

Gemlik İlçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi

Damla Yılmaz^{*1}, Şerife Tülin Akkaya Aslan², Babak Vaheddoost¹

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

²Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Bursa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
CBS
Rüzgâr Tarlası
AHP

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.11.2022
Revize: 11.02.2023
Kabul: 15.02.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Artan enerji talebinin büyük çoğunluğunun fosil enerji kaynaklarından karşılanıyor olması gelecekte enerji kıtlığı yaşanması olasılığını büyük ölçüde arttırmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükeniyor olması ve bu yakıtların açığa çıkardığı karbondioksit etkisiyle çevreye ve insana verdiği zararların çarpıcı olması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Rüzgâr enerjisi, sürdürülebilir olması, düşük bütçeli bakım ve üretim maliyetine sahip olması bakımından oldukça elverişli bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Haritasına (REPA) göre rüzgâr enerjisi santrali (RES) kurulumuna elverişli olan Bursa ilinde RES yapım yeri seçimi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) dayalı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Analizi yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bursa ilinde bulunan Gemlik ilçesine ait rüzgâr hızının oldukça yüksek olduğu ve santral kurulum alanı için uygun koşulları sağladığı gözlenmiştir. Santral kurulumunda birden fazla kriterin etkin olmasından dolayı analizde rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükselti, baki, eğim, yollara ve akarsulara olan uzaklık olmak üzere 7 ana kriter belirlenmiştir. Belirlenen bu ana kriterler, AHP yöntemi kullanılarak ağırlık oranlarına göre analize tabii tutulmuş ve uygunluk sınıflarına göre sonuç haritası elde edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, yapılan konumsal analiz sonucu Gemlik ilçesi toplam alanının %20'ini rüzgâr türbini kurulumu için orta ve yüksek derecede uygunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Gemlik District wind power plant potential site analysis

Keywords

Remote sensing
GIS
Wind Farm
AHP

Research Article

Received: 25.11.2022
Revised: 11.02.2023
Accepted: 15.02.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

The majority of energy demand is supplied by fossil energy sources, which greatly increases the possibility of future energy shortages. Non-renewable energy sources are being depleted rapidly and the damage to the environment is striking, alternative energy sources that are commercially convenient and least harmful to the environment have been preferred. Wind energy is a convenient energy source as it is sustainable, low maintenance, production costs. In this study, it is aimed to determine the wind power plant (WPP) construction site selection in Bursa, which is very suitable for WPP installation accordingly Turkey's wind energy potential map, by using the Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of the Multi-Criteria Decision Making Analysis (MCDA) methods based on Geographic Information Systems (GIS). It has been determined that wind speed of the Gemlik District is quite high and provides suitable conditions for the plant installation area. Because more than one criterion is effective the installation of the WPP, 7 main criteria analyzed. These criteria were analyzed according to their weight ratios using the AHP method, and a result map was obtained accordingly their suitability classes. Findings showed to 20% of the district area has medium and high suitability for WPP.

*Sorumlu Yazar

(damla.yilmaz@btu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4207-7105
(akkaya@uludag.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-5129-8642
(babak.vaheddoost@btu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4767-6660

Kaynak Göster (APA)

Yılmaz, D., Aslan, Ş. T. A., & Vaheddoost, B. (2023). Gemlik İlçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi. *Geomatik*, 8(3), 264-276

1. Giriş

Dünya çapında kentleşme süreciyle birlikte enerji kullanımı ve enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının kullanılması, ekolojik dengenin bozulmasına ve insanlığın gelecekteki enerji taleplerine karşılıksız kalmasına sebebiyet vermektedir. Fosil yakıtların olumsuz etkisi sebebiyle sürdürülebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmek oldukça önemli bir adımdır. Ülkemizde de enerji talebini karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak ülke ekonomisinde dışa bağımlılığı azaltmak adına büyük önem arz etmektedir. Gerek çevre dostu olması gerekse geleceğe yönelik taleplerin karşılanması yönünden yenilenebilir enerji kaynakları, temiz enerji üretimine katkı sunmaktadır (Karabağ ve ark., 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça revaçta olan rüzgâr enerjisi, kapasitesini gün geçtikçe arttırmaktadır. Rüzgâr enerji santrali kurulumu sera gazı salınımını azaltarak çevreye verilen büyük zararın önüne geçmektedir. Çevre dostu olmasıyla birlikte ticari olarak elverişli olması, sürdürülebilir olması ve kurulumunun basit olması tercih edilme sebeplerinin başında yer almaktadır. Rüzgâr enerji santrali kurulumu öncesi en yüksek verimi alabilmek adına hata payını düşürmeye yönelik potansiyel yer analizi uygulaması gerekmektedir. Analiz doğrultusunda ilk olarak rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerin seçilmesi ve sonrasında verimi etkileyecek gerekli diğer kriterlerin incelenmesi gerekmektedir (Can ve Yücel, 2019). Son dönemde kullanım alanı hızla yayılan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bölge analizinde sıklıkla tercih edilen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), farklı kaynaklardan elde edilen verileri işleyerek kriterlerin birbirlerine olan bağılıklarına göre yorum yapmayı ve veriler arası bağlantı kurarak sonuç analizleri çıkarmayı sağlamaktadır. Bu bağlamda rüzgârın oluşturduğu enerji veriminden faydalanma ihtimali yüksek olan bölgelerin belirlenmesi ve karar verme yönteminde etkin kriterlerin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmak önemli bir adımdır. Analizden önce kurulması planlanan türbinlerde konumsal olarak meydana gelebilecek hataları en aza indirmek amacıyla fizibilite çalışması gerekmektedir (Urfalı ve Eymen, 2021). Fizibilite çalışmasında birden fazla kriterin ortak paydada değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu değerlendirme aşamasında literatürde CBS dayalı birçok yöntem kullanılmaktadır (Xu ve ark., 2020; Atıcı ve ark., 2015; Aydın ve ark., 2010; Aghayev, 2018; Yağcı ve İşcan, 2021; Aksoy ve ark., 2016).

Urfalı ve Eymen (2021) çalışmasında, Kayseri ilinde rüzgâr enerji santrallerinin uygun saha araştırması için 12 ana kriter esas alınarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Kriterlerin ağırlıkça önem sıralamasını belirlemek adına mevcut çalışmada kullanılan CBS dayalı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) analizinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytical Hierarchy Process, AHP) yöntemi kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Yönteminde rüzgâr hızı, rüzgâr kapasitesi ve yükselti kriterleri ağırlıkça en önemli üç parametre olarak değerlendirilmiş ve diğer parametreler önem sırasına göre derecelendirilmiştir. Kriterler meteorolojik,

topografik ve çevresel kriterler olmak üzere 3 ana kısma ayrılmıştır. Belirlenen kriterlerin bağıl önemlilikleri 1 ile 9 arasından bir puan olarak derecelendirilmiştir. Seçilen değerlendirme kriterleri uygunluk sınıflarına göre çok uygun, uygun, orta derece uygun, az uygun, çok az uygun ve uygun değil olarak sınıflandırılmıştır. Bağımsız değişkenler Kayseri ili haritasında bölgenin 0,652 km²'sinin yüksek derecede uygun olduğu, 0,892 km²'lik alanın rüzgâr santrali için orta derecede uygun olduğu ve son olarak bölgenin 162 km²'lik kısmının az uygun sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Mevcut durumda kullanımda olan rüzgâr enerji santralleri konum bilgisi ile karşılaştırıldığında yapılan analizlerde santralin uygun sınıf kapsamında bulunduğu belirlenmiştir. Bu durumda kullanılan yöntem AHP yönteminin CBS ile yer seçimi analizlerinde oldukça uygulanabilir bir metot olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Xu ve ark., (2020) çalışmasında, CBS dayalı farklı bir yöntem tercih edilmiştir. Çalışmada, Wafangdian bölgesinde rüzgâr enerji santrali uygunluk analizi CBS'e bağlı AHP yöntemi ve stokastik VIKOR kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisi santrallerinin operasyonel performansını etkileyen uygun alan faktörlerini dikkate almadan önce hesaplama yükünü azaltmak ve karar verme uzayını daraltmak amacıyla uygun olmayan alan kriterleri hariç tutulmuştur. Kuş göç yolu, elektrik santralleri ve kimya tesislerine olan uzaklık kısıtlayıcı faktörler olarak seçilmiş ve bu faktörler toplam alandan çıkarılmıştır. Böylece, uygunluk analizine bu 3 adet parametrenin dahil olmadığı alanlar ile devam edilmiştir. İncelenen bölge grid boyutunda 1844 gride bölünmüş ve 3 adet kısıtlayıcı faktörün 345 gridi (%18.71) kapladığı hesaplanmıştır. Geri kalan 1499 grid rüzgâr enerji santrali için potansiyel alanlar olarak belirlenmiş ve uygunluk analizi bu bölgeye göre hesaplanmıştır. Uygun alan analizinde 6 ayrı faktör incelenmiş ve bunlar sırasıyla rüzgâr hızı, eğim, elektrik ağına uzaklık, ana yola uzaklık, korunma altında olan kuş alanları ve kentsel alanlara uzaklıktır. Uygunluk değerlendirme sonuçları, toplam alanın %30.2'si orta ve güney kesimde yer alan bölgede olduğu belirlenmiştir. Bu alanın içerisinde %3.36'lık bir dilim oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmalarda dikkate alınan parametreler bölge koşullarına ve çalışma içeriğine göre oldukça farklılıklar göstermektedir. Rüzgâr enerji santrali kurulumunda dikkate alınan parametrelerden biri olan kuş göç yolu, Özbahar ve Gül (2011) çalışmasında, 30 günlük izleme sonucunda kuşların gürültüden etkilenmedikleri ayrıca bu süre boyunca herhangi bir çarpışma vakasına da rastlanmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Hull ve ark., (2013) çalışmasında, Avustralya'da bulunan iki farklı rüzgâr santralinde 10 yıl boyunca devam eden gözlem neticesinde kuş türlerinin yalnızca %18'inin türbinlere çarptığı belirlenmiş ve bu sayının risk teşkil etmeyecek kadar küçük bir oran olduğu belirtilmiştir.

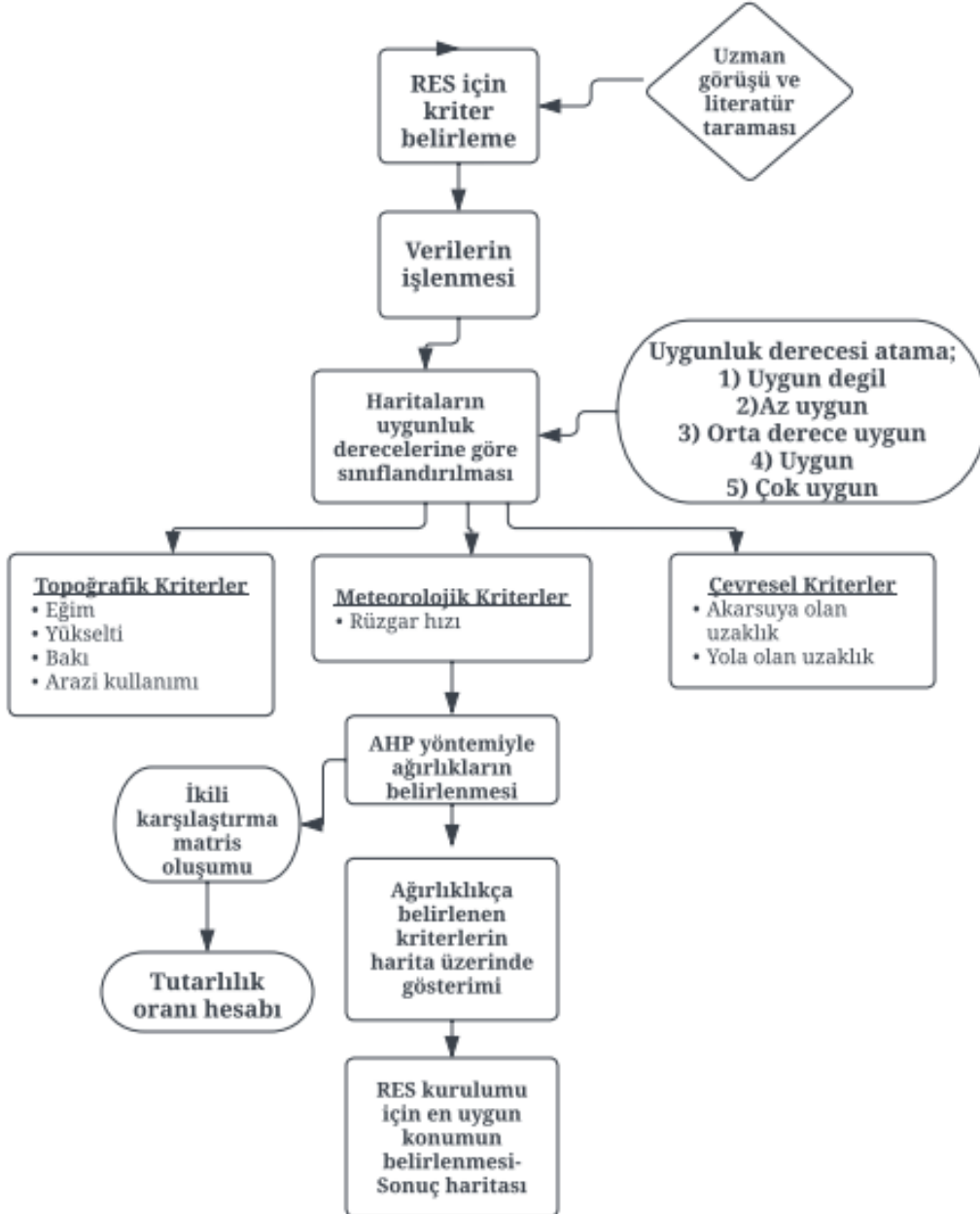
Karipoğlu ve ark., (2021) çalışmasında, Bandırma körfezinde deniz üstü rüzgâr santral kurulumu için en uygun alan belirlenmiş ve potansiyel denizüstü güç kapasitesi tahmini için CBS dayalı ÇKKV kullanılmıştır. Çalışmada rüzgâr hızı, deniz derinliği, deniz balıkları ve memelileri, askeri bölgelere yakınlık, haberleşme kabloları, turistik alanlar, limanlar ve gemi güzergahları

olmak üzere sekiz standart kriter uygulanmıştır. Bu kriterler dikkate alınarak açık denizde kurulacak RES için potansiyel bölgeler belirlenmiştir. Sonuç olarak santral kurulumu için ÇKKV desteğiyle biri kuzeybatıda diğeri ise Bandırma körfezinin kuzey doğusunda sırasıyla 72mw ve 48mw kapasiteli uygun iki konum belirlenmiştir.

Araştırmalar neticesinde bölgenin rüzgâr potansiyelinin yüksek olması, diğer parametrelerin değerlendirilmesine öncülük ettiği belirlenmiştir. Analitik hiyerarşi sürecinde kriterlerin ağırlık derecesine göre puan atanması, bölgede önem derecesini öne çıkararak bir harita elde etmeyi sağlamaktadır. Birçok çalışmada kriterlerin önem derecesi dikkate alınmayarak çakıştırma komutu ile eşit ağırlıklarla analiz yapılmış olsa da RES kurulumu için önem derecelerinin oldukça gerekli olduğu tespit edilmiştir (Ekiz ve ark., 2022). Bu önem dereceleri, farklı çalışmalar ve uzman görüşleri

neticesinde belirlenmekte ve sonuç olarak tutarlılık oranı yeterli seviyeye gelene kadar tekrarlanmaktadır.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, birbirinden farklı özelliklere sahip kriterlerin ortak paydada değerlendirilmesine olanak tanıyan CBS dayalı ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yönteminden faydalanılmasıdır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verileri, Bursa ilinin teorik potansiyel RES kapsamında Türkiye’de 9.sırada yer aldığını göstermekte ve bu bağlamda ilin en çok rüzgâr alan ilçelerinden biri olan Gemlik ilçesi RES kurulumu açısından oldukça uygun bölgelere yer vermektedir. Çalışma kapsamında rüzgâr kapasitesi oldukça yüksek olan bu bölgede, ilçeye ait farklı kaynaklardan alınan yedi adet kritere önem derecesine göre ağırlıklı puanlar atanmıştır. Çalışmada, mevcut çalışmalara ilave olarak oldukça büyük öneme sahip bakı kriteri eklenmiş ve böylece sonuç haritası uygun, uygun olmayan, orta uygunlukta olacak şekilde 3 sınıfa ayrılarak haritalandırılmıştır.



Şekil 1. İş-akış diyagramı

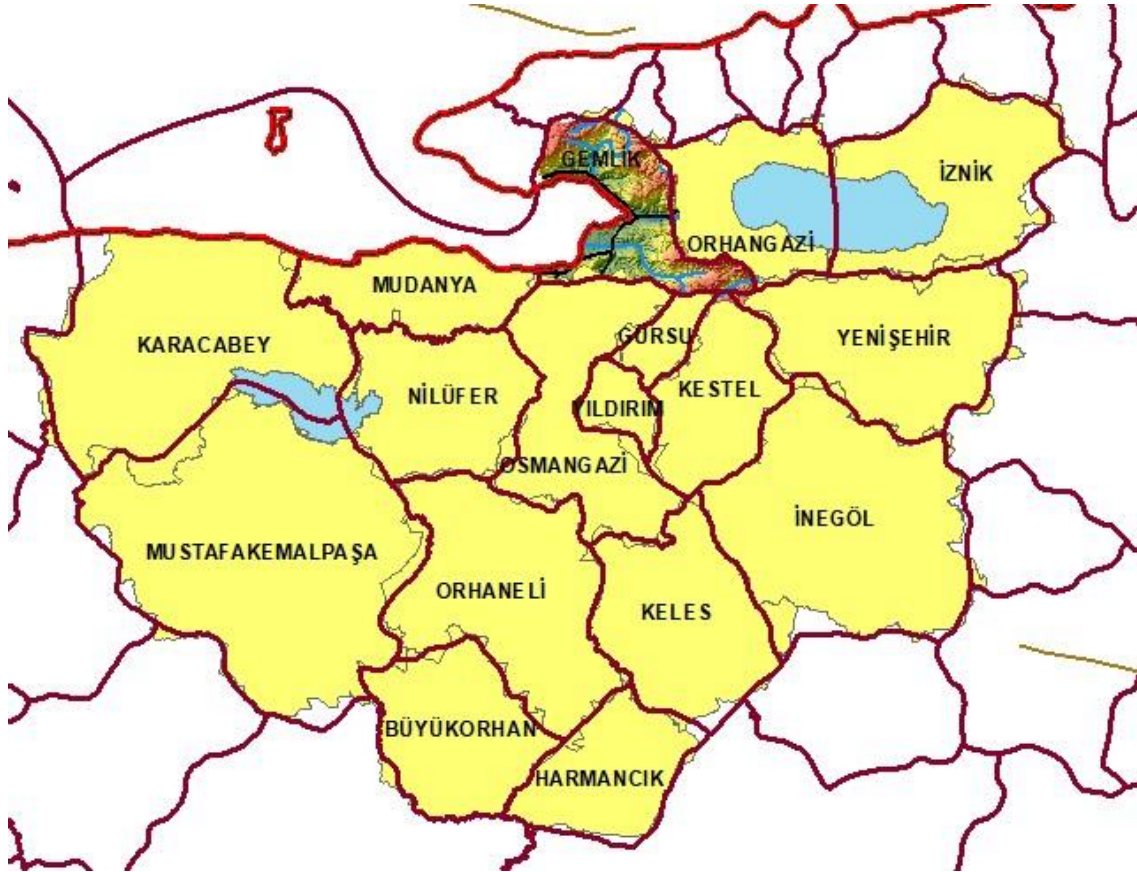
2. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan iş akış şeması Şekil 1'de sunulmuştur. Mevcut çalışmada kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi için önceki çalışmalar incelenmiş ve 7 adet ana kriter belirlenmiştir. Çalışma bölgesine ait verilerin toplanması ve bu verilerin işlenmesi aşamasında birçok kaynaktan faydalanılmıştır. AHP yönteminde kriterlerin birbirlerine göre olan bağıl önem dereceleri sınıflandırılmış ve karşılaştırma matrisi sonucu ağırlıklı değerler hesaplanmıştır. Bu aşamada verilen sayısal değerlerin tutarlılığını kontrol etmek amacıyla tutarlılık hesabı yapılmış ve ağırlık hesabı yapılan kriterlerin tutarlı olduğu belirlenmiştir. Her kriterin ArcGIS 10.8 programında uygunluk derecesine bağlı olmak kaydıyla haritaları çıkarılmış ve hesaplanmış olan ağırlıklar programa girilerek RES kurulumu için sonuç haritası elde edilmiştir.

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olan Bursa ili, Güney Marmara bölgesinde 40° batı boylam ve 29° kuzey enlem daireleri

arasında yer almaktadır. Gemlik ilçesi Bursa şehir merkezinin 32 km kuzeyinde, Marmara Denizi'ne adını verdiği körfez kıyısında kurulmuştur. 29.13 derece Doğu meridyeni ile 40.12 derece Kuzey enlemi üzerinde bulunmaktadır (URL-1). İlçenin yüzölçümü 413 km² olup, kuzeyde Yalova'nın Armutlu ve Çınarcık, doğuda Orhangazi, güneydoğuda Yenişehir, güneyde Kestel, Gürsu ve Osmangazi, batıda ise Mudanya ile çevrilidir (Şekil 2). Bursa ili kıyı şeridinde bulunan Gemlik, Mudanya ve Karacabey ilçeleri rüzgâr türbini kurmak için oldukça elverişli bölgelerdir. Bu bölgeler arasında RES kurulumu için en uygun bölgeye ait verilerin toplanması aşamasında rüzgâr hızı ve frekansından yararlanmak oldukça önemlidir. Rüzgâr hızı ve frekans grafiklerine göre, Gemlik ilçesinde 10 m yükseltide frekans aralığının en yüksek olduğu rüzgâr hızı yaklaşık 3 m/s'dir. Uygun yer analizi gerçekleştirilirken rüzgâr rejimlerinin çok değişken olduğu bölgeler santral kurulumu için uygun olmayacağından Bursa ilinde rüzgâr rejimlerinin en az değişkenlik gösterdiği bölge olan Gemlik ilçesi, en uygun ilçe olarak belirlenmiştir (Yakşi, 2018).



Şekil 2. Çalışma alanı konumu

2.2. Analitik Hiyerarşi Süreci

Rüzgâr enerji santrali için uygun bölge analizi yapılırken birçok parametrenin karar verme aşamasına dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu süreçte parametrelerin ortak alanda toplanmasını sağlayıp sonuç veriyi matematiksel yöntemle sunan ÇKKV, karar vermede yaşanan zorlukların çözülmesini desteklemektedir.

ÇKKV uygulamalarında oldukça fazla tercih edilen AHP, Thomas Saaty tarafından ilk olarak 1977 yılında bir model olarak geliştirilmiştir (Artun, 2020). Analitik hiyerarşi prosesi, birden çok kritere bağlı olan bir analiz çözümünde, kullanıcıların kriterlere verdiği ağırlıkların önem derecesine göre belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Akıncı ve ark., 2015). Bir kriterin diğer kriterden ne kadar önemli olduğunu sorgulayan yöntem,

görelî önemlerin belirlenmesi için kullanıcının yargısına dayanarak ikili olarak karşılaştırılmaktadır (Şahin ve Toroğlu, 2020). Bu sayede oluşan karar matrisi, kriterlerin önceliklerinin hesaplanmasında

kullanılmaktadır. Bu değerlendirmede ise Saaty (1986) 1'den 9'a kadar sayısal değer verdiği ölçüt tablosu kullanılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Saaty'nin ikili karşılaştırma değerlendirme ölçeği (Saaty, 1986).

Önem Derecesi	Açıklama
1	Ölçütler eşit öneme sahip
3	1.ölçüt 2. ölçüte göre biraz daha önemli
5	1.ölçüt 2. ölçüte göre fazla önemli
7	1.ölçüt 2. ölçüte göre çok fazla önemli
9	1.ölçüt 2. ölçüte göre aşırı derece fazla önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Bu bağlamda AHP'nin algoritma adımları şu şekilde sıralanmaktadır (Yeşilkaya, 2018):

Adım 1: Tanımlanan problemde karar için kriterler belirlenmektedir.

Adım 2: Yaygın olarak kullanılan Tablo 1 esas alınarak ölçütlerin kendi aralarında ikili olarak karşılaştırılması sonucunda ağırlık puanları atanmaktadır.

Adım 3: (A matrisi) Tüm ölçütler dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur ve böylece köşegen elemanları 1 olan kare matrisler elde edilmektedir. a_{ij} , i . ölçüt ile j . ölçütün ikili karşılaştırma değeri olup, a_{ij} değeri $1/a_{ij}$ den elde edilmektedir (Tablo 3).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

Adım 4: Matristeki elemanlar kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilmektedir.

Adım 5: Normalize edilen matrisin satır değerleri ortalaması alınıp özvektörler elde edilir. Özvektör, her ölçüt için alınan önem ağırlıklarını ifade etmektedir.

Adım 6: Karşılaştırmalar literatür taraması sonucu elde edilen sübjektif kararlar ile yapıldığından, verilen ağırlık değerlerinin herhangi bir tutarsızlığa yol açmaması adına A matrisinin kontrol edilmesi gerekmektedir (Uyan ve Yalçır, 2016). Tutarlılık İndeksi (CI) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Burada; CR: Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio), CI: Tutarlılık İndeksi (Consistency Index), RI: Rassallık indeksi (Random Index) değerlerini; n, kriter sayısını ve λ_{max} , en büyük özdeğeri ifade etmektedir. Rassallık indeksi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RG	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Buna göre tutarlılık oranının (CR) 0.10 dan büyük çıkması durumunda değerlerin tutarsız olduğu anlaşılmakta ve ikili karşılaştırma matrislerinin tekrardan kontrol edilmesi gerekmektedir (Özşahin, 2014).

AHP analizinde karar vericilerin öznel ve nesnel düşünceleri ikili karşılaştırma matrisine dâhil edilmektedir. Bu nedenle, karar aşamasında grup veya bireyin fikirleri dikkate alınarak analizde en uygun seçeneğin belirlenmesi hedeflenmektedir (Gülenç ve Bilgin, 2010). Bu aşamada karar vericinin/vericilerin en iyi çözüme ulaşabilmesi, belirlenen kriterler doğrultusunda birden çok alternatif üreterek en tutarlı modeli seçmekten geçmektedir. Karar aşamasına dâhil olan karar vericinin bir veya birden fazla kişinin oluşturduğu ve amaçları aynı veya farklı olan gruptan meydana gelebilmektedir (Steward, 1992).

Bu çalışmada karar vericinin belirlemiş olduğu öncelikler, gruptaki diğer bireylerin görüşleri alınarak oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi gerek literatür çalışması gerekse grupta bulunan uzman fikirleri neticesinde farklı alternatifler belirlenerek tutarlılık oranının en yüksek olduğu seçenekte karar kılınmıştır. Farklı çalışmalarda grubun tatmin olduğu bir kararın alınabilmesi için grup üyeleri tarafından bu yargıların kabul edilmesi gerekliliği sunulmuştur (Ünal, 2012; Saaty, 2008). Sonuç olarak bu çalışmada da tek karar vericinin oluşturduğu model, grup üyeleri tarafından görüşler bildirilerek destek olunmuş ve oluşturulan model yazarlar tarafından kabul edilmiştir.

2.3. Veri Toplama

Çalışmada ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak arazi kullanım haritası 1/25.000 ölçekli topografik haritadan sayısallaştırılmıştır. Akarsu verileri sayısallaştırılmış haritadan çekilmiştir. Karayolları Openstreetmap sitesinden çekilmiş ve çalışmada otoyol, otoban, ana ve tali yol dikkate alınmıştır. Google Earth Pro uygulaması aracılığıyla Bursa ili Gemlik ilçesi sınırları çizilmiş ve kml uzantılı dosya, Earthexplorer sitesinde 25*25m çözünürlükte dem dosyasına dönüştürülmüştür. Elde edilen dem dosyası ile birlikte yükselti, eğim, baki bilgileri elde edilmiştir. Ortalama rüzgâr hızları, global wind atlas sitesinden yüzeyden 50 metre yükseltideki veriler kullanılmıştır.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında Bursa ili rüzgâr enerji kapasitesi incelenmiş ve rüzgâr hızı verileri Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA) atlasından temin edilmiştir. RES kurulumunda ana ve alt kriterleri belirlemek için gerek bölge gerek konu bakımından literatür taraması yapılmış ve 7 ayrı kriterin analize dahil edilmesine karar verilmiştir. Rüzgâr hızı, arazi kullanımı, yükselti, bakı, eğim, yollara olan uzaklık ve akarsulara olan uzaklık ana kriterler olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra ArcGIS 10.8 programı yardımıyla CBS destekli ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem çerçevesinde mevcut veri aralığı dikkate alınarak önceki çalışmaların ışığında kriterlere etki ve ağırlık değerleri atanmıştır. İkili karşılaştırma matrisine dayanan analitik hiyerarşi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir (Tablo 4). Ağırlıklar sırasıyla rüzgâr hızı %36,95, arazi kullanımı %27,35, yükselti %13,3, bakı %11,1, eğim %5,18, yollara olan uzaklık %3,78 ve akarsulara olan uzaklık %2,34 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

Kriterlerin bağıl önem derecesi kullanıcı tarafından belirlendiğinden tutarlılık oranı hesaplanmış ve %8,5 olarak bulunmuştur. Analitik hiyerarşi yöntemine göre %10'un altında kalan oranlar tutarlı olarak kabul edildiğinden analize geçmeye uygun görülmüştür. Belirlenen ağırlıklar neticesinde ArcGIS 10.8 paket programında bulunan Uzaysal Analiz (Spatial analysis) modülünde yer alan Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) komutu kullanılmıştır. Analiz sonucunda RES kurulumu için duyarlılık sınıfları haritası elde edilmiştir.

3.1. Kriterlerin Değerlendirilmesi

Bir bölgede RES kurulumu için incelenmesi gereken öncelikli etken bölgenin rüzgâr hızı dağılım haritasıdır (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Bundan dolayı Bursa ili için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından tespit edilen 50 m yükseltideki ortalama rüzgâr hız dağılımı haritası temin edilmiş ve bu haritadan Gemlik ilçesi rüzgâr hızı haritası çekilmiştir (Şekil 3). Yıldız (2021) çalışmasında Balıkesir iline ait rüzgâr hızı alt limit sınırı olarak ifade edilen 6 m/s hızdan itibaren 50 m ve 80 m yükseltideki RES kurulumu için toplam elverişli alanları incelemiştir. 50 m yükselti için toplam 1114,80 km² ve 80 m yükselti için ise 3289,92 km² elverişli alan olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada

değerlendirilen alanlar, 50 m yükselti için belirlenen potansiyel alanlardır. Harita rüzgâr hızlarına göre, 6 ayrı uygunluk sınıfına ayrılarak çok uygundan uygun olmayan bölgelere göre kategorileştirilmiştir (Tablo 4). Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre yer seviyesinden 50 metre yükseltide ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip uygun alanlarda her kilometreye 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği belirlenmiştir (URL-2). Bu bilgiler ışığında Gemlik ilçesine ait verilerde REPA-V1 verilerine göre 7m/s üzeri rüzgâr hızına ait bölgeler ilçede toplam alanının %11'i olarak hesaplanmıştır. Ekiz ve ark., (2022) çalışmasında rüzgâr hızının 6.40-6.70m/s aralığında olması son derece uygun olarak sınıflandırılırken mevcut çalışma bölgesinde bu değerler az uygun sınıfta yer almaktadır. Gemlik ilçesi için son derece uygun rüzgâr hızı 9-10m/s aralığında belirlenmiş olup bu aralık RES kurulumu için potansiyel rüzgâr veriminin oldukça üstünde olduğunu göstermektedir.

Santral kurulumunda dikkate alınan bir diğer önemli parametre ise arazi kullanım özellikleridir. Bu özellik çerçevesinde işlek alanların, sulu tarım bölgelerinin ve ormanlar gibi yeşil alanların tahribat durumu santral kurulumu için uygun olmayan bölgeler olduğu saptanmıştır (Sliz-Szkliniarz ve Voght, 2011). Böylece bölge 6 farklı uygunluk sınıfa ayrılmış ve fundalık, kuru tarım ve mera gibi uygun alanların toplam alanının %57'sini oluşturduğu hesaplanmıştır (Şekil 4). Özşahin ve Kaymaz (2013) çalışmasında, bahçeler orta uygunluk sınıfında yer alırken mevcut çalışmada bu durum geçerli olmamaktadır. Bahçe, orman ve sulak alanlar toplam alandan çıkarılmış ve analize dâhil edilmemiştir. Bu durum, çalışmanın santral kurulumu için olabilecek en yüksek potansiyel alanı belirlemeyi amaçladığını göstermektedir.

Topografyanın bakı özellikleri santral kurulumu için oldukça etkili bir kriterdir. Çalışma alanının hâkim rüzgâr yönüne bakan kısımları analize dâhil etmek RES inşasında verimi arttırmaya yönelik önemli bir adımdır. Memduhoğlu ve ark., (2014) çalışmasında, rüzgâr yönünün, rüzgâr hızından sonra verimi etkileyen en önemli karar vericilerden biri olduğundan bahsetmiştir. Bu ölçüte göre, Gemlik ilçesi hâkim rüzgâr yönü Kuzeydoğu, yer yer ise Doğu ve Kuzey yönleri olarak saptanmıştır. Bu doğrultuda hâkim rüzgâr yönü dışında kalan bölgeler uygun olmayan sınıfta yer almaktadır. Çalışmada bakı kriteri esas alındığında çok uygun ve uygun sınıfta yer alan bölgeler toplam alanın %23'nü oluşturmaktadır (Şekil 5).

Tablo 3. Karşılaştırma matrisi

	Rüzgâr hızı	Eğim	Yükselti	Bakı	Akarsuya olan uzaklık	Yola olan uzaklık	Arazi kullanımı
Rüzgâr hızı	1	7	5	5	9	7	2
Eğim		1	0.20	0.2	3	3	0.14
Yükselti			1	2	5	5	0.33
Bakı				1	5	5	0.20
Akarsuya olan uzaklık					1	0.33	0.11
Yola olan uzaklık						1	0.14
Arazi kullanımı							1

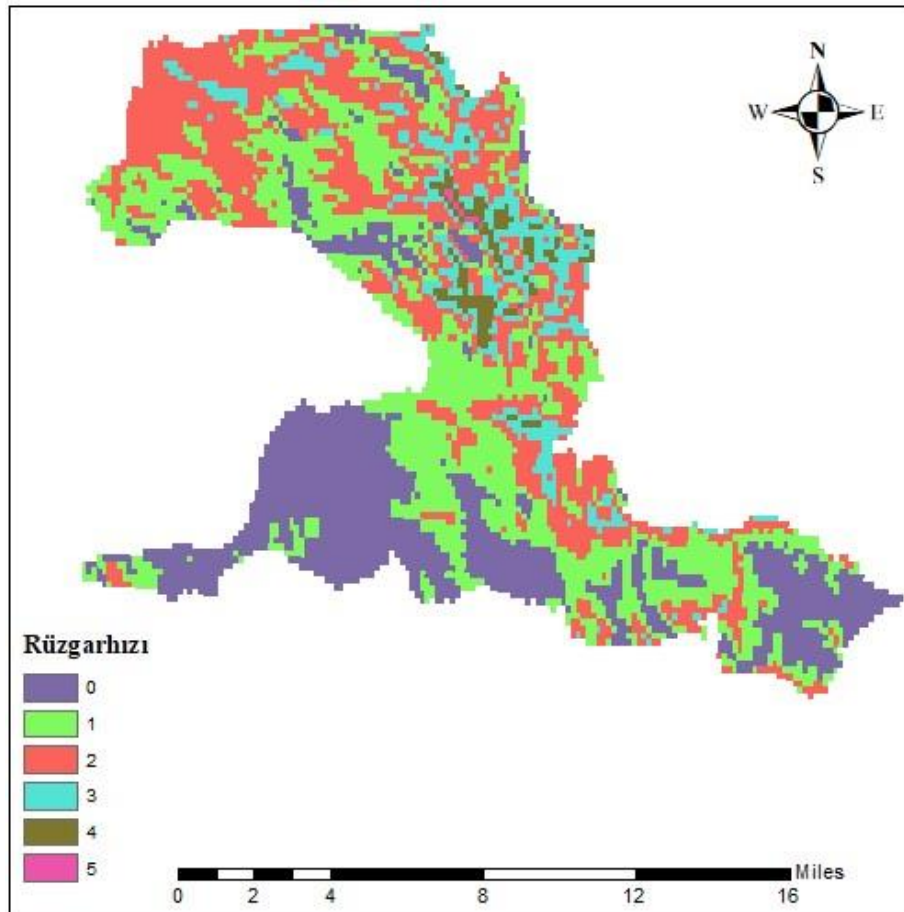
Tablo 4. Kriterlerin uygunluk sınıfı ve ağırlık değerleri

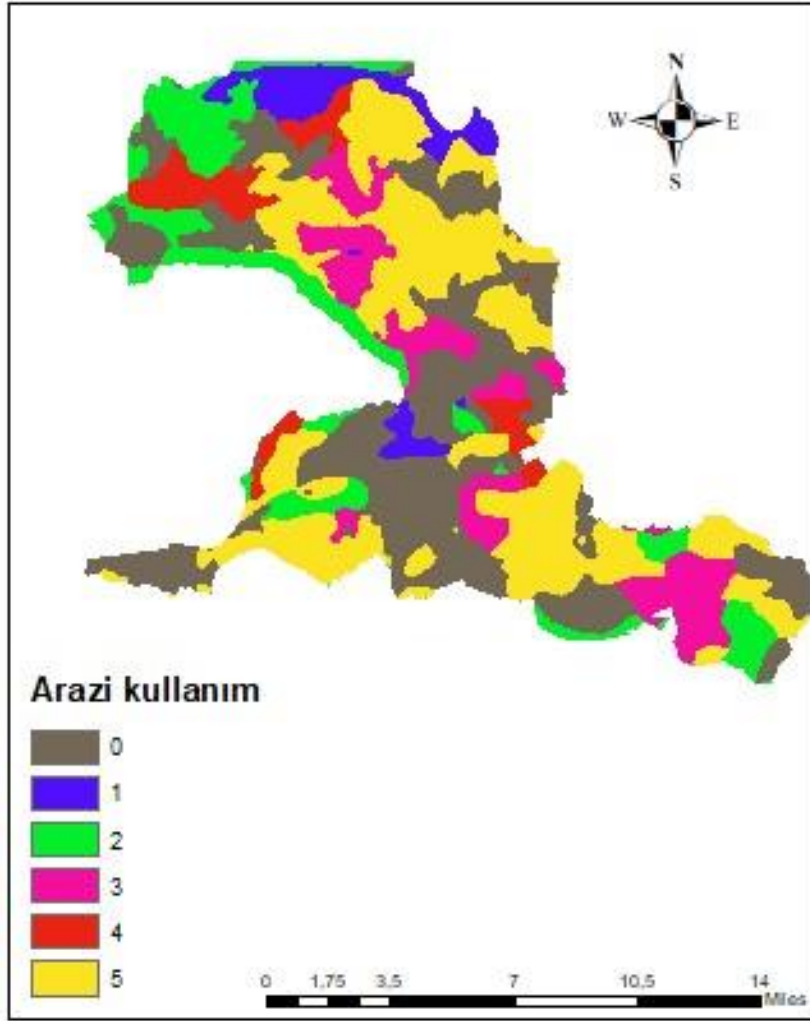
Kriterler	Birim	Ağırlıklar	Uygunluk sınıfları ve değer aralıkları					
			Çok uygun (5)	Uygun (4)	Orta derece uygun (3)	Az uygun (2)	Çok az uygun (1)	Uygun değil (0)
Rüzgâr Hızı	m/ s	36,95	9-10	8-9	7-8	6-7	5-6	<5
Arazi Kullanımı	-	27,35	Kuru tarım	Tarımsal alan, mera	Fundalık	Nadaslı kuru tarım	Yeşil alan	Orman Yerleşim, Sulak alan, Zeytin bahçesi
Yükselti	m	13,3	1100-2000	900-1100	700-900	500-700	300-500	0-300, >2000
Bakı	-	11,1	Kuzeydoğu	Doğu	Kuzey	-	-	Düz, Güney, Batı
Eğim	%	5,18	0-6	6-10	10-14	14-17	17-20	>20
Yollara Uzaklık	m	3,78	100-250	250-500	500-750	750-1000	1000-1500	<100
Akarsuya Olan Uzaklık	m	2,34	>3500	2500-3500	1500-2500	1000-1500	500-1000	0-500

Rüzgâr hızının yüksekliğe göre artmasından dolayı yükselti kriteri de RES kurulumunda önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda yüksek bölgelere türbin kurulması rüzgârda alınacak verim oranını arttırması açısından oldukça önemlidir. Yükselti kriteri uygunluk derecesine göre 6 sınıfa ayrılmıştır ve en uygun olan bölgeler 1100-2000 metre aralığında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

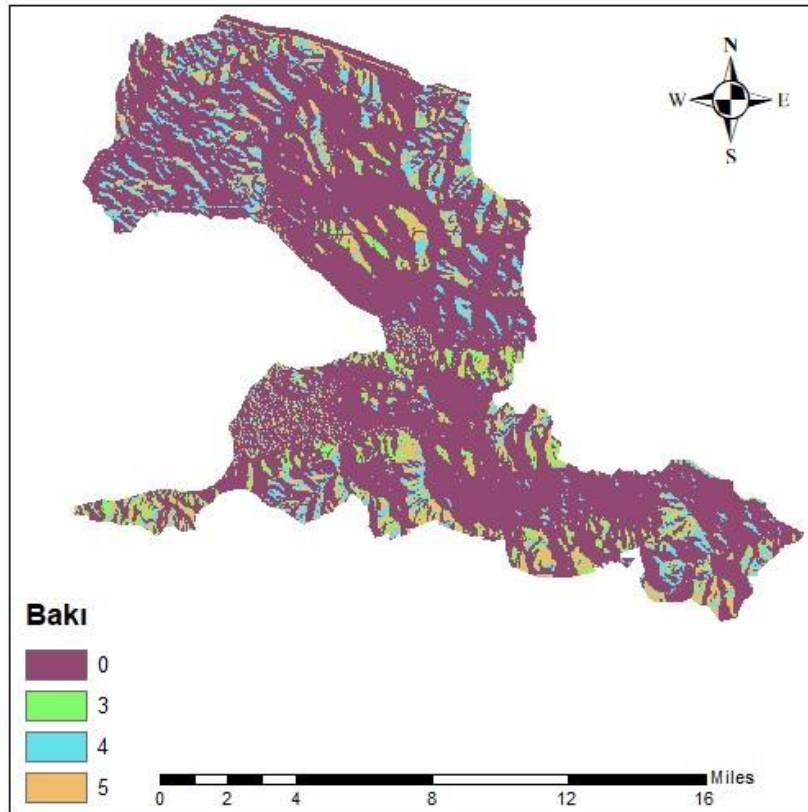
Topografyanın fazla eğimli olması türbin kurulumunda gerek zorluk çıkarması gerek de maliyeti arttırmasından dolayı yüksek eğimli alanlar,

sınıflandırmada uygun olmayan alanlar olarak belirtilmiştir. Özşahin ve Kaymaz (2013) çalışmasında orta derece uygunluğa kadar olan eğim derecesini 1-16 aralığında Ekiz ve ark., (2022) çalışmasında ise 0-20 derece aralığında tercih edilmiştir. Mevcut çalışmada bu aralık 0-14 derece olarak belirlenmiştir. Bu durum, RES için en uygun bölgenin olabilecek en iyi aralıklarda olmasının amaçlandığını belirtmektedir. Mevcut çalışmada orta dereceye kadar uygun olan bölgeler toplam alanın %42'sini oluşturmaktadır (Şekil 7).

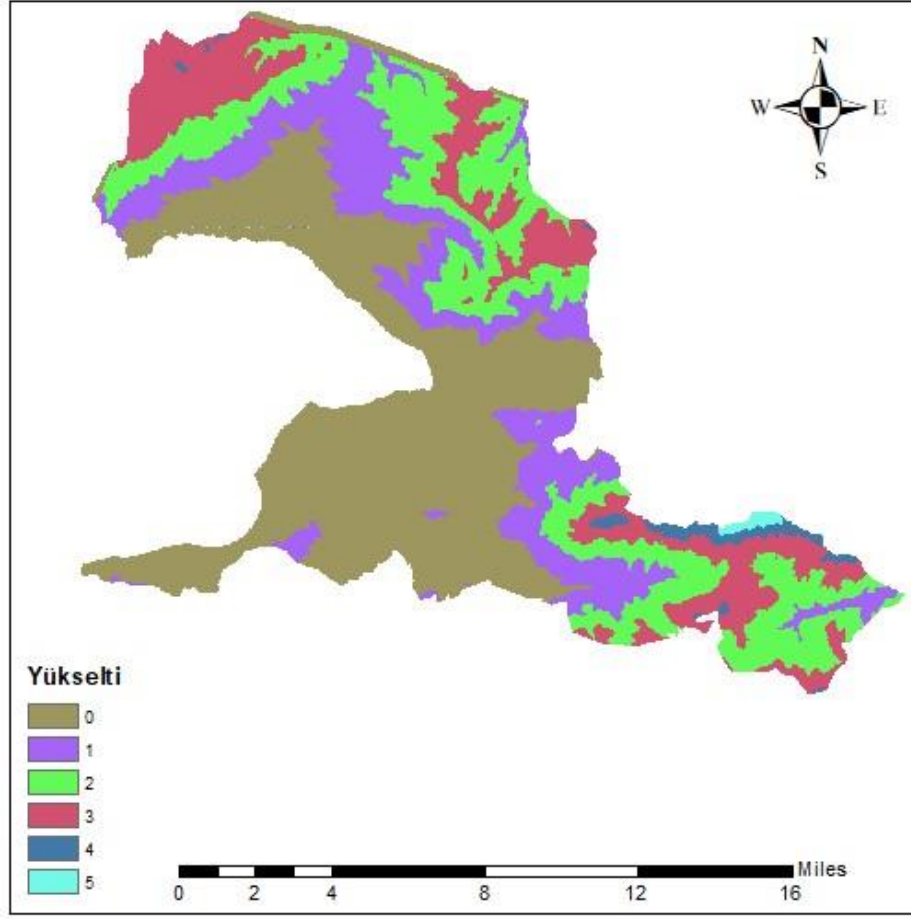
**Şekil 3.** Gemlik ilçesi rüzgâr hızı haritası



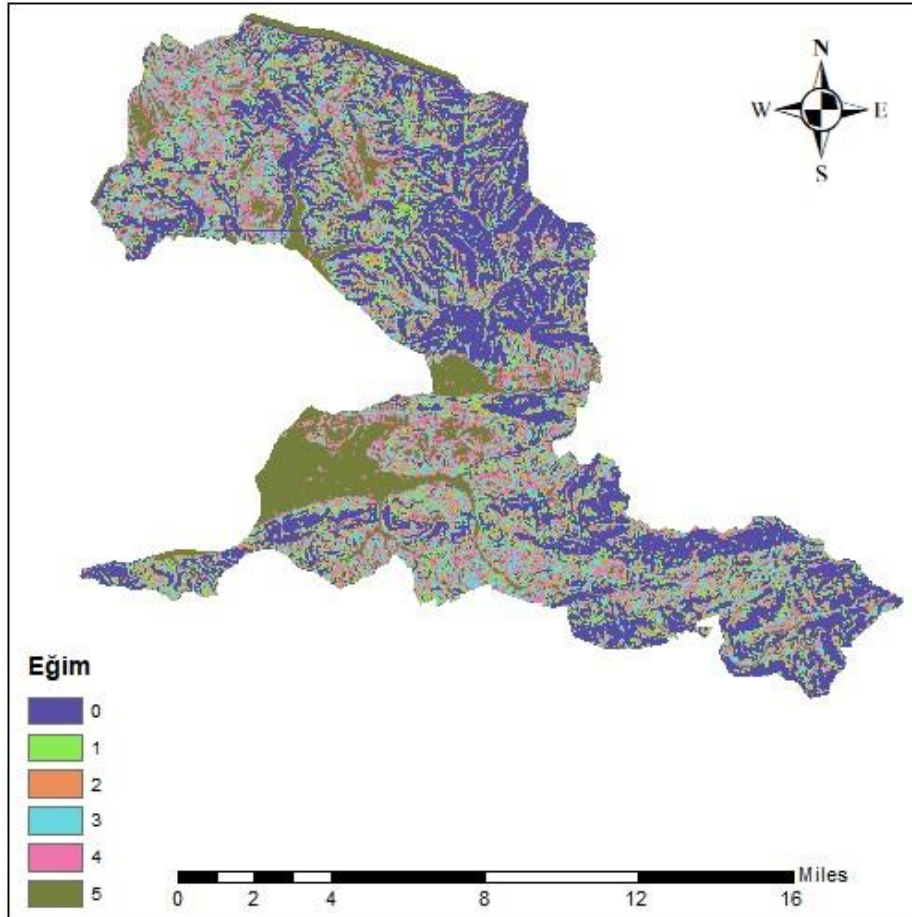
Şekil 4. Gemlik ilçesi arazi kullanım haritası



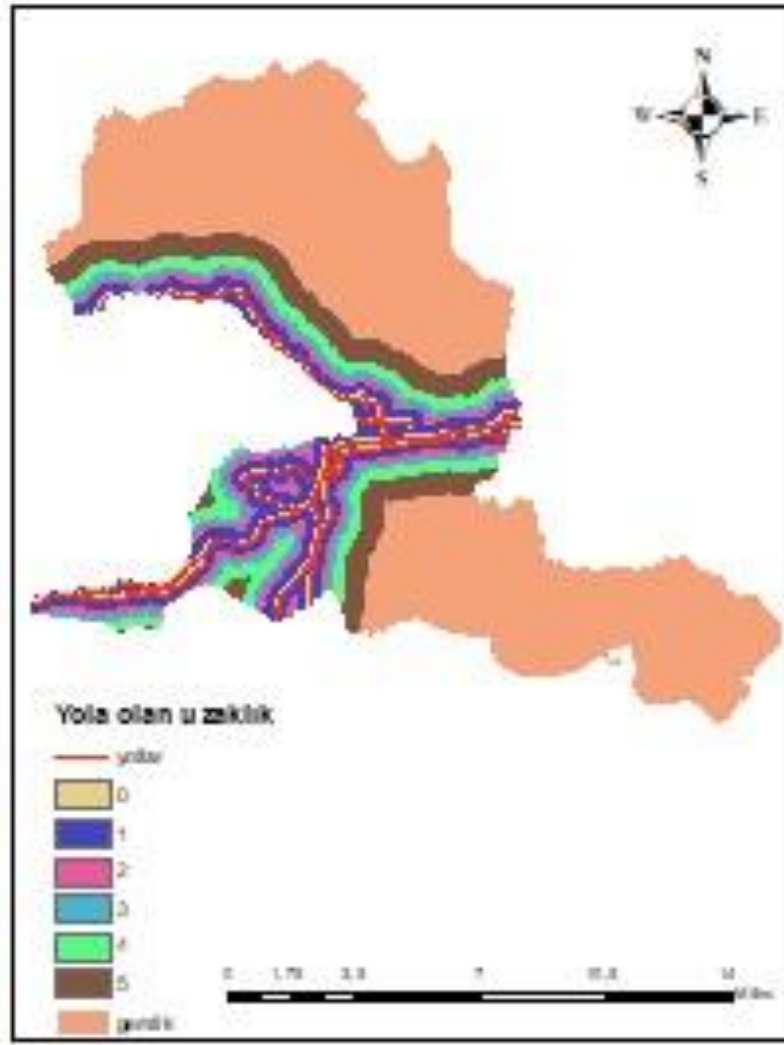
Şekil 5. Gemlik ilçesi baki haritası



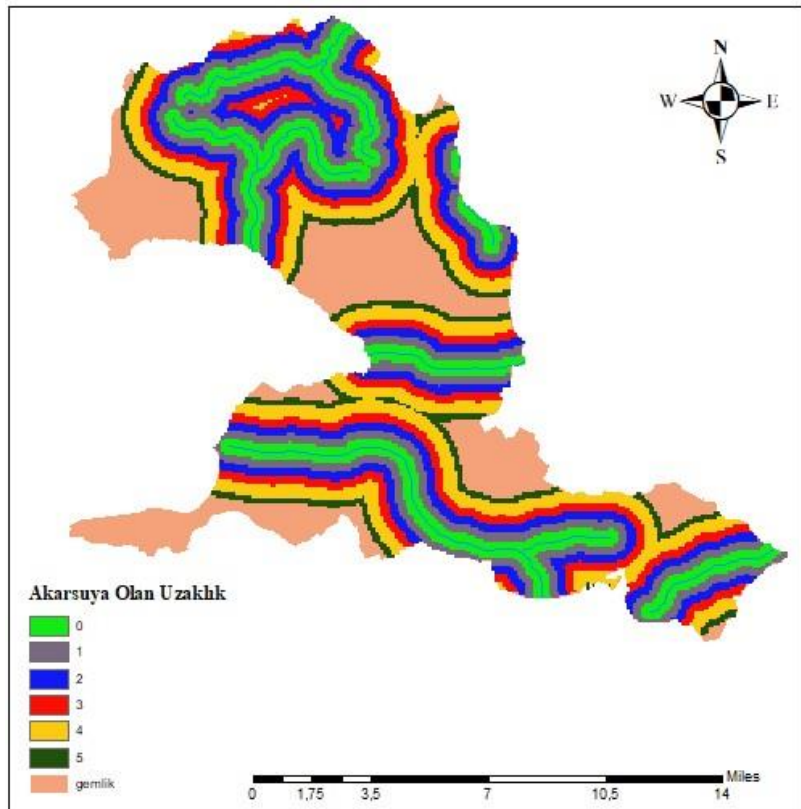
Şekil 6. Gemlik ilçesi yükselti haritası



Şekil 7. Gemlik ilçesi eğim haritası



Şekil 8. Gemlik ilçesi yola olan uzaklık haritası



Şekil 9. Gemlik ilçesi akarsuya olan uzaklık haritası

Çalışmada yola ve akarsuya olan uzaklığı belirlemek için öklid uzaklığı (euclidian distance) komutu kullanılmıştır. Türbinlerin taşınması, bakımlarının yapılması ve olası arıza durumunda müdahalesinin kolaylıkla yapılabilmesi adına yola olan mesafenin kısa olması gerekmektedir. Bu kapsamda kriter uygunluk derecesine göre 6 sınıfa ayrılmıştır ve Şekil 8’de görüldüğü gibi yola yakın olan bölgelerin derecelendirmesi yakından uzağa doğru sıralanmıştır. Demir (2022) çalışmasında, Kars ilinde rüzgâr enerji santrali kurulumu analizinde yola olan uzaklık sınıflandırılması belirlenirken ilin büyük kısmının düz ve düze yakın plato sahasında yer alması nedeniyle oldukça geniş bir karayolu ağı bulunduğu belirtilmiştir. Böylece sınıflandırma yaparken bölgenin karayolu ağı ve yüzölçümü dikkate alınarak uygunluk sınıfında çok uygun sınıfı 21-1000 metre aralığı tercih edilmiştir. Mevcut çalışmada ilçenin sahip olduğu karayolu ağının oldukça zayıf olması ve yüzölçümünün küçük olması nedeniyle çok uygun sınıfı 100-250 metre aralığında seçilmesi uygun görülmüştür.

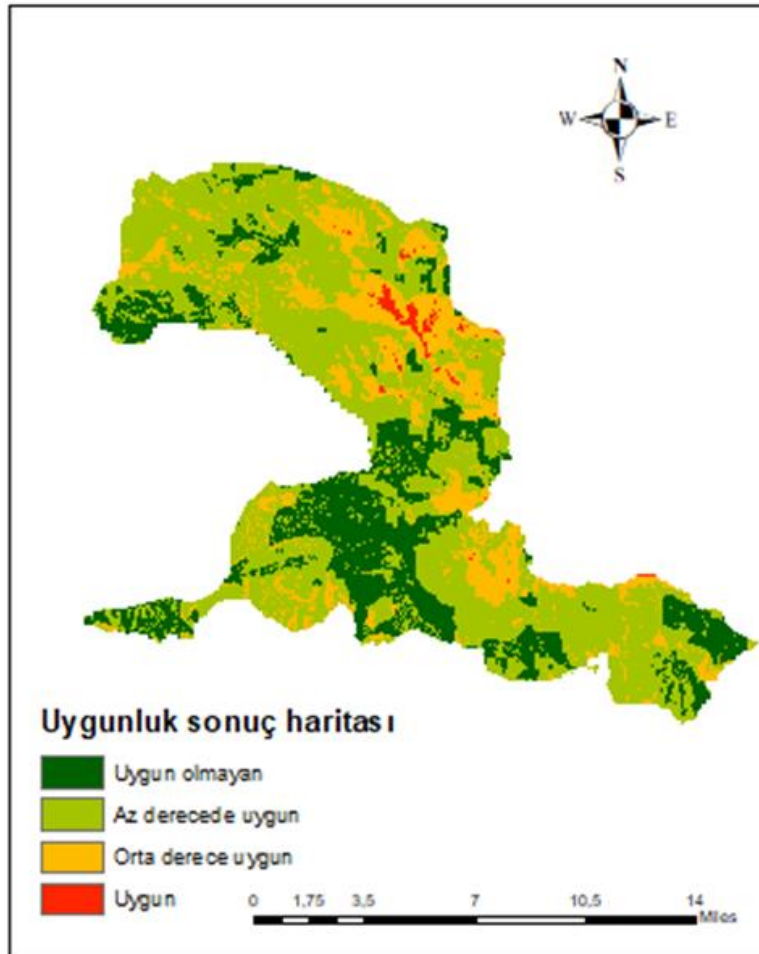
Çalışmada, birçok çalışmadan farklı olarak akarsuya olan uzaklık da dikkate alınarak altı uygunluk sınıfına ayrılmıştır (Şekil 9). Türbinlerin akarsuya yakın olmasının pürüzlülük seviyelerini arttırmasından dolayı olumsuz bir etki yaratmaktadır (Özşahin ve Kaymaz, 2013). Bu bağlamda akarsulara 500 metreden yakın olan bölgeler, uygun olmayan bölgeler olarak değerlendirilmiştir.

3.2. Sonuç Haritası

Belirlenen kriterler doğrultusunda uygunluk sınıfları ve ağırlık puanları dikkate alınarak yapılan çakıştırma işleminde Gemlik ilçesi RES için uygunluk haritası elde edilmiştir (Şekil 10). Harita uygun olmayan, az derecede uygun, orta derecede uygun ve yüksek derecede uygun olmak üzere 4 sınıftan oluşmaktadır (Tablo 5). Ekiz ve ark., (2022) çalışmasında, RES için uygunluk sınıfları belirlenirken öncelikle AHP yöntemi ile önem sırasına göre çakıştırma gerçekleştirilmiş ve daha sonra kriterler eşit önem derecesinde kabul edilerek analiz tekrarlanmıştır. Çalışma sonucunda, AHP ile belirlenen çok uygun (4) alan 54.02 km², faktörlere eşit önem derecesi atandığında ise çok uygun alan (4) 22.96 km² olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda analizde önem dereceleri ve uygunluk sınıflarını belirlemek potansiyel alan tespitinde daha doğru sonuçlar elde etmeyi sağladığı gözlenmiştir.

Tablo 5. Sonuç haritası uygunluk sınıfı oranları

Potansiyel alan	Yüzdellik
Yüksek derecede uygun	%1
Orta derecede uygun	% 19
Az derecede uygun	%57
Uygun olmayan	%23



Şekil 10. Gemlik ilçesi uygunluk sonuç haritası

4. Sonuçlar

Rüzgâr enerji santrali için uygun alan analizi gerçekleştirilen bu çalışmada, yedi adet kriterin çakıştırılması neticesinde orta ve yüksek derecede olan bölgeler, Gemlik ilçesinin %20'sini oluşturduğu gözlenmiştir. Bu oran uygunluk derecelerine göre sınıflandırılan kriterlerin ağırlık puanları dikkate alınarak belirlenmiştir. Farklı bölgelerde RES kurulumu analizi yapılan çalışmalarda belirlenen uygunluk sınıf aralıkları, mevcut çalışmaya göre daha esnek tutulduğu gözlenmiştir. Bu durum mevcut çalışmanın olabilecek en yüksek potansiyel alanı belirlemeye yönelik olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında halihazırda bulunan RES sahaları incelendiğinde, belirlenen sonuç haritasında orta derece uygunluk bölgesinde dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Gemlik ilçesinde Kürekdağı RES ve Gündoğdu RES olmak üzere iki adet saha bulunmaktadır. Kürekdağı RES, Bursa'nın Gemlik ilçesi ile Yalova'nın Çınarcık ilçesi sınırlarında bulunan ilçenin Kuzeyinde kurulmuş olan bir sahadır. 32,50 MW kurulu gücü ile ortalama 32 bin kişinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Saha'nın konumu sonuç haritası baz alınarak orta derece uygun bölgeye düşmektedir. Diğer RES sahası ise Mudanya yolu yakınında bulunan Gündoğdu santralidir. 4 adet türbini ile 9 MW kurulu güce sahip olan santral, sonuç haritasında orta derece uygun sınıfta yer almaktadır. Bu durum, kullanılan AHP analizinin tutarlı olduğunu ve benzer sahalara için aynı yöntemin kullanılmasının gelecekte kurulması planlanan RES projeleri için yol gösterici olacağını ifade etmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Damla Yılmaz: Literatür taraması, Makale yazımı, Analiz etme. **Şerife Tülin Akkaya Aslan:** Analiz sonuçlarını değerlendirme. **Babak Vaheddoost:** Analiz sonuçlarını değerlendirme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Aghayev, A. (2018). Determining of different inundated land use in Salyan plain during 2010 the Kura river flood through GIS and remote sensing tools. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(3), 80-86. <https://doi.org/10.26833/ijeg.412348>

Akıncı, H., Özalp Yavuz, A., & Kılıçer, S. T. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri ve ahp yöntemi kullanılarak planlı alanlarda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi: Artvin örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2), 40-53.

Aksoy, H., Kirca, V. S. O., Burgan, H. I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation

areas. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373, 137-141.

Artun, O. (2020). Determination of the suitable areas for the investment of the wind energy plants (WEP) in Osmaniye using analytical hierarchy process (AHP) and geographic information systems (GIS). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 196-205.

Atıcı, K. B., Simsek, A. B., Ulucan, A., & Tosun, M. U. (2015). A GıS-Based Multiple Criteria Decision Analysis Approach For Wind Power Plant Site Selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.

Aydın, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, S. (2010). GıS-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.

Can, G., & Yücel, M. A. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25, 27.

Demir, M. (2022). Kars ilinde rüzgâr enerjisi santrali kurulum potansiyeli taşıyan alanların CBS analizleri ve AHP yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 157-172.

Ekiz, S., Şirin, A. & Erenler, A. (2022). En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9 (1), 59-79. <https://doi.org/10.9733/JGG.2022R0005.T>

Gülenç, İ. F., & Bilgin, G. A. (2010). Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: Ahp Yöntemi-A Model Proposal For Investment Decisions: Ahp Method. *Öneri Dergisi*, 9(34), 97-107.

Hull, C. L., Stark, E. M., Peruzzo, S., & Sims, C. C. (2013). Avian collisions at two wind farms in Tasmania, Australia: taxonomic and ecological characteristics of colliders versus non colliders. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 47-62.

Karabağ, N., Kayıkcı, C. B. Ç., & Öngen, A. (2019). % 100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya Ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 230-240.

Karipoğlu, F., Öztürk, S., & Genç, M. S. (2021). Determining Suitable Regions For Potential Offshore Wind Farms İn Bandırma Bay Using Multi-Criteria-Decision-Making Method. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 123-132.

Memduhoğlu, A., Özmen, G., Göyçek, G., & Kılıç, F. (2014). Rüzgar Türbini Kurulacak Alanların Cbs-Çok Ölçütlü Karar Analizi Kullanılarak Belirlenmesi: Davutpaşa Kampüsü. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

Özbahar, İ. & Gül, R. (2011). Hatay-Ziyaret Tepesi Rüzgâr Santralleri Bölgesinin Ornitolojik Değerlendirilmesi. 45

Özşahin, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (Ahs) Kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde Kütle Hareketleri Duyarlılığının Değerlendirmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), 19-35.

Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K. (2013). Rüzgar Enerji Santrallerinin (Res) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir

- Cbs Analizi: Hatay Örneği, *Tübav Bilim Dergisi*, 6(2),1-18.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841-855.
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicasy Naturales. Serie A. Matematicas*, 102, 251-318.
- Sliz-Szkliniarz, B., & Vogt, J. (2011). GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1696-1707.
- Steward, T. J. (1992). A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *Omega*, 20(5-6), 569-586.
- Şahin, M., & Toroğlu, E. (2020). Analitik Hiyerarşi Prosesi (Ahp) Kullanılarak Pınarbaşı İlçesi (Kayseri) Arazilerinin Tarımsal Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (75), 119-130.
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP Yöntemi Yardımıyla Kayseri İli Örneğinde Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yer Seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- URL-1: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Gemlik>
URL-2: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>
- Uyan, M., & Yalpur, Ş. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Modeli ve Cbs Entegrasyonu ile Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesislerinin Yer Seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 642-654.
- Ünal, Ö. F. (2012). Performans değerlemede analitik hiyerarşi prosesi (AHP) uygulamaları. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 37-55.
- Xu, Y., Li, Y., Zheng, L., Cui, L., Li, S., Li, W., & Cai, Y. (2020). Site Selection Of Wind Farms Using Gıs And Multi-Criteria Decision Making Method İn Wafangdian, China. *Energy*, 207, 118222.
- Yağcı, C. & İşcan, F. (2021). GIS-based site suitability analysis of afforestation in Konya province, Turkey. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3 (2), 89-95.
- Yakşı, B. (2018). *Bursa ili kıyı şeridi rüzgâr enerjisi potansiyel analizi* (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Yeşilkaya, M. (2018). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kâğıt Fabrikası Kuruluş Yeri Seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 31-44.
- Yıldız, S. S. (2021). Balıkesir ili rüzgâr hızı haritalarının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından incelenmesi. *Geomatik*, 6(3), 198-206. <https://doi.org/10.29128/geomatik.737567>



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>