



# Rüzgar Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği

*GIS-Based Analysis of Sites Determination for Wind Power Plant (WPP) by Multi-Criteria Decision Analysis: A Case Study in Yenice District (KARABUK)*

Deniz Arca<sup>1\*</sup>, Hülya Keskin Çıtıröğlü<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir MYO, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı, YİKOB, Aydın, Türkiye

## Öz

Endüstrinin hızla gelişmesi ve dünyamızın mevcut enerji kaynaklarının yetersizliği, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi gün geçtikçe daha da arttırmıştır. Türkiye'nin hızlı sanayileşme ve hızlı nüfus artışı enerji talebinde de artışa yol açmıştır. Bu nedenle Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin belirlenmesi ve ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Bu amaçla yenilenebilir enerji türlerinden biri olan rüzgar enerjisi üzerinde durulmuş, enerji üretim miktarlarının doğru verilere dayalı hesaplanması ve rüzgar enerjisi santralleri (RES) için en uygun yerlerin seçilmesinin, rüzgar enerji santrallerinin ülke ekonomisine katkı sağlaması için oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Karabük iline bağlı Yenice ilçesinde uygun RES yapım yerleri seçiminin Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı Çok Kriterli Karar Analizi (CBS-ÇKKA) yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının RES yapımı için düşük ve orta duyarlılık düzeyinde olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Çok kriterli karar analizi (ÇKKA), Rüzgar enerjisi, Yenice

## Abstract

The rapid development of the industry and the inadequacy of the world's existing energy resources have increased the interest in renewable energy sources day by day. The fast industrialization and rapid population growth in Turkey raised the demand also for energy resources. Therefore it is necessary to determination of Turkey's renewable energy potential and to enhance the contribution of this renewable energy potential to the economy. In this study, wind energy, one of the renewable energy types, was emphasized. Calculating energy production amounts based on accurate data and determining the most suitable location for wind power plants (WPPs) is very important for wind power plants to contribute to the country's economy. In this study, it was aimed to determine the selection of suitable WPP construction sites in Yenice district of Karabük province using Geographic Information Systems based Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) methods. According to the results obtained, it was determined that the study area is at low and medium sensitivity level for RES construction.

**Keywords:** Geographical information systems (GIS), Multi-criteria decision analysis method (MCDA), Wind power, Yenice

## 1. Giriş

Enerji kaynakları nükleer, fosil ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere 3 ana gruba ayrılmaktadır. Dünya elektrik üretiminde yenilenebilir enerji önemli bir yere sahiptir. Toplam küresel elektrik üretiminin yüzde 26,2'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilirken bu oranının sadece yüzde 5,5'i rüzgar santrallerinden sağlanmaktadır (REN21

2019). Türkiye'de ise elektrik üretiminde kömür ve doğal gaz kaynaklarının üstünlüğü bulunmaktadır. Ülkemiz toplam elektrik üretiminin yüzde 35,2'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilirken bu oranının sadece yüzde 5,6'sı rüzgar santrallerinden sağlanmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2016). Türkiye, coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olup, bu kaynaklardan yüksek seviyede yararlanılması hem enerji arz güvenliğine hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna katkı sağlayacaktır (Dikmen 2019).

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [deniz.arca@deu.edu.tr](mailto:deniz.arca@deu.edu.tr)

Deniz Arca [orcid.org/0000-0002-0439-4938](https://orcid.org/0000-0002-0439-4938)

Hülya Keskin Çıtıröğlü [orcid.org/0000-0002-2999-9570](https://orcid.org/0000-0002-2999-9570)

Enerji kaynaklarının yetersizliği, insanoğlunu, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan, güneş ve rüzgar enerjisi başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir (Şahin vd. 2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi, fosil yakıtlardan tasarruf sağlayan ve ticari bakımdan en ucuz enerji türüdür. Teknolojinin gelişmesi ile kurulum ve işletim maliyetinin düşmesi, sürekli olması ve insan sağlığı ile uyumlu bir enerji kaynağı olmasından dolayı rüzgar, günümüzde en çok tercih edilen enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir (Bayraç 2011).

Enerji türleri arasında önemli bir paya sahip olan sürdürülebilir elektrik enerjisi üretiminde, fosil yakıtlar yerine rüzgar enerjisinin kullanılması alternatif enerji kaynakları arasında en önemli rolü oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi santrali (RES) projelerinin daha verimli ve sürdürülebilir olabilmesi için, rüzgar enerjisi santrallerinin kurulması tercih edilen alanların uygunlukları da çok önemlidir (Can 2019). RES kurulumunda rüzgar türbinlerinin yerleşimi RES'in üretim potansiyelini etkilemekte, rüzgar türbinlerinin uygun şekilde yerleştirilmesi RES'in üretim miktarının artmasını sağlamaktadır (Çelik vd. 2018). Rüzgar enerji santrallerinin (RES) ekonomiye katkı sağlayabilmesi için sürekli rüzgar alan bölgelere kurulması gerekmektedir. RES kurulacak yerlerin belirlenmesi için bilinmesine gerek olan saatlik ve ortalama rüzgar hızları, meteoroloji istasyonlarından temin edilmektedir. RES yerlerinin planlanmasında rüzgar atlasları kullanılmakla birlikte atlaslar tek başına yer seçimi için yeterli değildir. Bu nedenle RES yer seçimlerinde daha detaylı çalışmalar ve ölçümlerin yapılması büyük önem taşımaktadır (Acar ve Doğan 2008). Aras (2003), Oğulata (2003), Sözen vd. (2015), Önal ve Yarbay (2010) Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli, kullanımı ve değerlendirilmesi üzerine çalışmış ve rüzgar enerjisi kullanımının artarak devam etmesi gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Hepbaşlı ve Özgener (2004) Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinin ümit verici olduğunu ve ayrıca kullanımında artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Doğancı vd. (2016) çalışma alanının yer aldığı Batı Karadeniz bölgesinde yapay sinir ağları kullanarak rüzgar enerjisi tahmin çalışması yapmıştır. Akpınar ve Balpetek (2019) Elazığ ilinin rüzgar enerjisi potansiyelini inceledikleri çalışma sonucunda, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Dikmen ve Örgen (2018) Ağlasun Bölgesi'nin (Burdur) rüzgar enerji potansiyelinin Türkiye ortalamasının üzerinde olduğunu, Pusat (2017) ise Sakarya

Üniversitesi ve etrafının rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirdiği çalışma sonucunda bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin genel olarak düşük olduğunu tespit etmiştir. Erduman vd. (2018) İstanbul'un Bakırköy İlçesinde bulunan Bakırköy Botanik Parkı'na kurulması planlanan rüzgar türbinlerine ait teknik ve ekonomik fizibilite çalışmasını gerçekleştirilmiştir. Can (2019) elektrik enerjisi üretimi için planlanan rüzgar santrali projelerine yönelik FMEA (arıza modu etki analizi) ve sistematik Pareto analizi kullanarak çevresel alan modellerinin üretilmesi üzerinde çalışmıştır.

Karabük İli'nde yer alan 16 hidroelektrik santrali (HES) projesinin toplam kurulu gücü 202,968 MW, enerji üretimi 666,823 GWH/yıldır (Karabük Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2019). Bununla birlikte Karabük İlinde Yağmur RES Enerji tarafından 30 MW gücünde Karabük Rüzgar Enerji Santrali ön lisansı alınmış olmakla birlikte halen devreye alınmış aktif rüzgar santrali bulunmamaktadır (Enerji Atlası 2020). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün illere kurulabilecek RES'lerin toplam alan ve kurulu güç verilerine göre Karabük İli 14,67 km<sup>2</sup> toplam alan ve 73,36 MW kurulu güç kapasitesine sahiptir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020a). Bu çalışma ile Karabük İlinin sahip olduğu RES kurulu güç kapasitesi dikkate alınarak mevcut hidroelektrik santrallerine (HES) ek olarak yine yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisinden yararlanılabilmesi için Yenice İlçesi örneğinde uygun RES alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Karabük iline bağlı Yenice ilçesinde potansiyel RES kurulumu için uygun yer seçimi, çoklu seçim kriterlerinin yönetilmesinde faydalı çözüm üreten bir sistemden meydana gelmesi sebebiyle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme analizi yöntemi ile oluşturulmuştur. Bu bağlamda veri katmanları olarak; rüzgar hızı, yükseklik, eğim, bakı, yola olan uzaklık, akarsuya olan uzaklık, fay hatlarına uzaklık, litoloji, arazi kullanımı ve trafoya olan uzaklık faktörleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm faktörler CBS yazılımı kullanılarak raster yapıda üretilmiş ve ikili karşılaştırma matrisi ile her bir faktörün ağırlık değerleri belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra birleştirme analizi ile sınıflandırılmış ölçüt haritaları birleştirilerek RES için en uygun alanları gösteren uygunluk sonuç haritası elde edilmiştir.

Temiz enerjinin arz güvenliğinin ana unsuru haline getirilmesine yönelik öneriler (Yılmaz ve Can Özçiç 2018) de dikkate alındığında Yenice ilçesinde fosil yakıt kullanımının devam edilmesiyle birlikte en azından başlangıç için konutların enerji ihtiyacının bile başta rüzgar enerjisi olmak

üzere yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanması Yenice'de hem temiz ve sağlıklı çevre, hem de ucuz enerji temini açısından önem sunmaktadır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Batı Karadeniz Bölgesinde 31° 58' ve 32° 31' doğu-batı meridyenleri ile 41° 19' ve 41° 0' kuzey-güney paralellerinde bulunan (Şahin 2018) Karabük iline bağlı olan Yenice ilçesidir (Şekil 1). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminin 2019 sonu verilerine göre Yenice İlçesinin nüfusu 9277 kişi olup köyleriyle beraber toplam nüfusu 20310 kişidir (TUIK 2020). Kuzeyde ve batıda Zonguldak, doğuda Karabük ve Safranbolu, güneyde Bolu ile çevrili olan Yenice ilçesi deniz seviyesinden 130 metre yüksekliktedir. Yenice'nin arazi yapısı Batı Karadeniz Bölgesi'nin temel özelliklerini taşımakta olup, düz ve ova



Şekil 1. Çalışma alanının yer buldur haritası (Karabük Belediyesi 2020, Karabük İl Özel İdaresi 2020).

niteliğinde olan arazisi oldukça azdır. Engebeli bir arazi yapısına sahip olduğu için tarıma elverişli olmamakla beraber köylerde çiftçilik yapan ailelerin üretimi de sadece kendi tüketimlerini karşılamaktadır. Yenice'nin yüksek tepelerinden başlayan verimli ormanlık alanlar komşu il ve ilçelerin içine kadar uzanır. Araç ve Soğanlı Çaylarının birleşmesiyle oluşan Yenice Irmağı, yerleşim merkezinden geçer ve ilçe topraklarını iki parçaya böler. İlçeye hayat veren Yenice Irmağı, Zonguldak İli sınırları içinde Filyos Irmağı adını alır ve Karadeniz'e dökülür (Yenice Belediyesi 2020). Yenice, Karabük İl Merkezine 33 km mesafededir. 777 km<sup>2</sup> alana sahip ilçede merkez belediye, 17 mahalle ve ilçeye bağlı 34 köy bulunmaktadır (Yenice Kaymakamlığı 2020). Yenice'nin ilçe merkezini kapsayan çalışma alanı yaklaşık 22 km<sup>2</sup> lik bir alana sahiptir.

### 2.2. Rüzgar Enerji Santrallerinin (RES) Yer Seçiminde Kullanılan Parametreler

Rüzgar enerji santrallerinin en uygun yer seçiminin belirlenmesinde kullanılan yöntemler kadar dikkate alınan parametrelerin etkisinin de önemli bir rolü vardır. Diğer bir ifade ile yer seçiminin belirlenmesinde etkin olan parametreler doğru seçilirse, üretilecek haritaların, daha temsil edici ve/veya mevcut durumu daha iyi yansıttığı özellikte olacağı söylenebilir (Mazman 2005).

Bu çalışmada rüzgar hızı, yükseklik, eğim, baki, yola olan uzaklık, akarsuya uzaklık, aktif fay hatlarına uzaklık, litoloji, arazi kullanımı ve trafoya olan uzaklık kriterleri kullanılarak uygun RES kurulabilecek sahalar tespit edilmiştir. Bu kriterlerden yola, akarsuya, aktif fay hatlarına ve trafoya olan uzaklık parametreleri belirli aralıklarla buffer (tampon) analizi yapılarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, duyarlılık analizinin yapılacağı bu kriterlerin sınıflara ayrılması, ilgili literatür çalışmaları ve çalışma alanının genel özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışma alanı kuş göç yolu üzerinde olmadığından (Tarım ve Orman Bakanlığı 2020) analizde göç yollarına olan uzaklık parametresi kullanılmamıştır.

En uygun RES yerlerinin belirlenmesinde rüzgar hızı dağılımına göre rüzgar güç yoğunluğu tespit edildiğinden öncelikle rüzgar hız dağılımının belirlenmesi gerekir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020b,c). Rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğuna göre gerekli ekonomik ve çevresel analizler yapılarak rüzgar enerji santralinin yararlı olup olmadığı anlaşılır (Yıldırım vd. 2012). Bu bağlamda çalışma alanına ait Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından tespit edilen 50 m yükseltideki ortalama rüzgar hız dağılımı (Enerji İşleri

Genel Müdürlüğü 2020a) haritasından faydalanılmıştır. Bu haritaya göre çalışma alanı rüzgar hız dağılımı 5-5,50 m/s olarak belirlenmiştir (Şekil 2a).

RES yapım yeri seçiminde arazi kullanım özellikleri etkili bir parametredir. İnsan ve doğal etkenlerden etkilenen ve kolayca değişime uğrayan toprak hidrolojisini içinde barındıran arazi kullanım yoğunluğu (Yalçın vd. 2011) RES yapım yeri seçiminde dikkate alınması gereken bir faktördür. Çalışma alanına ait genel arazi kullanım haritası Şekil 2b de verilmiştir.

Rüzgar hızı yüksekliğe göre artma veya azalma gösterdiğinden dolayı rüzgar enerji santrallerinin yapım yeri seçiminde yükseklik önemli bir faktördür (Nişancı vd. 2010, Uyar 1985, Tağlı 1995, Ültanır 1996, Koç 1996). Rüzgar tarlaları son yıllarda dünyada ve Türkiye'de deniz seviyesindeki alanların yanı sıra yüksek rüzgar hızı kapasitesine sahip dağlık bölgelerde de kurulmaya başlamıştır (Bingöl 2018). Çalışma alanına ait yükseklik haritası bölgenin 10 m çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir. Üretilen harita analizlerde kullanılmak üzere 0-800 m aralığında 8 eşit zona sınıflandırılmıştır (Şekil 2c).

Topografyanın eğim özellikleri de RES yapım yeri seçiminde etkili olan faktörlerden biridir. Düşük ve orta eğim sınıfları RES yapımına en uygun eğim sınıflarıdır (Özşahin ve Kaymaz 2013). Çalışma alanına ait eğim verisi bölgeye ait sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir. Üretilen eğim haritasının eğim derecesi 0 ile 50 derece aralığında elde edilmiştir ve analizler için 10 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2d).

Arazi yüzeyinin yönünü gösteren ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilen bakı RES yapım yeri seçiminde etkili bir diğer faktördür. Hakim rüzgar yönüne bakan yamaçlar RES yapımı için uygun alanlardır (Özşahin ve Kaymaz 2013). Bu nedenle çalışmada -1 ve 360 derece aralığında 10 sınıfı kapsayacak şekilde bakı haritası oluşturulmuştur (Şekil 2e).

Yol hatlarına uzaklık da RES yapım yeri seçimi için etkili bir parametredir. Ulaşım imkanları rahat ve kolay olan sahalar RES kurulumu için tercih edilen alanlardır (Uyan 2017). Çalışma alanının da yol hatlarına uzaklık faktörü 7 sınıf altında değerlendirilmiştir (Şekil 2f).

Litolojik yapı özellikleri RES'lerin yapım yeri seçiminde etkili olan bir diğer faktördür. RES'lerin dayanıklı kayaçların bulunduğu zeminlere kurulması gerekmektedir (Mora ve Vahrson 1994). Çalışma alanında; kıltaşı, marn, kireçtaşı ve şeyl gibi yerinde çökelmiş sedimanlarla kumtaşı,

kumlu kireçtaşı ve konglomera gibi türbiditik çökellerin araldanmasından oluşan ve çeşitli olistolitler içeren Ulus formasyonu (Ku) ve kil, mil, silt, kum, çakıl ve blok gibi malzemelerden oluşan kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal) yer almaktadır (Alan ve Aksay 2002) (Şekil 2g).

Trafo merkezine uzaklık ekonomik yönden önemli olduğu için RES yapım yeri seçiminde gerekli parametrelerden bir başkasıdır. Trafo merkezlerine yakınlık arttıkça RES'lerin kurulumu daha ekonomik olacaktır. Trafo merkezlerine 10 km'yi geçen uzaklıklar RES yeri seçimi için uygun değildir (Uyan 2017) (Şekil 2h).

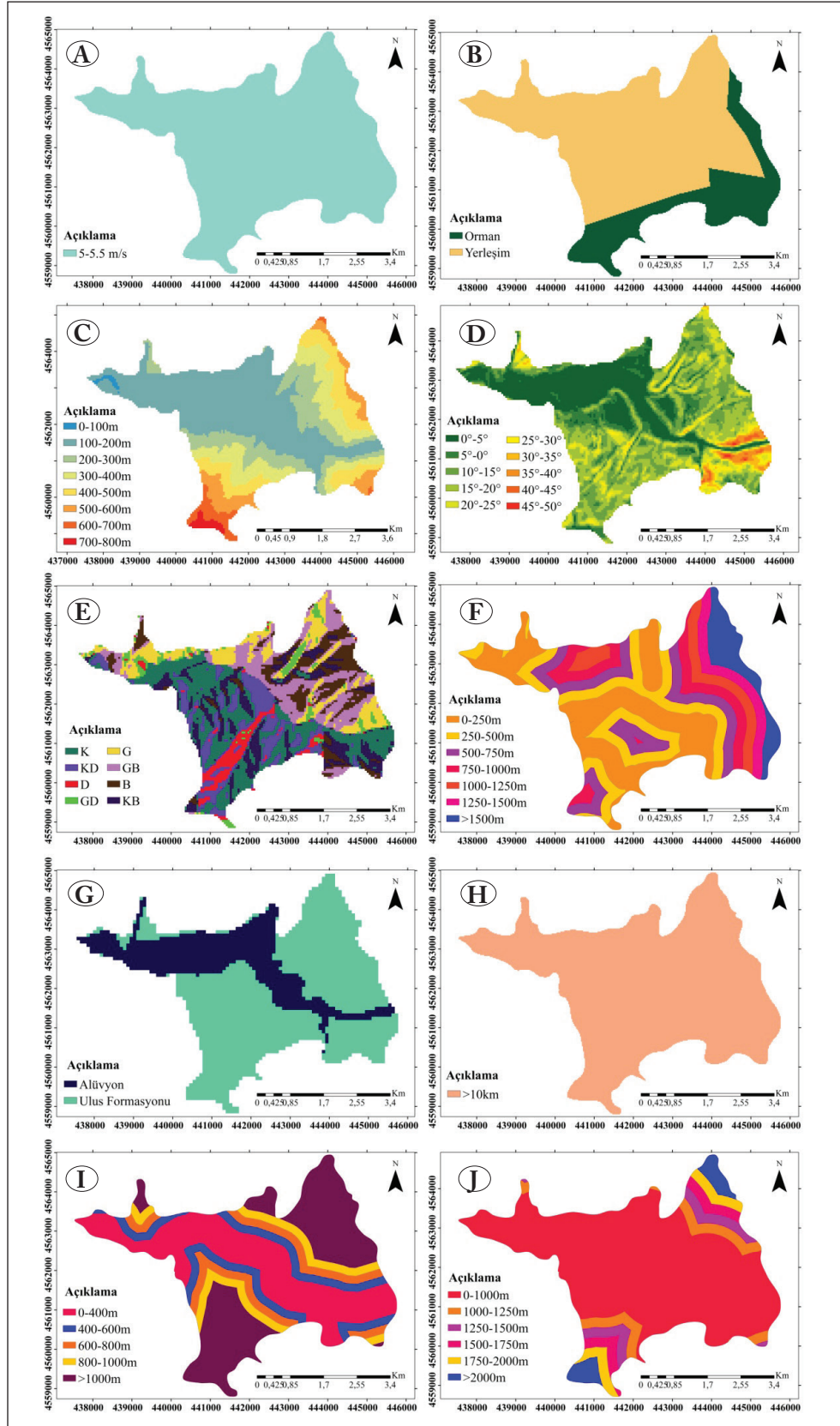
Akarsulara yakın alanlar RES kurulumu için uygun olmadığından RES yapım yeri seçiminde akarsulara olan uzaklıkta etkili bir faktördür (Kaymak 2020). Akarsulara yakın alanlar daha yoğun arazi kullanımı, tarımsal faaliyet, bitki örtüsü ve yerleşim alanı olma gibi özelliklere sahip olmasından dolayı RES yapım yeri olarak tercih edilmemektedir (Özşahin ve Kaymaz 2013). Çalışma alanında bulunan Yenice Irmağı, ilçe topraklarını iki parçaya bölecek şekilde yerleşim merkezinden geçmekte olduğundan akarsulara olan uzaklık parametresi analizde kullanılmıştır. Çalışma alanında akarsulara uzaklık faktörü 5 sınıf altında değerlendirilmiştir (Şekil 2i).

Aktif fay hatlarına yakınlık arttıkça deprem etkisi de daha fazla olacağından RES yapım yeri seçiminde aktif fay hatlarına uzaklık da yer seçim analizini etkileyici bir faktördür. Çalışma alanında aktif fay hatlarından uzaklık faktörü 0 ile 2000 m aralığında 6 sınıfı kapsayacak (Alan ve Aksay 2002) şekilde belirlenmiştir (Şekil 2j).

### 2.3. Yöntem

Bu çalışmada duyarlılık haritasının üretilmesi için CBS tabanlı çok kriterli karar verme analizi (ÇKKA) yöntemi kullanılmıştır. ÇKKA çözümünde ise Analitik Hiyerarşi (AHY) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) yöntemleri kullanılmıştır.

AHY; birbiri ile çelişen ölçülebilir veya soyut ölçütleri dikkate alan, karar analizlerinde geniş uygulama alanı bulunan bir ölçme yöntemidir. AHY'de veriler kadar uzman kişilerin bilgi ve deneyimleri de dikkate alınmaktadır (Yıldırım ve Yomraloğlu 2013). AHY, karar vericinin tüm alternatiflerini tüm kriterler ile beraber değerlendirerek, birbirlerinin göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapması prensibine dayanmaktadır (Saraç ve Musaoğlu 2011). AHY ve diğer tüm yöntemlerde, araştırmacılar ellerindeki olanaklar dahilinde parametrik harita üretimlerini



Şekil 2. Çalışmada kullanılan parametreler. A) rüzgar hızı, B) arazi kullanımı, C) yükseklik, D) eğim, E) bakı, F) yola olan uzaklık, G) litoloji, H) trafo merkezine olan uzaklık, İ) akarsuya olan uzaklık, J) fay hatlarına uzaklık.

gerçekleştirmekte, ya deneme-yanılma yoluna giderek, ya da istatistiksel analizler veya deneyimleri doğrultusunda, duyarlılık analizlerinde kullanacakları parametreleri seçmektedirler.

AHY faktörlerin ikili karşılaştırılmaları ile başlamaktadır. İkili karşılaştırmanın yapılabilmesi için, Saaty (1977) tarafından önerilen AHY Değerlendirme Ölçeğinden (Çizelge 1) yararlanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

**Çizelge 1.** AHY değerlendirme ölçeği (Saaty 1977).

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit derece önemli
3	1. ölçüt 2.'ye göre biraz daha önemli
5	1. ölçüt 2.'ye göre fazla önemli
7	1. ölçüt 2.'ye göre çok fazla önemli
9	1. ölçüt 2.'ye göre olası en kuvvetli öneme sahip veya tercih ediliyor.
2,4,6,8	Ara değerler, uzlaşma gereken durumlarda kullanılmaktadır.

Karşılaştırma matrisi, her bir faktörün ağırlıklarını belirlerken aynı zamanda ağırlıkların tutarlılık oranlarının hesaplanmasını da sağlar (Saaty 1977). Rastgele oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin derecelendirmesindeki olasılık

tutarlılık oranı olarak tanımlanır. Maksimum tutarlılık oranı Saaty (1977) tarafından 0.10 olarak önerilmiştir. Eğer 0.10'un üstünde bir değer elde edilirse, ikili karşılaştırma matrisinin tekrar yapılması gerekmektedir.

Çok kriterli karar analizinin ilk adımı faktörlerin öznelitliklerinin normalleştirilmesidir. Ölçüt katmanları farklı değer aralıklarında ve ölçü birimlerinde olduğundan, ölçütleri bir arada işleme koyabilmek ve birbirleri ile karşılaştırabilmek için her katman 0-255 aralığında değerler alacak şekilde normalleştirilmiştir. Faktörlerin normalleştirilmesi aşamasından sonra her bir kriterin birbirlerine olan göreceli önemini tespiti için AHY uygulanmıştır. Oluşturulan karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Karşılaştırma matrisi sonucu elde edilen en yüksek ağırlığa sahip faktörler sırasıyla rüzgar hızı, arazi kullanımı, yükseklik, bakı, trafo merkezine uzaklık, eğim, litoloji, yola olan uzaklık, fay hatlarına uzaklık ve akarsuya olan uzaklık olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerlerin ve elde edilen ağırlıkların tutarlı olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla hesaplanan "Tutarlılık oranı" (CR) değeri ise 0,09 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen oran Saaty (1977) tarafından önerilen 0.10'un altında olduğu için ikili karşılaştırma matrisi sonucu bulunan değerlerin birbirleriyle tutarlı oldukları kanaatine varılmıştır.

AHP ile ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması ve her bir kriterin ağırlıklarının hesaplanmasından sonraki

**Çizelge 2.** Karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

	Rüzgar Hızı	Arazi Kullanımı	Yükseklik	Bakı	Trafo Merkezine Uzaklık	Eğim	Litoloji	Yola Olan Uzaklık	Fay Hattına Uzaklık	Akarsuya Olan Uzaklık	Ağırlık
<b>Rüzgar Hızı</b>	1	2	4	4	6	8	5	7	7	7	0,28
<b>Arazi Kullanımı</b>		1	3	4	6	7	6	7	7	7	0,24
<b>Yükseklik</b>			1	2	4	5	3	5	6	5	0,13
<b>Bakı</b>				1	3	5	3	4	5	4	0,11
<b>Trafo Merkezine Uzaklık</b>					1	3	1/2	1/2	3	2	0,05
<b>Eğim</b>						1	3	2	4	3	0,05
<b>Litoloji</b>							1	2	3	2	0,06
<b>Yola Olan Uzaklık</b>								1	2	2	0,04
<b>Fay Hattına Uzaklık</b>									1	2	0,02
<b>Akarsuya Olan Uzaklık</b>										1	0,02

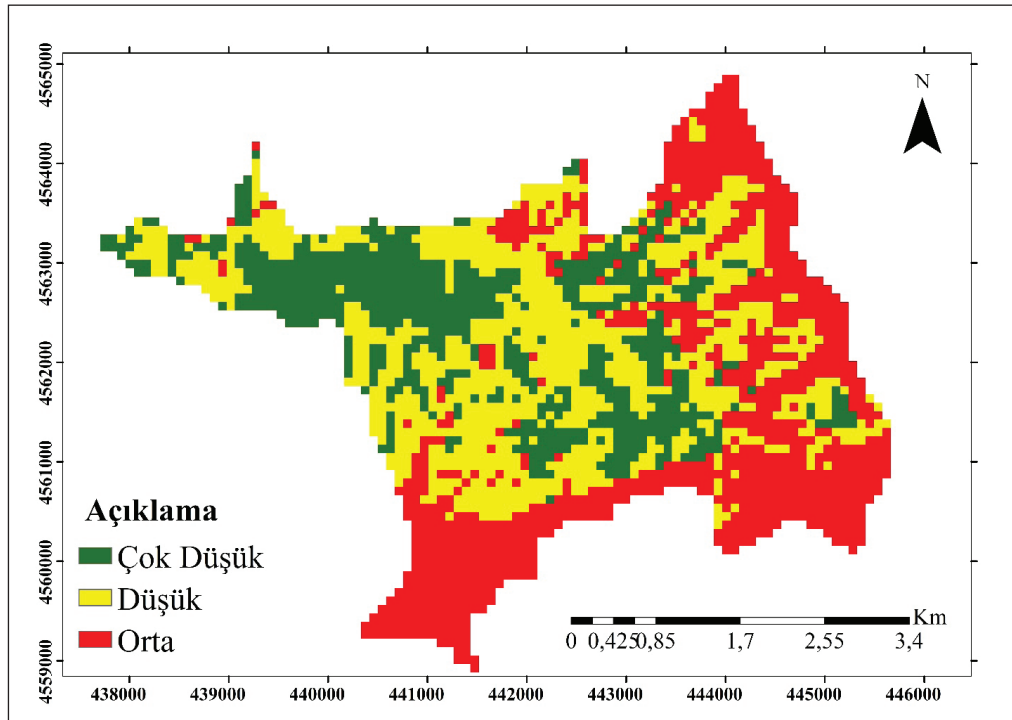
aşama ise, ağırlıklı doğrusal birleştirme (ADB) yöntemi kullanılarak tüm kriterlerin birbirleriyle birleştirilerek sonuç haritasının elde edilmesidir. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni, her bir kriterin alt kriterlerinin standartlaştırılması ve standartlaştırılmış faktörlerin birbirleri ile toplanarak tek bir haritanın üretilmesidir. ADB ortak bir sayısal dizide standartlaştırılmış sürekli kriter (j) ağırlıklarının (w) ortalaması temeline dayanır ve her bir alternatifin toplam puanı, o alternatifin değeri ile kendisine atanmış önemlilik puanının çarpımıyla ve sonra bu tüm sonuçların toplamıyla elde edilir. Puan tüm alternatifler için hesaplanır ve en yüksek puana sahip olan alternatif seçilir. Bu yöntemde, öznitelik değerleri ve ağırlıkların rakamsal ve karşılaştırılabilir olması gerekmektedir (Triantaphyllou ve Mann 1989).

### 3. Tartışma

CBS, konumsal karar verme uygulamaları ve problemlerin çözümünde, pek çok alternatifin analiz sürecine dahil edilmesine ve bu sayede de farklı stratejiler geliştirilmesine imkan sunmaktadır. Bu çalışmada da RES kurulması için uygun yer haritasının üretilmesinde CBS ile bütünleşik çok kriterli karar verme analizi uygulanmıştır. ÇKKA işlemi için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) metodlarından faydalanılmıştır. CBS dayalı çok kriterli karar analizi yöntemi ile Yenice ilçesine ait 10 kriterin normalleştirilmesi, kriterlerin ağırlık-

larının belirlenmesi ve tüm kriterlerin toplanması ile RES yapım yeri için duyarlılık sınıfları haritası üretilmiştir (Şekil 3). Üretilen duyarlılık haritası çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük duyarlı olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3). Duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan kriterler ve yöntemler rüzgar enerjisi amaçlı Hatay ili için Özşahin ve Kaymaz (2013), Trabzon ili için Nişancı vd. (2010) ve güneş enerjisi amaçlı olarak Konya ili için Uyan (2017) tarafından duyarlılık analizinde kullanılan kriterler ve CBS gibi kullanılan yöntemlerle uyum sağlamaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda çok yüksek ve yüksek duyarlılık %0,00, orta duyarlılık %37,50, düşük duyarlılık %37,25 ve çok düşük duyarlılık %25,25 oranında elde edilmiştir. Nişancı vd. (2010) çalışma alanı ile aynı coğrafi bölge olan Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ilinde yine CBS tabanlı rüzgar enerjisi üretim alanlarını belirledikleri çalışmalarında Trabzon'un rüzgar tribünü uygunluğunu düşük ve çok iyi aralığında olmak üzere, Yenice ilçesini konu alan bu çalışmada olduğu gibi 5 sınıfta incelemişlerdir.

Üretilen RES uygunluk haritasının doğruluğunu belirlemek için sonuç haritası Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından çeşitli faktörler temel alınarak oluşturulan "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)"nın Karabük ili raporundaki "Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020a) haritası ile karşılaştırılmış ve bulguların birbirleriyle örtüştüğü



Şekil 3. Uygun RES yapım yeri alanı için duyarlılık sınıfları haritası.

**Çizelge 3.** Uygun RES yapım yeri için duyarlılık sınıflarının dağılımı.

Duyarlılık Sınıfı	AHP Fraksiyonu (%)	Yüzölçümü (km <sup>2</sup> )
Çok düşük	25,25	5,56
Düşük	37,25	8,19
Orta	37,50	8,25
Yüksek	0	0
Çok yüksek	0	0
Toplam	100	22

görülmüştür. Benzer şekilde Doğanç vd. (2016) Orta ve Batı Karadeniz bölgesinde meteorolojik verilerle yapay sinir ağlarını kullanarak rüzgar enerjisi tahmini yaptıkları çalışmalarında bu çalışmaya konu olan Yenice ilçesini çevreleyen ve yakınında yer alan Zonguldak, Karabük, Bafra ve İnebolu için hesaplanan tahmini değerlerle gerçek değerlerin örtüştüğünü ortaya koymuşlardır. Bu veriler çalışma sonuçlarının geçerli ve uygulanabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Yenice ilçe merkezini oluşturan ve 22 km<sup>2</sup>lik alan kaplayan çalışma alanında RES kurulmasına uygun alanların, orta duyarlılık özelliği sunan 8,25 km<sup>2</sup> alana sahip olduğu ve ağırlıklı olarak çalışma alanının doğu ve güney kısımlarında yer aldığı görülmüştür.

Başta rüzgar enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması temiz ve sağlıklı bir çevre ve ucuz enerji temini açısından ülkemize katkı sağlayacaktır. Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışma CBS tabanlı ÇKKA ve AHY yöntemlerinin de uygun yer seçimi ve haritalarının üretilmesinde oldukça etkili bir yöntem olduğunu ortaya koyması bakımından önem sunmaktadır.

#### 4. Kaynaklar

- Acar, E., Doğan, A. 2008. Türkiye'nin rüzgar ve hidroelektrik enerji potansiyeli ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008, 675- 682.
- Akpınar, EK., Balpetek, N. 2019. Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre Elazığ ilinin rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi. *Gazi J. Eng. Sci.*, 34(1): 569-580. Doi: 10.17341/gazimmfd.416517
- Aras, H. 2003. Wind energy status and its assessment in Turkey. *Renew. Energ.*, 2: 2213-2220. Doi: 10.1016/S0960-1481(03)00130-7
- Alan, İ., Aksay, A. 2002. 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları No:29 Zonguldak F28 paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Bayraç, HN. 2011. Küresel rüzgar enerjisi politikaları ve uygulamaları. *Uludağ İİBF Derg.*, 30(1): 37-57.

Bingöl, F. 2018. Rüzgar enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması. *Politek Derg.*, 21(2): 273-281. Doi: 10.2339/politek.385523

Can, E. 2019. Analysis of risks that are based on the aerial photography used in photogrammetric monitoring maps for environmental wind power energy plant projects. *Environ Monit Assess.*, 191: 746. Doi:10.1007/s10661-019-7944-8

Çelik, İ., Yıldız, C., Şekelli, M. 2018. Rüzgar enerjisi santrali kurulduğunda rüzgar türbinlerinin mikro yerleşimi için bir optimizasyon modeli. *GU J Sci, Part C.* 6(4): 898-908. Doi: 10.29109/gujsc.424155

Dikmen, AÇ. 2019. Türkiye'de güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin sera gazı emisyonları ve çevre maliyetinin azalmasına katkıları. *Turkish Studies*, 14(2): 275-293. Doi: 10.7827/TurkishStudies.15149

Dikmen, E., Örgen, FK. 2018. Ağlasun bölgesi için rüzgar hızı tahmini ve en uygun türbin tespiti. *ÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, 7(2): 871-879. Doi: 10.28948/ngumuh.445314

Doğanç, Ö., Ertürk, M., Özsunar, A., Arcaklıoğlu, E. 2016. Orta ve batı Karadeniz bölgesi rüzgar enerjisi tahmin çalışması. *J. Adv. Tech. Sci.*, 5(1): 153-163.

Enerji Atlası 2020. Karabük elektrik santralleri. <https://www.enerjiatlas.com/sehir/karabuk/> (18.02.2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2016. 2017 yılı bütçe sunumu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara, 170 s. [http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/2017\\_B%C3%BCt%C3%A7e\\_Sunu%C5%9Fu.pdf](http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/2017_B%C3%BCt%C3%A7e_Sunu%C5%9Fu.pdf) (20.02.2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020a. Karabük ili rüzgar kaynak bilgileri. <https://www.igm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fdocuments%2frep%2fKARABUK-REPA.pdf> (20.02.2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020b. Yenilenebilir enerji-rüzgar. <https://www.igm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (20.02.2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020c. Yenilenebilir enerji-rüzgar. Türkiye geneli ve il bazlı rüzgar enerjisi teknik potansiyelleri ile ilgili yönlendirici bilgiler. <https://www.igm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/REPA> (20.02.2020).

Erduman, A., Durusu, A., Kekezoğlu, B. 2018. Küçük güçlü rüzgar santrallerinin kurulumu ve şebekeye etkilerinin teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi: Uygulama çalışması. *EJOSAT*, 13: 112-117. Doi: 10.31590/ejosat.420155

Hepbaslı, A., Ozgener, O. 2004. A review on the development of wind energy in Turkey. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 8 (2004): 257-276. Doi: 10.1016/j.rser.2003.10.006

Karabük Belediyesi 2020. Karabük'ün konumu. [https://www.karabuk.bel.tr/icerik.asp?i\\_id=39](https://www.karabuk.bel.tr/icerik.asp?i_id=39) (17.01.2020).



- Karabük Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü 2019.** Karabük ili 2018 yılı çevre durum raporu. Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü Çed ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü Karabük, 161 s.
- Karabük İl Özel İdaresi 2020.** Turizm bilgi sistemi. <http://www.karabukozelidare.gov.tr/turizm-bilgi-sistemi> (17.01.2020).
- Kaymak, MK. 2020.** Rüzgar enerjisi. <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/windpower.html> (28.02.2020).
- Koç, T. 1996.** Kapıdağ yarımadasında rüzgar ve ortam. *Türk Coğ. Derg.*, 31: 167-182.
- Mazman, T. 2005.** Coğrafi bilgi sistemleri ve istatistiksel analiz teknikleri ile Kumluca Havzası (GD Bartın) heyelan duyarlılık değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana 102s.
- Mora, S., Vahrson, W. 1994.** Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bull. Assoc. Eng. Geo.*, 31(1): 49-58. Doi: 10.2113/gsegeosci.xxxi.1.49.
- Nişancı, R., Yıldırım V., Özçelik AE. 2010.** Rüzgar enerjisi üretim alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Trabzon ili örneği. III. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı* s. 213-220.
- Oğulata, RT. 2003.** Energy sector and wind energy potential in Turkey. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 7 (2003) 469-484. Doi: 10.1016/S1364-0321(03)00090-X
- Önal, F., Yarbay, RZ. 2010.** Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. *İstanbul Tic. Üniv. Fen Bil. Derg.*, 9(18): 77-96.
- Özşahin, E., Kaymaz, ÇK. 2013.** Rüzgar enerji santrallerinin (RES) yapım yeri seçimi üzerine bir CBS analizi: Hatay örneği, *Tüba Bil. Derg.*, 6(2): 1-18.
- Pusat, Ş. 2017.** Sakarya Üniversitesi için rüzgar enerjisi potansiyel belirleme çalışması. *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*, 23(4): 352-357. Doi: 10.5505/pajes.2017.98250
- REN21 2019.** Renewables 2019. Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> century Paris, France, pp: 336. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2019\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf) (20.02.2020).
- Saaty, TL., 1977.** A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.*, 15: 234-281. Doi: 10.1016/0022-2496(77)90033-5
- Saral, A., Musaoğlu, N. 2011.** Çok kriterli karar verme ve bilgi difüzyonu yöntemleri ile taşkın risk analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Sözen, A., Mirzapour, A, Çakır, MT., İskender, Ü., Çipil, F. 2015.** Selecting best location of wind plants using dea and topsis approach in Turkish cities. *Gazi J. Eng. Sci.*, 1(1): 173-194.
- Şahin, C., Karaçor, M., Özbay, H. 2019.** Yenilenebilir enerji kaynağı kurulum gücü minimize katsayısının belirlenmesi. *EJOSAT*, 15: 404-411. Doi: 10.31590/ejosat.526918
- Şahin, KE. 2018.** Heyelan duyarlılık haritası için adimsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Derg.*, 159: 1-15.
- Tagıl, Ş. 1995.** Çanakkale çevresinde rüzgarlar ve rüzgar enerjisinden yararlanma olanaklarının araştırılması. *Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İzmir.
- Tarım ve Orman Bakanlığı 2020.** Göç yolları. Tarım ve Orman Bakanlığı Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü Hayvan Sağlık Daire Başkanlığı <http://www.kusgribi.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF A26CBFDF5F1B259F> (17.02.2020).
- Triantaphyllou, E., Mann, SH. 1989.** An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox. *Decis Support Syst.*, 5(3): 303-312. Doi: 10.1016/0167-9236(89)90037-7
- TUİK 2020.** Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi. Türkiye İstatistik Kurumu <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (19.02.2020).
- Uyan, M. 2017.** Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması, *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*, 23(4): 343-351. Doi: 10.5505/pajes.2016.59489
- Uyar, TS. 1985.** Rüzgar enerjisi sistemleri. 10-14 Haziran 1985, Lisansüstü Yaz Okulu, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.
- Ültanır, MÖ. 1996.** Şimdi rüzgar çiftliği zamanı. *Enerji*, 1(5): 48-57.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınöğlü, AC., Yomraloğlu, T. 2011.** A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3): 274-287. Doi: 10.1016/j.catena.2011.01.014
- Yenice Belediyesi 2020.** Yenice, coğrafi yapı <http://www.karabukyenicel.bel.tr/karabukyenicel/?syf=yazilargoster&ktg=2&id=16> (19.02.2020).
- Yenice Kaymakamlığı 2020.** Mahalli idareler. <http://www.yenice.gov.tr/mahalli-idareler> (19.02.2020).
- Yıldırım, U., Gazibey, Y., Güngör, A. 2012.** Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli. *Niğde Üniv. Müh. Bil. Derg.*, 1(2): 27-47. Doi: 10.28948/ngumuh.239392
- Yıldırım, V., Yomraloğlu, T. 2013.** Coğrafi Bilgi Sistemleri ile çizgisel mühendislik yapılarında güzergah optimizasyonu: doğalgaz iletim hattı örneği. *Afyon Kocatepe Üniv. Fen ve Müh. Bil. Derg.*, 13(1): 1-10. Doi: 10.5578/fmbd.5433
- Yılmaz, EA., Can Öziç, H. 2018.** Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri. *ODÜ SOBİAD*, 8(3): 525-535.