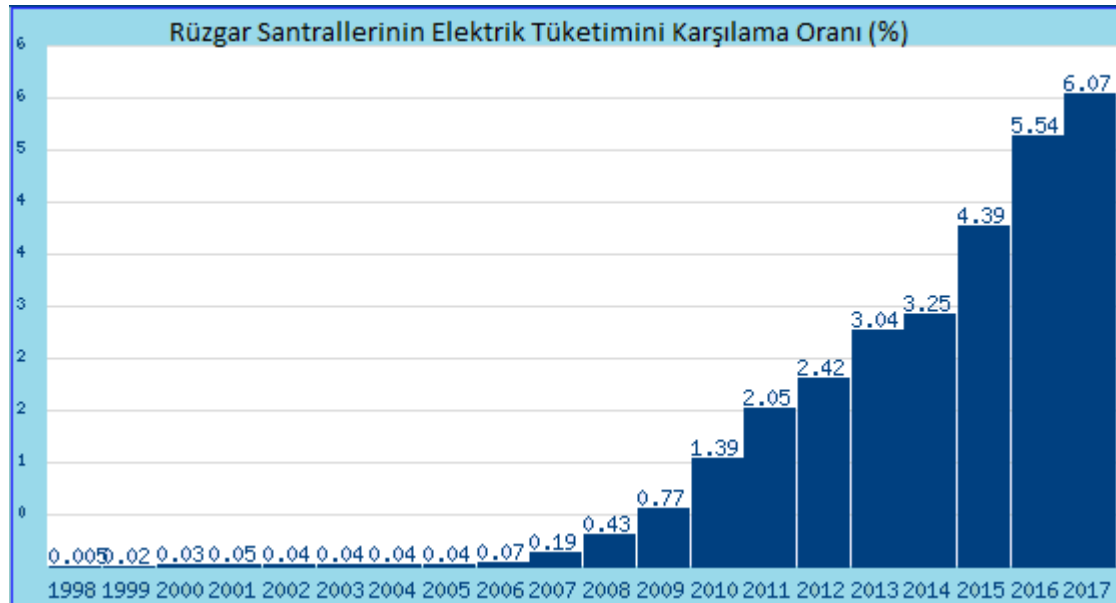


Şekil 2.5. Türkiye’deki rüzgârdan elektrik üretiminin önceki yıllara göre artışı [23]

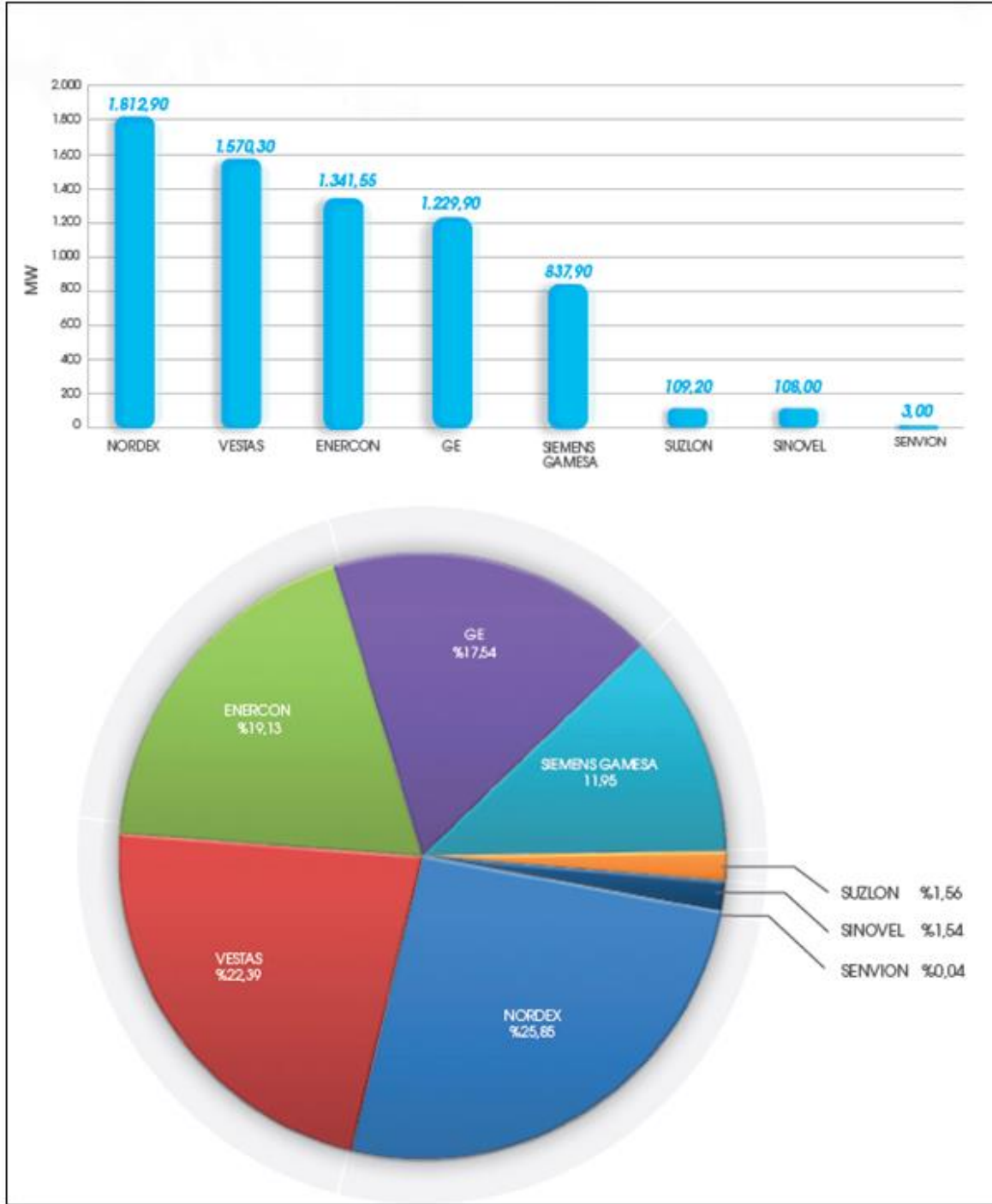
Kaynak Türü	2016 Değerl (MWh)	Pay (%)	2017 Değerl (MWh)	Pay (%)	2016-2017 Değişiml (%)
DOĞAL GAZ	88.244.574,12	32,38	108.771.841,89	37,18	23,26
İTHAL KÖMÜR	47.741.879,99	17,52	51.172.215,19	17,49	7,19
BARAJLI	48.906.203,33	17,94	41.278.222,47	14,11	-15,60
LİNYİT	38.543.567,01	14,14	40.545.711,72	13,86	5,19
RÜZGAR	15.501.030,56	5,69	17.859.858,19	6,10	15,22
AKARSU	18.396.857,05	6,75	17.130.234,37	5,85	-6,88
JEOTERMAL	4.818.523,69	1,77	5.969.481,97	2,04	23,89
TAŞ KÖMÜR	3.292.613,86	1,21	3.453.865,10	1,18	4,90
ASFALTİT KÖMÜR	2.873.837,86	1,05	2.394.637,82	0,82	-16,67
BİYOKÜTLE	1.590.695,39	0,58	2.005.069,82	0,69	26,05
MOTORİN	1.554.168,77	0,57	1.008.826,40	0,34	-35,09
FUEL OİL	1.054.049,86	0,39	957.859,46	0,33	-9,13
GÜNEŞ	2.636,79	0,00	24.557,68	0,01	831,35
LNG	42.988,21	0,02	2.196,00	0,00	-94,89
Genel Toplam	272.563.626,49	100,00	292.574.578,09	100,00	7,34

Şekil 2.6. EPDK 2017 Raporu'na göre Türkiye'de lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında gelişimi

1998 - 2019 döneminde rüzgar ile elektrik üretiminin toplam tüketimi karşılama oranı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

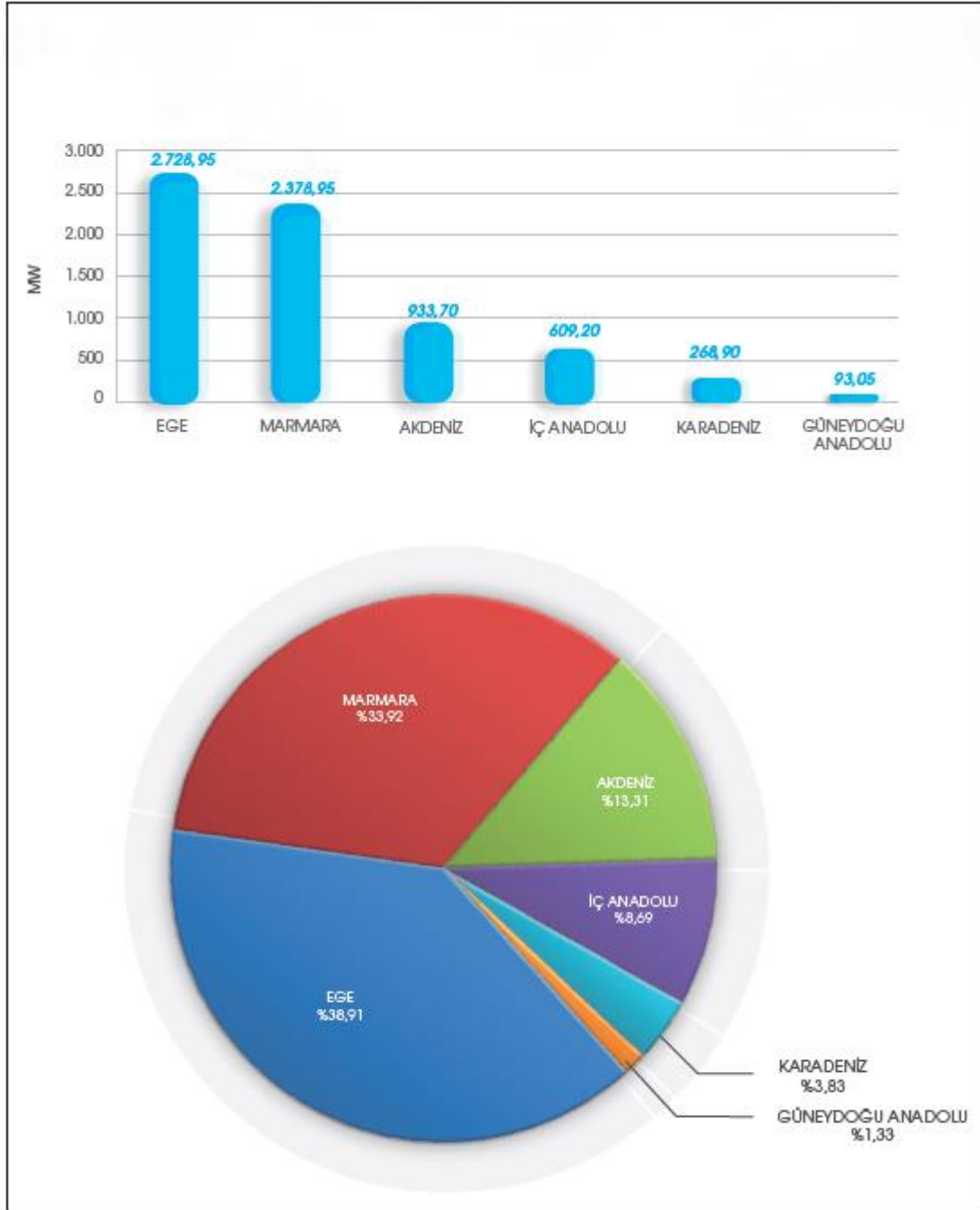


Şekil 2.7. Türkiye'de rüzgâr santrallerinin elektrik tüketimini karşılama oranı [26]



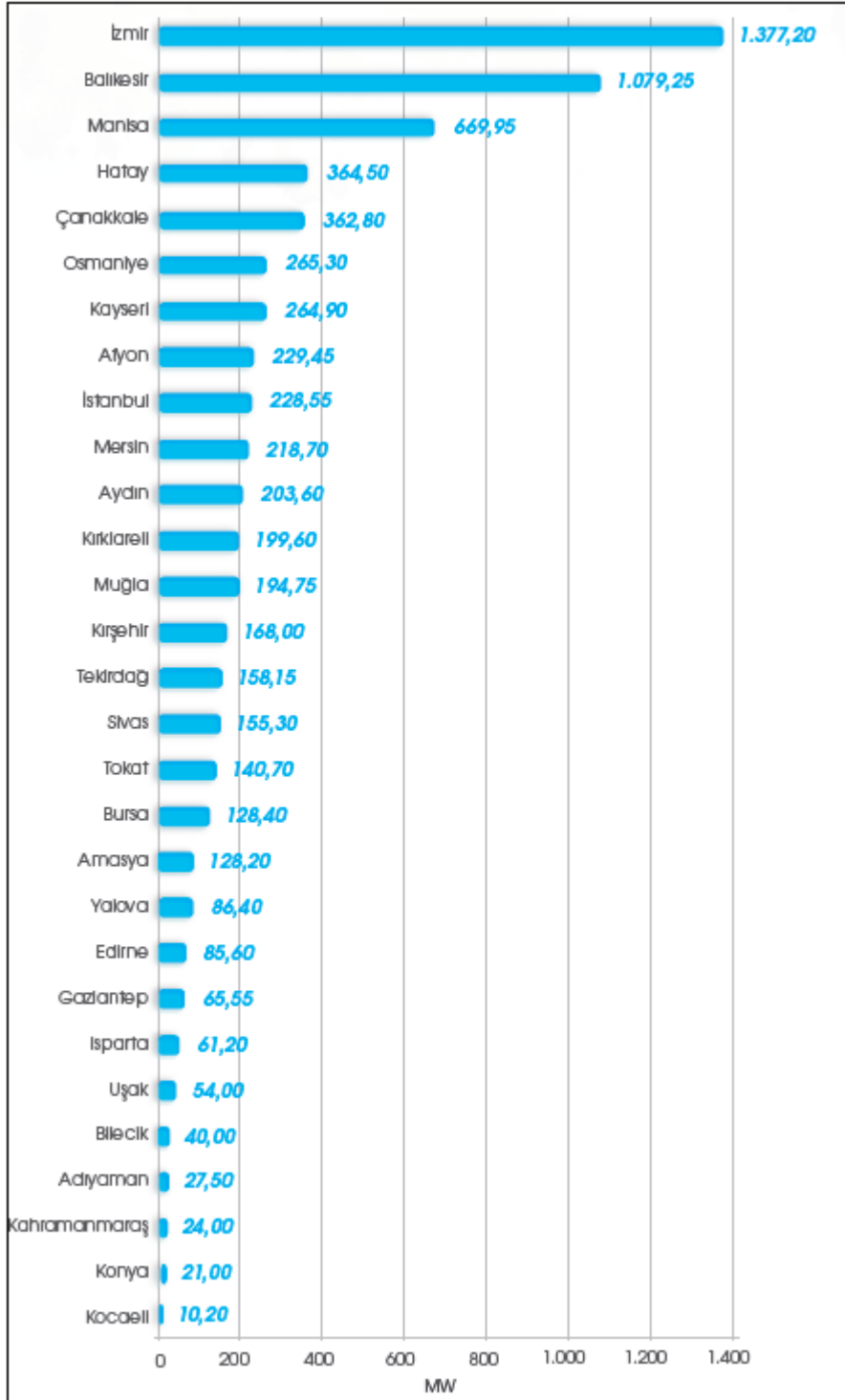
Şekil 2.8. İşletmedeki RES'lerin türbin markalarına göre dağılımı [26]

İşletmedeki RES'lerin türbin markalarında en çok tercih edilen markaların Nordex ve Vestas olduğu görülse de Konya ilinde tamamlanan, inşa halinde ya da lisanslı tüm RES'lerde kullanılan türbin markasının Siemens Gamesa olduğu görülmektedir.



Şekil 2.9. İşletmedeki RES'lerin bölgelere göre dağılımı 2018 [26]

Türkiye’de rüzgâr potansiyelinin Ege ve Marmara Bölgeleri başta olmak üzere batı ve kıyı bölgelerde daha yüksek olması bu bölgelere yapılan kurulumları arttırmış özellikle iç kesimler başta olmak üzere diğer bölgelerde olan kurulumlar ve potansiyel değerlendirmeler Ege ve Marmara’ya göre geri planda kalmıştır.



Şekil 2.10. İşletmedeki RES'lerin illere göre dağılımı [26]

İşletmede bulunan RES'lerde en çok kurulum Ege Bölgesinde, sonrasında Marmara ve Akdeniz bölgelerinde görülmektedir. Konya'da 21 MW'lık bir kurulum görünse de buna ek olarak 157 MW'lık inşa halinde, 87 MW'lık Lisanslı RES bulunmaktadır [26].

3. RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNİN GENEL YAPISI

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr santrallerinin temel elemanı olup hava hareketinin kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye sonra da elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerine göre yatay veya düşey eksenli olarak ayrılırlar. Günümüzde yaygın olarak yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel, kanatları ise rüzgâr yönüne dik vaziyette çalışır. Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin eksenleri ise rüzgâr yönüne dik ve düşey olup kanatları da düşey vaziyettedir. Rüzgâr türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapılmaktadır. Elektrik üretim amaçlı rüzgâr türbinleri çoğunlukla 3 kanatlı, yatay eksenli rüzgâr türbinleridir [27].

Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte 6,0 MW gücüne kadar yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılabilmektedir. Bir rüzgâr türbini, engellerin rüzgâr hızını değiştiremeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotordan oluşur. Rotor ise kanatlar ve göbekten oluşmaktadır. Kanatlar güçlendirilmiş fiber karbondan yapılmakta ve çelik omurga ile desteklenmektedir. Üç kanatlı rüzgâr türbinlerinin kanat çapları 100 metreye kadar ulaşmaktadır. Modern rüzgâr türbinlerinin rotor göbekleri (hub) yer seviyesinden 60-100 m yükseklikte bir kule üzerinde bulunmaktadır. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek enerji miktarı türbin hub yüksekliğindeki rüzgâr hızına bağlıdır. Bu durumda rüzgâr hızı yükseklik arttıkça artacağından hub yüksekliğinin artırılması rüzgâr gücünden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlayacaktır. Rüzgâr türbinlerinin dezavantajlarından biri olan gürültü kirliliğini önlemek için ise gövde ses izolasyonludur. Kuleler kafes veya boru biçiminde yapılmaktadır. Kafes kuleler görüntü kirliliği ve bakım zorluğu nedeniyle kullanılmamaktadır. Maliyeti fazla olmasına rağmen yaygın olarak silindirik kuleler kullanılmaktadır. Rotor düşük devirli bir ana mil ile bağlıdır. Rüzgârın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içersindeki iletim sistemine (dişli kutusu vb.), oradan jeneratöre aktarılır. İletim sistemleri, jeneratör ve yardımcı üniteler gövde içersinde yer almaktadır. Bir rüzgâr türbininde tanıtılan elemanlara ek olarak; frenleme düzenleri, kontrol-kumanda sistemleri, yönlendirme motoru ve mekanizması, anemometre ve rüzgâr gülü gibi ölçüm cihazları bulunmaktadır. Rüzgâr türbinleri, elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgâr hızına ulaşıldığında başlayabilmektedir. “Cut-in” adı verilen bu rüzgâr hızının altında sistem tamamen durmaktadır. Her bir rüzgâr türbini için belirlenmiş bir rüzgâr hızında, sistemden elde edilen

güç en büyük değere ulaşır. Bu en büyük güce “nominal güç” ve bu rüzgâr hızına “nominal hız” adı verilmektedir. Rüzgâr hızının, nominal hız değerini aşması halinde sistemden elde edilecek güç nominal güç kadar olacaktır. Sistemin hasar görmemesi için belirli bir rüzgâr hızından sonra rüzgâr türbinlerinin stop konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanır. Bu maksimum hıza sistemin “Cut-out” hızı adı verilmektedir. Bir rüzgâr türbini Cut-in ve Cut-out rüzgâr hızları arasında enerji üretimini gerçekleştirir. Modern rüzgâr türbinlerinin Cut-in, nominal ve Cut-out hızları sırayla; 3-4 m/s, 11-15 m/s ve 25-30 m/s arasındadır [14].

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılmaktadır [27].



Şekil 3.1. Rüzgâr türbin çeşitleri [27]

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri; dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatları rüzgâr yönüne diktir. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri ticari kullanımdan ziyade deneyler için üretilmektedir. Yere yerleştirilebildikleri için maliyeti bulunmamakta, sistem istenilen rüzgâr yönüne çevrilebilmekte ancak verimi düşük olmaktadır. Eğik eksenli rüzgâr türbinleri dönme eksenleri düşeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan aynı zamanda kanat ve dönme eksenleri arasında da bir açı olan rüzgâr türbinleridir. Kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olmak üzere 4 çeşide ayrılır. Tek kanatlı rüzgâr türbinleri aerodinamik olarak dengesizdir. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapılar gerektirir. Çift kanatlı rüzgâr türbinleri; 25 yıl öncesine kadar yaygın bir şekilde kullanılmaktaydı. 10 m’den 100 m’ye kadar değişen farklı pervane çapları

bulunmaktadır. İki kanatlı rüzgâr türbini, üç kanatlı rüzgâr türbininden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar gerektirmekte ve toplamda daha maliyetli olmaktadır. Üç kanatlı rüzgâr türbinleri; modern rüzgâr türbinlerinde en çok kullanılan modeldir. Bunun temel nedeni, pervanenin sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanata sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahiptir. Çok Kanatlı rüzgâr türbinleri, rüzgâr türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yalnızca su pompalamasında kullanılmışlardır. Rüzgârın geliş yönüne göre rüzgâr türbinleri, rüzgârı önden alan ve rüzgârı arkadan alan türbinler olarak ikiye ayrılmaktadır. Yatay eksenli ve rotor yüzü rüzgâra yönelmiş olan önden rüzgârlı türbinler yıllardır yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu türbinlerde kulenin önünde, az da olsa, bir rüzgâr gölgelemesi vardır. Yani rüzgâr kuleye eğilerek gelir. Bu nedenle kanatların çok sert yapılması ve kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca önden rüzgârlı makineler, rotoru rüzgâra karşı döndürmek için eğim mekanizması ile donatılmışlardır. Arkadan rüzgârlı türbinlerin rotorları kule arkasındadır. Bunların üstünlüğü eğim mekanizmasına gerek olmayışı, kanatların esnek özelliğe sahip yapılması bu nedenle de hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından avantajlı olmasıdır. Güç bakımından rüzgâr türbinleri; küçük güçlü, orta güçlü, büyük güçlü ve çok büyük güçlü olarak sınıflandırılmaktadır. Güçleri sırayla 30 kW'tan az, 30-100 kW arasında, 100 kW - 1 000 kW arasında ve 1 MW'tan fazla olan türbinlerdir. Rüzgâr türbin üniteleri sürücü sistemleri bakımından; dişli kutusu kullanılan ve dişli kutusu kullanılmayan olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Dişli kutusu kullanılan rüzgâr türbinleri; pervanenin devir sayısı ile jeneratör devir sayısı farkından dolayı dişli kutusuna ihtiyaç duymaktadır. Dişli kutusu ile pervane devir sayısı jeneratör devir sayısı ile uygunlaştırılır. Dişli kutusu kullanılmayan türbinlerde jeneratörler çok kutuplu, düşük devirli olduğu için dişli sisteme gerek yoktur. Kurulduğu yer bakımından rüzgâr türbinleri; kara üstü (onshore) ve deniz üstü (offshore), devir bakımından ise yüksek devirli ve düşük devirli olarak da sınıflandırılmaktadır [27].

Çizelge 3.1. Boyutuna göre rüzgâr türbinlerinin karşılaştırılması [27]

	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
Büyük Rüzgâr Türbinleri	Endüstriyel	50 kW – 2 MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük Rüzgâr Türbinleri	Kişisel	50 W - 10 kW	Seralar, çiftlik evleri, radyo kulesi vb.	Var	Yok	Düşük

Büyük rüzgâr türbinlerinin bakım masrafları ve kurulum masrafları bulunmaktadır. Küçük rüzgâr türbinleri kişisel olarak kullanılmaktadır ve üretilen enerjiler aküye depolanmaktadır [27].

Çizelge 3.2. Rüzgâr yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması [27]

	Eğim Mekanizma İhtiyacı	Kanat Malzeme Yapısı	Kuleye Binen Yük	Rüzgârın Türbine Verdiği Zarar
Rüzgârı Önden Alan Rüzgâr Türbinleri	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgârı Arkadan Alan Rüzgâr Türbinleri	Yok	Esnek	Hafif	Çok

Rüzgârı önden alan türbinlerinde enerji üretimi daha fazla olduğundan rüzgârı arkadan alan türbinlere göre daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir [27].

Çizelge 3.3. Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması [27]

	Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (YERT)				Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (DERT)	
	Tek Kanatlı	Çift Kanatlı	Üç Kanatlı	Çok Kanatlı	Savonius	Darrierus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule İhtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik ve Su Pompalaması	Az Elektrik ve Su Pompalaması	Az Elektrik ve Su Pompalaması
Günümüzde Kullanımı	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun Dönmesi İçin Rüzgârı	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır ve Sürükler	Kaldırır ve Sürükler	Kaldırır ve Sürükler

Tek ve çift kanatlı rüzgâr türbinleri yüksek gürültü oranlarının ve maliyetlerinden dolayı kullanılmamaktadır. Üç kanatlı rüzgâr türbinleri düşük maliyetli, düşük gürültü düzeyli ve yüksek çalışma hızlarından dolayı günümüzde en çok tercih edilen türbin çeşididir. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri düşük çalışma hızlarından dolayı günümüzde kişisel kullanımlarda (çiftliklerde elektrik üretimi ya da su pompalama) tercih edilmektedir [27].

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, uygulama bölümünde yapılan çalışmalar için incelenen literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Öncelikle 2000 ve 2018 yılları arasında yapılan çalışmalarda rüzgâr santrali yer seçimi çalışmalarında kullanılan ÇKKV, CBS yöntemleri ve dikkate alınan kriterler incelenmiştir. Ardından enerji alanında tamsayılı programlama kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Rüzgâr enerjisi literatür çalışmaları

YIL	2000	2006	2009	2010
MAKALE ADI	Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK	A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California	Web-based GIS for collaborative planning and public participation: An application to the strategic planning of wind farm sites	Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado
YAZAR	Serwan M.J. Baban, Tim Parry	Laura C. Rodman, Ross K. Meentemeyer	Ana Simao, Paul J. Densham and Mordechai (Muki) Haklay	Jason R. Janke
KONU	Rüzgâr türbini yer seçimi kriterlerini belirleyerek farklı ve aynı ağırlıklandırma yapılarak CBS’de çıkan sonuçların kıyaslanması ve değerlendirilmesi. Her kriter önem sırasına göre ağırlıklandırılmıştır.	Kuzey Kaliforniya’da bulunan 9 vilayet CBS kulllanılarak rüzgâr santrali kurulumu için kıyaslanmıştır. Her kriter aldığı değere göre çoktan aza doğru puan verilmiştir. Örnek minimum eğim 4 iken eğim arttıkça kriterin puanı düşmektedir.	İngiltere’nin doğusu Norfolk’ta çok kriterli karar verme ve web tabanlı GIS kullanımı ile rüzgâr santrali yer seçimi çalışması yapılmıştır.	Kolorado için türbin yer seçimi kriterleri ağırlıklandırılarak CBS’de uygun yerler tespit edilmiştir.
KRİTERLER/ KISITLAR/ YAKLAŞIMLAR	Topografya, Rüzgâr yönü, Rüzgâr hızı (minimum 5m/s), Eğim (eğim açısı maksimum %10), Nüfus (büyük yerleşim yerine minimum 2 km, müstakil konutlara minimum 500 m), Tarım alanları, Arazi kullanımı (ormanlık araziden minimum 500m uzak), Su kaynağı (minimum 400m uzak), Ekoloji (minimum 1000m uzak), Tarihi ve kültürel miras (minimum 1000m uzak), Ulaşım (karayoluna maksimum 10km)	Rüzgâr hızı, Ormanlık arazi, Eğim, Yerleşim yerine uzaklık, Tarım alanından uzaklık, Ekolojik bölgeye uzaklık, Su kaynaklarına uzaklık	Diğer çalışmalardan farklı olarak öncece halkın işbirlikçi katılımı da eklenmiş, yapılan anketler yer seçim kriter ağırlıklarını etkilemiştir.	Rüzgâr potansiyeli, Güneş potansiyeli, İletim hatlarına uzaklık, Şehir Merkezine uzaklık, Nüfus yoğunluğu, Ulaşım, Arazi tipi, Devlete ait araziler

Çizelge 4.1. (devam) Rüzgâr enerjisi literatür çalışmaları

YIL	2010	2010	2011	2012	2014
MAKALE ADI	Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study	GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey	A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy)	Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis	Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran
YAZAR	Leda-Ioanna Tegou, Heracles Polatidis, Dias A. Haralambopoulos	Nazlı Yonca Aydın, Elçin Kentel, Şebnem Düzgün	Riccardo Mari, Lorenzo Bottai, Caterina Busillo, Francesca Calastrini, Bernardo Gozzini, Giovanni Gualtieri	Sultan Al-Yahyai, Yassine Charabi, Adel Gastli, Abdullah Al-Badi	Ali Azizi, Bahram Malekmohammadi, Hamid Reza Jafari, Hossein Nasiri, Vahid Amini Parsa
KONU	Midilli Adasında (Yunanistan) yapılan yer seçimi çalışması için AHP ile belirlenen kriter ağırlıkları CBS’de kullanılarak uygun yer tespiti yapılmıştır.	Batı Türkiye’de CBS ile Rüzgâr türbini yer seçimi yapılmıştır.	İtalya Toskana’da Rüzgâr türbinleri yer seçimi için bir CBS tabanlı interaktif web karar destek sistemi oluşturulmuştur.	Umman için kriterler AHP-OWA ile ağırlıklandırılıp alternatifler CBS ile değerlendirilmiştir.	İran Erdebil Eyaleti için Rüzgâr santrali yer seçiminde kriterler arası ilişkiler DEMATEL ile kriter ağırlıkları ANP ile bulunarak bu ağırlıklara göre CBS ile uygun yer tespiti yapılmıştır.
KRİTERLER/ KISITLAR/ YAKLAŞIMLAR	Rüzgâr hızı, Ormanlık alan, Su kaynaklarına uzaklık, Yüksek üretkenlik alanı, Eğim açısı, Yerleşim alanlarına uzaklık, Arkeolojik alana uzaklık, Karayoluna uzaklık, Havaalanına uzaklık	Uşak, Aydın, Denizli, Muğla ve Burdur’u kapsayan çalışmada çevresel kısıtlar ve kriterler bulanık setlerle temsil edilmiş ve bu set değerleri CBS’ye girilerek uygun yer seçimi tespiti yapılmıştır.	Karar destek sisteminin oluşturulmasında mapServer ve java script kullanılmıştır.	Türbülans yoğunluğu (minimum), Rüzgâr hızı, Rüzgâr yoğunluğu, Zirve saat eşleştirme, Yerleşim yerine uzaklık, Arazi eğimi, Karayoluna uzaklık	Rüzgâr potansiyeli, Arazi yapısı, Yükselti/eğim, Yerleşim yerine uzaklık, Havaalanına uzaklık, Su kaynaklarına uzaklık, Karayollarına uzaklık, Fay hatlarına uzaklık, Koruma alanlarına uzaklık

Çizelge 4.1. (devam) Rüzgâr enerjisi literatür çalışmaları

YIL	2014	2014	2015	2015	2016	2016
MAKALE ADI	Use of Multi Criteria Decision Analysis to Assess Alternative Wind Power Plants	Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of	Optimum layout design of onshore wind farms considering stochastic loading	Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS	Application of Multi Criteria Decision-Making Technique in Site Selection of Wind Farm- a Case Study of Northwestern Iran	Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen
YAZAR	Aysun Sağbaş, Adnan Mazmanoğlu	J.M. Sanchez-Lozano, M.S. Garcia-Cascales, M.T. Lamata	Nikos Ath. Kallioras, Nikos D. Lagaros, Matthew G. Karlaftis, Paraskevi Pachy	Younes Noorollahi, Hossein Yousefi, Mohammad Mohammadi	Sahar Rezaian, Seyed Ali Jozi	Tim Höfer, Yasin Sunak, Hafiz Siddique, Reinhard Madlener
KONU	Marmara Bölgesi için rüzgâr santrali yer seçiminde bulanık AHP ile kriter ağırlıkları verilerle AHP alternatifler sıralanmıştır.	Murcia için ELECTRE-TRI ve CBS kullanımıyla alternatif rüzgâr santrali kurulum yerleri değerlendirilmiştir.	Stokastik veriler kullanılarak rüzgâr santrali tesis yerleşim çalışması yapılmıştır. Kesikli varyantlara dayanan harmonik araştırma metodu kullanılmıştır. Rüzgâr yönünü dikkate alan ve almayan şekilde iki farklı hesaplama yapılmıştır.	Eşit öneme sahip kısıtlarla CBS’de değerlendirilen Batı İran’ın %28’inin rüzgâr santraline elverişli olduğu tespit edilmiştir.	Kuzeybatı İran için AHP ile kriter ağırlıkları belirlenip kriterlere göre alternatif bölgeler değerlendirilmiştir.	AHP tabanlı CBS ile değerlendirilen Aachen’da %9,4’lük alan rüzgâr enerjisine uygunken % 1,74’lük alanın yüksek uygunluğu tespit edilmiştir.
KRİTERLER/ KISITLAR/ YAKLAŞIMLAR	Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti, Potansiyel elektrik üretimi, Çevresel etki ve riskler, Kapasitesi, Ömrü, Etkinliği	Rüzgâr hızı, Eğim, Tarım alanı, Kullanım alanı, Havaalanına uzaklık, Karayoluna uzaklık, Elektrik hatlarına uzaklık, Yerleşim yerine uzaklık	Amaç fonksiyonu1: maksimum kar, Amaç fonksiyonu2: minimum türbin sayısı, Wake effect, Rüzgâr hızı/yönü/yoğunluğu	Rüzgâr hızı, Eğim, yükselti, Uzaklıklar (yerleşim yerine, karayoluna, demiryoluna, havaalanına, elektrik hatlarına, koruma alanlarına, su kaynaklarına, fay hatlarına)	Rüzgâr hızı, Fay hatlarına uzaklık, Yerleşim yerine uzaklık (Şehir), Doğal yaşam alanlarına uzaklık, Eğim, Karayollarına uzaklık, Küçük yerleşim yerlerine uzaklık (köy, kasaba), Elektrik hatlarına uzaklık, Su kaynaklarına uzaklık	Rüzgâr enerjisi potansiyeli, Karayollarına uzaklık, Elektrik hatlarına uzaklık, Eğim, Yerleşim yerine uzaklık, Arazi yapısı, Özel koruma alanlarına uzaklık, Doğal yaşam alanına uzaklık, Peyzaj mimarisi

Çizelge 4.1. (devam) Rüzgâr enerjisi literatür çalışmaları

YIL	2016	2016	2016	2017	2018
MAKALE ADI	Site Selection Tecniqe for Wind Turbine Power Plants Utilizing Geographical Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP)	Süleyman Demirel Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Santrali Projesi çalışması	GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain	Site assessment, turbine selection, and local feed-in tariffs through the wind energy index	A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria
YAZAR	Chingis Aitzhanov	Ufuk Elibüyük, Ali Kemal Yakut ve İbrahim Üçgül	J.M. Sánchez-Lozano, M.S. García-Cascales, M.T. Lamata	Matthias Ritter ve Lars Deckert	T.R. Ayodele, A.S.O. Ogunjuyigbe, O. Odigie, J.L. Munda
KONU	Yüksek lisans tezinde CBS ve AHP birlikte kullanılarak Kazakistan'da rüzgâr santrali yer seçimi çalışması yapılmıştır.	Süleyman Demirel Üniversitesine kurulacak tesis için rüzgâr hızı, rüzgâr enerjisi hesaplamaları yapılmıştır.	Güneydoğu İspanya için bulanık AHP ile kriter ağırlıkları belirlenip, bulanık TOPSIS ile alternatifler değerlendirilerek bu verilerle CBS'de bulanık karar matrisi oluşturulup uygun yer seçimi yapılmıştır.	İlgili kişiler tarafından desteklenen rüzgâr enerjisi indeksleri sunulmuş, MERRA verilerine göre her türbin tipi için beklenen rüzgâr enerjisi üretimi bir örnekle sunulmuştur.	GIS ve Aralık türü – 2 bulanık AHP (interval type – 2 bulanık AHP) birlikte kullanılarak Nijerya bölgesi ekonomik, teknik, çevresel ve teknik kriter ve kısıtlar uzman görüşleriyle desteklenerek en uygun bölge belirlenmiştir.
KRİTERLER/ KISITLAR/ YAKLAŞIMLAR	CBS ve AHP'ye Ek olarak ELECTRE III, ELECTRE-TRI, SMAA-TRI karar verme teknikleri de kullanılarak sonuçlar kıyaslanıp değerlendirilmiştir.	Santralin maliyet ve amortisman değerleri hesaplanmıştır.	Ortalama rüzgâr hızı, Tarımsal alanlar, Eğim, Kullanım alanı, Havaalanlarına uzaklık, Karayollarına uzaklık, Elektrik hatlarına uzaklık, Şehir merkezine uzaklık, Trafo merkezine uzaklık, Elektrik direklerine uzaklık	Yer seçenekleri ve türbin alternatifleri değerlendirilmiş, maliyet analizi ile kıyaslanmıştır.	Kriterler; rüzgâr hızı, eğim, trafoya yakınlık, karayoluna yakınlık. Kısıtlar; ormanlık, sulak alan vb. örtülü alanlar, korunan alanlar, nehirler, havaalanı, yerleşim yerleri, kuş habitatları

Bu bölümde çalışmanın uygulama bölümünde değerlendirilen ve kullanılan ÇKKV, CBS ve DP yöntemleriyle yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Karar verme, farklı alternatiflere sahip bir problemde birtakım amaç ve hedefler doğrultusunda bir ya da birden fazla alternatifi seçme işlemidir. Günlük hayatta farkında olmadan pek çok defa seçme ya da karar verme sürecine girilmekte, farklı metotlar kullanılarak çeşitli kararlar verilmektedir. Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun, mümkün bir veya birkaçını seçme sürecidir [28].

Özellikle son 30 yılda çeşitli alanlarda geliştirilen ve literatürde sunulmuş olan ÇKKV yöntemlerinde kararın niteliği büyük ölçüde karar vericilerden sağlanan kriter ağırlıkları ve eldeki alternatiflerin söz konusu kriterlere göre aldıkları değerlerin belirlenmesine göre şekillenmektedir [29].

ÇKKV problemleri, birden fazla kritere ve en az iki alternatife sahip olan problemlerdir. Alternatifler kriterlere göre değerlendirilir. Kriterler belirli bir alternatifi seçmekte belirleyici olmuyorsa kriterlere çeşitli yöntemlerle ağırlıklandırma ya da önceliklendirme yapılarak alternatiflerden birisi seçilir.

Coğrafi bilgiyi ya da diğer bir adıyla konumsal bilgiyi toplamaya, saklamaya, güncellemeye, işlemeye, analiz etmeye ve yeni veriler elde ederek tekrar tekrar kullanmaya yarayan; içerisinde donanım, yazılım ve personel bulunduran konumsal bilgi sistemlerine genel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) adı verilmektedir. Başka bir deyişle CBS, coğrafi olarak tanımlanabilen yazınsal ve vektörel verilerin aynı ortamda eşleşmesini ve bu veriler üzerinde belirlenen amaçlar doğrultusunda verilerin sorgulanması ve analiz edilmesini sağlayan bilgi sistemidir [30].

Konumsal bilgi kullanımının, trafik akışı ve arazi kullanım planına ait yeni veri setleri üretilmiştir. Daha sonra 1922’de İngiltere’de arazi kullanımını eş çizgiler halinde gösteren haritalar hazırlanmıştır. 1929 yılında New York ve çevresinin etüdü hazırlanarak nüfus ve arazi değerlerinin üst üste çakıştırılmasıyla yeni haritalar oluşturulmuştur. 1950’lere gelindiğinde bilgisayar teknolojisi şehir planlaması ve haritalamaya da kolaylık getirmiştir. Birleşik Devletlerde ulaşım planlamacıları, trafik akışı ve trafik verisine dayalı haritaları sayısallaştırmaya başlamışlardır. 1963 yılına gelindiğinde Roger Tomlinson ulusal tapu

kayıtlarını analiz etmek amacıyla Kanada Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni kurmuştur. Böylece CBS yardımıyla arazinin, doğal kaynakların ve tükenmekte olan habitatın envanteri çıkarılmaya başlanmıştır. Bu sistemde veritabanı yapısı, çalıştırma ve alan hesaplamaları, vektör veri üretimi, katman yapısı, grafik ve öznitelik verisi ayırımı ile verilerin taranmasına dayalı veri girişi ve poligon yapıların sorgulanması kavramları ilk defa kullanılmaya başlanmıştır. Konumsal istatistik alanında dijital haritalar sayesinde, konum ve konuma ait öznitelik değerlerini kullanarak çeşitli analizlerin yapılabilmesi sağlanmıştır. Planlamacılar farklı girdileri kullanarak alternatif yerleşim alanlarını tespit edebilme ve bunu görsel olarak sunabilme imkânına kavuşmuşlardır. Bu sayede CBS teknolojileri veri saklama özelliğini, karar verme modelleri ile birleştirilerek etkili bir karar destek sistemi haline gelmiştir.

2000'li yıllara gelindiğinde ise CBS, planlama çalışmalarının en temel aracı halini almıştır. Yalnızca planlama veya karşılaştırma analizlerinde değil, ağ (network) analizleri, yakınlık (proximity) analizleri, kent bilgi sistemleri, altyapı sistemleri, afet bilgi sistemleri, lojistik uygulamaları ve kaynak yönetimi gibi geniş bir yelpazede uygulama olanağı sunmaktadır [31].

Rüzgâr Enerjisi alanında yapılan santral yer seçimi çalışmalarında ÇKKV ve CBS'ye dayalı yöntemlere çokça yer verilmiştir.

Baban ve Parry (2000) çalışmasında; Rüzgâr türbini yer seçimi kriterlerini belirleyerek her kriter önem sırasına göre en önemli kriterden başlayarak topografya, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, eğim (eğim açısı max %10), nüfus (büyük yerleşim yerine min 2 km, müstakil konutlara min 500 m), tarım alanları, arazi kullanımı (ormanlık araziden min 500m uzak), su kaynağı (min 400m uzak), ekoloji (min 1000m uzak), tarihi ve kültürel miras (min 1000m uzak), ulaşım (karayoluna max 10km) şeklindeki kriterleri farklı ve aynı ağırlıklandırma yaparak CBS'de çıkan sonuçların kıyaslanması ve değerlendirilmesi yapmıştır [32].

Rodman ve Meentemeyer (2006); Kuzey Kaliforniya'da bulunan 9 vilayet CBS kullanılarak rüzgâr hızı, ormanlık arazi, eğim, yerleşim yerine uzaklık, tarım alanından uzaklık, ekolojik bölgeye uzaklık, su kaynaklarına uzaklık kriterlerine en önemliye en çok puan verilerek rüzgâr santrali kurulumu için kıyaslamıştır [33].

Simao ve diğerleri (2009); İngiltere'nin doğusu Norfolk'ta çok kriterli karar verme ve web tabanlı GIS kullanımı ile rüzgâr santrali yer seçimi çalışması yapmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak sürece halkın işbirlikçi katılımı da eklemiş, yapılan anketler yer seçim kriter ağırlıklarını etkilemiştir [34].

Janke (2010); Kolorado için türbin yer seçimi kriterleri olan rüzgâr potansiyeli, Güneş potansiyeli, İletim hatlarına uzaklık, Şehir Merkezine uzaklık, Nüfus yoğunluğu, Ulaşım, Arazi tipi, Devlete ait araziler ağırlıklandırarak CBS'de uygun yerler tespit etmiştir [35].

Tegou ve diğerleri (2010); Midilli Adasında (Yunanistan) yapılan yer seçimi çalışması için AHP ile belirlenen kriter ağırlıkları CBS'de kullanılarak uygun yer tespiti yapmıştır. Bu kriterler önem sırasına göre; Rüzgâr hızı, Ormanlık alan, Su kaynaklarına uzaklık, Yüksek üretkenlik alanı, Eğitim açısı, Yerleşim alanlarına uzaklık, Arkeolojik alana uzaklık, Karayoluna uzaklık, Havaalanına uzaklık olarak sıralanabilir [36].

Aydın ve diğerleri (2010); Batı Türkiye'de CBS ile rüzgâr türbini yer seçimi yapmıştır. Uşak, Aydın, Denizli, Muğla ve Burdur'u kapsayan çalışmada çevresel kısıtlar ve kriterler bulanık setlerle temsil edilmiş ve bu set değerleri CBS'ye girilerek uygun yer seçimi tespiti yapılmıştır [37].

Mari ve diğerleri (2011); İtalya Toskana'da rüzgâr türbinleri yer seçimi için bir CBS tabanlı interaktif web karar destek sistemi oluşturmuştur. Karar destek sisteminin oluşturulmasında mapServer ve java script kullanılmıştır [38].

Yahyai ve diğerleri (2012); Umman için kriterler AHP-OWA ile ağırlıklandırıp alternatifler CBS ile değerlendirmiştir. Kriterlerin önem sırası; Türbülans yoğunluğu (min), rüzgâr hızı, rüzgâr yoğunluğu, zirve saat eşleştirme, yerleşim yerine uzaklık, arazi eğimi, karayoluna uzaklık şeklindedir [39].

Azizi ve diğerleri (2014); İran Erdebil Eyaleti için rüzgâr santrali yer seçiminde kriterler arası ilişkiler DEMATEL'le, kriter ağırlıkları ANP ile bulunarak bu ağırlıklara göre CBS ile uygun yer tespiti yapmıştır. Kriter ağırlıkları; rüzgâr potansiyeli, arazi yapısı, yükselti/eğim, yerleşim yerine uzaklık, havaalanına uzaklık, su kaynaklarına uzaklık, karayollarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık, koruma alanlarına uzaklık şeklindedir [40].

Sağbaş ve Mazmanoğlu (2014); Marmara Bölgesi için rüzgâr santrali yer seçiminde Bulanık AHP ile kriter ağırlıkları verilerek AHP alternatifler sıralanmıştır. Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti, Potansiyel elektrik üretimi, Çevresel etki ve riskler, Kapasitesi, Ömrü, Etkinliği şeklinde kriterler ağırlıklandırılmıştır [41].

Sanchez-Lozano ve diğerleri (2014); Murcia için ELECTRE-TRI ve CBS kullanımıyla alternatif rüzgâr santrali kurulum yerlerini rüzgâr hızı, eğim, tarım alanı, kullanım alanı, havaalanına uzaklık, karayoluna uzaklık, elektrik hatlarına uzaklık, yerleşim yerine uzaklık kriterlerine göre değerlendirmiştir [42].

Kallioras ve diğerleri (2015); stokastik veriler kullanılarak rüzgâr santrali tesis yerleşim çalışması yapmıştır. Kesikli varyantlara dayanan harmonik araştırma metodu kullanılmıştır. Rüzgâr yönünü dikkate alan ve almayan şeklinde iki farklı hesaplama yapılmıştır. İlk amaç fonksiyonu maksimum kar, diğer amaç fonksiyonu minimum türbin sayısı şeklinde oluşturulmuştur [43].

Noorollahi ve diğerleri (2015); eşit öneme sahip kısıtlarla CBS’de değerlendirdikleri Batı İran’ın %28’inin rüzgâr santraline elverişli olduğu tespit etmişlerdir. Eşit ağırlıklı kriterler; rüzgâr hızı, eğim, yükselti, uzaklıklar (yerleşim yerine, karayoluna, demiryoluna, havaalanına, elektrik hatlarına, koruma alanlarına, su kaynaklarına, fay hatlarına) şeklindedir [44].

Höfer ve diğerleri (2016); AHP tabanlı CBS ile değerlendirdikleri Aachen’da %9,4’lük alan rüzgâr enerjisine uygunken % 1,74’lük alanın yüksek uygunluğunu tespit etmişlerdir. AHP kriterleri sırayla; rüzgâr enerjisi potansiyeli, karayollarına uzaklık, elektrik hatlarına uzaklık, eğim, yerleşim yerine uzaklık, arazi yapısı, özel koruma alanlarına uzaklık, doğal yaşam alanına uzaklık, peyzaj mimarisi şeklindedir [45].

Rezaian ve Jozi (2016); İran Takistan için AHP ile rüzgâr hızı, fay hatlarına uzaklık, yerleşim yerine uzaklık (Şehir), doğal yaşam alanlarına uzaklık, eğim, karayollarına uzaklık, küçük yerleşim yerlerine uzaklık (köy, kasaba), elektrik hatlarına uzaklık, yükselti, su kaynaklarına uzaklık kriterlerinin ağırlıklarını belirleyip kriterlere göre alternatif bölgeleri değerlendirmişlerdir [46].

Sánchez-Lozano ve diğerleri (2016); Güneydoğu İspanya için bulanık AHP ile kriter ağırlıkları belirleyip, bulanık TOPSIS ile alternatifleri değerlendirerek bu verilerle CBS’de bulanık karar matrisi oluşturup uygun yer seçimi yapmıştır [47].

Elibüyük ve diğerleri (2016); Süleyman Demirel Üniversitesi’ne kurulacak tesis için rüzgâr hızı, rüzgâr enerjisi hesaplamaları yaparak, santralin maliyet ve amortisman değerlerini hesaplamışlardır [48].

Aitzhanov (2016); yüksek lisans tezinde CBS ve AHP birlikte kullanılarak Kazakistan’da rüzgâr santrali yer seçimi çalışması yapılmıştır. Ek olarak ELECTRE III, ELECTRE-TRI, SMAA-TRI karar verme teknikleri de kullanılarak sonuçlar kıyaslanıp değerlendirilmiştir [49].

Ritter ve Deckert (2017); ilgili kişiler tarafından desteklenen rüzgâr enerjisi indekslerini belirlemiş, MERRA verilerine göre her türbin tipi için beklenen rüzgâr enerjisi üretimi bir örnekle sunmuştur. Yer seçenekleri ve türbin alternatifleri değerlendirilmiş, maliyet analizi ile kıyaslanmıştır [50].

Ayodele ve diğerleri (2018) uzman görüşleriyle ağırlıklandırılan kriterler ve belirlenen kısıtlarla tip-2 bulanık AHP yöntemiyle CBS’yi birlikte kullanarak Nijerya’yı rüzgar santrali kurulum yeri açısından değerlendirmiş en uygun bölgeyi tespit etmiştir [51].

Çizelge 4.2. Tamsayılı programlamanın yenilenebilir enerji alanında kullanımları

ALAN	Enerji	Yenilenebilir Enerji	Yenilenebilir Enerji	Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi
YIL	2015	2017	2008	2010	2012
MAKALE ADI	GIS-modelling based coal-fired power plant site identification and selection	Optimal location of biorefineries considering sustainable integration with the environment	Optimizing site selection for hydrogen production in Iceland	Economic Evaluation of Wind Farms Based on Cost of Energy Optimization	A decision support system for the optimal exploitation of wind energy on regional scale
YAZAR	J. Xu, X. Song, Y. Wu ve Z. Zeng	D.C. López-Díaz, L.F. Lira-Barragán, E. Rubio-Castro, J.M. Ponce-Ortega ve M.M. El-Halwagi	H.T. Ingason, H.P. Ingolfsson ve P. Jensson	Jie Zhang and Souma Chowdhury	A. Ouammi, V. Ghigliotti, M. Robba, A. Mimet ve R. Sacile
KONU	Kömür yakıtlı elektrik santrali için yer seçimi çalışması	Ekonomik ve çevresel değişkenleri içeren biyokütle rafinerisi yer seçimi modeli önermişlerdir.	İzlanda'da hidrojen formatındaki enerjiyi Avrupa'ya ihraç etmeyi planlayan bir model oluşturulmuştur.	Rüzgâr çiftliği maliyeti tabanlı bir model "A Response Surface Based Wind Farm Cost (RS-WFC)" ile değerlendirilmiştir.	İtalya'da yer seçimi ve optimal teknoloji türbin tasarımı çalışması
KRİTERLER/ KISITLAR/ YAKLAŞIMLAR	Maliyet etkinliği ve halk ile işletmeciler arasındaki santralin yaydığı kirliliklerin sebep olduğu anlaşmazlığa yönelik CBS ve matematiksel model bir arada kullanılmıştır.	Çevredeki su havzasına zarar vermeden işleyecek bir tesis yeri modeli önermişlerdir	Karışık tamsayılı programlama yöntemi ile 23 alternatif su kaynağından hidrojenin en ekonomik şekilde üretilmesini sağlayacak olan alternatifi belirlemeyi hedeflemişlerdir.	Farklı türbin özelliklerini göz önüne alarak yapılan çalışmada kurulum maliyeti, işletim ve bakım maliyeti, yıllık toplam maliyetten oluşan modelde rüzgâr enerjisinden üretilen bir yıllık enerji maliyeti minimize edilmiştir.	

Çizelge 4.2. (devam) Tamsayılı programlamanın yenilenebilir enerji alanında kullanımları

ALAN	Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi
YIL	2016	2017	2017	2018
MAKALE ADI	Characterization and optimal site matching of wind turbines: Effects on the economics of synthetic methane production	Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarında Geri Ödeme Süresinin Monte Carlo Simülasyonu ile Belirlenmesi	Optimal siting and sizing of wind Farms	Investigation of wind farm location planning by considering budget constraints
YAZAR	V. de la Cruz, M. Martín	Hasan Hüseyin Yıldırım	H. Cetinay, F.A. Kuipers ve A.N. Güven	Reza Lotfi, Ali Mostafaeipour, Nooshin Mardani ve Shadi Mardani
KONU	Kara ve deniz RES sahaları için rüzgâr karakterine göre uygun türbin seçimi yapılmıştır.	(RES) yatırımlarının değerlendirilmesinde Crystall Ball programında Monte Carlo simülasyon (MCS) modeli kullanılmıştır.	Türkiye’de rüzgâr karakteri ve şebeke bağlantısı optimizasyonuna göre RES yer seçimi modeli geliştirmiştir.	İran Horasan’da rüzgâr santrali yer seçimi çalışması yapılmıştır.
KRİTERLER/ KISITLAR/ YAKLAŞIMLAR	Karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir.	Üç farklı senaryo için rüzgâr enerjisi santral yatırımının geri ödeme süresine ait sonuçlar değerlendirilmiştir.	Ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr gücü yoğunluğu, kapasite faktörü, elektrik iletim hatlarına yakınlık ve şehir merkezine, havaalanına ormanlık araziye olan mesafe gibi çevresel faktörlere göre en uygun yer seçildikten sonra bu alanda maksimum kar elde edebilmek için rüzgâr türbinlerinin yerleşimine karar verilmiştir.	Belirsizliklerin daha doğru yansıtılması için Bulanık TOPSIS kullanılmış, sonra alternatif bölgeler bulanık lineer programlama modeliyle bütçe kısıtları içinde değerlendirilmiştir. On bölge değerlendirilmiş en uygun üç bölge tespit edilmiştir.

Karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan optimizasyon modelleri çeşitli matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Daha da açık biçimde ifade etmek gerekirse optimizasyon modelleme matematiksel programlama olarak adlandırılabilir [32].

Matematiksel tamsayılı programlama modelleri, incelenen problemdeki fonksiyonların tipine göre doğrusal ve doğrusal olmayan programlama şeklinde sınıflandırılmaktadırlar. Doğrusal Programlama (DP), tek bir doğrusal amaç fonksiyonundan ve tüm kısıtlamaları doğrusal eşitlik veya eşitsizliklerden oluşan bir matematiksel programlama modeli olarak karşımıza çıkmaktadır [52]. Doğrusal olmayan programlama ise eşitsizliklerin, kısıtların ya da amaç fonksiyonunun doğrusal olmadığı yani en az iki karar değişkeninin çarpılmasıyla elde edildiği matematiksel modellerdir.

Tamsayılı programlama genel olarak belirli bir amacı gerçekleştirebilmek için sınırlı kaynakların etkin kullanımını ve çeşitli seçenekler arasında en iyi (optimum) şekilde dağılımını sağlayan matematiksel modelleme tekniği olarak tanımlanabilmektedir [53].

Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda maliyet minimizasyonu prensibine dayalı modellerin tercih edilme oranının %75'lere ulaştığı; kâr maksimizasyonu prensibine dayalı modellerin %16, çelişen amaçlarla çok amaçlı modellerin ise %9 olduğu görülmüştür [28].

Yer seçimi alanında en yaygın kullanımlar optimizasyon modelleri olmasına rağmen enerji alanında kullanılan tamsayılı programlama modelleri oldukça kısıtlıdır.

Enerji alanında, Xu ve diğerleri (2015); kömür yakıtlı elektrik santrali için yer seçimi çalışması yapmışlardır. Maliyet etkinliği ve halk ile işletmeciler arasındaki santralin yaydığı kirlenmelerin sebep olduğu anlaşmazlığa yönelik CBS ve matematiksel model bir arada kullanılmıştır [54].

Yenilenebilir enerji alanında Ingason ve diğerleri (2008); İzlanda'da hidrojen formatındaki enerjiyi Avrupa'ya ihraç etmeyi planlayan bir karışık tamsayılı programlama yöntemi ile 23 alternatif su kaynağından hidrojenin en ekonomik şekilde üretilmesini sağlayacak olan alternatifi belirlemeyi hedeflemişlerdir [55].

López-Díaz ve diğerleri (2017); ekonomik ve çevresel değişkenleri içeren biyokütle rafinerisi yer seçimi modeli önermişlerdir [56].

Rüzgâr enerjisine yönelik çalışmalarda ise;

Zhang ve Chowdhury (2010); Rüzgâr çiftliği maliyeti tabanlı bir model ile değerlendirmiştir. Farklı türbin özelliklerini göz önüne alarak yapılan çalışmada kurulum maliyeti, işletim ve bakım maliyeti, yıllık toplam maliyetten oluşan modelde rüzgâr enerjisinden üretilen bir yıllık enerji maliyeti minimize edilmiştir [57].

Ouammi ve diğerleri (2012); İtalya’da yer seçimi ve optimal teknoloji türbin tasarımı çalışması yapmışlardır [58].

Cruz ve Martín (2016); kara ve deniz RES sahaları için rüzgâr karakterine göre uygun türbin seçimi amaçlayan karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir [59].

Çetinay ve diğerleri (2017); Türkiye’de rüzgâr karakteri ve şebeke bağlantısı optimizasyonuna göre RES yer seçimi modeli geliştirmişlerdir [60].

“Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarında Geri Ödeme Süresinin Monte Carlo Simülasyonu ile Belirlenmesi” çalışmasında RES yatırımları Monte Carlo simülasyonu ile değerlendirilmiştir. İyi durum, normal durum ve kötü durum olmak üzere üç farklı senaryo için türbinlerin kapasite kullanım oranları ve geri ödeme süreleri değerlendirilmiştir [21].

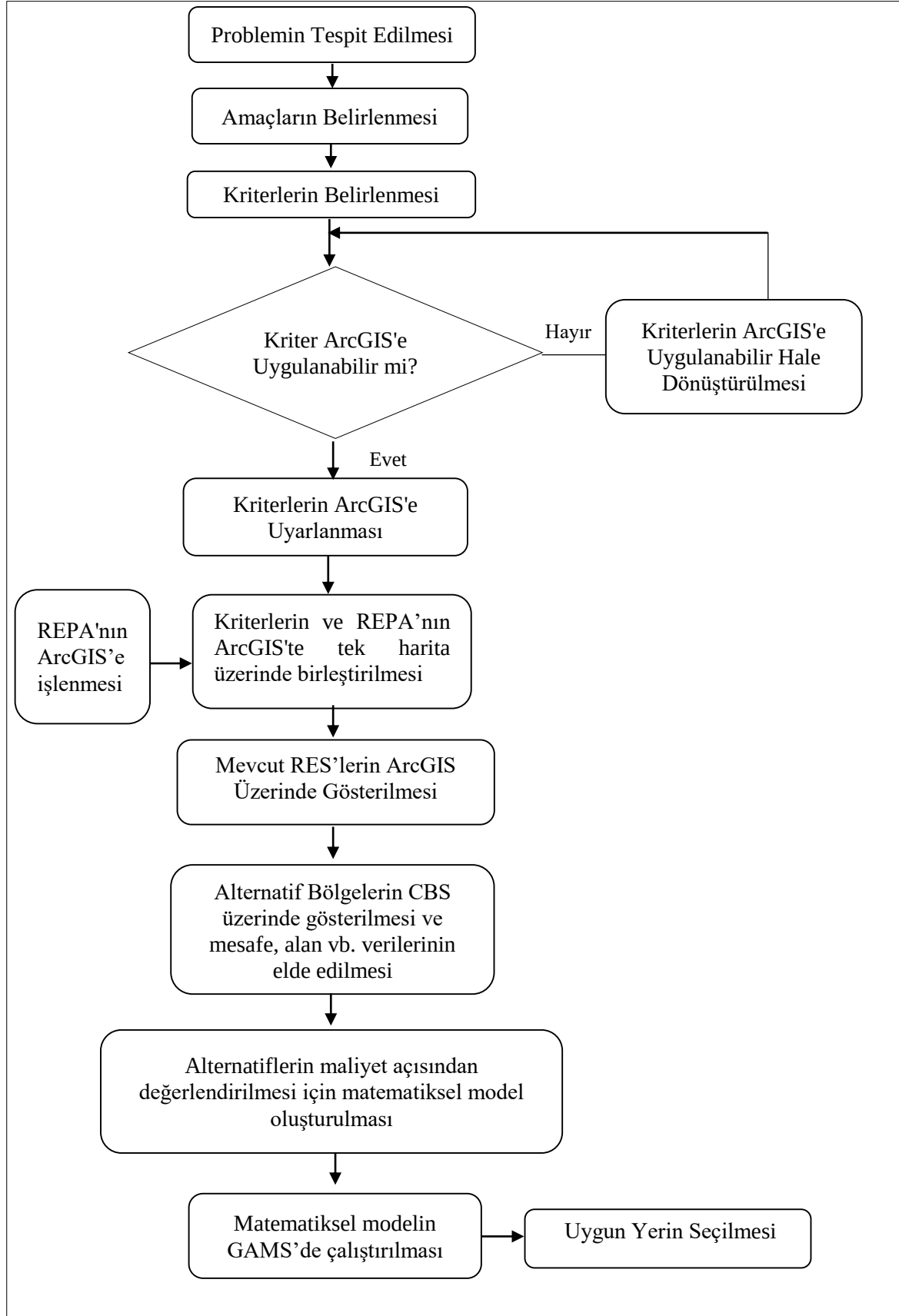
Lotfi ve diğerleri (2018); İran Horasan’da bütçe kısıtlı yer seçimi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bulanık-TOPSIS ile değerlendirilen bölgeler için kurulan matematiksel model GAMS programında çözülerek en uygun bölgeler tespit edilmiştir [61].

5. YÖNTEMLER

Çalışmanın hazırlık aşamasında öncelikli olarak konu bakımından yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu zamana kadar yapılmış olan çalışmalarda kullanılan kısıtlar ve çözüm yöntemleri analiz edilmiştir. Kullanılan kısıt ve kriterlerden rüzgâr santrali kurulumu yer seçimi için temel faktör kriterler tespit edilmiş ve eşit ağırlıklı olarak değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bunu takip eden süreçte temel faktör haritalarının oluşturulması sağlanmıştır. Haritalarda uygun alan bulunulmaması durumunda kriterlerin önceliklendirilmesine ya da kriterlerin ağırlıklandırılmasına karar verilmiştir.

Rüzgâr enerji santrali yatırımı için ilk yapılması gereken rüzgâr potansiyeli yüksek yerlerin tespit edilmesidir. Bu aşamada belirlenmesi gereken, rüzgâr hızlarının yaklaşık tahmini değerleridir. Tahmini rüzgâr hızlarının bulunacağı ilk başvuru kaynağı ise daha önce de bahsedilen rüzgâr atlaslarıdır. Yapılan ön çalışmalar sonucu belirlenen tahmini ortalama rüzgâr hızları 5-7 m/s civarında ise rüzgâr kaynağın ekonomik olarak değerlendirilebileceği düşünülmelidir [25].

Rüzgâr türbinleri çevreyle etkileşim halindedirler. Bu nedenle öncelikle çevresel kriterler değerlendirilmiştir. Çalışma aşağıdaki iş akış şemasına göre detaylandırılarak yürütülmüştür. Türbin kurulamayacak yerler de belirlendikten sonra rüzgâr türbini için en uygun konuma karar verilmiştir.



Şekil 5.1. Süreç akış şeması

Bu çalışma yapılırken kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlere göre haritaların oluşturulması için Coğrafi Bilgi Sistemleri ArcGIS kullanılmıştır. Haritaya kriterler girildikten sonra alternatifler arasından yapılacak en uygun yer seçimi için tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır.

CBS ile değerlendirilen çevresel ve coğrafi kriterlere uygun alternatifler matematiksel modelle birlikte birim enerjinin yatırım, bakım, işletme maliyetleri açısından değerlendirilmiş ve en uygun bölge seçilmiştir.

5.1. CBS'ye Genel Bakış

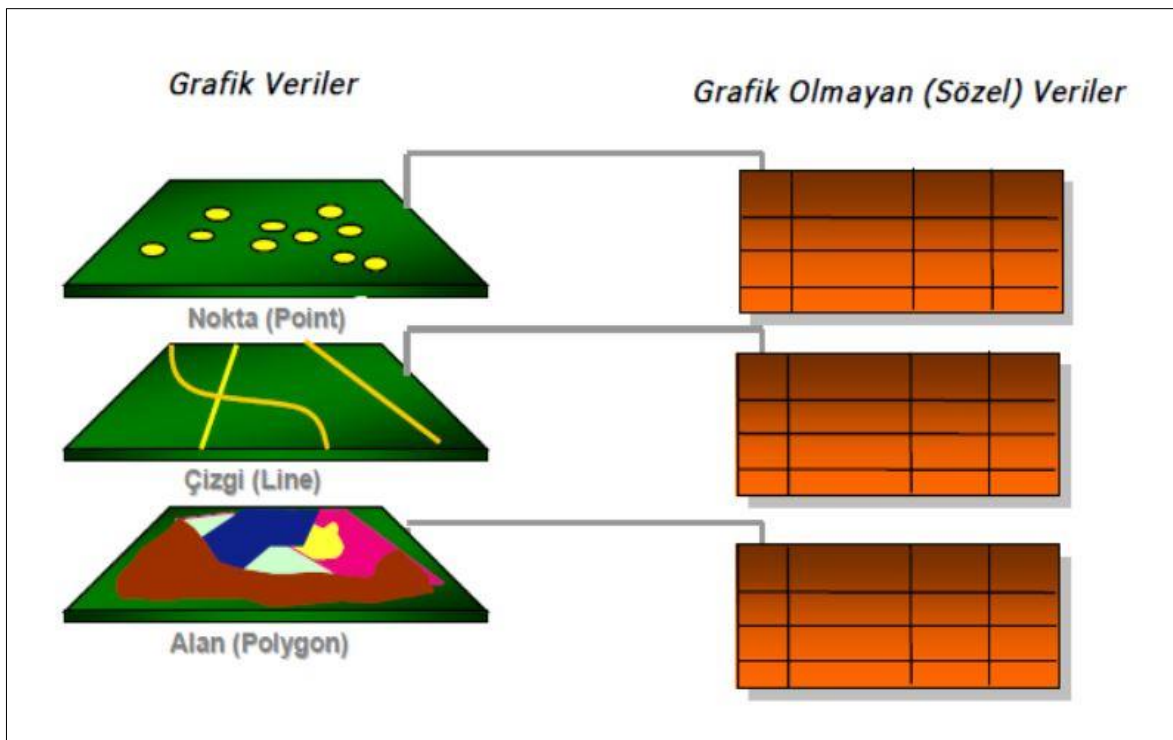
Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS): Dünya üzerindeki sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik olarak mekâna/konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere; grafik ve grafik olmayan her tür mekânsal bilginin; toplanması, depolanması, işlenmesi, birbiri ile ilişkilendirilmesi, güncellenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve sunulması fonksiyonlarını bütünleşik olarak yerine getiren donanım, yazılım, personel ve yöntemlerin oluşturduğu bir sistemdir [62]. Bu bilgileri kullanması gereken kişi ve kurumların donanım ve yazılımı içeren bir sistem içerisinde kullanımına sunup, akıllı haritalar üzerinde sonsuz veri bilgilerini bağlantılı şekilde gösterebilen, güncellenmesini sağlayan, analiz eden, raporlayan, işleri kolaylaştıran bir sistem olarak adlandırılabilir. Başka bir ifadeyle “dünya üzerindeki bölgeleri tarif eden, verileri saklayan ve kullanan bilgisayar sistemi” olarak tanımlanabilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, mekansal verilerle sözel bilgileri entegre eden bir yapıya sahiptir [63].

Veriler,

- Uydudan / havadan çekilmiş görüntü (resim formatı),
- Yol (çizgi formatı),
- Parsel (alan formatı),
- Direk (nokta formatı),
- Vektör ve arazi modeli (grid formatı) şeklinde olabilir [62].

Coğrafi Bilgi Sistemleri, grafik, tablo ve metin şeklinde raporlamaların sağlayamadığı coğrafi yakınlık/uzaklık/ilişki/benzerlik ve farklılıkların gösterilmesini sağlayan daha güncel bir teknoloji ürünüdür. CBS'yi resim ya da çizim olmaktan çıkaran şey, içinde

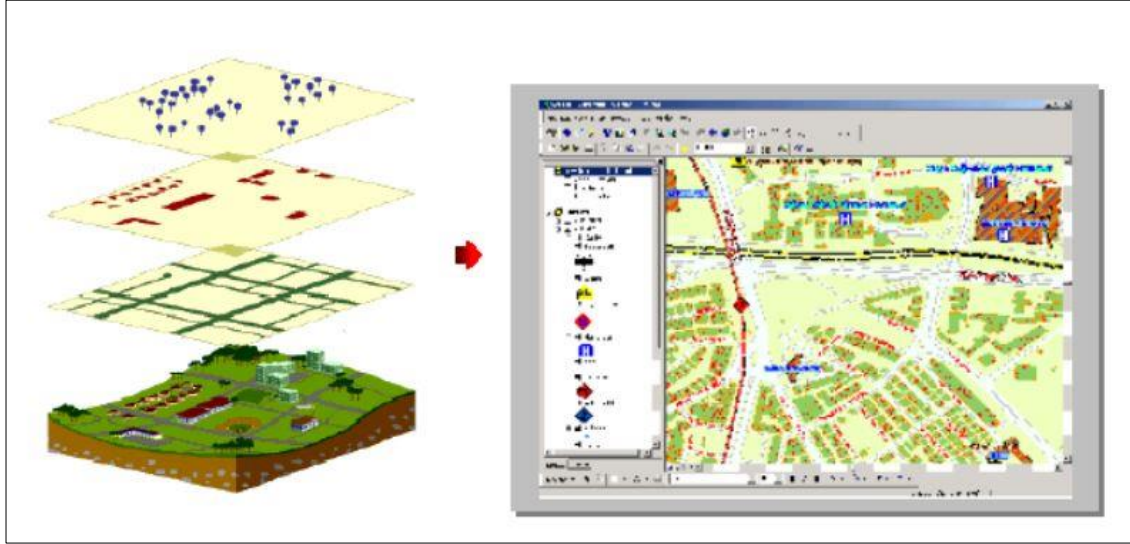
barındırdığı bilgi ve ilişkilere göre canlı olarak farklı şekil ve renklerde, dinamik olarak sonuç üretip, kullanıcıların ve karar vericilerin iş yapmasını ve karar almasını kolaylaştırmasıdır. Örneğin CBS yapılan anketlerin sonuçlarını harita üzerinde coğrafi alanın Sahil kesimlerinde A, merkezin kuzeyinde B, Güney Batıda C parametresinin yoğunlaştığını göstermeyi, verileri görselleştirmeyi sağlayabilir. Coğrafi veriler temelde mekânsal ve tanımlayıcı bilgiler olmak üzere iki gruba ayrılır. Mekansal veriler, yer şekil ve diğer mekansal özellikleri belirler. Tanımlayıcı bilgiler ise mekansal verilere ait bilgileri tutulmasıdır [63].



Resim 5.1. Grafikselsel ve sözel verilerin coğrafi yapısı [63]

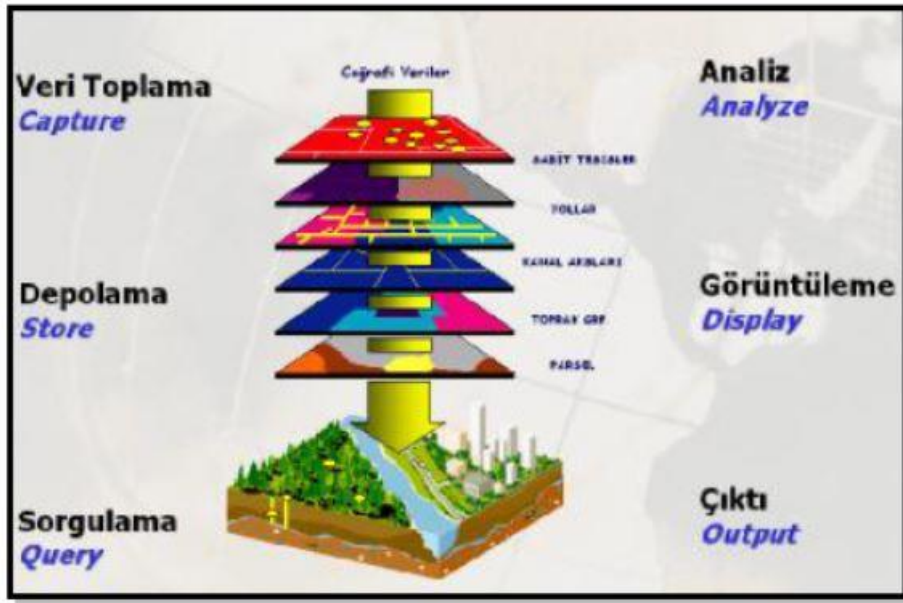
Özellik tipleri temel olarak Nokta, Çizgi ve Çokgen olarak gruplandırılır. Bunlardan noktasal olanlar şekli ve sınırları çok küçük olan birimlerin tanımlanmasında kullanılarak lokasyon belirtmektedirler. Çizgisel özellikler birbirini takip eden ve alan olarak gösterilemeyen yol, hat vb. birimler için kullanılmaktadırlar. Çokgen özellikler ise göl yerleşim sınırı gibi alanların gösteriminde kullanılmaktadır. Bu özellikler harita üzerinde farklı sembollerle gösterilmektedirler. Gösterimlerin ayrımları veri tabanı bilgileri yardımıyla yapılmaktadır. Veri tabanındaki bilgilerle aynı özellik grubundaki veriler renk ve sembol olarak ayırt edilmektedir. Böylece harita üzerinde farklı bilgiler sunulabilmektedir.

Bu modelin temelinde farklı coğrafi bilgiler ve özelliklerden oluşan verilerin ayrı ayrı tanımlanması bulunmaktadır [63].



Resim 5.2. Coğrafi tabakaların oluşturulması ve birleştirilmesi [63]

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde amaç coğrafi bilginin; üretimini, yönetimini, analiz ve network üzerindeki dağıtık veri tabanlarından coğrafi verileri tüm insanların paylaşabileceği profesyonel bilgi sistemi teknolojisini sunmaktır [63].



Resim 5.3. Coğrafi verilerin düzenlenmesi [63]

CBS ile yeryüzü bilgileri farklı tabakalar şeklinde vektör ve raster formatlarda bağımsız olarak depolanabilmektedirler. Vektörel veri formatında konuma ait veriler x,y koordinat değerleriyle depolanmaktadır. Raster veri formatında konuma ait veriler ise; hücrelere bağlı olarak temsil edilir. En küçük birim pixel olarak tanımlanır [63].

Çalışma kapsamında kullanılan temel komutlar;

Select Feature & Select By Attribute; Coğrafi Bilgi Sisteminde depolanmış bir yol objesinin tanımlanması ile o yolun uzunluk, adı, tipi, vb bilgilere hızlı bir erişim sağlanmış olur. Bir parsel tanımlandığında o parselin alan, çevre, ada ve parsel numarası gibi veritabanına girilmiş bilgilere erişim sağlanmış olur. Veri tabanından mantıksal ifadeler kullanılarak grafik verilere ulaşılmış olur. Mahalle adı tanımlanarak o mahalledeki tüm parseller ekranda görüntülenebilir.

Select by Location; Birbirlerinden soyutlanmış farklı tabakalarda ve aynı coğrafi düzlemde depolanmış verilerin (Yol, Mahalle Sınırları, Parseller, Okullar, İlçe Sınırları gibi) birbirleri ile ilişkilendirilmesidir. Örneğin bir mahalle içine giren parsellerin, okulların seçilmesi, D750 karayolunun geçtiği ilçelerin seçilmesi, bir sanayi alanına belli bir mesafede olan yerleşim yerlerinin belirlenmesi gibi mekânsal sorgulamalar yapılabilmektedir.

Analizler; Coğrafi Bilgi Sistemi'nde depolanan veriler üzerinde konuma dayalı kararlar verebilme coğrafi verinin sorgulanması, görüntülenmesi ve analizler ile mümkün olmaktadır. Konumsal analiz işlemlerinde, mevcut girdilerden yararlanılarak, yeni bilgi kümeleri üretilir.

Tampon Bölgeleme (Buffer),

Bindirme Analizleri (Overlay),

Yakınlık Analizleri (Proximity),

Yogunluk Analizleri (Density Analysis),

Adres Haritalama (Adress Geocoding),

Dinamik Bölümler (Dynamic Sementation),

Kısayol ve Altyapı Yönetim Analizleri (Network Analysis),

Yüzey Analizleri (3D, Aspect, Slope, Elevation, Visibility, Line of Site, Cut&Fill).

Surface Analysis (Yüzey Analizleri); ArcGIS Spatial Analiz modülünde yer alan Surface Analysis fonksiyonu, Contour (Kontur), Slope (Eğim), Aspect (Bakı), Hillshade (S/B Kabartma Harita), Viewshed (Görüş Alanı) ve Cut/Fill (Hacim/Dolgu) analizlerini içermektedir [63].

Örneğin; toprak grupları, eğim ve bakı veri setleri weighted overlay (ağırlıklı bindirme) veya union (birleştirme) gibi fonksiyonları kullanılarak karşılaştırılır ve ihtiyaç duyulan en uygun alanlar tespit edilebilir. Ayrıca yağış, toprak grupları, eğim ve yükseklik veri setleri kullanılarak tarıma elverişli alanlar, erozyon açısından riskli bölgeler tespit edilebilir.

Reclassify (Yeniden Sınıflandırma); Yüzey analizleri sonrasında oluşan, eğim, bakı ve interpolasyon sonrasında oluşan sürekli yüzeyler raster formatındadır. Bu raster verilerin Value değerleri “floating” (ondalıklı) değerlere sahiptir. Yeniden sınıflandırma sonrasında, bu değerler aralıklarına yeni “integer” (tam sayı) değerler atanır. Yeniden sınıflandırma sonrasında oluşan veri, integer değerler üzerinden görüntülenir veya bu değerler üzerinden analizler gerçekleştirilir [63].

Raster Hesaplayıcı; Raster veriler üzerinde çoklu işlemleri gerçekleştirmenizi sağlayan güçlü bir hesaplayıcıdır. Raster verileri piksel bazlı karşıştırmayı sağlayan matematiksel fonksiyonları içerir [63].

5.2. Tamsayılı Programlamaya Genel Bakış

Tamsayılı programlama değişkenlere ve kısıtlayıcı şartlara bağlı olarak amaca en iyi ulaşma tekniğidir. Tamsayılı programlama, işletmelerde yönetici konumundaki kişilere karar verme aşamasında yardımcı olması için geliştirilmiş problem çözme yöntemleridir. İşletmelerin sahip olduğu varlıkların matematiksel denklemle ifade edilerek belirlenen kısıtlayıcılarla birlikte bir amaç fonksiyonunu çözümünün elde edilmesi olarak da tanımlanır. Tamsayılı programlamanın en basit tanımı sistemi oluşturan modele ait amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların tamsayılı olmasıdır. Tamsayılı programlama optimizasyon problemleri için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Tamsayılı programlama, belirlenen kısıtlayıcı ve değişken değerlerine bağlı olarak kısıtlı kaynakları optimum şekilde kullanarak amaç fonksiyonunda istenen değerlere ulaşmaktır. Tamsayılı programlamanın asıl konusu eldeki mevcut olan kısıtlı kaynakların en yüksek verimle nasıl

kullanılacağını belirlemektir. Kaynakların kısıtlı olması üretim aşamasında hangi oranda kullanılacaklarını önemli hale getirmektedir. Kısıtlı kaynakları optimal şekilde dağıtarak elde edilecek kârı maksimum yapmak ya da oluşacak maliyeti minimum düzeyde tutmak için tamsayılı programlama yöntemlerinden faydalanılmaktadır. İşletmelerde tamsayılı programlama yöntemleri işletmenin maliyetlerini oluşturan makine, insan gücü, zaman, hammadde, ulaşım, gibi değişkenlerin en yüksek kârı elde edecek şekilde organize etmek için kullanılmaktadır. Tamsayılı programlama yöntemleri optimizasyon işlemlerinde sağladığı kolaylıklar fark edildikten sonra petrol rafinerisi gibi maliyet kayıplarının fazla olduğu tesislerde de kolayca uygulanmaya başlanmıştır [64].

6. UYGULAMA

Yaptığımız çalışmalara göre bugüne kadar Türkiye’de bir rüzgâr çiftliği planlamasının ihtiyaçlarını kapsayan model kurulmamıştır. Yapılan çalışmalar genelde rüzgâr enerjisi projesinin fizibilitesine ya da rüzgâr çiftliği gelişimi kısıtlamalarına odaklanmıştır.

Bu tezin amacı; güncel düzenleme ve bilimsel çalışmaları değerlendirerek teknik, ekonomik, çevresel parametreleri göz önüne alarak sayısal bir model oluşturmak ve bir girişimci için rüzgâr çiftliği kurulumunda en uygun yeri seçmektir. Bu model oluşturulurken değerlendirilecek alternatifler seçilirken CBS’den yararlanılmıştır. CBS ile çevresel faktörler değerlendirilmiş, elde edilen alternatifler matematiksel modelle birim enerji üretim maliyeti açısından değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.2. Literatürde kullanılan rüzgâr santrali yer seçimi kriterleri

Makale No	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
2	✓			✓			✓	✓	✓						✓					
3	✓				✓	✓	✓			✓			✓		✓					
4	✓			✓			✓	✓		✓	✓				✓					
5	✓		✓	✓						✓					✓		✓	✓		
6	✓			✓		✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓				
7	✓			✓			✓			✓	✓		✓		✓					
8	✓	✓	✓																	
9	✓			✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓				
10	✓			✓		✓	✓			✓			✓		✓					
11	✓			✓			✓	✓		✓			✓		✓	✓				
12	✓			✓			✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓				
13	✓			✓			✓	✓		✓	✓		✓		✓	✓			✓	✓

Kaynaklar: [1] Baban ve Parry (2000); [2] Rodman ve Meentemeyer (2006); [3] Janke (2010); [4] Tegou, Polatidis ve Haralambopoulos (2010); [5] Al-Yahyai, Charabi, Gastli ve Al-Badi (2012); [6] Azizi, Malekmohammadi, Jafari, Nasiri ve Parsa (2014); [7] Sanchez-Lozano, García-Cascales ve Lamata (2014); [8] Kallioras, Lagaros, Karlaftis ve Pachy (2015); [9] Noorollahi, Yousefi ve Mohammadi (2015); [10] Höfer, Sunak, Siddique ve Madlener (2016); [11] Rezaian ve Jozi (2016); [12] Sánchez-Lozano, García-Cascales ve Lamata (2016); [13] Önerilen çalışma

Çizelge 6.3. Rüzgâr santrali yer seçimi kriterleri

Kriter No	Tanım	Açıklama
C1	Rüzgâr Hızı /potansiyeli	Rüzgâr hızı cut in ve cut out değerleri arasında olmalıdır.
C2	Rüzgâr Yönü	Rüzgâr yönü türbine paralel, kanatlara dik olmalıdır.
C3	Rüzgâr Yoğunluğu	Rüzgâr yoğunluğu fazla olmalıdır.
C4	Eğim/yükselti	Seçilecek alan minimum eğimde olmalıdır (max %10)
C5	Nüfus	Şehir merkezi dışındaki konutlara uzaklık
C6	Topografya / Arazi Tipi	Türbin kurulumuna elverişli olmalıdır.
C7	Korunan Alanlar	Tarım alanı, ormanlık alan, ekolojik bölgeler, tarihi yerler, kültürel miras, arkeolojik alanlar, doğal yaşam alanları korunan alanlar olarak verilmiştir.
C8	Su kaynaklarına uzaklık	Su kaynaklarına maksimum uzaklık tercih edilmektedir.
C9	Ekoloji	Doğaya ve canlılara minimum zarar verecek şekilde inşa edilmelidir. (kuş habitat vb.)
C10	Ulaşım (Karayoluna Uzaklık)	Karayoluna yakın olmalıdır.
C11	Havaalanına Uzaklık	Havaalanına uzak olmalıdır.
C12	Demiryoluna Uzaklık	Demiryoluna yakın olmalıdır.
C13	Elektrik Hatlarına/trafo merkezine uzaklık	Trafo merkezi ve elektrik hatlarına yakın olmalıdır.
C14	Elektrik Direklerine Uzaklık	Elektrik direklerine yakın olmalıdır.
C15	Yerleşim Yeri Uzaklık	Yerleşim yerine uzak olmalıdır.
C16	Fay Hatlarına Uzaklık	Fay hatlarına uzak olmalıdır.
C17	Türbülans Yoğunluğu	Türbülans yoğunluğu kanatlara yük uyguladığından düşük olmalıdır.
C18	Zirve Saat Eşleştirme	Top noktada verim sağlanan süre yüksek olmalıdır. (kapasite faktörü)
C19	Yatırım Maliyeti	Yatırım maliyeti düşük olmalıdır.
C20	Üretkenlik	Üretkenlik (verim) yüksek olmalıdır.

Literatürden incelen çalışmalarda kullanılan kriterler Çizelge 2.1.'de karşılaştırmalı olarak verilmiş, tanımları Çizelge 2.2.'de yapılmıştır. Bu çalışmada 11 adet kriter kullanılmış, 9 tanesi kullanılmamıştır. C2, C3 ve C17 kriterleri çalışma kapsamında seçilecek bölge içinde türbinlerin yerleşim planı yapılmadığından, C9 kriteri C7 kriteri içinde düşünüldüğünden, C12 ulaşımında karayolu kullanımı dikkate alındığından, C5 ise REPA'da C15 kriteri dikkate alındığından, C14 kriteri enerjinin kullanım maliyeti dikkate alınmadığından, C6 kriteri REPA'da rakım ve eğim kriterleri tarafından kapsandığından, C18 kriteri ise hesaplamalarda direkt kapasite faktörü dikkate alındığından kullanılmamıştır. Çalışmada 11 adet kriter eşit ağırlıklı olarak CBS ile değerlendirilip sonrasında matematiksel modelle maliyet temelli yer seçimi çalışması yapılmıştır.

Bu çalışmanın literatüre ve enerji alanına katkıları aşağıdaki gibidir:

- Türkiye için kıyı değil, iç bölgede rüzgâr santrali kurulum kriterleri belirlenmiştir.
- Alternatif bölgelerin belirlenmesinde CBS kullanılmıştır.
- Alternatif bölgelere kurulacak rüzgâr santrali sayısını belirlemek amacıyla maliyet minimizasyonlu model önerilmiştir.

6.1. Kısıt ve Parametrelerin Belirlenmesi

Rüzgâr santrali yer seçimi çalışmalarını etkileyen etmenler çevresel, coğrafi ve teknik olarak üç ana başlık altında toplanabilir.

Çizelge 6.4. Rüzgâr santrali yer seçimi faktörleri

Çevresel	Havaalanı
	Fay hattı
	Yerleşim yerine uzaklık
	Korunan alanlar
	Su kaynakları
	Karayoluna uzaklık
	Trafo merkezine uzaklık
	Tarım alanları
	Kuş habitatı
Coğrafi	Eğim
	Yükselti
	Ormanlık alan
Teknik	Üretkenlik/Etkinlik
	Yatırım maliyeti
	Rüzgâr hızı

Dışlama parametreleri (Kısıtlar) (Verilen tampon bölge içi 0, dışı 1)

Dışlama parametrelerine göre tampon bölgelerin içi sıfır yani kullanılamaz olarak işaretlenmiş, dışında kalan kısımlar kullanılabilir olarak işaretlenmiştir.

Havaalanı için; 3 000 metreden yakın bölgeler uçakların iniş kalkışları göz önünde alındığından kullanılamaz alan olarak belirlenmiştir.

Fay hatları risk teşkil ettiğinden 400 metreden yakın bölgeler kullanılamaz alan olarak belirlenmiştir.

Karayoluna uzaklık yine aynı şekilde 100 metreden yakın bölgeler için kullanılamaz alan olarak belirlenmiştir.

Su kaynaklarına yakınlık enerji iletimi ve üretimi açısından engel teşkil edeceğinden 5000 metreden yakın alanlar kullanılamaz olarak belirlenmiştir.

Trafo merkezlerine belirli bir mesafe uzak olunması gerekirken diğer taraftan da enerji iletim maliyetlerini düşürmek adına yakın olmak gerektiği detayını atlamadan 1000 metre minimum mesafe olarak belirlenmiş olup, maksimum uzaklık kısıtı tamsayılı programlama modelinde değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.5. Rüzgâr santrali yer seçimi kısıtları

	Kısıt	Min (m)
1	Havaalanı	>3 000
2	Fay hattı	>400
3	Karayoluna uzaklık	>100
4	Su kaynaklarına uzaklık	>5 000
5	Trafo merkezine uzaklık	>1 000

Kriterler;

Kriterler belirlenirken literatürde ortak kullanılan ve değerlendirilecek bölgede etkili olabileceği düşünülen kriterler seçilmiştir.

Çizelge 6.6. Rüzgâr santrali yer seçimi kriterleri

	Kriter	Tip (Min/Max)
1	Rüzgâr hızı	Max
2	Eğim	Min
3	Yükselti	Max
4	Ulaşım	Max

Çevresel Etki Kısıtları; (0 Kısıtları)

Çevresel etki kısıtları kurulum yapılamayacak alanlar olarak değerlendirilmektedir.

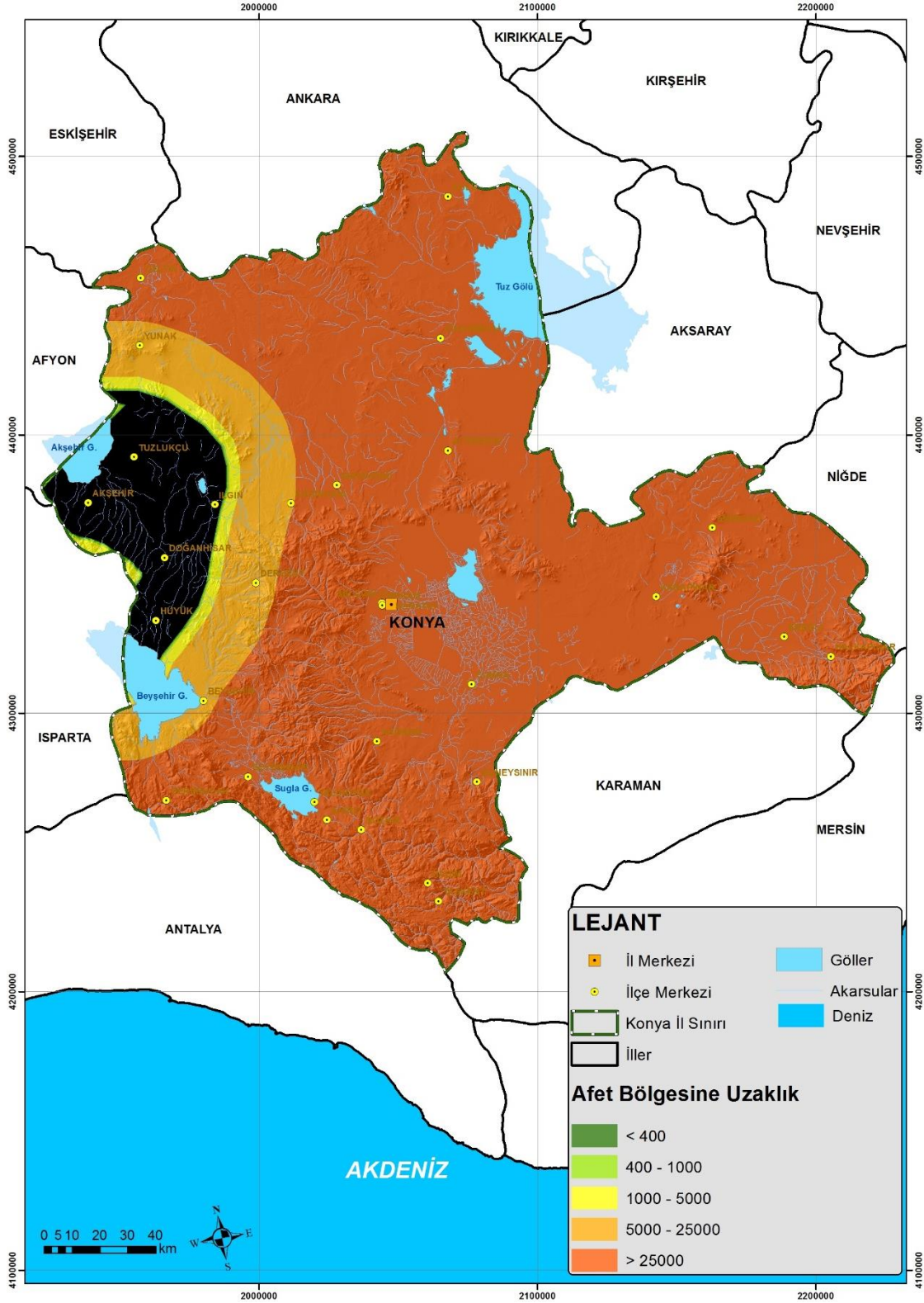
Çizelge 6.7. Rüzgâr santrali çevresel etki kısıtları

1	Ormanlar
2	Tarım alanları
3	Gürültü
4	Kuş habitatı
5	Korunan alanlar

6.2. ArcGIS ile Uygun Alanların Belirlenmesi

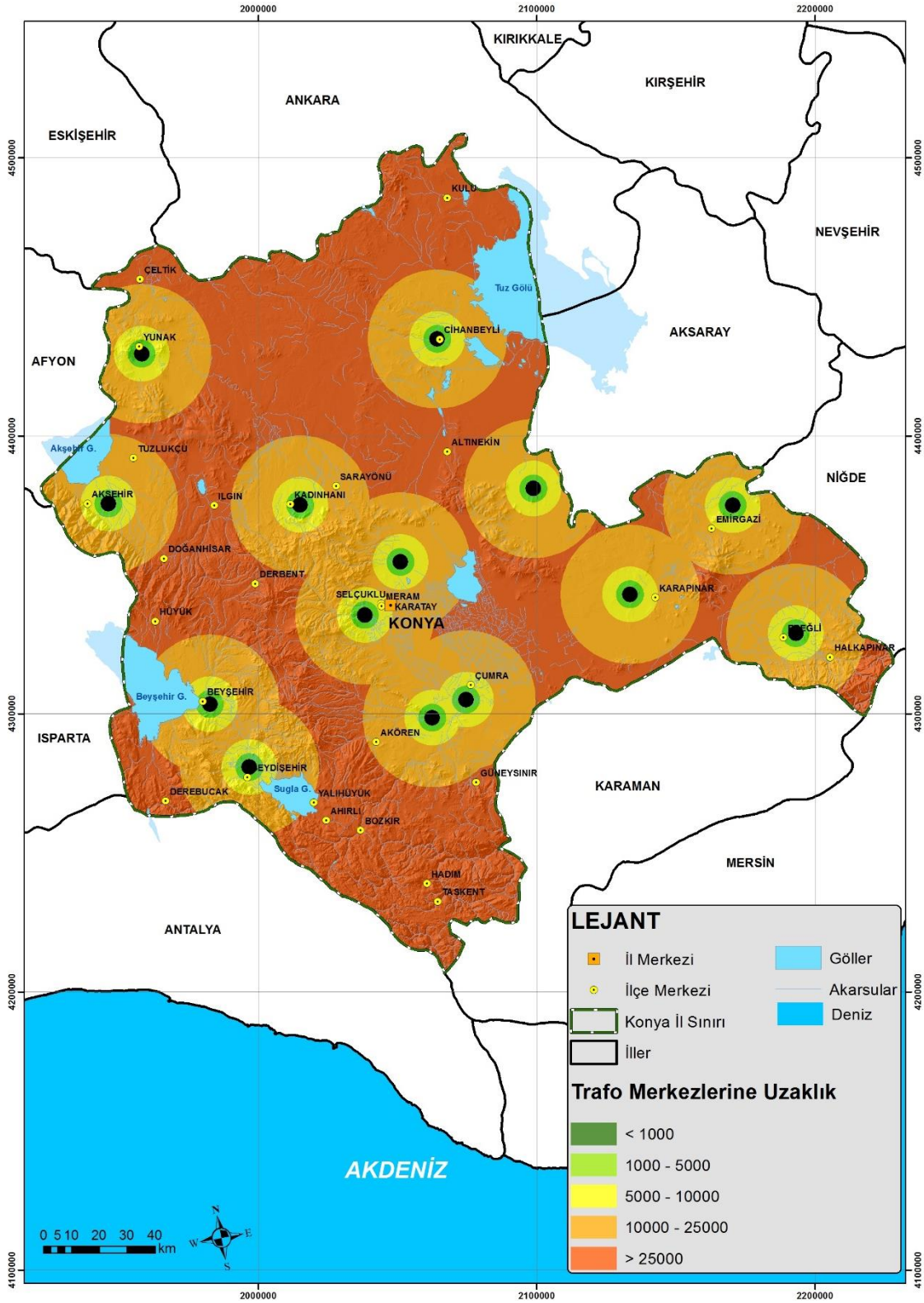
REPA’da eğimi %20’den büyük alanlar, rakımı 1500 metreden büyük bölgeler, yerleşim alanları; Milli Parklar, Doğal Rezerv Alanları, Doğal anıtlar, doğa parkları, Yaban Hayatı Koruma ve Geliştirme Alanları, Özel Koruma Alanları gibi korunan alanlar; ormanlar, tarım alanları, kuş göç yolları gibi yasaklı alanlar kullanılamaz alanlar olarak belirlenmiştir.

Harita 6.1.’de havaalanı mesafe kısıtlarını gösteren harita oluşturulmuştur. Haritaya göre havaalanı bölgesi ve havaalanı çevresi 3 000 metre mesafe ile kullanılamaz olarak kabul edilmiştir.

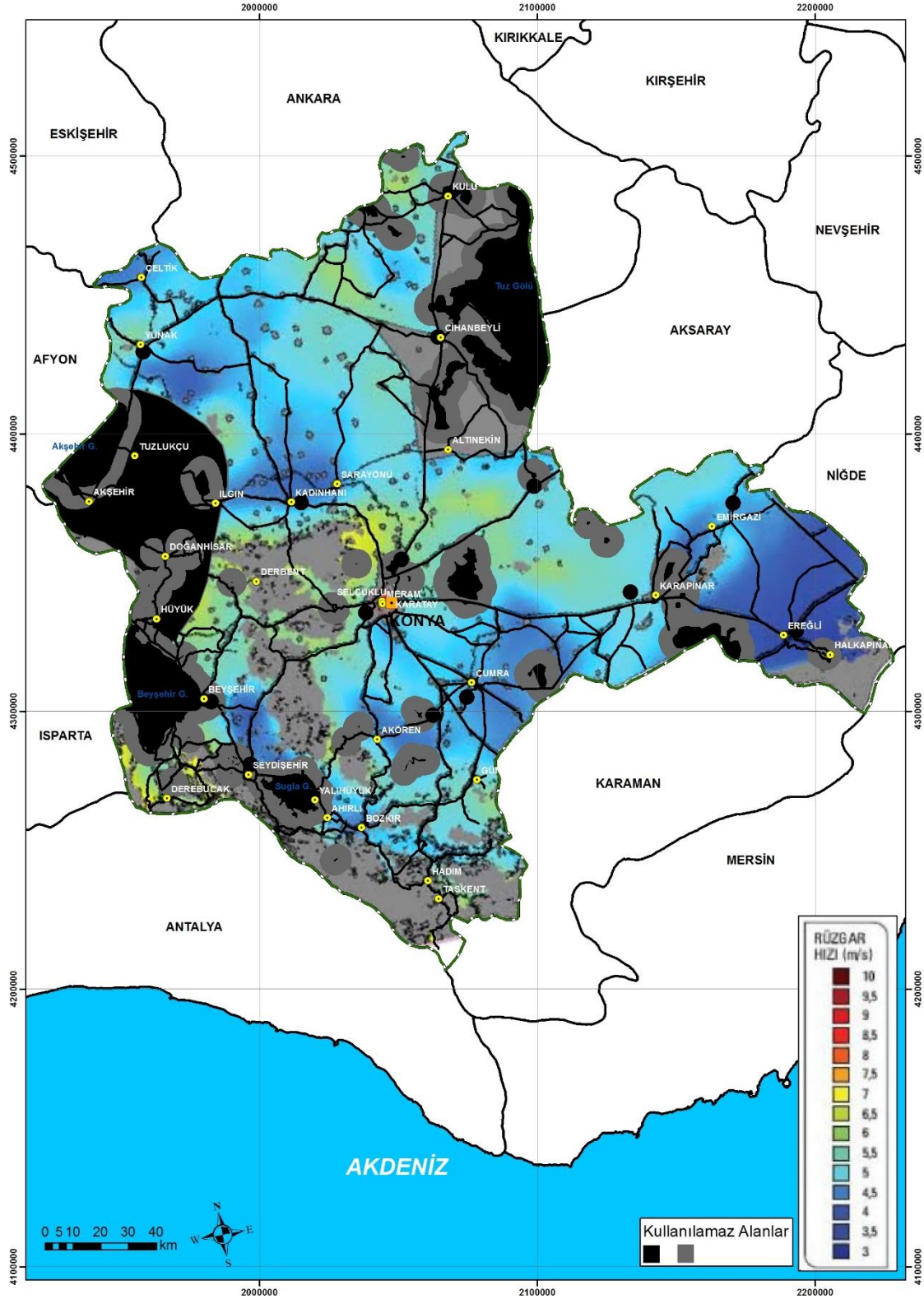


Harita 6.3. Afet bölgesi

Harita 6.4.'de su kaynakları ve 5 000 metreye kadar çevreleri elektrik üretimi ve iletimi açısından engel teşkil etmemesi adına kullanılamaz olarak belirlenmiştir.



Harita 6.5. Trafo merkezleri haritası

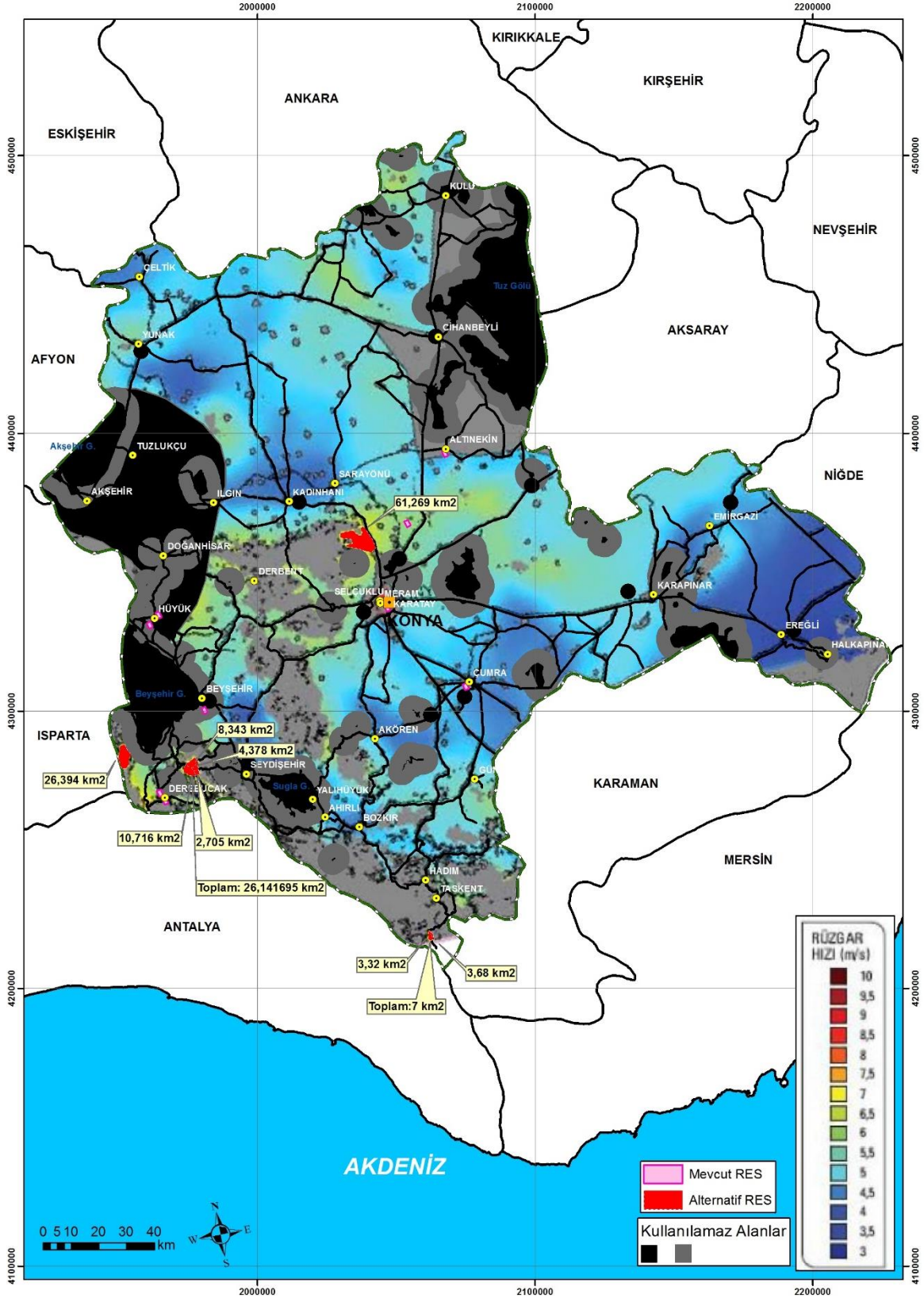


Harita 6.7. REPA ve tüm kriterler haritası

Elde edilen haritada mevcut bulunan RES'ler ve alternatifler belirlenmiştir. Lisans alınmış ve yapım aşamasında olan RES'ler pembe olarak gösterilmiştir. 2017 EPDK raporuna göre

kabul aşaması tamamlanmadığı için Konya’da bulunan RES’lerden henüz elektrik enerjisi üretimi yapılmamaktadır.

Temmuz 2018 Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu’na göre Konya ilinde bulunan RES’lerden 21 MW’lık bir kurulumun kabulü yapılmış ve işletmeye alınmıştır [26].



Harita 6.8. Mevcut RES ve alternatif RES'ler

Yapılan çalışma sonucunda kriterlere göre maliyet açısından değerlendirilmek üzere dört alternatif bölge RES kurulumu için uygun olarak belirlenmiştir.

6.3. Tamsayı Model ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

ArcGIS ile eşit kriter ağırlıklarına göre değerlendirilmiş olan Konya ilinde belirlenen dört alternatif bölge, girişimci yatırım modeli olarak maliyeti minimize edecek amaç fonksiyonu ile değerlendirilmiştir.

$$Z_{min} = 187\,110 * n_k + A_k + C_k + 76\,750 * n_k \quad (1)$$

$$n_1 \leq 40; \quad (2)$$

$$n_2 \leq 39; \quad (3)$$

$$n_3 \leq 11; \quad (4)$$

$$n_4 \leq 93; \quad (5)$$

$$\sum n_k \geq 65; \quad (6)$$

$$A_k = Y_k * S_k * 3 * 10^6 \quad (7)$$

$$C_k = 3 * Y_k * l_k * n_k \quad (8)$$

$$Y_k = \begin{cases} 1; k \text{ bölgesi seçilirse} \\ 0; k \text{ bölgesi seçilmezse} \end{cases} \quad (9)$$

$$k=1,2,3,4$$

Burada amaç fonksiyonu (1) yatırım ve işletme maliyetlerinden oluşmaktadır. Yatırım maliyeti türbin maliyeti, kira bedeli ve taşıma maliyetinden oluşmaktadır. Yıllık türbin maliyeti bir türbinin ömrü 20 yıl kabul edilerek tek tip ve 3,3 MW türbin kullanımına göre toplam bir türbin maliyeti olan 3 742 200 USD üzerinden hesaplanmış ve 187 110 USD olarak bulunmuştur. (2), (3), (4), (5) eşitsizliklerinde her bölge için türbin sayısı üst sınırı kilometrekareye 5 MW kurulum gelecek şekilde hesaplanmıştır [65]. 2017 yılında Elektrik Enerjisi Tüketiminin %6,12'si Rüzgâr Enerjisinden karşılanmıştır. Bu oran 2018'de %6,28 olmuştur [26]. Bu nedenle yıllık rüzgâr enerjisi elektrik üretiminin Konya ili elektrik enerjisi tüketiminin minimum %6,28'ini karşılaması hedeflenmektedir. (6) eşitsizliğine göre karşılanması hedeflenen elektrik tüketimi için minimum 65 türbin kurulumu gerekmektedir. (7) eşitliğinde her k bölgesi için kira bedeli K değişkeni ile ifade edilmiş, K kira bedeli her kilometrekare için $3 * 10^6$ USD ile bölgenin alanı çarpılarak hesaplanmıştır. (8) eşitliğinde taşıma maliyeti C_k , 1 MW enerjinin 1 kilometre taşınması için 3 USD kabul edilmiş, en yakın trafo kapasitesi yeterli kabul edilip bölgelerin en yakın trafoya olan mesafesine göre hesaplanmıştır. İşletme maliyeti bakım maliyeti (B) ve sistem kullanımı, elektrik kalite gideri, sistem işletim gideri, diğer işletim giderleri gibi işletim maliyetlerinden (P)

oluşmaktadır. Bakım maliyeti (B) her bir türbin için yıllık 37 800 USD kabul edilmiştir. İşletme maliyeti (P) ise her türbin için yıllık 38 950 USD olarak alınmıştır.

$$Z_{\min} = \text{Yatırım Maliyeti} + \text{İşletme Maliyeti}$$

$$Z_{\min} = 187\,110 * n_k + Y_k * S_k * 3 * 10^6 + Y_k * l_k * 3 * n_k * 3,3 + 37\,800 * n_k + 38\,950 * n_k$$

$$k=1 \text{ için; } n_k \leq 40, l_k = 34 \text{ km}, S_k = 26,394 \text{ km}^2$$

$$k=2 \text{ için; } n_k \leq 39, l_k = 18 \text{ km}, S_k = 26,1416 \text{ km}^2$$

$$k=3 \text{ için; } n_k \leq 11, l_k = 77 \text{ km}, S_k = 7 \text{ km}^2$$

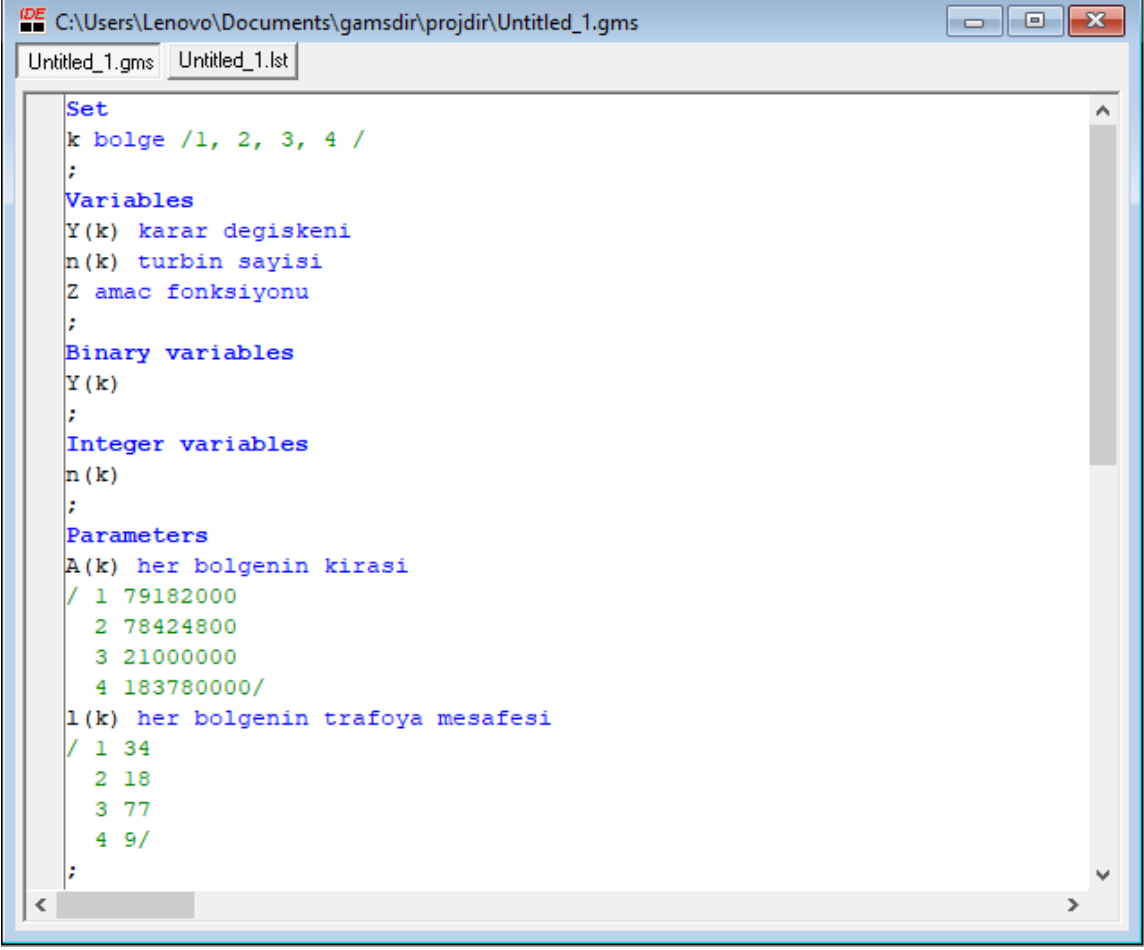
$$k=4 \text{ için; } n_k \leq 93, l_k = 9 \text{ km}, S_k = 61,26 \text{ km}^2$$

$$\sum n_k \geq 65; \quad k=1,2,3,4$$

Çizelge 6.8. Parametreler

Zmin	Yıllık Enerji Maliyeti
K	bölge; k=1,2,3,4
S _k	k bölgesinin alanı
A _k	k bölgesinin kira bedeli
n _k	k bölgesine kurulacak türbin sayısı
L	Yıllık Türbin Maliyeti
B	Bir Türbin Bakım Maliyeti
P	Bir Türbin İşletim Maliyeti (sistem kullanımı, elektrik kalite gideri, sistem işletim gideri, diğer işletim giderleri)
R	Bir Birim Enerjiyi Trafoya Taşıma Maliyeti R=3 USD/km
L _k	k bölgesinin trafoya olan mesafesi
C _k	k bölgesinin yıllık enerji taşıma maliyeti

Matematiksel model çözülmek üzere GAMS programına aşağıdaki şekilde aktarılmıştır.



```

IDE C:\Users\Lenovo\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_1.gms
Untitled_1.gms  Untitled_1.lst

Set
k bolge /1, 2, 3, 4 /
;
Variables
Y(k) karar degiskeni
n(k) turbin sayisi
Z amac fonksiyonu
;
Binary variables
Y(k)
;
Integer variables
n(k)
;
Parameters
A(k) her bolgenin kirasi
/ 1 79182000
  2 78424800
  3 21000000
  4 183780000/
l(k) her bolgenin trafoya mesafesi
/ 1 34
  2 18
  3 77
  4 9/
;

```

Resim 6.1. Gams’de küme, değişken ve parametrelerin tanımlanması

Alternatif bölgeler k bölge kümesiyle tanımlanmıştır. Karar değişkeni $Y(k)$ bölgenin seçilip seçilmeme durumunu, $n(k)$ sonuçta kurulması gereken türbin sayısını, Z ise minimum maliyeti temsil etmektedir. Türbin sayısı pozitif tamsayı, $Y(k)$ değeri ise 0 ya da 1 olmalıdır. $A(k)$ parametresi ile seçilecek bölgelerin kira bedeli, $l(k)$ parametresi ile enerjinin trafoya taşınma mesafeleri tanımlanmıştır.

```

IDE C:\Users\Lenovo\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_1.gms
Untitled_1.gms  Untitled_1.lst

Equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4
kisit5
kisit6
kisit7
kisit8
kisit9
kisit10
kisit11
;
amac.. Z =e= sum(k, (263860*n(k)*Y(k)+Y(k)*A(k)+Y(k)*l(k)*n(k)*9.9));
kisit1.. sum(k, (n(k))) =g= 65;
kisit2.. n("1")=l= 40;
kisit3.. n("2")=l= 39;
kisit4.. n("3")=l= 11;
kisit5.. n("4")=l= 93;
kisit6.. sum(k, (Y(k)))=g=1;
kisit7.. sum(k, (Y(k)))=l=4;
kisit8.. Y("1")*40 =g= n("1");
kisit9.. Y("2")*39 =g= n("2");
kisit10.. Y("3")*11 =g= n("3");
kisit11.. Y("4")*93 =g= n("4");

Model ornek /all/ ;
Solve ornek using minlp minimizing Z;

```

Resim 6.2. Gams’de eşitliklerin tanımlanması

Amaç fonksiyonu bir türbinin satınalma maliyeti (187 110 USD), bakım maliyeti (37 800 USD) ve işletim maliyetinin (38 950 USD) türbin sayısı ile çarpılmasından, seçilecek bölgenin kira bedelinden ve toplam kurulu enerjinin trafoya taşınma maliyetinden oluşmaktadır.

2017 yılında Elektrik Enerjisi Tüketiminin %6,12’si rüzgâr enerjisinden karşılanmıştır. Bu oran 2018’de %6,28 olmuştur [26]. Bu nedenle yıllık rüzgâr enerjisi elektrik üretiminin Konya ili elektrik enerjisi tüketiminin minimum %6,28’ini karşılaması hedeflenmektedir. EPDK 2017 Elektrik Piyasası Piyasa Gelişim Raporunda Konya ili 2017 elektrik enerjisi tüketimi 5.986.996,38 MWh olarak belirlenmiştir. Kapasite faktörü ise bu çalışmada %20 olarak kabul edilmektedir. Bu durumda kurulacak minimum toplam türbin sayısı kısıt 1 ile 65 olarak tespit edilmektedir. Rüzgâr türbinleri için kilometrekarede maksimum 5MW kurulumuna izin verilmektedir [65] Resim 6.2.’de bulunan kısıt 2, 3, 4 ve 5 bölgelerin

alanlarına göre kurulması gereken maksimum türbin sayısı kısıtlarını sağlamakta; kısıt 6 en az bir bölgenin, kısıt 7 ise en fazla 4 bölgenin seçilmesi şartını sağlamaktadır. Yine Resim 6.2.'de kısıt 8, 9, 10, 11 ise seçilen bölgelere türbin kurulması şartını sağlamaktadır. Yani bölgenin seçilip türbin kurulmamasını önlemektedir. Böylece fazladan oluşacak kira maliyeti engellenir. Ya da bölge seçilmeyip türbin kurulmasını da önlemektedir. Bu da fazladan oluşacak taşıma maliyetlerini engellemektedir.

Model çözüldüğünde aşağıdaki sonuç çıktısı elde edilmiştir.

--- DICOPT: Best integer solution found: 174773401.400000				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU amac	.	.	.	1.000
---- EQU kisit1	65.000	65.000	+INF	.
---- EQU kisit2	-INF	26.000	40.000	.
---- EQU kisit3	-INF	39.000	39.000	.
---- EQU kisit4	-INF	.	11.000	.
---- EQU kisit5	-INF	.	93.000	.
---- EQU kisit6	1.000	2.000	+INF	.
---- EQU kisit7	-INF	2.000	4.000	.
---- EQU kisit8	.	14.000	+INF	.
---- EQU kisit9	.	.	+INF	.
---- EQU kisit10	.	.	+INF	.
---- EQU kisit11	.	.	+INF	.
---- VAR Y karar degiskeni				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	1.000	1.000	8.6051E+7
2	.	1.000	1.000	8.8722E+7
3	.	.	1.000	2.1000E+7
4	.	.	1.000	1.8378E+8
---- VAR n turbin sayisi				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	26.000	100.000	2.6420E+5
2	.	39.000	100.000	2.6404E+5
3	.	.	100.000	EPS
4	.	.	100.000	EPS

Resim 6.3. Modelin optimal çözüm önerisi

Çözümüne göre kurulacak toplam türbin sayısı 65 adettir. Bu türbinlerden 26 adedi 1. bölgeye, 39 adedi 2. bölgeye kurulacaktır. Toplam $Y(k)$ değeri 2 çıkmıştır. Bu da kurulum için 2 bölgenin seçildiğini göstermektedir. Kısıt 8'e göre ise 40 türbin kapasitesi 1. bölgeye 26 türbin kurulduğundan bu kısıt 14 farkla doğru şekilde sağlanmıştır. Tüm bu şartların sağlandığı durumda oluşan maliyet ise 174 773 401,4 USD olarak tespit edilmiştir.

$$24 \times 365 \times 0,20 \times 3,3 \times 65 = 375\,804 \text{ MW} \Rightarrow 375\,804\,000 \text{ KW}$$

$$375\,804\,000 \times 7,3 \times 10^{-2} = 27\,433\,692 \text{ USD}$$

$$174\,773\,401,4 / 27\,433\,692 = 6,37 \text{ yıl (77 ay)}$$

Modele göre 65 adet rüzgâr türbinin kurulmasıyla %20 kapasite faktörüyle 375 804 MW elektrik elde edileceği öngörülmektedir. EPDK 2017 Elektrik Piyasası Piyasa Gelişim Raporunda Konya ili 2017 elektrik enerjisi tüketimi 5.986.996,38 MWh olarak belirlenmiştir. Bu durumda yapılacak yatırımın Konya ili elektrik tüketiminin %6,28'ini karşılamaktadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü 2018 verilerine göre RES'den üretilen 1 KW enerji için YEKDEM maliyeti 7,3 centtir. Türbinlerin 24 saat ve 365 gün %20 kapasite faktöründe çalıştığı varsayılarak yapılan hesaplamalara göre; maliyetin karşılanma süresi 6,37 yıl olarak hesaplanmaktadır.

Rüzgârdan karşılanacak elektrik tüketim oranını 2017 yılında Türkiye'de gerçekleşen rüzgârdan elektrik üretimi oranı olan %6,28 ile kısıtlamayıp %10, %15 ve değerlendirilen alanların toplam kapasitesinin sağlayabileceği toplam oran olan %17 oranlarıyla yeniden değerlendirilerek duyarlılık analizi yapıldığında Çizelge 6.8'de görülen sonuçlar elde edilmektedir. Karşılanan elektrik tüketim miktarı arttıkça türbin sayısının yani üretilen enerji miktarının artması maliyetlerin karşılanma süresini %15'e kadar azaltmakta %15'te yatırım, taşıma ve bakım maliyetleri üretilen enerji miktarından daha fazla olduğu için bir sapma gözlemlenmekte ardından %17'de tekrar maliyet dengesi kurulmaktadır.

Çizelge 6.9. Duyarlılık analizi

Tüketimin karşılanma oranı	Toplam türbin sayısı	Toplam maliyet (USD)	Maliyetin karşılanma süresi (yıl)	Maliyetin karşılanma süresi (ay)
%6,28	65	174 773 401,4	6,37	77
%10	104	232 238 111,6	5,29	64
%15	155	382 312 285,4	5,84	71
%17	176	408 857 909,3	5,50	67

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kıt kaynakların tüketiminin yol açacağı enerji problemine engel olmak için kullanılan rüzgâr enerjisi günümüzde olduğu gibi gelecekte de en önemli enerji kaynaklarından biri olacaktır. Rüzgârın elektrik enerjisi üretiminde kullanılması için yapılan yatırımlar hem şirket hem girişimciler için her geçen gün artmaktadır. Yapılan yatırımlar yüksek maliyet kalemleri içerdiğinden yatırımcılar bölge seçimlerinde maksimum fayda sağlanacak yerlere yönelmek istemektedir. Maksimum verim sağlamak için bölgelerin değerlendirilmesinin temelinde verilerin doğru ve gerçeğe yakın olması, hesaplamaların uygulanabilir olarak yapılması yatmaktadır.

Gelişen türbin teknolojisi enerji çevrimlerinde yaşanan kayıpları minimize ederken rüzgârdan sağlanan faydayı da maksimize etmektedir. Gelişen türbin teknolojisi ve kurulum yapılan bölgenin coğrafi özellikleri ve rüzgâr rejimi uygun koşullarda biraraya geldiğinde sağlanan verim artmakta yapılan yatırımın geri dönüş süresi kısalmaktadır. Türkiye için bakıldığında yatırımların öncelikli olarak kuzeybatıdan başladığı ve güneye doğru devam ettiği görülmektedir. Bu bölgelerde rüzgâr potansiyelinin yüksek olması bu bölgelerin öncelikli değerlendirilmesini sağlamıştır. Ancak yapılan çalışmaların sürekli kıyı bölgelerde olması iç kesimlerin potansiyellerinin değerlendirilmesini ikinci plana atmıştır.

Bu noktada çalışmanın temel amacı devreye girmektedir. Bu çalışma bir girişimci yatırımcı için rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla yapılan RES kurulumları için en önemli faktörlerden biri olan yer seçim aşamasını çeşitli yöntemlerle ele almıştır.

Çalışmada öncelikle iç kesimlerde yapılacak çalışma için RES kurulumuna uygun rüzgâr potansiyeline sahip iller incelenmiş, önceden yapılan RES yatırımları da göz önünde bulundurularak yatırımların daha çok kıyı bölgelerde yapılması ve iç bölgelerdeki potansiyellerin farkedilmemesi nedeniyle çalışma iç bölgelerin farkındalığını arttırmak amacıyla ve coğrafi gerekçelerle yatırıma elverişli olduğu için Konya ilinde yapılmıştır. Konya ili için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlasında kurulabilir alanlar tespit edilmiştir. REPA ile belirlenen uygun alanlar eklenen kısıt ve parametrelere göre ArcGIS ile yeniden değerlendirilmiştir. ArcGIS kullanılırken eşit ağırlıklar verilen kriterlerle uygun alternatif bölge bulunamayacağı düşünülerek ÇKKV'den yararlanılacağı

öngör÷lm÷ştür. Ancak eşit ağırlık verilen kriterler sonucu kuruluma uygun 4 adet alternatif bölge tespit edilmiştir. Bu bölgeler yatırım ve işletim maliyeti açısından kurulan matematiksel modelle analiz edilmiştir. Yapılan maliyet temelli modelde devlet teşvikleri göz önünde bulundurulmadan, çeşitli varsayımlarla türbin maliyeti, enerji taşıma maliyeti, kira bedeli, işletim ve bakım maliyetlerini minimize etmeyi hedefleyen model çalıştırılmıştır. Modelde iki bölgeye birlikte kurulum yapılması kararı çıkmıştır. Kurulacak toplam türbin sayısı için tek başına 4. Bölge yeterli olacakken model toplam kira bedelinin düşük olduğu ancak birim enerji taşıma maliyetinin 4. bölgeye göre daha fazla olduğu 1 ve 2. bölgeler seçilmiştir. Trafoya daha uzak bölgeler olmalarına rağmen kira bedelinin düşük olması maliyet modeli sonucunun bu şekilde çıkmasını sağlamıştır. Önerilen modelin veri güncellemesiyle tüm rüzgâr türbini yer seçim problemlerinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışmanın sonraki aşamalarında mevcut çalışmanın devamı niteliğinde seçilen santral sahası türbin çeşitliliği ve türbin yerleşimi çalışması yapılabilir.

Planlanan diğer çalışmada enerjiyi maksimize edecek çeşitli türbinlerin uygun yerleşimleriyle enerjiden sağlanan gelirin maliyeti daha kısa sürede karşılaması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Arı, E.S., Özköse, H. ve Gencer, C. (2017). *Mathematical model for wind turbine type-site match of a wind power plant in turkey based on power maximization*. 3rd International Conference on Engineering and Natural Sciences, 3-7/05/2017, Budapeşte, Macaristan.
2. Yalçın, U. (2007). *Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yeri Seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Özer, Y. E. (2016). Türkiye'nin Yenilenebilir ve Temiz Enerji Konusunda ABD, Çin ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırmalı Analizi. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1, 137.
4. İnternet:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.setav.org%2Fdunyada-ve-turkiyede-yenilenebilir-enerji%2F&date=2019-01-03> Son Erişim Tarihi: 03.01.2019
5. İnternet:
Renewable Energy. (2016, Aralık). International Energy Agency, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.iea.org%2Fabout%2Ffaqs%2Frenewableenergy%2F&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 04.01.2019
6. İnternet:
Renewable energy and role of Marykirk's James Blyth. (2010, Temmuz). The Courier, Web:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.thecourier.co.uk%2FCommunity%2FHeritage-and-History%2Farticle%2F2332%2Frenewable-energy-and-role-of-marykirk-s-james-blyth.html> Son Erişim Tarihi: 08.02.2017
7. Arı, E.S. (2017). *Rüzgâr enerji santrali kuruluş yeri seçimi için farklı yaklaşımlar: bir model önerisi ve Türkiye'de bir uygulama*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 3.
8. Keleş, R. ve Hamamcı, C. (1993). *Çevre Politikası*. Ankara: İmge Kitabevi.
9. İnternet:
Yenilenebilir Enerji Kaynakları. (2012, Nisan). Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı.
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mfa.gov.tr%2Fyenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa+&date=2019-01-03> Son Erişim Tarihi: 03.01.2019
10. Çakır Sümer, G. (2014). Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye'de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 13, 37-56.

11. İnternet:
Yenilenebilir Enerji Nedir?. (2012, Haziran). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yegm.gov.tr%2Fgenc_cocuk%2FYenilenebilir_Enerji_Nedir.aspx+&date=2019-01-04 Son Erişim Tarihi: 04.01.2019
12. Yücel, B. (2000). Avrupa’da Yenilenebilir Enerjilerin Bilançosu ve 2010 Hedefi. *Kaynak Elektrik*. 141, 31.
13. Şen, Ç. (2003). *Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi İle Karşılanması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
14. İnternet:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resyad.com%2FHaber%2FDetay%2F9&date=2019-01-04>
15. İnternet:
Global Wind Energy Council.
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gwec.net%2Fwp-content%2Fuploads%2Fvip%2FGWEC-Global-Wind-2015-Report_April+2016_22_04.pdf%2F28.12.2016 Son Erişim Tarihi: 28.12.2016
16. İnternet:
Oxford University Press. (2013). James Blyth.
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.oxforddnb.com%2Findex%2F100%2F101100957%2F+&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 08.02.2017
17. Wyatt, A. (1989). Electric Power: Challenges and Choices, Toronto: Book Press A Pioneer is Vindicated. (1981, Ocak). *Kiplinger's Personal Finance*, 35(1), 22-24.
18. Şimşek, N. (2011). Türkiye’nin Çevresel Enerji Etkinliği ve Toplam Faktör Verimliliği: Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Ege Akademik Bakış*, 11(3) 379-396.
19. İnternet:
Costa Head Experimental Wind Turbine. (2012, Nisan). Orkney Sustainable Energy, Web: <http://www.orkneywind.co.uk/costa.html> adresinden 8 Şubat 2017’de alınmıştır.)
20. İnternet:
Rüzgâr Enerjisi Dergisi, (2018, Kasım).
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fview.publitas.com%2Fp222-1755%2Fruzgar-enerjisi-dergisi-kasim-2018-sayi-24%2F&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 04.01.2019
21. Yıldırım, H.H. (2017) Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarında Geri Ödeme Süresinin Monte Carlo Simülasyonu İle Belirlenmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 82, 76-104.
22. Buntaine, M. T. ve Pizer W. A. (2015). Encouraging clean energy investment in developing countries: What Role For Aid. *Climate Policy*, 15(5), 543-564.

23. İnternet:
Rüzgâr Enerji Santralleri. (2017). Enerji Atlası,
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerjiatlası.com%2Fruzgâr%2F+&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 04.01.2019
24. İnternet:
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerji.gov.tr%2Ftr-TR%2FSayfalar%2FElektrik&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
25. Karamanlıoğlu, T. (2011). *Farklı rüzgâr türbini tasarımları için santral yeri seçimi ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesinde yapay zeka uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
26. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. (2018). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu*.
27. Elibüyük, U., Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *YEKARUM e-Dergi*, 2(3), 1-14.
28. Arı, E.S. (2017). *Rüzgâr enerji santrali kuruluş yeri seçimi için farklı yaklaşımlar: bir model önerisi ve Türkiye’de bir uygulama*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 7.
29. Arı, E.S. (2017). *Rüzgâr enerji santrali kuruluş yeri seçimi için farklı yaklaşımlar: bir model önerisi ve Türkiye’de bir uygulama*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 8.
30. Uyguçgil, H. (2009). *CBS veri tipleri ve modelleri*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
31. Cömert, R., Bilget, Ö., Olcay, F., Aksoy, T., Şenöz, E., Çabuk, A. Geotasarımın tarihsel gelişimi ve coğrafi bilgi sistemleri ile ilişkisi, *Doğu Coğrafya Dergisi*-35.
32. Baban, S.M.J., Parry T.(2001) Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy* 24(1), 59-71.
33. Rodman, L.C., Meentemeyer, R.K. (2006). A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California. *Energy Policy* 34 (15), 2137-2149.
34. Simao, A., Densham P.J. and Haklay, M. (2009). Web-based GIS for collaborative planning and public participation: An application to the strategic planning of wind farm sites. *Journal of Environmental Management*, 90(6), 2027-2040.
35. Janke J.R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10),2228-2234.
36. Tegou, L.I., Polatidis, H., Haralambopoulos D.A. (2010). Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2134-2147.

37. Aydın, N.Y., Kentel, E., Düzgün, Ş. (2010). GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364-373.
38. Mari, R., Bottai, L., Busillo, C., Calastrini, F., Gozzini, B. and Gualtieri, G. (2011). A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy). *Renewable Energy*, 36(2), 754-763.
39. Yahyai, S.A., Charabi, Y., Gastli A. and Badi, A.A. (2012). Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 44, 80-87.
40. Azizi, A., Malekmohammadi, B., Jafari, H.R., Nasiri, H. and Parsa, V.A. (2014). Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(10).
41. Sağbaş, A., Mazmanoğlu, A. (2014). Use of Multi Criteria Decision Analysis to Assess Alternative Wind Power Plants. *Journal of Engineering Research*, 2(1).
42. Sánchez -Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., Lamata, M.T. (2014). Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain. *Energy*, 73, 311-324.
43. Kallioras, N.A., Lagaros, N.D., Karlaftis, M.G., Pachy, P. (2015). Optimum layout design of onshore wind farms considering stochastic loading. *Advances in Engineering Software*, 88, 8-20.
44. Noorollahi, Y., Yousefi, H., Mohammadi, M. (2016). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13, 38-50.
45. Höfer, T., Sunak, Y., Siddique, H., Madlener, R. (2016). Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städtereion Aachen, *Applied Energy*, 163, 222-243.
46. Rezaian, S., ve Jozi, S.A. (2016). Application of Multi Criteria Decision-Making Technique in Site Selection of Wind Farm- a Case Study of Northwestern Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44(5), 803-809.
47. Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., Lamata, M.T. (2016). GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain. *Applied Energy*, 171, 86-102.
48. Elibüyük, U., Yakut, A.K. ve Üçgül, İ. (2016). Süleyman Demirel Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Santrali Projesi. *YEKARUM e-Dergi*, 3(2), 22-32.
49. Aitzhanov, C. (2016). *Site selection technique for wind turbine power plants utilizing geographical information systems (GIS) and analytiscal hierarchy process (AHP)*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
50. Matthias Ritter, M. ve Deckert, L. (2017). Site assessment, turbine selection, and local feed-in tariffs through the wind energy index. *Applied Energy*, 185(2), 1087-1099.

51. Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Odigie, O. ve Munda, J.L. (2018). A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied Energy*, 228 (2018), 1853-1869.
52. Ünal, H. (2015). *Bulanık Doğrusal Programlama ve Borsa İstanbul'da Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
53. Sariaslan, H. (2000). *Kaynak Dağılımında Doğrusal Programlama*, Ankara: Turhan Kitabevi Yayınları.
54. Xu, J., Song, X., Wu, Y. ve Zeng, Z. (2015). GIS-modelling based coal-fired power plant site identification and selection. *Applied Energy*, 159, 520-539.
55. Ingason, H.T., Ingolfsson, H.P. and Jensson, P. (2008). Optimizing site selection for hydrogen production in Iceland. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(14), 3632-3643.
56. López-Díaz, D.C., Lira-Barragán, L.F., Rubio-Castro, E., Ponce-Ortega, J. M. ve El-Halwagi, M.M. (2017). Optimal location of biorefineries considering sustainable integration with the environment. *Renewable Energy*, 100, 65-77.
57. Jie Zhang, J., Chowdhury, S., Messac, A. and Castillo, L. (2012). A Response Surface-Based Cost Wind Farm Design. *Energy Policy*, 42, 538-550.
58. Ouammi, A., Ghigliotti, V., Robba, M., Mimet, A. and Sacile, R. (2012). A decision support system for the optimal exploitation of wind energy on regional scale. *Renewable Energy*, 37(1), 299-309.
59. De La Cruz, V. ve Martín, M. (2016). Characterization and optimal site matching of wind turbines: Effects on the economics of synthetic methane production. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1302-1311.
60. Çetinay, H., Kuipers, F.A. ve Guven, A.N. (2017). Optimal siting and sizing of wind farms. *Renewable Energy*, 101, 51-58.
61. Lotfi, R., Mostafaeipour, A., Nooshin, M. ve Mardani, S. (2018). *Investigation of wind farm location planning by considering budget constraints*, 37:8, 799-817.
62. İnternet:
Coğrafi Bilgi Sistemleri Nedir? Cbs Kullanım Alanları Nelerdir?. Ahmet Dabanlı, (Şubat,2017).<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsbpturkiye.com%2Fcografi-bilgi-sistemleri.html&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
63. Kol, Ç. ve Küpcü, S. (2008). *ArcGIS Spatial Analiz*. Ankara: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri.
64. Metin, S., Türkoğlu, İ. (2018). Doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak küçük işletmelerdeki kar paylarının artırılması: Mert Cam Örneği. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(12), 107-118.

65. İnternet:
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerji.gov.tr%2Ftr-TR%2FSayfalar%2FRuzgar&date=2019-01-04> Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TAŞKINÖZ, Gözde
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.08.1993, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (532) 675 18 55
 e-mail : gozde.taskinoz@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2015
Lise	Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Aselsan A.Ş.	Proje Mühendisi
2016-2018	Bozankaya Otomotiv A.Ş.	İş Hazırlama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Taşkinöz, G., Kabak, M., 2018. A Model Proposal for Assessment of Wind Power Installation Sites in Konya, *International Congress on Engineering and Life Science Kastamonu*, Türkiye.

Hobiler

Yüzme, Pilates



GAZİ GELECEKTİR..