

RÜZGÂR KAYNAKLI ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ÇEVRESEL ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Kâmil B. VARINCA*, Gamze VARANK*

* Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü 34349 Yıldız / Beşiktaş / İstanbul
(212) 259 70 70 / 2278 kvarinca@yildiz.edu.tr, gvarank@yildiz.edu.tr

ÖZET

Enerji, insanoğlunun bugünkü hayatının vazgeçilmez parçası olan başta sanayi, teknoloji, ulaşım, iletişim olmak üzere yapmakta ve yapacak olduğu tüm faaliyetlerini gerçekleştirmesinin başlıca temel taşıdır. Kısacası enerji, bugünkü modern bilgi toplumunun vazgeçilmez bir ihtiyacıdır. Enerji, gelecekte de en önemli kaynaklardan biri olmaya devam edecektir.

Enerji ihtiyacının sürekli artması, bunun yanında ise mevcut kaynakların kısıtlı ve tükenebilir olması, insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme yoluna itmektedir. Bunun yanı sıra, Dünyanın yaşanabilirlik ortamının korunması ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla yapılan ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemeler ve enerji üretim, iletim ve tüketiminden kaynaklanan çevresel etki ve sorunlar da enerji üretim sistemleri ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin de dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bugün büyük miktarda ve küresel ölçekte çevre kirliliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri yerine hem çevresel etkileri daha az, hatta hiç olmayan, hem de devamlılığı ve yenilenebilirliği sağlayan enerji kaynaklarını bulmak ve geliştirmek zorundayız.

Bu makalede, bugün başta güneş, rüzgâr, deniz-dalga, jeotermal ve hidrojen enerjileri olmak üzere yenilenebilir enerji kaynağı diye nitelendirdiğimiz enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan rüzgâr kaynaklı enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri incelenmeye çalışılmış ve muhtemel olumsuz etkilerin minimize edilmesi için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, çevresel etkiler

ABSTRACT

Energy is the fundamental source for the human being to implement the current and oncoming all of the technological, industrial, communicational activities. In other words energy is an indispensable requirement for the current modern information community and energy will continue to be one of the most important sources in the future.

Energy requirement rises day by day; furthermore available sources are limited and consumable. Therefore it is essential to detect alternative energy sources and develop them. National and international juridical arrangements, created to protect living ambience and permanence on the world and environmental impacts and problems born of energy generation, transmission and consumption points out the importance of environmental impacts in the source selection.

Today it is essential to detect and develop continuous and renewable energy sources with a few or no environmental impacts, instead of conventional fossil fuel originated energy generation systems causing environmental pollution in a large quantity and global scale.

In this paper; environmental impacts of wind sourced energy generation systems qualified as renewable energy sources like sun, sea-wave, geothermal and hydrogen energies are studied and recommendations for minimizing these negative impacts are given.

Key Words: Wind energy, environmental impacts

GİRİŞ

Enerji modern toplumun temel taşlarından biridir. İnsanoğlunun bugünkü modern hayatını devam ettirebilmesi ve gelişebilmesi için enerji, olmazsa olmazlardandır. Bu sebeptendir ki enerji, üzerinde düşünülmesi, politika ve strateji geliştirilmesi gereken bir konudur.

Bu bağlamda enerji konusundaki hassasiyet başlıca iki sebebe bağlanabilir. Birincisi; dünyanın 1970’li yıllarda yaşamış olduğu enerji krizini bir daha yaşamama isteği, ikincisi ise teknolojik gelişmelerin ve modern yaşamın enerjiye olan gereksinimindeki devam eden artış [1].

Enerji ihtiyacının artmasına rağmen mevcut enerji kaynakları aynı kalmakta, miktarlarında ise kullanımdan kaynaklanan bir azalma söz konusudur. Bugün kullanılan klasik fosil yakıtların bir gün tükeneceği bilinen bir gerçektir.

Ayrıca enerji üretimlerinin tümü, günümüz şartlarına göre her ne kadar tedbir alınıralsa alınsın yine de çevresel açıdan olumsuzluklar içerebilmektedir [2]. Mesela kömür yakıldığında, yakılan her gram kömür başına 4 gram karbondioksit (CO₂) açığa çıkmaktadır. Gerekli tedbirlerin alınmadığı yanma olaylarında yakılan kömürün dört misli ağırlığında CO₂ atmosfere verilerek sera etkisine sebep olunmaktadır [3].

Kaynak kısıtlığının yanı sıra yukarıda örnek verilmeye çalışılan enerji üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin, geri dönüşsüz bir şekilde dünyanın doğal yapı ve dengesi üzerinde yapmış olduğu tahribat endişe verici düzeylere ulaşmıştır.

Tüm bu sebeplerden dolayı, enerji veriminin yüksek, bunun yanında çevresel etkilerinin az olduğu, süreklilik arz eden yeni enerji kaynakları bulma arayışı içine girilmiştir. Ulusal ve uluslararası hukuki ve kanuni düzenlemeler de bu arayışı hızlandırmaktadır.

Enerji üretirken çevreyi kirletmek, ardından temizlemek ve arıtmak yerine,

çevreyi kirletmeyen enerji üretim sistemlerini ve kaynaklarını geliştirmek; üretilen enerjinin bir kısmının da arıtma için kullanılması yerine, bu enerjinin temiz üretim sistemlerinin geliştirilmesi için harcanması muhtemelen daha akıllıca olacaktır.

İşte bu sebeple, günümüzde klasik enerji kaynaklarına ek olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak isimlendirilen güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen, deniz-dalga enerjileri gibi enerji kaynakları üzerine çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta, uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Bugün bu yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyadaki üretim kapasitesi yılda milyon kWh mertebelerine ulaşmıştır [2]. Teknolojik imkânların artması ve Ar-Ge çalışmaları sayesinde bu miktarların gelecek yıllarda daha da artacağı düşünülmektedir.

Rüzgâr kaynaklı enerji üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en ileri ve ticari olarak mevcut olanı, aynı zamanda en hızlı gelişenidir. Rüzgâr enerjisinin bu kadar hızlı gelişmesinin nedeni olarak; atmosferde doğal olarak oluşması, kolay kurulumu, teknolojik geliştirilebilirlik ve kullanışlılığının yanında giderek ucuzlayan maliyeti gösterilebilir [4].

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim sürecinin karbon bağımsız olması, yani atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi nedeniyle bu kaynak “temiz enerji” olarak da nitelendirilmektedir [5].

Buna karşın her enerji üretiminde olduğu gibi rüzgâr kaynaklı enerji üretiminde de bazı çevresel olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Ancak amaç olumsuz etkilerin varlığından dolayı bu kaynaktan vazgeçmek değil, aksine olumsuz etkilerin giderilmesine yönelik çalışmaların yapılması sonucunda, bu enerji kaynağından en üst düzeyde fayda sağlarken, çevresel etkilerini de en alt seviyelere indirmek olmalıdır.

1. RÜZGÂR VE RÜZGÂR ENERJİSİ

Rüzgâr, güneş enerjisinin dünyanın oldukça değişken olan yüzeyini eşit ısıtmamasından kaynaklanan sıcaklık, yoğunluk ve basınç farklarından dolayı oluşan yatay hava hareketleri olarak tanımlanmaktadır [6, 7]. Buradan hareketle, güneş var oldukça rüzgârın ve bunun neticesinde de gücünün var olacağı söylenebilir.

Genel olarak rüzgârlar, dünya ölçeğinde, kıtalar, ülkeler ve yerel ölçekler ile mikro (çok küçük) ölçeklerde ortaya çıkabilirler [6].

Rüzgâr özellikle basınç gradyanının yüksek olduğu yerlerde, yüksek, engebesiz tepe ve vadilerde, güçlü jeostrofik rüzgârların etkisi altında kalan bölgelerde, jeostrofik rüzgâr ve termal etkileşimlerin meydana geldiği kıyı şeritlerinde, kanal etkilerin meydana geldiği dağ dizileri, vadiler ve tepelerde meydana gelir [6].

Rüzgâr enerjisi ise hava kitlesinin sahip olduğu kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi ile oluşur. Rüzgâr enerjisi, dönüşüme uğramış güneş enerjisidir [8].

Rüzgâr enerjisini yeryüzünün engebeliliği, rüzgâr engelleri, park etkisi olumsuz yönde etkilerken, tünel ve tepe etkileri olumlu yönde etkilemektedir [6].

Rüzgâr Haritaları

Rüzgâr haritaları genel olarak Çizelge 1'de gösterilen rüzgâr gücü sınıflandırılmasına göre potansiyel rüzgâr enerjisi dönüşümü için kullanılır. Burada, her bir sınıf, yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluklarının ve eşdeğer ortalama rüzgâr şiddetlerinin aralığına göre verilmiştir. Mesela, sınıf 3 veya daha yüksek sınıfta olanlar, rüzgâr türbini uygulamaları için uygundur. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretilmesi düşünüldüğünde bu çizelgede yer alan değerlere bakılarak karar verilebilir.

Çizelge 1. Farklı seviyeler için rüzgâr gücü yoğunluğu ve hızı [6]

Rüzgâr gücü sınıfı	Yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu (W/m ²)		Eşdeğer ortalama rüzgâr hızı (m/sn)	
	10 m yükseklik	50 m yükseklik	10 m yükseklik	50 m yükseklik
1	0-100	0-200	0,0-4,4	0,0-5,6
2	100-150	200-300	4,4-5,1	5,6-6,4
3	150-200	300-400	5,1-5,6	6,4-7,0
4	200-250	400-500	5,6-6,0	7,0-7,5
5	250-300	500-600	6,0-6,4	7,5-8,0
6	300-400	600-800	6,4-7,0	8,0-8,8
7	400-1000	800-2000	7,0-9,4	8,8-11,9

2. RÜZGÂR KAYNAKLI ENERJİ ÜRETİMİ

Rüzgâr, önüne bir engel konulması veya sabit bir engelle karşılaşması halinde, onun üzerine bir basınç uygular. Böyle bir engelin harekete müsait olması durumunda, rüzgâr, o engelin hareket etmesine de sebep olur. İşte bu mantıktan hareketle, bir mil etrafında dönebilecek bir pervanenin (türbin) rüzgâr etkisi ile o mil etrafında dönmesi mümkün olabilmektedir. Bu fikir günümüzdeki rüzgâr türbinleri ile eski çağlardaki yel değirmenlerinin ilk çalışma ilkelerini teşkil eder.

Yel değirmenleri, sulama ve benzeri uygulamalarda aslında insanlığın eskiden beri kullandığı doğal bir kaynak olan rüzgâr enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmasına ancak 1970'lerde yaşanan petrol krizinden sonra Avrupa ülkelerinde başlanmıştır [6, 9]. Rüzgâr enerjisinin kanıtlanmış bir başarısı vardır ve bu sebeple de kullanımı hızla artmaktadır.

Küçük ölçekli türbinler vasıta ile birkaç W (watt) değerinde güçler ortaya konabilirken, orta ölçeklerde birkaç yüz kW (kilowatt), büyük güçlerde ise birkaç MW (megawatt)'a varan seviyelerde güç üretilmektedir [6].

Rüzgâr enerjisinin, dünya enerji sektöründeki yeri ve gelişmelerine bakılacak olursa, rüzgâr gücü yatırımlarının iki farklı yaklaşımla

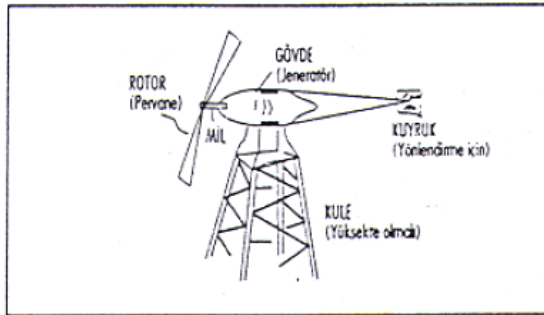
gerçekleştiği veya desteklendiği görülecektir [5].

Birinci yaklaşım, gelişmiş batı ülkelerinin çevresel kaygıların ön plana çıkmasıyla ve uluslararası imzalanan protokol şartlarının sağlanması amacıyla çevre politikalarıyla uyumlu, enerji politikalarının çerçevesinde rüzgâr enerjisinin desteklenmesi eğilimi iken, diğer hâkim yaklaşım ise gelişmekte olan ülkelerin hızla artan enerji gereksinimlerini karşılamada kaynak çeşitliliğine gitme, dışa bağımlılıklarını azaltma, kaynağa kolay, çabuk ve ucuz erişme anlamında rüzgâr enerjisine yönelme eğilimidir [5].

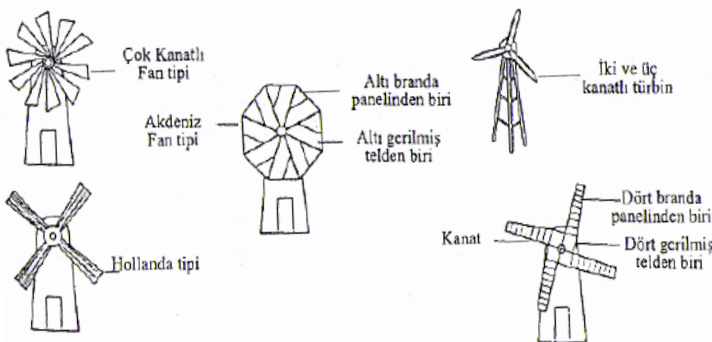
Yaklaşım ne olursa olsun, rüzgâr gücünün hızla benimsenmesinin en temel sebeplerinden biri teknolojinin giderek ucuzluyor olmasıdır [5].

Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri, atmosferdeki sıcaklık ve basınç farkından oluşan rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürün mekanizmalardır [10].



Şekil 1. Tipik bir rüzgâr türbini [11]



Şekil 2. Değişik Rüzgâr türbinleri [6]

Genel olarak rüzgâr türbinleri iki kategoriye ayrılırlar. Birincisi düşey eksenli rüzgâr türbinleri, ikincisi ise yatay eksenli rüzgâr türbinleridir [6]. Elektrik üretim uygulamalarında çoğunlukla yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılır.

Şekil 1’de tipik bir rüzgâr türbini şematize edilmiştir. Şimdiye kadar kullanılan değişik rüzgâr türbin tipleri ise Şekil 2’de gösterilmiştir.

Modern rüzgâr türbinleri aerodinamik olarak rüzgârın sürüklenme (drag) ve kaldırma (lift) kuvvetlerinden yararlanarak çalışır. Sürüklenme kuvveti rüzgâr esme yönünde türbin yüzeyine, kaldırma kuvveti ise esme yönüne diktir [6].

Bugün itibarıyla, 80 m yüksekliğinde, 80 m çapında ve 2.500 kW enerji kapasitesinde olan dünyanın en güçlü rüzgâr türbini prototipi Hollanda’da bulunmaktadır [12].

Rüzgâr gücü gelişimleri; 200 kW bağımsız türbinlerden, 5 MW’a kadar türbin gruplarından oluşan, özel şahıs mülkiyetinde, şebeke bağlantısız sistemler ve büyüklükleri 5–100 MW (veya daha fazla ancak yaygın olarak 20–50 MW) olan ticari amaçlı rüzgâr tarlaları biçiminde gerçekleşmektedir [5].

Piyasada mevcut olan türbinlerin çoğu 4 m/sn’lik rüzgâr hızlarından başlayarak rüzgâr enerjisi üretmeye başlar. İşte bu ilk hız değerine, rüzgâr türbini enerji üretimine başlama (cut-in) hızı adı verilir. Bu hızdan daha düşük olan türbinlerden rüzgâr enerjisinin üretilmesi mümkün olmaz. Genel olarak bu hız, V_0 notasyonu ile gösterilir. Bu ilk hız değerinden başlayarak artan rüzgâr hızıyla üretilen enerji miktarı doğru orantılı olarak artar ve birçok çalışmalarda bu artışın doğrusal olduğu kabulü yapılır veya türbin tasarımı buna göre ayarlanır. Bu doğrusal artış V_1 gibi bir üst rüzgâr hızına kadar devam eder. İşte bu üst hız türbin stabilitesi için çok önemlidir. Bu hızdan sonra artık türbinin enerji üretmesine

müsaade edilmez. Pratik uygulamalarda üst hız 25 m/sn'yi pek geçmez [6].

Rüzgâr enerjisi üretmeye elverişli olan bir yere en azından birkaç tane rüzgâr gücünü elektrik enerjisine dönüştürecek türbinin kurulmasıyla rüzgâr çiftlikleri oluşur. Rüzgâr çiftlikleri, kurulmaları uygun yerlere yaklaşık 100–200 m aralıklarla türbinlerin yerleştirilmesi ile ortaya çıkar.

Rüzgâr Kaynaklı Enerji Üretiminin Faydaları

Rüzgâr santrallerinin avantajları; hammaddelerinin atmosferdeki hava olması, kurulumlarının diğer enerji santrallerine göre daha hızlı oluşu, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağı olmaları, enerjide dışa bağımlılığı azaltmaları, fosil yakıt tüketimini azaltmaları neticesinde sera etkisinin azaltımına katkıları, her geçen gün güvenilirliklerinin artması ile maliyetlerinin ucuzlaması, bunun yanında rüzgâr türbinlerinin kurulduğu arazinin tarım alanı olarak kullanılabilmesi gibi sıralanabilir [6].

Rüzgâr enerjisinin diğer enerji türlerine göre en önemli avantajı soğutma suyuna ihtiyaç duymamasıdır [8, 10]. Bu durum rüzgâr enerjisini en zararsız enerji kaynağı haline getirmektedir [8].

Rüzgâr tamamen atmosferde güneş etkileşimi ile meydana gelen yatay hava hareketleri olduğundan, rüzgâr kaynaklı enerji üretim sisteminin hammaddesi bedavadır denebilir. Ancak bu hammadde tamamen meteorolojik şartlara bağlı olduğundan yılın her gününde ve ayında aynı miktarda bulunmaz, değişkenliği oldukça fazladır [6].

Kurulması diğer enerji santrallerine göre daha hızlıdır. Diğer tüm enerji üretim birimlerinin planlanması, projelendirilerek inşasının tamamlanması uzun zamanları ve büyük mali yatırımları gerektirir. Hatta inşaat tamamlandıktan sonra bile hammadde için kaynak noktaları ile ulaşım ve taşıma sürekli sağlanmalıdır. Rüzgâr

türbinlerinin yatırımına karar verdikten sonra mali bütçenin de hazır olması ile üç ay gibi kısa bir zaman zarfında inşası tamamlanarak üretime başlanabilir [6].

Diğer taraftan, rüzgâr türbinlerinin ömrü 30–40 yıl olarak garanti edildiğinden, yatırım maliyeti uzun vadede azdır. Bir rüzgâr türbininin yatırım maliyeti yaklaşık 2–3 sene içinde kendisini amorte edebilmektedir [6]. Enerjide dışa bağımlılığı da azaltan rüzgâr kaynaklı enerji üretim sistemleri teknolojik ilerlemeler sayesinde her gün daha da ucuzlamaktadır.

Rüzgâr enerjisinin hammaddesi tamamen atmosferdeki hava hareketleri olduğundan hava veya çevre kirlenmesi şeklinde bir kirletici etkisi bulunmamaktadır [6]. Rüzgârdan enerji eldesi için kullanılan 1 MW kapasiteli bir türbin, aynı enerji kömür ile çalışan bir santralden karşılanmak istendiğinde yakılacak olan ve 135.000 ağacın üretebileceği oksijeni tasarruf etmek demektir [9].

Klasik konvansiyonel enerji kaynaklarının ömürleri sınırlı iken, rüzgâr enerjisinin az olan miktarına karşılık böyle bir ömür sorunu yoktur. Bu bakımdan rüzgâr enerjisi sürdürülebilirdir [6].

Rüzgâr enerjisi kullanımının artması ve yaygınlaşması ile çevre kirliliğine sebep olan fosil yakıt kullanımının azalması ve bu sebeple fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı artışının da azalması ve ozon tabakasında iyileşmeler ile iklim değişikliği hususunda normale dönüşün sağlanabileceği düşünülmektedir.

Herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yapmamaları, atık üretmemeleri, hammadde için dışarıya bağımlı olmamaları, teknolojilerinin basitliği, atmosfere ısı emisyonlarının olmaması, işletmeye alınma sürelerinin kısalığı gibi avantajlar rüzgâr türbinlerini günden güne tüm dünyada daha da popüler yapmaktadır [9].

3. ÇEVRESEL ETKİLER

Rüzgâr santrallerinin çevresel etkileri; arazi kullanımı, gürültü, görsel ve estetik etkiler, doğal hayat ve habitata etki, elektromanyetik alan etkisi, gölge ve titreşimler olarak sıralanabilir [13]. Ayrıca kesikli bir enerji kaynağı olması da dezavantaj olarak söylenebilir.

Yer Seçimi ve Alan ihtiyacı

Rüzgâr enerjisi uygulamaları ve gelişimlerin çevresel etkileri konuları temel olarak “arazi kullanım ilişkileri/uygunluğu” bağlamında fiziksel planlamanın bir problemi olarak ele alınabilir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin bir kara parçası üzerinde gerçekleşmesi, yer seçtiği alanı yeni arazi kullanım biçimine dönüştürmektedir [5]. Deniz üzerindeki kurulumlar ise deniz hayatını etkilemektedir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretilmesi için kullanılacak türbin çiftlikleri büyük alanlara ihtiyaç duymaktadırlar. Noktasal olmayan yayılmış bir formda olan rüzgâr enerjisi gibi bir enerjinin, engelsiz ortamda toplanmasıyla elektriğin üretilmesi, geleneksel sistemlerde kullanılan birim elektrik üretimi başına alandan çok daha fazla alan gerektirir [5]. 1 MW elektrik üretimi için 700–1000 m² arazi gerekmektedir. Ayrıca bu araziye insanın girmesi de tehlikelidir [8, 10].

Yer kullanımı rüzgâr türbinlerinin yerleşiminden etkilenen bugünkü ve gelecekteki kullanımların değişimi olarak anlatılabilir.

Büyük alanlar gerektiren büyük ve orta ölçekli rüzgâr tarlaları yaygın olarak yerleşmeler dışındaki, uzak, açık alanlarda, kırsal alanlarda yer seçmektedir. Kırsal alanlarda yer seçtiği durumlarda, rüzgâr türbinlerinin kurulduğu alanın toplam proje alanının yaklaşık %1-3'ünü kaplarlar. Kalan %97-99'luk boş kısım ise diğer kullanımlara açık olması itibari ile tarımsal

faaliyet yapılarak arazinin ikili kullanımı sağlanabilmektedir [5, 7, 14].

Rüzgâr santralleri tarımsal arazi kullanımı ile uygunluk gösterirken, diğer açık ve doğal alanlarda yer seçimi durumunda arazinin mevcut kullanımı ile çelişki gösterebilmektedir. Rüzgârın bol, hızının yeterli olduğu alanlar çoğu zaman doğal niteliği korunacak alanlar, milli parklar, özel nitelikli alanlar, arkeolojik ve tarihi alanlarla çakışabilmektedir [5].

Türbin kurulumu ve buna bağlı elektrik bağlantı yapıları, kablolama ve yollardan dolayı habitatta bir değişiklik olacaktır. Ancak bu değişim arazinin tamamını etkileyecek düzeyde büyük değil, küçük çaplıdır.

Türbinler çalışma hayatlarının sonuna geldiklerinde sökülebilmekte ve buldukları alan farklı amaçlar için kullanılabilir.

Gürültü Etkisi

Gürültü istenmeyen ses olarak tanımlanır. Nicel olarak ölçülebilir, desibel ile ölçülür. Gürültünün yayılmasını etkileyen en önemli faktörler; gürültü kaynağı tipi, kaynaktan uzaklık, rüzgâr hızı, sıcaklık, nem, bariyerlerin ve yapıların basıncıdır [14].

Rüzgâr çiftlikleri gürültüye sebep olmaktadır [13]. Rüzgâr türbininin pervanelerinden kaynaklanan gürültü kaynak tipine bağlı olarak iki farklı şekilde incelenebilir: Mekanik ve aerodinamik gürültü. Mekanik gürültü vites kutusundan, jeneratörden ve mil yatağından ileri gelir. Aerodinamik gürültü ise döner pervanelerden kaynaklanır. Dönüşüm sistemi ne kadar büyükse üretilen ses de o kadar yüksek olur [15].

Rüzgâr türbinleri tarafından oluşturulan gürültü, rüzgâr hızının artması ile yükselir. Bu gürültü, duyulabilir ses oranının altındaki düşük frekans boyutundadır. Düşük frekans ses dalgaları evlerin ve diğer yapıların titreşimine neden olmaktadır. Bu durum ancak bu seviyedeki

ses frekanslarına dayanıklı binaların yapılmasıyla ortadan kaldırılabilmektedir [8].

Gürültü seviyesi pervanelerin tipine, hızına, şekline ve özelliklerine bağlıdır. Hız arttıkça ve uygun pervane seçilmedikçe aerodinamik gürültü artar. Aynı zamanda hava akışında türbülans miktarı da önemlidir. Arka plandaki gürültü ise çevre şartları ile değişir. Arka plandaki gürültü rüzgâr hızı, rüzgârın yapılar, ağaçlar üzerindeki kuvveti ile trafik gürültüsü ve çiftlik aktiviteleri gibi faktörlerle ilişkilidir [15].

Rüzgâr türbinlerinden kaynaklanan gürültü ve sesin, yapmış oldukları titreşimlerin insanlara, binalara ve diğer canlılara çeşitli olumsuz etkileri vardır [10].

Gürültü insanlar üzerinde sinirlilik, memnuniyetsizlik, sıkıntı, konuşma ve duyma yetilerinde azalma ya da aksaklık gibi etkiler oluşturabilir [14]. Gürültünün sürekli olması halinde duyuyu kaybı kalıcı olabilir.

Algılanan ses seviyesinde uzaklık çok önemli bir rol oynar. Rüzgâr türbinleri gürültüsü orta ses basınç seviyesindedir (50 dBA'dan küçük, türbin ile alıcı arasındaki mesafe 200–300 metre). Tipik olarak modern rüzgâr türbini ses güç seviyesi 100–106 dBA arasındadır. (Tipik rüzgâr hızı 8 m/sn'dir) [14].

Türbin sayıları ve etkileri değerlendirilirken desibel ölçütü dikkatli yapılmalıdır. 1 MW'dan yüksek kapasiteli rüzgâr türbini 104 dBA ses gücü seviyesine sahiptir. Aynı ses gücü seviyesine sahip ikinci bir türbin yerleştirildiğinde 3 dBA'lık artış olur. Kaynaktan uzaklaştıkça ses seviyesi düşer [14].

Özet olarak, algılanan gürültü çevreyi saran ses ve arka plandaki sesi ile rüzgâr türbini gürültüsünün toplamıdır. Endüstriyel ve kentsel alanda çevredeki ses türbin sesini örter [14].

Elektromanyetik Alana Etki

Rüzgâr türbini veya üretim donanımı elektromanyetik alana tesir edip Radyo-TV alıcılarında parazit yapabilirler. Bunun en temel sebebi türbin kanatlarıdır. Bu kanatlar dönerken radyo ve TV alıcıları ile radyo dalgalarını geri yansıtır, parazit yapar, kuleler de sinyalleri yansıtabilir. Fakat engellenmesi basit ve ucuzdur [8, 10, 14, 15].

Habitata Etki

Türbinler doğal hayata ve habitata da çeşitli etkilerde bulunur. Etkiler canlı türlerine, mevsime ve yer özelliğine bağlı olarak değişir [14].

Kanatlar üzerinde önemli derecede böcek birikmesi türbin verimini düşürmektedir. Ayrıca türbinler kuş ölümlerine de sebep olmaktadır. Kuşlar bu rüzgâr türbinlerine doğru sürüklenmekte, çok hızlı dönen pervanelerden kaçamamakta ve ölmektedirler [8, 13]. Bu nedenle rüzgâr tarlaları doğal koruma alanlarının en az 300 m ilerisine kurulmalıdır [16].

ABD California'da, Blyth Harbour rüzgâr tarlası yakınlarında, içlerinde nadir kuş türlerinin de bulunduğu yaklaşık 1.000 hayvan ölü bulunmuştur [8]. Aynı şekilde 2001 yılında Atlanta Rosstaki'de yapılan bir çalışmada, işletmedeki 15.000 türbinin 33.000 kuşun ölümüne sebep olduğu görülmüştür. Buradaki türbinler eski ve küçük makinelerdir. Kapasite aralıkları 100–250 kW arasında değişmektedir [14].

Ayrıca rüzgâr enerjisiyle büyük ölçülerde elektrik üretimi, rüzgâr hızının azalmasına neden olur. Yakın bölgelerdeki göllerin yüzeyindeki buharlaşmanın bu sebepten dolayı azalması neticesinde göller daha sıcak hale gelirler. Ayrıca toprak nemi de yükselir. Bütün bu olumsuzluklar ekosistemin etkilenmesine neden olur [8, 10].

Habitatların kaybı veya zarar görmesi türbin temelleri, güç istasyonları

giriş kanalları ve iletim hatları koridorlarından dolayı olur [14].

Görsel Etkiler

Enerji üretmek amacıyla kurulan rüzgâr çiftliklerinin görsel etkilerinden söz etmek mümkündür [13]. Görsellik, estetik subjektif bir olgudur. Ancak temel kıstas, doğaya uyumlu bütünleşmiş bir görsel etkinin oluşturulmasıdır [5].

Rüzgâr türbinlerinin yerleşimi çevrenin görsel ve estetik özelliklerini etkilemektedir. Görsel etkinin insan faktörü üzerinde direkt etkisi vardır. Doğal ve bölgesel korunan alanlar rüzgâr enerjisinin görsel etkisine karşı daha hassastır. Modern türbinler boyut olarak ve kapasite olarak daha büyük olmakta ve görünümde daha baskın olmaktadır. Bu durumlarda türbinler arası mesafe artmakta ve bölgedeki yoğunluk düşmektedir. Gelişen teknoloji yüksek dönme hızlarına sahip yoğun gruplanmayı düşürmekte daha düşük dönme hızına sahip daha büyük makineler getirmektedir. Işıklandırma da türbinlerin görsel etkilerinden sayılır [14].

Kesintili Olması

Rüzgâr düzenli olmayıp kesintili olduğundan kontrolü güçtür [11]. Rüzgâr kaynağı açısından cazip yerlerin genellikle bölgesel tüketimin düşük olduğu şebekenin uç noktaları olması büyük kapasitede rüzgâr santrali tesisi durumunda yeni iletim hatları gerektirmekte ve bunlarla ilgili yatırımlar ve enerjinin uzak noktalara taşınması nedeniyle kayıpların artması gibi olumsuzluklara sebep olmaktadır. Elektrik üretiminin güvenilir olmaması, tutulan üretim rezervinin arttırılmasını ve elektrik üretiminin yedeklenmesini, bir başka deyişle, her bir MW rüzgâr santrali için bir MW'ta güvenilir yedek kapasite oluşturulmasını gerektirmektedir [7].

Rüzgâr türbinlerinden kaynaklanan muhtemel olumsuz çevresel etkiler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 3'te çevresel etkilerin etki dereceleri verilmiştir.

Çizelge 2. Potansiyel olumsuz çevresel etkiler [14]

Etkilenen	Etki
Kuşlar	Türbinlere çarpma sonucunda ölüm
	İşletmede olan türbinlerden ve inşaa, bakım ve söküm esnasında çıkan gürültüden dolayı yavrulama ve beslenme alanlarına zarar vermesi
Memeliler	Gürültü, pervane hareketleri, besin zincirine olan müdahaleler, kazalar, elektromanyetik alanlar ve titreşimden dolayı habitatın bozulması
Balıklar	Suda bulanıklık, gürültü, titreşim ve elektromanyetik alan oluşturması ile kazalar ve yapay kayalıkların inşaaı balık ve balık larvalarına üzerinde olumsuz etki
Su altı flora ve faunası	Tesis kurulumu ve kablolar ile kazalar sonucu oluşan kayıplar
Kıyı şeridi	Kablolar ve kazalardan dolayı akış ve tabanda olan değişiklikler
Tüm canlılar	Görsel etki neticesinde manzaranın bozulması ve muhtemel psikolojik etkiler
	Gürültü, elektromanyetik alan etkisi

Çizelge 3. Çevresel etkilerin derecelendirilmesi [14]

Etkiler	İndikatör
Kuşlar	1,5
Görsel etki	1,5
Eğilence yerleri	1,8
Gürültü	2,0
Balık	2,2
Deniz biyolojisi	2,3
Deniz memelileri	2,4
Deniz akıntıları	2,4
Deniz arkeolojisi	2,4
Deniz tabanı	2,5
Su kalitesi	2,5

1: çok önemli; 2: orta derecede önemli; 3: düşük seviyede önemli

SONUÇ VE ÖNERİLER

Rüzgâr enerjisi, dünyadaki enerji sorununa atmosferde doğal olarak oluşması ve çevre kirliliği oluşturmaması gibi özellikleriyle uygun alanlarda çözüm olabilecek bir enerji kaynağıdır.

Bir rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi projesi değerlendirilirken şu hususlar dikkate alınmalıdır; yer seçimi, rüzgâr kaynağı özellikleri, alanın mevcut özellikleri, tahsisli-düzenli koruma alanları, görsel etki, gürültü etkisi, ekolojik etkiler, arkeolojik alanlar, manyetik alan etkileşimi, trafik yönetimi, turistik ve rekreasyonel etkiler ve küresel çevresel etkileri. Proje yukarıda sayılan çevresel etkilere çözüm içermelidir.

Çevresel etkilerin azaltılması ve düzenli gelişimin sağlanması amacıyla hazırlanan projeler rüzgâr çiftliklerinin arazinin mevcut doğal yapısına, peyzajına en uygun şekilde yerleştirilmesini sağlamalıdır. Topografyanın düz ve açık olduğu alanlarda türbinler basit ve kolay algılanabilir geometrik dizilimde konumlandırılmalıdır. Eğimli arazilerde ise türbinler eğim çizgilerine paralel, doğal doku ve yapıya uyumlu bir şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgâr çiftliğinin büyüklüğü ve yoğunluğu seçilen alanın taşıma kapasitesine uygun olmalı ve türbinlerin kümülatif etkileri endüstriyel bir etkiden uzak olmalı, doğayla bütünleşmiş doğal bir görsel etki yaratmalıdır.

Arazi kullanım çelişkilerini ortadan kaldırmak veya arazi üzerindeki rekabeti minimize etmek için öncelikle rüzgâr haritasının ve bölgesel planların üst üste oturtulması, uygun yerleşilebilir alanların belirlenebilmesi için eşik paftaların üretilmesi gerekmektedir. Yerleşim alanları, koruma alanları gibi sakıncalı bölgelerin çıkartılmasından sonra geriye kalan rüzgârlı alanlar rüzgâr gücü girişimleri için uygun alanları oluşturacaktır. Böyle bir çalışmanın olmadığı durumlarda sözü edilen koruma

alanlarında rüzgâr santrallerinin kurulabilmeleri için ilgili kurum ve kuruluşların görüşlerine, izinlerine başvurulmalıdır. Ancak bu kurum ve kuruluşların rüzgâr çiftliklerinin kurulmasına dair çerçevesi net olarak çizilmiş mevzuatları oluşturmaları gerekmektedir.

Rüzgâr hızı, yönü, nemlilik, sıcaklık farkları gibi meteorolojik şartlara ilave olarak atmosferdeki hava hareketlerinin genel esiş yönleri ile arazi yüzey şekilleri üretilen enerji miktarı üzerine tesir edecekleri için, türbin yerlerinin seçiminden önce arazi çalışmaları ve ölçümlerle fizibilite hesaplarının yapılması rüzgâr özelliklerinin tüm detaylarıyla bilinmesi gereklidir. Türbin yerleşimi ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için uzun süreli, güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Rüzgâr santralının kurulacağı yerin seçiminde yeterli rüzgâr potansiyeli ve arazi imkânından başka iletim hattına uzaklığı, trafo gücü, sit alanı ve/veya doğal koruma, milli park alanı olup olmaması, yakınında uzun mesafeli alıcı-verici antenler ve bağlantı hatları bulunmaması ayrıca göçmen kuşların uçuş yolları üzerinde olmaması gibi özelliklere dikkat edilmelidir.

Muhtemel olumsuz çevresel etkilerden dolayı yerleşim yerlerinin rüzgâr santrallerine 500 m'den fazla yaklaşmasına izin verilmemelidir. İngiltere başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde büyük rüzgâr türbinlerinin yarattığı çevre sorunları nedeniyle milli park alanlarının sınırları içine ve çok yakınlarına kurulması yasaklanmıştır [8].

Çoğu çevresel etkiler için bilgisayar ortamında yaratılacak simülasyonlarla, 3d programların yardımıyla bu etkiler test edilebilir, alternatif yer seçimleri veya türbin dizilim tasarımları arasından en uygunu seçilebilir.

Gürültü ve radyo ve televizyon sinyalleri ile parazit etkisi uygun pervane

kanadı malzemesi seçilerek ve türbinlerin dikkatli yerleşimi ile engellenebilir. Rüzgâr türbinleri toplamda en az rahatsızlığa sebep olacak şekilde yerleştirilmelidir. Ayrıca pervane gürültüsü türbinler ve yerleşim yerleri arasında tampon bölge oluşturarak dengelenebilir. Yeni teknolojiler ve dizaynlar türbin gürültüsünü minimize edebilirler.

Küçük rüzgâr türbinlerinde mekanik gürültü hâkimdir. Jeneratör ve vites kutusundan gelen ses çeşitli dizaynlar ile minimize edilebilir. Kalan ses ise ses yalıtımı ve yalıtım malzemeleri ile düşürülebilir. Bu tip sesi perdelemek aerodinamik sesten daha kolaydır. Rüzgâr türbininin boyutu arttıkça aerodinamik katkı artar. Aerodinamik gürültü pervaneler daha ince yapılarak azaltılabilir.

Kuşlar üzerindeki olumsuz etkileri önlemek için türbinlerin düzenli yerleşimi çok önemlidir. Ayrıca türbinler yerleştirilirken göç yollarından ve endemik ve özel habitat alanlarından kaçınılmalı, kablolar yeraltından geçirilmelidir.

Bir rüzgâr çiftliği ister karaya ister denize kurulsun kurulduğu yerdeki habitata bir etkide bulunacaktır. Bu etkinin en az seviyede olması için orada yaşayan canlıların yuva, avlanma ve dinlenme alanlarında tahribat yapmamaya azami derecede özen gösterilmelidir.

Çevresel etkilerin çoğu teknolojik imkânlar ve düzenli yerleştirilen rüzgâr tesisleri sayesinde azaltılıp hatta tamamen çözüme kavuşturulabilir.

KAYNAKLAR

- [1]. BOYNUKARA Adnan, “Enerji Savaşları Devrinde Türkiye’de Enerji”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 2004.
- [2]. KAVAS Ahmet Oktay, “Enerji Politikaları, Üretimi ve Fiyatlandırılması”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 2004.
- [3]. ALTIN Vural, “Enerji Sorunu ve Türkiye”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 2004.

- [4]. TOPÇU Sema, MENTEŞ Ş. Sibel, YURDANUR S. Ünal, ASLAN Zafer, “Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesinde Yer Seçiminin Önemi: Sinop Örneği”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, II. Çevre ve Enerji Kongresi, İstanbul, 15–16–17 Kasım 2001.

- [5]. PEKER Zeynep, “Rüzgâr Enerjisinin Çevresel Etkileri ve Bu Etkilerin Azaltılmasında Planlamanın Rolü”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, II. Çevre ve Enerji Kongresi, İstanbul, 15–16–17 Kasım 2001.

- [6]. ŞEN Zekâi, “Temiz Enerji ve Kaynakları”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.

- [7]. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, DPT: 2569 – ÖİK: 585, Ankara, 2001.

- [8]. AKKAYA Ali Volkan, AKKAYA KOCA Ebru, DAĞDAŞ Ahmet, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açından Değerlendirilmesi”, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt I, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 16–18 Ekim 2002.

- [9]. Bursa Çevre Merkezi, “BÇM Aktüel”, Aylık bülten, www.bcm.org.tr, Bursa, Mayıs, 2000.

- [10]. KÜLTÜR Ömer Faruk, “Enerji ve Çevre İlişkisi”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 2004.

- [11]. BİLİR Şefik, “Alternatif Enerji Sistemleri”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 2004.

- [12]. Bursa Çevre Merkezi, “BÇM Aktüel”, Aylık bülten, www.bcm.org.tr, Bursa, Kasım, 2000.

- [13]. Türkiye Çevre Vakfı, “Türkiye’nin Çevre Sorunları 2003”, Ankara, 2003.

- [14]. The European Wind Energy Association, “Wind Energy – The Facts Volume 4 Environment”, Belgium, 2003.

- [15]. Discussion, “Footprints in the Wind? Environmental impacts of wind power development”, Refocus, volume 3, issues 5, pages 30-33, September-October, 2002.

- [16]. Pimentel, D., Rodrigues, G., and et. al, “Renewable Energy: Economics and Environmental Issues”, Bioscience, volume 44, no: 8, September, 1994.