

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgar Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti

Gökhan Can^{1,*}, Mehmet Ali Yücel²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, 17100, Çanakkale.

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale.

Özet

Dünyanın genelinde olduğu gibi Türkiye’de de toplam enerji tüketimi katlanarak artmaktadır. Fosil kaynaklarının giderek tükeniyor olması ve çevreye verdiği zararların telafisinin güç noktalarına ulaşması insanları, çevreye en az seviyede zararlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya yöneltmiştir. Alternatif enerji kaynakları yenilenebilir ve tükenmez olması aynı zamanda çevre ve canlılara en az seviyede zarar vermesi nedeni ile enerji üretiminde alternatif enerji kaynaklarına yönelmek günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Rüzgar enerjisine yönelik projeler, sürdürülebilir enerji geliştirme çalışmaları kapsamında en uygulanabilir yollardan biridir. Rüzgar türbini kurulumu için yer seçimi, yalnız teknik gereklilikleri değil aynı zamanda fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel yaptırımları içeren karmaşık bir süreçtir. Çanakkale ili Türkiye'nin en fazla rüzgar alan illerinden biri olması nedeniyle rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisi üretiminde ülkemizin en önemli mekanlarına sahiptir. Kurulduktan sonra yer değiştirilmesi zor olan rüzgar türbin santrallerinin yatırım öncesindeki %10'luk mikro konumlandırma hesap hatasının, kurulum ve çalışma sırasında %30'a varan enerji kayıplarına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Büyük maliyet gerektiren bu projelerde türbin konumları enerji üretimini etkilemesi nedeni ile son derece önemlidir. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleriyle (CBS) birlikte çok kriterli karar analizi (ÇKKA) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak Çanakkale il sınırları içinde rüzgar türbini kurulumu için uygun alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak uygulamada kullanılacak veri katmanlarının neler olacağı belirlenmiş ve farklı kaynaklardan elde edilmiştir. Veriler ArcGIS yazılımında düzenlenerek mekansal analiz amaçlı kullanıma hazır hale getirilmiş ve mekansal analiz işlemine tabi tutulmuştur. Rüzgar türbin kurulumu için uygun olmayan alanlar uygulama alanından çıkarılarak türbin kurulamayacak alanlar değerlendirmeden çıkarılmıştır. Veri katmanları önem derecesine göre yapılan ağırlıklandırma işleminde ÇKKA yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP kriterlerine ve ağırlık oranlarına göre yapılan mekansal analiz sonucu Çanakkale ili için; ormanlık alanlar dahil edildiğinde 3559 km² ile il alanının %88'inin rüzgar türbini kurulumuna orta ve yüksek derecede uygun olduğu tespit edilmiş. Bu değerlerin ormanlık alanlar çıkartıldığında 3199 km² ile il alanının %55'ine karşılık geldiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemi, Çok Kriterli Karar Analizi, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Rüzgar Enerjisi Santrali, Çanakkale

Abstract

The total energy consumption in Turkey is increasing exponentially as is the case throughout the world. The fact that the fossil resources are being depleted and the compensation of the damages to the environment reach the difficult points has led people to benefit from renewable energy sources which are least harmful to the environment. Since alternative energy sources are renewable and inexhaustible, and at the same time they cause minimal harm to the environment and living things, it has become a necessity to turn to alternative energy sources in energy production. Projects for wind energy are one of the most feasible ways of sustainable energy development. Site selection for wind turbine installation is not only a technical process, but also a complex process involving physical, economic, social, environmental sanctions. Çanakkale has the most important places of our country in the production of electricity with wind turbines because it is Turkey's one of the most windy provinces. It was observed that the 10% micro-positioning calculation error of the wind turbine power plants, which were difficult to replace after installation, resulted in energy losses up to 30% during installation and operation. In these projects which require large costs, turbine locations are extremely important because they affect energy production. In this study, it was aimed to determine the appropriate areas for wind turbine installation within the borders of Çanakkale Province by using Analytical Hierarchy Process (AHP) which is one of the Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) methods together with Geographical Information Systems (GIS). First, the data layers to be used in the application are determined and obtained from different sources. The data were arranged in ArcGIS software and prepared for spatial analysis purposes and subjected to spatial analysis. Areas not suitable for wind turbine installation were removed from the application area and areas that could not be installed were removed. The AHP method was used in the weighting process, which was performed according to the data layers significance level. According to AHP criteria and weight ratio, the results of the spatial analysis for the province of Çanakkale; When forest areas are included, 3559 km² and 88% of the province area has been found to be medium and highly suitable for wind turbine installation. When the forest areas were removed, it was determined that these values correspond to 3199 km² (55% of province area).

Keywords

Geographic Information System, Multi Criteria Decision Analysis, Analytic Hierarchy Process, Wind Power Plant, Çanakkale

* Sorumlu Yazarlar: Tel: (0544)3092024 Tel: (0505)3306254

E-posta: cangokhan17@gmail.com (Can G.), aliyucl@comu.edu.tr (Yücel M. A.)

1. Giriş

Dünyanın ve ülkemizin enerji olan ihtiyacı sanayi devriminden sonra her geçen gün artmış ve bu artış katlanarak devam etmiştir. Artan enerji ihtiyacı sebebiyle var olan enerji kaynaklarının yanında alternatif enerji kaynaklarının da kullanımına yönelik çalışmaların başlatılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal, dalga enerjisi gibi kaynaklar yenilenebilir enerji çalışmalarının yoğunlaştığı alanlardır. Bu kaynakların içerisinde rüzgar, dünyanın çoğu yerinde bol miktarda bulunan, temiz, maliyeti gün geçtikçe azalan, çevreye etkilerinin düşük, ticari olarak en elverişli yenilenebilir enerji türlerindedir (Köse ve ark., 2004). Bu pozitif faktörlere ek olarak rüzgar enerjisi kullanımı tehlikeli hava kirlenimi gazların salınımını azaltarak çağımızın en büyük çevresel sorunlarından olan sera etkisini azaltmaya yardımcı olur, su tasarrufu sağlar, gayrimenkul sahibine maddi kazanç yaratır, gelişen bir sektör olması sebebiyle istihdamın önünü açar (AWEA, 2008). Bu sebeplerden dolayı rüzgar enerjisi hem dünyada hem de ülkemizde popüleritesi ve mali yatırımları gün geçtikçe artarak devam etmektedir.

Sürdürülebilir enerji projeleri içinde rüzgar ve güneş enerjisi ile üretim sağlayan projeler ülkemizde en revaçta yatırımlardır. Büyük ölçekteki rüzgar santrali projeleri oldukça maliyetli olmasından dolayı, santral inşaatı öncesinde rüzgar enerjisinden etkili ve verimli sonuçlar alabilmek için uzun süreli rüzgar fizibilitesinin yapılması çok önemlidir. Fizibilite öncesi uygun alanların özellikle rüzgar potansiyeline göre belirlenip incelenmesi gerekmektedir. Uygun yer seçimi için dikkat edilmesi gereken ekonomik, fiziksel, çevresel, sosyal faktörler ile bir karar verme mekanizması yardımıyla coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama işlenmiş verileri kullanılarak proje ilk adım araştırmaları yapılabilmektedir (Bennui ve ark., 2007). Santral yer tespit uygulamalarında seçilecek kriterlerin incelenerek ana ve alt kriterler arasında tercih yapabilmek için kriterlerin birbirine ağırlıklandırılmalarının yapılması karar verme mekanizmalarının işlevselliği ile daha kolay hale gelmektedir. Coğrafi bilgi sistemleri ile de elde edilen verilerin birleştirilerek analiz edilmesi, karmaşık problemlerin çözülmesi, istenilen sonuca ulaşmadaki yeteneği bu sistemleri vazgeçilmez unsur yapmaktadır.

1.1. Rüzgar Enerjisinde Mevcut Durum

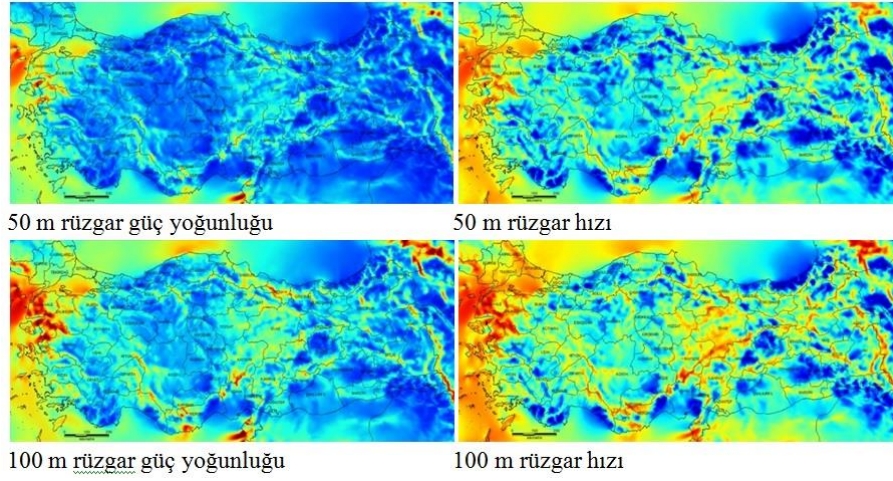
Dünyada 100'den fazla ülkenin rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi yaptığı bilinmektedir. En çok enerji üreten ülkelere bakıldığında toplam üretilen rüzgar enerjisinin yaklaşık %29 ile Çin ilk sırada yer almaktadır. Çin, gerek nüfus yönünden enerjiye olan gereksinimiyle gerek de hızla büyüyen sanayisiyle alternatif enerji kaynaklarına büyük yatırımlar yapmış ve ilk sıraya yerleşmiştir. Ardında gelen Amerika Birleşik Devletleri ile Almanya da dünyada rüzgar enerjisi üretiminde önde gelen ülkeler olarak görülmektedir (YEGM, 2018). Ülkemiz Avrupa ülkeleri arasında 6'ncı ve Dünya sıralamasında 11'nci sırada yer almaktadır (Tablo 1). Türkiye'nin rüzgar potansiyeli dikkate alınarak bakıldığında yatırımcıların bu alana yönelmesi ve devlet destekli projeler ile mevcut konumundan daha üst sıralarda yer bulacağı düşünülmektedir.

Tablo 1: Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC)'nin nisan 2018 raporuna göre ülkelere ait rüzgar santrali kurulu gücü listesi

Sıra	Ülke	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	188.132
2	Amerika Birleşik Devletleri	89.077
3	Almanya	56.132
4	Hindistan	32.848
5	İspanya	23.170
6	Birleşik Krallık	18.872
7	Fransa	13.759
8	Brezilya	12.763
9	Kanada	12.239
10	İtalya	9.857
11	Türkiye	6.857
12	İsveç	6.691
13	Polonya	5.782
14	Portekiz	5.316
15	Danimarka	5.228

Ülkemizde 1984 ve 2002 senelerinde hazırlanan rüzgar enerji potansiyeli atlasları rüzgar kaynakları hakkında yüzeysel bilgiler verdiğinden günümüzde yapılması planlanan rüzgar enerjisi yatırımları için kurum ve kuruluşlara talep ettikleri bilgileri vermekte yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu sebeplerden yola çıkarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi 2006 yılında sektörün taleplerini karşılayacak şekilde hizmete sunulabilecek daha detaylı bilgiler veren rüzgar enerji potansiyeli atlasını (REPA) hazırlamıştır. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı olan bu atlas ülkemizin kara ve deniz alanlarında 200m x

200m çözünürlüğüyle rüzgar bilgileri temin edilebilecek durumda tasarlanmıştır. İstenilen herhangi bir nokta veya alanın koordinatları bildirilerek o bölgenin potansiyel raporlaması kısa bir süre içerisinde istek sahiplerine ulaştırılabilmektedir (Malkoç, 2008). Atlas 50 m ve 100 m irtifadaki rüzgar güç yoğunluğu ile rüzgar hızı hakkında ülke geneli ve il bazında bilgi alınabilmesi için hazırlanarak Şekil 1’de görüldüğü gibi kullanıma sunulmuştur.



Şekil 1: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından hazırlanan yıllık 50 m ve 100 m irtifadaki rüzgar güç yoğunluğu ve rüzgar hızını gösteren haritalar

2. Uygulama Alanı ve Veri Temini

Uygulama bölgesi olarak Çanakkale il sınırları içinde kalan alan seçilmiştir. Bu bölgenin seçim nedeni ise rüzgar potansiyeli olarak Türkiye’nin rüzgar potansiyeli en yüksek ikinci ili olması, rüzgar enerji santrali kurulumu açısından oldukça popüler olması ve bölgenin çalışma yürütücülerince diğer illere nazaran daha iyi tanınmasıdır. Bölgenin var olan potansiyeli ile kullanılmakta olan potansiyel oranlaması yapılırsa yaklaşık %8 oranında bölgede işlem hacmi görülmektedir. Bu oranın yapılacak çalışmalarla yükseltilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Verilerin eldesi CBS projelerinde en çok zaman alan kısımdır. Bununla birlikte veriler bazen büyük maliyetlerle de elde edilmek zorunda kalınabilmektedir (Yomralıoğlu, 2015). Çalışmalarda kullanılacak verilerin doğruluğu, hassasiyeti ve bilgi yeterliliği yoğun araştırmalar sonucunda özenle seçilerek kullanılmalıdır. Bazı veriler sayısal formatta olabileceği gibi bazı veriler de kağıt formatta bulunabilmektedir. Kağıt formattaki veriler çeşitli araç gereç ve programlar yardımıyla sayısal formatta altlık üretmek de gerekebilir. Bu çalışmada kullanılan altlık verilerinin hangi yapıda ve türde olduğu Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan veri katmanları ve nitelikleri

Veri Katmanı	Veri Yapısı	Veri Türü
Sayısal yükseklik modeli	Raster	Piksel
Arazi eğimi	Raster	Piksel
Karayolları	Vektör	Çoklu Çizgi
Diri faylar	Vektör	Çoklu Çizgi
Yerleşim alanları	Vektör	Poligon
Koruma alanları	Vektör	Poligon
Orman alanları	Vektör	Poligon
Akarsular	Vektör	Çoklu Çizgi
Göller	Vektör	Poligon
Kurulu RES’ler	Vektör	Nokta
Elektrik hatları	Vektör	Çoklu Çizgi
Rüzgar kapasitesi	Raster	Piksel

Çanakkale sayısal yükseklik modelinden arazi eğimi ve araz yüksekliği katmanları raster yapıda elde edilmiştir. Bir diğer raster veri tipinde elde edilen katman da rüzgar kapasitesi verisidir. Diğer veri katmanları ise vektör veri yapısında olup karayolları, akarsular, diri faylar ve elektrik hatları çoklu çizgi; yerleşim alanları, koruma alanları, orman alanları ve göller poligon; yerleşim merkezleri, kurulu RES’ler nokta veri türünde bulunmaktadır.

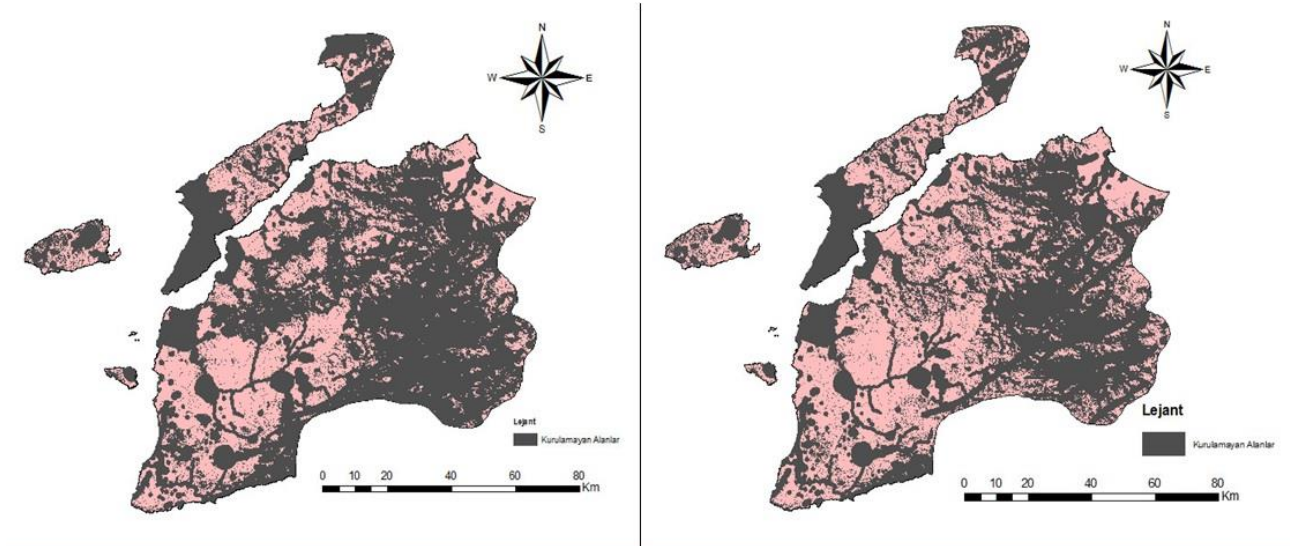
3. Yöntem ve Uygulama

Bu çalışma Çanakkale ili sınırları içerisinde rüzgar türbin santralleri kurulumu için uygun alanların tespiti gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak olan veri katmanlarının düzenleme, dönüşüm, sayısallaştırma, tüm haritaların toplanması gibi işlemlerinin yapılmasında Arcgis 10.5 programı kullanılmıştır. İlk olarak türbin kurulamayacak alanların belirlenmesi için kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Kriterler dünya genelinde yapılan rüzgar türbin yer seçimi çalışmalarında ve Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmasında kullandığı kriterlerin incelenmesiyle kullanılmasına karar verilmiştir. Türbin kurulamayacak alanların seçiminde kullanılan kriterler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Türbin kurulamayacak alanların seçiminde kullanılan kriterler

Kriterler	Değerlendirme
Yerleşim Alanları (İl ve İlçe)	<2500 m
Yerleşim Alanları (Belde ve köy)	<1000 m
Milli Parklar ve Askeri Alanlar	Alanın kendisi
Göller ve Barajlar	<1000 m
Akarsular	<500 m
Karayolları	<20 m
Fay Hatları	<1000 m
Ormanlık Alanlar	Alanın kendisi
Eğim	>%20
Yükseklik	>1500 m
Kapasite Faktörü	<%50

ArcMap 10.5 programı araçlarından mesafe (buffer) analizleri kullanılarak belirlenen kriterlerden bazılarının tampon bölgeleri oluşturularak kurulum için uygun olmayan alanlar belirlenmiştir. Ardından santral kurulamayacak özellikte olan tüm alanlar tek bir katmanda birleştirilmiştir. Çalışmada birleştirilen katmanlar, ormanlık alanların edildiği kurulamayacak alanlar ve ormanlık alanların dahil edilmediği kurulamayacak alanlar olmak üzere iki şekilde ele alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: RES tesisi kurulamayacak alanlar (solda) ve ormanlık alanların uygun alanlara dahil edildiği durum (sağda)

Çalışma alanında, ormanlık alanların dahil edilmesi sonucunda yüzölçümü 6602,61 km² ve dahil edilmemesi sonucu 5786,42 km² rüzgar enerji santrali kurulamayacak alan tespit edilmiştir. Uygun olmayan alanların elenmesinden sonra belirlenen kriterler arasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak önem dereceleri belirlenmiştir. Analitik hiyerarşi prosesi, karmaşık problemleri çözmek için kriterlerin birbirleriyle ilişkisini analiz eden yapısal bir tekniktir. Bu teknikte kriterler arasında gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalara dayalı olarak karşılaştırmalar matrisi elde edilmekte, sonra bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmektedir. Kriterlerin birbirine göre önemleri 1 ile 9 arasında puanlanarak hesaplama matrisi oluşturulur. Belirlenen kriterlerin birbirine göre değerleri kıyaslanarak puanlamaları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: İkili karşılaştırma matrisi

A Matrisi	Kapasite Faktörü	Eğim	Fay Hat Uzaklık	İletim Hat Uzaklık	Karayoluna Uzaklık	Yerleşim Al. Uzaklık
Kapasite Faktörü	1	5	9	4	5	7
Eğim	1/5	1	5	1/5	1	2
Fay Hat Uzaklık	1/9	1/5	1	1/7	1/5	1/2
İletim Hat Uzaklık	1/4	5	7	1	3	5
Karayoluna Uzaklık	1/5	1	5	1/3	1	3
Yerleşim Al. Uzaklık	1/7	1/2	2	1/5	1/3	1
	1.90	12.70	29.00	5.88	10.53	18.50

Karşılaştırma matrisinde elde edilen her sütunda bulunan değerler sütunların toplam değerlerine bölünerek normalizasyon matrisi oluşturulur (Tablo 5). Normalizasyon matrisinin satır elemanlarının ortalamaları hesaplanarak kriterlerin çalışmada kullanılması planlanan ağırlıkları belirlenmiştir. Karar vericinin kriterlerin birbirine göre derecelerini belirleme işleminin denetimi tutarlılık oranı hesaplanarak kontrol edilmiş ve tutarlılık oranı %5 sonucuna ulaşılmıştır. Analitik hiyerarşi yöntemine göre %10'un altında kalan oranlar tutarlı kabul edilmektedir.

Tablo 5: Normalizasyon matrisi

Sütun Toplamı 1 olan A Matrisi	Kapasite Faktörü	Eğim	Fay Hat Uzaklık	İletim Hat Uzaklık	Karayoluna Uzaklık	Yerleşim Al. Uzaklık	Ortalama
Kapasite Faktörü	0,53	0,39	0,31	0,68	0,48	0,38	0,46
Eğim	0,11	0,08	0,17	0,03	0,10	0,11	0,10
Fay Hat Uzaklık	0,06	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
İletim Hat Uzaklık	0,13	0,39	0,24	0,17	0,29	0,27	0,25
Karayoluna Uzaklık	0,11	0,08	0,17	0,06	0,10	0,16	0,11
Yerleşim Al. Uzaklık	0,08	0,04	0,07	0,03	0,03	0,05	0,05

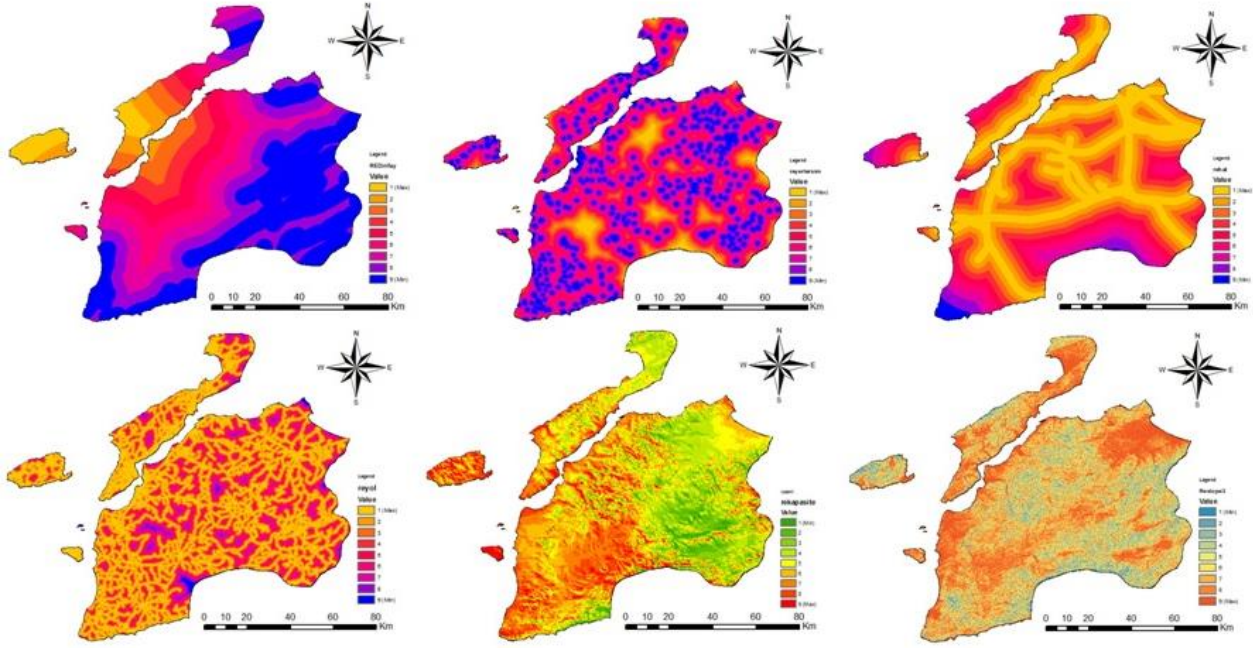
Analitik hiyerarşi yöntemiyle katmanların birbirleriyle ikili karşılaştırmalarına dayalı biçimde uygulanan analizde kullanılacak ağırlıklar; kapasite faktörü %46, elektrik iletim hatlarına uzaklık %25, karayollarına uzaklık %11, eğim faktörü %10, yerleşim alanlarına uzaklık %5 ve fay hatlarına olan uzaklık %3 olarak hesaplanmıştır.

Yerleşim alanları, diri fay hatları, karayolları, enerji nakil hatları katmanlarının uzaklığa veya yakınlığa göre (elektrik nakil hatlarından ve karayollarından uzaklaştıkça azalacak, yerleşim birimlerinden ve diri fay hatlarından uzaklaştıkça artacak şekilde) puanlaması yapılarak yerleşim alanlarından 500 m, diri fay hatlarından 1000 m, elektrik iletim hatlarından 1000 m ve karayollarından 250 m aralıklarla puanları artacak veya azalacak şekilde mesafe analizi haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3).

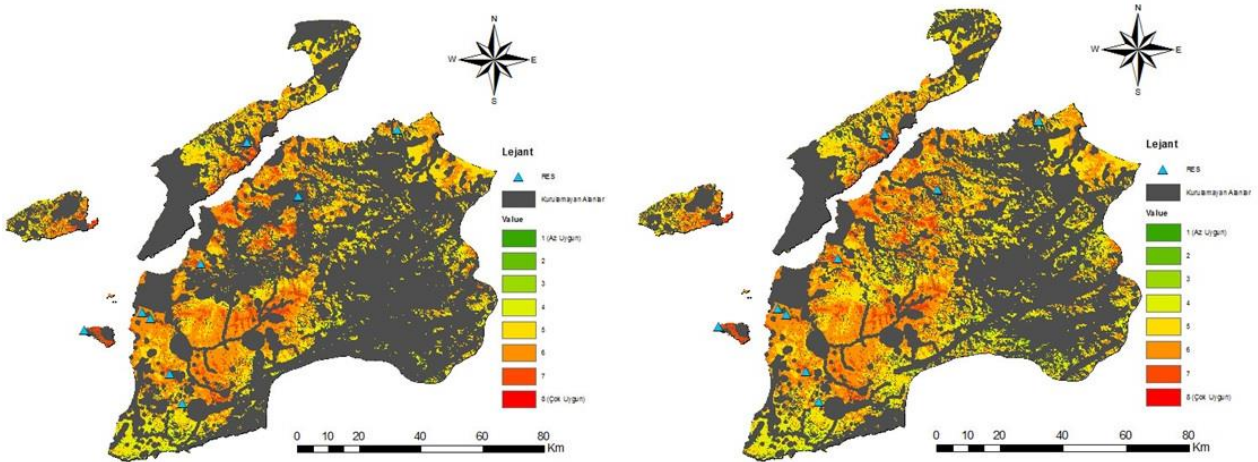
Mesafe analizi haritaları ağırlıklarına göre değerlendirilerek RES tesisi uygunluk haritaları elde edilmiştir. Analitik hiyerarşi prosesiyle hesaplanan ağırlıklar (kapasite faktörü %46, elektrik iletim hatlarına uzaklık %25, karayollarına uzaklık %11, eğim faktörü %10, yerleşim alanlarına uzaklık %5 ve fay hatlarına olan uzaklık %3) Kriterlerin analize etkisini belirlemek amacıyla ArcGIS ortamında katmanların bu ağırlıkları hesaba katılarak mekansal analiz haritası üretilmiştir ve ardından RES kurulumu için uygun olmayan alanlar haritası da eklenerek sonuç RES uygunluk mekansal analiz haritaları oluşturulmuştur (Can, 2019).

Çalışma sonucunda belirlenen ormanların dahil olmadığı uygun alanların %83,35'lik kısmını 5 ve 6 puanlı alanlar oluşturmaktadır. 1, 2, 3 puanlı kurulumu az uygun bölgeler ile 8 puanlı çok uygun bölgelerin toplam oranı %1'in altındadır. 4 puanlı bölgeler ve 7 puanlı bölgelerin oranları yaklaşık %8'dir. 1-4 arasında puan alan bölgelerin oranı %8,56 ve 5-8 arasında puan alan bölgelerin oranı ise %91,44'tür.

Ormanların dahil olduğu uygun alanların %80,91'lik kısmını 5 ve 6 puanlı alanlar oluşturmaktadır. 1, 2, 3 puanlı kurulumu az uygun bölgeler ile 8 puanlı çok uygun bölgeler oranları toplamı yaklaşık %1'dir. 4 puanlı bölgeler %10,73 ve 7 puanlı bölgeler %7,33 orana sahiptir. 1-4 arasında puan alan bölgelerin toplam oranı %11,71 ve 5-8 arasında puan alan bölgelerin oranı ise %88,29'dur (Can, 2019).



Şekil 3: Mesafe analizi (buffer) analizi haritaları (soldan sağa): fay hattına uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, iletim hatlarına uzaklık, karayoluna uzaklık, kapasite faktörü, eğim



Şekil 4: RES tesisleri için uygunluk mekansal analiz haritaları: ormanlar hariç (solda), ormanlar dahil (sağda)

3. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, rüzgar türbin kurulumu için yer seçimi sürecinin hangi aşamalardan oluştuğu irdelenmiş, yer seçimi kararını etkileyen temel faktörler belirlenmiş, kullanılacak olan veriler temin edilmiş veya sayısallaştırılarak elde edilmiş, türbin kurulamayacak alanlar elenmiş, AHP yöntemi kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmış ve Çanakkale ili için RES tesisi uygunluk haritası CBS yazılımı ortamında mekansal analiz işlemleri ile üretilmiştir. Mekansal analiz sonuçlarına göre, ormanların dahil olmadığı durumda uygun alanların 1-4 aralığında puan alan bölgelerin oranı %8,56 ve 5-8 aralığında puan alan bölgelerin oranı ise %91,44'tür. Ormanların dahil olduğu uygun alanların 1-4 aralığında puan alan bölgelerin toplam oranı %11,71 ve 5-8 aralığında puan alan bölgelerin oranı ise %88,29'dur.

Çalışmanın denetim mekanizması olarak ortaya çıkan sonuç haritasının mevcut durumda kullanımda olan rüzgar santralleri konum verisiyle birleştirildiğinde santrallerin kurulum için uygun olmayan alanların dışında olması ilk

aşamanın doğruluğunu göstermektedir. İkinci aşamada ise çalışma verilerin doğru seçimini ve karar verme mekanizması olan analitik hiyerarşi prosesinin etkin ağırlıklandırma sonucu ile oluşturulan sonuç haritasında mevcut rüzgar santrallerinin en yüksek puanlandırılan bölgelerin içinde kalması çalışmanın denetimi anlamında olumlu sonuçlanmıştır. Böylece yer seçimi problemlerinde CBS ile AHP kullanılarak doğru kriterlerin de belirlenmesi ile başarılı sonuçların ortaya çıkacağı sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- AWEA (American Wind Energy Association), *Wind Energy for a New Era*. 2008, Washington.
- Bennui A., Rattanamanee P., Puetpaiboon U., Phukpattaranont P., Chetpattananondh K.,2007. *Site Selection For Large Wind Turbine Using GIS*, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment (ICEE-2007), Thailand.
- Can G., 2019. *Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak Rüzgar Türbin Santralleri İçin Yer Seçimi: Çanakkale İli Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Global Wind Energy Council (GWEC), 2018. *Global Wind Report, Annual Market Update 2017*
- Köse R., Özgür M., Arif E.O., Tugcu A.,2004. *The analysis of wind data and wind energy potential in Kütahya-Turkey*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt: 8, 277–288.
- Malkoç Y., 2008. *Rüzgar Enerjisi Kaynaklarımız*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Türkiye.
- Yomralıoğlu, T., 2015, *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar*, İber Ofset, Trabzon.
- YEGM, Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası (REPA), http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html, [Erişim: 20.04.2019]
- YEGM, İşletmedeki Rüzgar Elektrik Santralleri, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/isletmedeki_resler.aspx, [Erişim: 20.04.2019]