

TÜRKİYE'DE RÜZGAR TARLASI ARAZİLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Sinem Değirmenci¹, Ferhat Bingöl², Sait C.Sofuoglu³

¹ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü

² İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

³ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü

¹ snmdgrmnc@gmail.com, ² ferhatbingol@iyte.edu.tr, ² cemilsofuoglu@iyte.edu.tr

ÖZET

Türkiye, enerjisinin büyük bir çoğunluğunu kömür ve doğalgazdan karşılanmasına rağmen, fosil yakıtların azalması ve çevreye verdikleri olumsuz etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları özellikle rüzgar enerjisi, Türkiye için gelecek vadeden bir teknoloji haline gelmiştir. Ancak rüzgar enerji santrallerinin yer seçimi çok boyutlu bir süreç olduğu için planlama aşaması çoklu kriterler ve farklı karar verici mekanizmaları kapsar. Bu aşamayı kolaylaştırmak adına Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı Çok-Kriterli Karar Verme yöntemi kullanılabilir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye için sosyal, teknik, ekonomik, çevresel ve politik ölçütleri bir araya getirerek kanun ve bilimsel gerçeklere dayalı yasalar değişikçe değişebilecek bir karar verme mekanizması geliştirmektir. Yer seçim analizi için kullanılmış kriterler, literatür araştırmasına ve yürürlükteki yasalara göre belirlenmiştir; veriler çok farklı kaynaklardan tedarik edilmiştir. Bu ölçütlerin ağırlıklarını belirlemek için, çiftli karşılaştırma tekniğine dayanan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu uygulanmıştır. CBS kullanılarak, kurulabilecek rüzgar tarlaları için uygun alanlar belirlenmiştir.

Bu çalışma, rüzgar enerji santrallerinin planlama sürecini kısaltan, yürürlükteki yasalara, bilimsel çalışmalara dayanan uygunluk haritasını görselleştirmektedir. Bu sayısallaştırılmış haritanın, proje geliştiricilerinin ve yatırımcıların yer seçim aşamasını oldukça kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve beraberinde getirdiği yüksek enerji tüketimi, enerji kaynaklarının daha verimli kullanımını ve daha az çevresel etkiye sebep olan alternatif enerji kaynaklarına olan ilginin artmasını sağlamıştır [1]. Rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve dalga enerjilerini içeren yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmada önemli rol oynamaktadır [2]. Bunun dışında YEK'lerden biri olan rüzgar enerjisinin etkilerinin düşük, yerel ve yönetilebilir olduğunu söylemek mümkündür [3]. Rüzgar enerjisinin kullanımı, CO₂ emisyonlarını ve diğer sera gazı kriterlerinin (SO₂, NO_x vb.) ve tehlikeli hava kirleticilerini azaltır, su tasarrufunu artırır, istihdam yaratır, arazi sahibine gelir yaratır ve kırsal vergi geliri sağlar [4].

Türkiye, dünyadaki en hızlı büyüyen enerji pazarlarından biridir ve 2016 yılında gerçekleştirdiği kurulu güç ile Avrupa'da rüzgar sektöründe ilk üç arasına girerken, dünyada ise yedinci sırada yer aldı. Artan kurulu güç nedeniyle rüzgar santrallerinin mümkün olan en doğru yere konumlandırılmasının önemi her geçen gün artmaktadır. Yer seçimi aşamasında rüzgar potansiyeli yüksek olmasının yanında fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel ve politik faktörlerin de detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Hatalı yapılan yer seçimleri çevresel zararlara neden olmakla birlikte yerel halk tarafından istenmemekte ve projelerin iptali konuları

mahkemelere taşınmaktadır. Birçok kriterin irdelenmesini gerektiren rüzgar santrallerine en uygun yerlerinin belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı Çok-Kriterli Karar Verme yöntemi araç olarak kullanılmaktadır [5]. Yerleşim için CBS tabanlı bir yaklaşım kullanmanın en önemli avantajları, alan seçiminin zaman ve maliyetini azaltmak ve aynı zamanda arazinin uzun vadeli izlenmesi için bir dijital veri bankası sağlamaktır [6].

Bu çalışmanın amacı, yürürlükteki yasalara ve bilimsel çalışmalara dayalı bir yer seçim mekanizması geliştirmektir. Bu aşamada, uygun yer seçimi yapılması için gerekli mevcut teknik, çevresel, ekonomik ve sosyo-politik parametreler belirlenmiş ve bu parametreler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve CBS kullanılarak uygunluk haritası elde edilmiştir. Bu çalışmanın diğer yayınlardan farkı karar verme mekanizmasının, değişen kanunlar çerçevesinde hızlı bir şekilde güncellenip yeni bir uygunluk haritasının yaratılmasını mümkün kılmasıdır. Şimdiye kadar, Türkiye’de bu çalışmaya benzer bölgesel olmayıp da tüm Türkiye sınırlarını kapsayan herhangi bir çalışma bulunamamış ve yer seçimi için böyle bir model geliştirilmediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın, rüzgar enerji santrallerinin planlama sürecini kısaltması, zamandan ve yatırımdan tasarruf sağlamasını beklenmektedir.

2. TEORİ VE METOT

Çalışma, (i) Veri Toplama ve işleme (ii) Kullanılmaz Alanların Çıkarılması (iii) Kriter Değerlendirilmesi olarak üç aşamalı olarak yürütüldü.

Veri Toplama ve işleme: Çalışmanın sınırlarının, Türkiye sınırları olarak belirlenmesinin ardından, rüzgâr enerji santralının kurulumu için gerekli olan ölçütler bilimsel çalışmalardan ve yürürlükteki yönetmeliklerden derlendi. Veri toplama, çalışmanın en fazla zaman alan kısmıdır. Seçilen ölçütlerin sınırları ve coğrafi koordinatları devlet kurumları, web tabanlı veri setleri, bilimsel araştırmalar ve dernekler gibi çok farklı kaynaklardan elde edildi.

Kullanılmaz Alanların Çıkarılması: Kullanılmaz alanlar, yasal düzenlemelere göre rüzgar türbini kurulumu için uygun olmayan alanlardır. Bu çalışma için kullanılmaz olarak tanımlanan alanlar ve (varsa) tampon bölgeler şu şekilde listelenmektedir;

- Radarların koordinatları ve çevresindeki 5 km tampon bölgeler [7],
- Havaalanları ve çevresindeki 3 km tampon bölgeler (Eski Yönetmelik [8])
- Hava/Yer Haberleşme İstasyonlarından 2 km; VOR-DME, NDB seyrüsefer yardımcı sistemlerinden 15 km tampon bölge (Yeni Yönetmelik-EPDK Açıklaması,12.04.2016)
- Fay hatları ve çevresindeki 150 m tampon bölgeler [9]
- Yerleşim yerleri ve çevresindeki 1 km tampon bölgeler [10]
- Korunan alanlar [11-14]
- 1500 m'nin üzerinde yüksekliğe sahip alanlar [15]

Bu veriler ArcGIS 10.3.1. yardımıyla veriler CBS’de işlenerek kullanılmaz alanlar haritası oluşturuldu. Havaalanları ile ilgili yönetmelik çalışma sırasında değiştirildiğinden, uygulanabilir alanlardaki uygunluk seviyelerini göstermek için yeni ve eski düzenlemeyle birlikte iki farklı harita geliştirildi.

Kriter Değerlendirilmesi: Bu aşamada ise bir önceki adımda uygun olarak bulunan araziler ekonomik ve teknik özelliklerine göre AHP yöntemi ile ağırlıklandırıldı ve kurulum için en uygun yerler belirlendi.

İlk olarak, her katmandaki veriler vektör formatından raster formatına dönüştürüldü ve 1/120 ° hücre boyutlarında (yaklaşık 700 x 900 m) resample edildi. Ardından, her kriter için sayısal değerler, maksimum ve minimum değerlerine göre 0’dan 100’e kadar ölçeklendirildi. Elde

edilecek rüzgar enerjisi hesabı için, sıklıkla kullanılan 900 kW (50 m merkez yüksekliği) ve 2.1 MW (100 m merkez yüksekliği) sınıflarını temsil eden iki farklı rüzgar türbini seçildi ve her ikisi için hesaplar tekrarlandı. Tanımlanan türbinlerin kapasite faktörleri, birçok kurulumlardan onshore rüzgar veri setlerini toplayan Hughes [16]'un çalışmasından elde edildi. Çalışmada temsili türbinlerle aynı güce sahip türbinlerin kullanım ömrü boyunca kapasitelerinin ortalamaları alınarak hesaplandı ve 900 KW için % 22 ve 2.1 MW için % 31 bulundu. Rüzgar enerjisi, yol yoğunluğu ve şebeke kapasitelerinin maksimum değerleri 100 ve minimum değerleri 0 ile ölçeklendirilirken, arazi maliyeti ve donma süresi için tam tersi uygulandı (Tablo 1). Ormanlık araziler ise özel bir duruma sahipti. Ormanlık arazilerin kullanılması durumunda ödenmesi gereken kullanım bedellerine göre en düşük fiyatlı bölgeleri yüksek tercih edilebilirliği temsil etmesine rağmen, orman kaybını en aza indirmek için bitki örtüsüz alanlar en yüksek skorla tanımlandı.

Kriterlerin ağırlık değerleri, 2 akademisyen, 1 şirket müdürü, 1 proje mühendisi ve 2 lisansüstü öğrenciden oluşan uzman grubu tarafından Saaty [17] tarafından tavsiye edildiği gibi 1 ila 9 tercih ölçeği kullanılarak atandı (9 En önemli, 1 önemli olmayan şeklinde). AHP yöntemi, kriterlerin birbirine göre ikili karşılaştırılmasına dayanan bir metottur ve çalışmada kullanılacak faktörlerin önem katsayılarını belirlemektedir. AHP metodu ile çift karşılaştırma matrisleri oluşturuldu ve bu değerler normalleştirilerek ağırlık değerleri elde edildi (Tablo 1). Ağırlık değerleri, kriterlerin minimum ve maksimum değerlerine göre derecelendirilmiş değerlerle çarpılarak ve o griddaki değerler toplanarak AHP metodu ile RES yapım yeri için genel uygunluk indeksleri haritası elde edildi. Oluşturulan uygunluk indekslerine en az uygun (2000-4000 arası puanlar), orta derecede uygun (4000-6000 arası puanlar) ve en uygun (6000'den yüksek puanlar) yerler olarak 3 sınıfa ayrıldı.

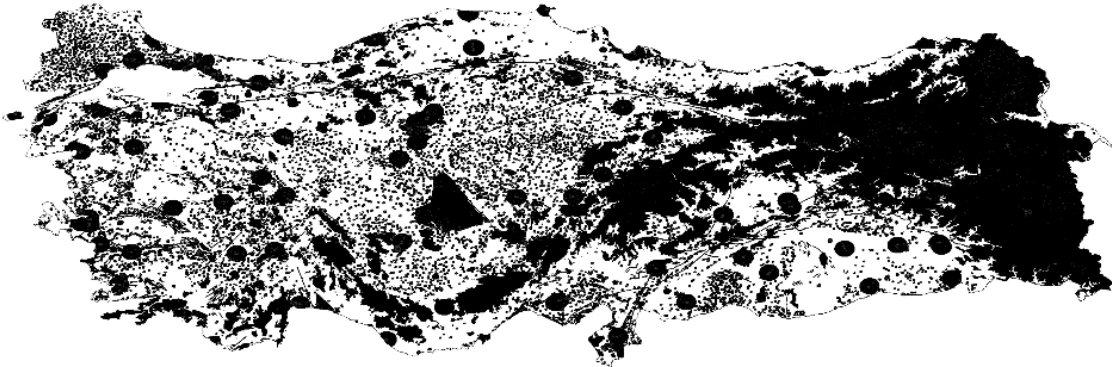
Tablo 1. Değerlendirme kriterlerinin işlenmemiş verileri için ölçeklendirme kuralları, kriterlerin çift karşılaştırma matrisleri ve ağırlıkları değerleri

	Ölçeklendirme Kuralı (Min./Maks.)	Enerji	Don Süreleri	Arazi Maliyetleri	Yollar	Ormanlık Alanlar	Şebeke Kapasitesi	Arazi Engebesi	Ağırlık Değeri
Enerji	Maks.	1.00	1.31	2.17	1.31	0.88	1.85	4.00	0.21
Don Süreleri	Min.	0.76	1.00	1.94	1.48	0.87	1.68	0.50	0.14
Arazi Maliyetleri	Min.	0.46	0.52	1.00	0.91	0.37	1.25	0.25	0.08
Yollar	Maks.	0.76	0.67	1.10	1.00	0.73	1.53	0.33	0.11
Ormanlık Alanlar	Özel Durum	1.13	1.15	2.69	1.37	1.00	0.93	2.00	0.18
Şebeke Kapasitesi	Maks.	0.54	0.60	0.80	0.65	1.08	1.00	0.50	0.10
Arazi Engebesi	Min.	0.30	2.00	4.00	3.00	0.50	2.00	1.00	0.2

3. BULGULAR

Bu çalışma için kullanılmaz olarak tanımlanan alanlar ve çevrelerindeki tampon bölgelere göre rüzgar enerji santralleri kurulumu için tercih edilebilir ve kullanılmaz alanlar haritası oluşturuldu ve çalışmanın ileriki aşamaları için kullanılmaz alanlar haritası Türkiye sınırlarından çıkartıldı (Şekil 1). Bu çalışmaya göre, ülkenin % 10.7'sinde kentsel alanlar, % 6'sında havaalanları, % 4'ünde korunan alanlar, % 0.6'sında fay hatları ve % 0.2'sinde radarlar bulunmaktadır. 78 milyon hektar yüzölçümüne sahip Türkiye'nin 17 milyon hektar olarak bulunan kullanılmaz alanlar % 21.5'ine karşılık gelmektedir. Buna ek olarak yüksek rakımdan (> 1500m) dolayı ülkenin % 24'ü kurulum için uygun olmayan alanlar olarak tanımlanmaktadır ve geriye kalan % 54.5'si bu aşamada uygun görülmektedir (Şekil 1).

Teknik olarak uygulanabilir alanların belirlenmesinden sonra, uygun bulunan araziler ekonomik ve teknik özelliklerine göre bu çalışma için oluşturulan uzman çalışma grubu tarafından AHP yöntemi ile ağırlıklandırıldı (Tablo 1). Beklendiği gibi, ağırlıklandırılma sonucunda çalışmada kullanılan kriterlerden sonuca en yüksek etkiyi elde edilecek enerji ve bunu yakından takip eden arazinin engebesi ve ormanlık arazilerin varlığı, en düşük etki ise arazi maliyeti yapmaktadır. Kriter verileri kullanılarak uygunluk haritası geliştirildi (Şekil 2). Gridlerin Teori ve Metot kısmında açıklandığı gibi düşük, orta ve yüksek uygunluk sınıflarına sınıflandırılmasının ardından, rüzgar santrali kurulumu için mevcut olan arazinin çoğunluğunun orta derece uygunluk sınıfında (% 59.9) olduğunu, bunu takiben neredeyse eşit yüzdeye sahip yüksek uygunluk sınıfı (% 20.3) ve düşük uygunluk sınıfının (% 19.8) kapladığı görülmektedir. Orta uygunluk sınıfının baskın olması, Türkiye'nin düz arazinin, kısa don sürelerin, düşük arazi maliyetli alanların ve ılıman rüzgar enerjisi potansiyelinin varlığına bağlıdır. Uygunluk analizinin sonuçları, Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli açısından zengin bir ülke olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 1: Havaalanı, fay hatları, korunan alan, radarlar, kentsel alanlar, 1500 m üzerindeki yüksekliğe sahip alanlar birleştirilerek oluşturulan kullanılamaz alanlar (siyah)



Şekil 2: Genel uygunluk endeksi

4. TARTIŞMA

Yürütülen bu çalışmanın ana çıktısı, rüzgar enerji santral alanlarının göreceli olarak karşılaştırılması yoluyla etkili karar verme konusunda destek sağlayabilen, gelişmiş CBS tabanlı Çok-Kriterli Karar Verme yöntemi modeli geliştirmesidir. Bu çalışma için rüzgar çiftliklerinin saha seçimi ile ilgili ekonomik, teknik, idari, sosyal ve çevresel hedeflerle ilgili verileri toplandı. Derlenen bilgilere göre bu çalışma, Türkiye'de rüzgar çiftliği kurulumu ile ilgili faktörlerin bu kadar kapsamlı bir listesini birleştiren ilk çalışmadır. Çalışmamızın bir diğer yeniliği, bazı ölçütlerin daha ayrıntılı bir şekilde işlenmesidir. Örneğin, daha önceki Çok-Kriterli Karar Verme yöntemi çalışmalarında [18, 19], rüzgar enerjisi hesaplamasında rüzgar hızı ana kriter

olarak kabul edilirken, bu çalışmada rüzgar enerjisi potansiyelinin daha doğru bir tahminini gerçekleştirmek için hesaplamalarımızda hava yoğunluğu, rüzgar türbinlerinin yüksekliği ve kapasitesi de dikkate alındı. Ayrıca, saha uygunluğunun değerlendirilmesi için o bölgede gerçekleşen donma süresinin derecesi de Türkiye’de daha önce hiçbir çalışmada kullanılmamıştır. Teknik ve finansal uygunluğun değerlendirilmesi için, kriterlerin ağırlıklandırılmasında olabildiğince dengeli karar vermeye çalışan çeşitli disiplin gruplarından uzman bir grupla AHP metodu kullanıldı.

Askeri bölgeler ve radarları, kuş göç yolları, yarasa yaşam alanları, muhafaza ormanları, dünya miras alanları ve sit alanları gibi rüzgar santrali kurulum aşamasında düşünülmesi gereken diğer kriterler, güvenlik veya paylaşımının yasak olması nedeniyle bu çalışmaya dahil edilememiştir. Çalışmanın bir başka kısıtlaması, herhangi bir düzenlemede rüzgar santralleri ile nehir / göl çevresinde bulunması gereken tampon bölge ile ilgili net bir bilginin olmamasıdır. Türkiye’de yürürlükte olan sulak alanların korunmasına ilişkin mevzuatına göre rüzgar enerji santralleri yatırımlarına izinle izin verilmesi de bazı çelişkilere neden olmaktadır. Göller konusundaki bu belirsizlikler nedeniyle bu çalışma bu konuyu parametre olarak kullanmamıştır.

Kullanılan yöntem yapısı gereği, değişen havaalanı mevzuatı durumundaki gibi, değişen mevzuata uymak için esnek ve ayarlanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Geliştirilen mekanizma, proje geliştiricileri ve düzenleyiciler tarafından farklı senaryolar için çıktılar sağlayabileceği ve farklı uzman gruplarına uyabileceği için oldukça kullanışlı bir araçtır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rüzgar enerjisi sektörü, planlama sürecini kısaltabilecek enerji santral kurulumu ile ilgili yasalardaki ve bilimsel çalışmalardaki kriterlere dayalı bir uygunluk haritasına ihtiyaç duymaktadır. Daha önce aktarılan sınırlamalara rağmen, bu çalışmada, CBS tabanlı çiftli karşılaştırma tekniğine dayanan AHP metodu ile Çok-Kriterli Karar Verme yöntemini kullanarak Türkiye’de rüzgar enerji santrali kurulumu için yer seçmeyi kolaylaştıracak bir uygulama geliştirildi. Bu çalışmanın daha ileri araştırma ve geliştirme için bir temel oluşturmaya yönelik ilk girişim olduğu düşünülmektedir. CBS, verilerin depolanmasını ve uygun yerlerin gösterimini sağlarken; AHP yöntemi, yer seçim kriterlerinin kendi aralarında kıyaslanması yöntemiyle ağırlıklarını belirlemek için kullanıldı.

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, birkaç öneride bulunmak mümkündür:

✓ Çevresel etki alanlarının nihai mekansal analizi, rüzgar santrallerini kurmak için kalan en uygun alanların çoğunlukla yüksek rakımlı bölgelerde olduğunu göstermektedir. Yani, proje geliştiricileri çevresel etki konularından uzak durmak istiyorsa, önümüzdeki on yılda yüksek rakımlı bölgelerde rüzgar santralleri geliştirmeye devam edeceklerdir.

✓ Rüzgar enerjisi kapasitesini arttırmak ve çevre üzerindeki etkisini azaltmak için bir başka olasılık, halihazırda mevcut rüzgar çiftliklerini daha yüksek kapasiteli olarak yeniden inşa etmektir. Sonuçlar, aktif rüzgar çiftliklerinin çoğunun zaten yüksek kapasiteli türbinler kullandığını göstermektedir. Bununla birlikte, önümüzdeki on yıllarda bu türbinlerin daha büyük olanlarla değiştirilmesi, çevre üzerindeki etkisini en aza indirgeyerek enerji üretimini önemli ölçüde artırabilir.

✓ Bu çalışmada ormanlık alanlar ve yerleşim yerleri, çevresel etkileri en düşük yerleri bulmak için hariç tutulmuş olmakla birlikte, bu durum, bazı rüzgar çiftliklerinin ormanlık alanlarında ve yakınlarında veya yerleşim yerlerinin yakınında kurulamayacağı anlamına gelmez. Bu gibi durumlarda, rüzgar türbinleri ormanlar veya kentsel alanlar tarafından üretilen yüksek türbülans etkilenir. Bu nedenle, ormanlık ve engebeli alanların arazi değerlendirme modellemesini daha verimli hale getirmek ve nihai mikro yerleşime daha düşük çevresel etki sağlamak için Türk geliştiriciler tarafından incelenmeli ve geliştirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Önemli Kuş Alanları ile ilgili gerekli verileri sağladığı için Doğa Derneği'ne ve çalışma için bazı coğrafi veri seti katmanlarını sağlayan iki projeye teşekkürlerini sunar; (I) Danimarka Enerji Ajansı EUDP 11-II tarafından finanse edilen *DTU Wind Energy Global Wind Atlas* 'ından alınan rüzgar verileri, (ii) TÜBİTAK Projesi " Adaptation of Uniform Wind Atlases " (114C016) 'dan alınan yükseklik, hava yoğunluğu ve mevcut rüzgar santralleri verileri.

KAYNAKLAR

1. Kumar, I., W.E. Tyner, and K.C. Sinha, *Input–output life cycle environmental assessment of greenhouse gas emissions from utility scale wind energy in the United States*. Energy Policy, 2016. **89**: p. 294-301.
2. Twidell, J. and T. Weir, *Renewable energy resources*. 2015: Routledge.
3. Bilgili, M. and E. Simsek, *Wind energy potential and turbine installations in Turkey*. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 2012. **7**(2): p. 140-151.
4. AWEA, *Wind Energy for a New Era*. 2008, Washington, D.C.: American Wind Energy Association.
5. Malczewski, J., *Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems*, in *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*, M. Ehrgott, R.J. Figueira, and S. Greco, Editors. 2010, Springer US: Boston, MA. p. 369-395.
6. Moeinaddini, M., N. Khorasani, A. Danehkar, and A.A. Darvishsefat, *Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj)*. Waste management, 2010. **30**(5): p. 912-920.
7. Turkey, *Legislation on Prelicence of Wind and Solar Power in Official Journal number: 29033*. 2014, Turkish Republic.
8. Turkey, *Legislation for Construction Criteria Around the Airports*. 2012, Turkish Republic: General Directorate of Civil Navigation.
9. Demirtaş, R., *Kentsel Planlamada Diri Faylar Etrafında Tampon Bölge Oluşturma Esasları*. 2005.
10. Turkey, *A Regulation on the Technical Assessment of Applications related to Wind Power Generation* 2015, Turkish Republic: Official Gazette No. 29508.
11. Turkey, *Law on Protection of Cultural and Natural Properties*. 1983, Turkish Republic: Official Journal Number: 18113.
12. Turkey, *Law on Wildlife Protection and Development Areas*. 2004, Turkish Republic: Official Journal Number: 25637.
13. Turkey, *Law on National Parks.*, in *Official Journal number: 18132*. 1983, Turkish Republic.
14. Turkey, *Forest Law*. 1956, Turkish Republic: Official Journal Number: 9402.
15. REPA, *Turkish Wind Energy Potential Atlas*. 2007, General Directorate of Renewable Energy: Ankara, Turkey.
16. Hughes, G., *The performance of wind farms in the United Kingdom and Denmark*. Renewable Energy Foundation: London, UK, 2012.
17. Saaty, T.L., *Decision making with the analytic hierarchy process*. International journal of services sciences, 2008. **1**(1): p. 83-98.
18. Al-Yahyai, S., Y. Charabi, A. Gastli, and A. Al-Badi, *Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis*. Renewable Energy, 2012. **44**: p. 80-87.
19. Höfer, T., Y. Sunak, H. Siddique, and R. Madlener, *Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen*. Applied Energy, 2016. **163**: p. 222-243.