

METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1301 - 1103

TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI • YIL 2001 • SAYI: 2



Rüzgar Enerjisi

TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI

YIL 2001 • SAYI: 2

ISSN 1301 - 1103

**TMMOB
METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ
ODASI ADINA
SAHİBİ ve SORUMLU
YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ**

Çetin GÜL

YAYIN KURULU

İsmail KÜÇÜK
Eşref BATUR
Meral ŞENOCAK
Hamza ÖZGÜLER
Ömer KARACA
Murat DURAK

YÖNETİM YERİ

Sümer 1. Sokak No: 12/8 Kızılay-ANKARA
TEL: 0312 231 55 35
<http://www.meteoroloji.org.tr>

*Meteoroloji Mühendisliği TMMOB Meteoroloji
Mühendisleri Odası Yayınıdır. Üç ayda bir
yayınlanır. Odamızın amaç ilke ve yayın koşullarına
uygun bilimsel ve teknik yazılar yayınlanır.
Yayınlanan yazıların sorumluluğu yazarına aittir.
Dergide yayınlanan yazılar kaynak gösterilmeden
kullanılamaz.*

ODAMIZIN HESAP NUMARALARI

Posta Çeki No:
TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası
105616

BANKA HESAP NO:

T.C. Ziraat Bankası Kızılay Şubesi
217624
Yapı Kredi Bankası Anafartalar Şubesi
1035019-9
Türkiye İş Bankası Yenışehir Şubesi
4218-3419634

DİZGİ ve TASARIM

PLAR

Yüksel Cad. No: 35/12 Yenışehir-ANKARA
Tel: 0312 432 01 83-93 • Faks: 0312 432 54 22
e-posta: plar@isbank.net.tr

BASKI

Odak Ofset
Tel: (0.312) 230 02 49

İÇİNDEKİLER

İLK SÖZ YERİNE	2
ENERJİ METEOROLOJİSİ	3
ENERJİ ÜRETİMİNİN ATMOSFERİK SERA GAZLARINA VE KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ	7
RÜZGAR ENERJİSİ	15
RÜZGARIN TEHLİKELİ SOĞUTUCU ETKİSİ	23
RÜZGAR ENERJİSİ	26
RÜZGAR ENERJİSİ ve TÜRKİYE GERÇEĞİ	29
RÜZGAR ENERJİSİ MALİYETLERİ	35
AKHİSAR RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALI İÇİN RÜZGAR TÜRBİNİ MİKROKONUŞLANDIRMASI	40
DALGA ENERJİSİ VE METEOROLOJİ	45

YAYIM KOŞULLARI:

Dergide aşağıdaki konularda çalışmalar ve tercümelemler yayınlanır. Meteoroloji Klimatoloji, Hidroloji, Çevre, Şehir Meteorolojisi, Hava Kirliliği, Enerji (Hidro-Elektrik, Güneş, Rüzgar, Nükleer) Uzaktan Algılama (Hidroloji ve Meteoroloji konularında) Meteorolojik Doğal Afetler, Oşinografi, Açık Kanal Hidroloji Tarımsal Meteoroloji, İstatistik, Genel Matematik, Genel Fizik, Bilgisayar Uygulamaları.

Dergiye gönderilecek yazılar, A4 kağıdının bir yüzüne daktilo (veya yazıcı) ile çift aralıklı olarak ve 10 sayfayı geçmeyecek, kenarlardan 2.5 cm boşluk olacak şekilde ve ayrıca 3.5'lik diskete kayıtlı olarak gönderilmelidir.

Şekiller, tablolar ve resimler net olmalı. Yapılabiliyorsa şekiller aydınlar kağıdına 0.3-0.4 mm uçlu kalemle çizilmelidir.

Gönderilen eserler şu kısımlardan oluşturulmalıdır. Başlık, Yazarlar (Görevler ve yazışma adresleri), özet (150 kelimeyi geçmemelidir). Metin (Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular, Tartışma, gerekirse Sonuç ve Öneriler), Kaynaklar.

Yazıların yayınlanabilmesi için daha önce başka bir dergide yayınlanmamış olması gerekir. Yazıların her türlü sorumluluğu yazarına aittir.

Yayınlanmayan yazılar geri gönderilmez.

Lisans, Master ve Doktora tezlerinin bir sayfa geçmeyecek olan özetleri yayınlanır.

Yayınlanan yazılarla ilgili eleştirilerinizin yayınlanmasını istiyorsanız Yayın Kurulu'na ulaştırınız.

İLK SÖZ YERİNE

Hava kirliliğine ve küresel ısınmaya neden olan fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılması uluslararası sözleşmelerle yapılmaya çalışılmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan kaynakların %50'lik bölümü enerji üretiminden kaynaklanmaktadır. Her şeye rağmen insan yaşamının ikincil enerjiye bağımlı hale geldiği günümüzde alışkanlıklarımızı terk etmek kolay görülmemektedir.

Fosil yakıtların kirlenici etkisi ve tükenebilirliği göz önüne alındığında yapılması gereken en önemli çalışmalardan bir tanesi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir. Bu kaynaklarda öncelikle Rüzgar, Dalga ve Güneş Enerjisi olarak görülmektedir. Ülkemizde unutulmuş enerji alanlarından bir tanesi de Dalga enerjisidir. Ülkemizin üç yanının denizlerle çevrili olmasına rağmen bu konulardaki çalışmalardan ve araştırmalardan söz etmemiz mümkün değildir. Yenilenebilir enerji santralleri için araştırmalar ve geliştirilen teknolojiler yenilenebilir enerjilerin daha ekonomik olmasını sağlayacak yöndedir.

Yenilenebilir enerji alanında yapılacak olan yatırımlar için yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Bu alanlardaki yasal düzenlemeler projelerde kullanılacak verilerin yeterli sağlıklılıkla olmasına ve denetlenmesine olanak tanımalıdır. Özellikle rüzgar enerjisi alanında yapılan yatırımlarda enerji kaynağının meteorolojik bir parametre olmasına karşın bu yatırımlarda Meteoroloji Mühendisliği'nin ve Meteoroloji Mühendisleri Odası'nın yerini aldığı söylenemez. Yatırımların büyük kaynaklar gerektirmesinin yanı sıra ülkemizdeki enerji planlamasında yerini alacağından karşılaşılabilecek eksiklikleri gidermek ve ileride daha da zor durumlarda kalmamamız için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu alanda Meteoroloji Mühendisleri Odası'nın SMM Yönetmeliği mutlaka uygulamaya konmalıdır.

Ulusal enerji politikamızın oluşturulmasında ülkemizin coğrafyasına bağlı olarak yıllara göre hangi alanda hangi enerjiden ne ölçüde yararlanabileceğimizi ortaya koymamız gerekiyor. Temiz enerji kaynaklarımızdan ekolojik değerleri koruyarak yararlanmamız konusunda projeler geliştirmek zorundayız. Enerji gereksinimimizi dışa bağımlı olarak günlük politikalarla çözdüğümüz sürece ilerleyen yıllarda içinden çıkılması çok daha zor durumlara karşılaşmamız kaçınılmaz olacaktır.

Hava kirliliğinin önlenmesinde meteorolojik koşulların dikkate alınarak yapılması gereken şehirleşme planları yerine rastgele oluşturulan şehirleri hava kirliliğinden korumanın yolunun doğalgaz olduğu görülmüştür. Ancak doğalgazında bilinçsizce kullanımı bu kaynağa bağlı hava kirliliği yaratacağı göz ardı edilmemelidir. Doğalgaz, ısınmanın yanı sıra ikincil enerji kaynaklarımızı da belirleyici duruma gelmektedir. Bu yöntemle dışa bağımlı kalmamızın yanı sıra dış ödemeler dengemizin de bozulduğu gerçeği gözden kaçırılmamalıdır.

Üretim ve tüketim birbirlerini besleyen ve yönlendiren ana etmenlerdir. En az maliyetle en kaliteli üretimi yapabilenler devamlılıklarını sağlayabilmektedirler. Herhangi bir alanda üretim yapanlar karşıtları ile mücadelesinde başarıya ulaşmada uygulayacağı yöntem bol ve ucuz enerji kaynaklarına ulaşmanın yollarını elde etmelerine bağlıdır. Böyle bir mücadele içerisinde bulunanlar doğal olarak karşıt kesimin bu kaynaklardan yoksun kalmaları için gerekli engellemeleri yapmaktadırlar.

Küreselleşme politikalarının bütün dünyada egemen kılınmaya başladığı günlerde yapılan/ yapılmaya çalışılan düzenlemeler ise hayati öneme sahip olan alanları kapsamaktadır. Hizmet Ticareti Genel Anlaşması (GATS) görüşmeleri onbir ana başlık altında yürütülmektedir. Bu alanlardan bir tanesi de enerji üretim ve iletim alanıdır. Ülkemizde yaşamsal önemi olan bütün alanlar IMF'nin direktifleri doğrultusunda oluşturulan kurullarla yönetilmeye çalışılmaktadır. Bu kurullara bir çok görev yüklenirken bu alanlarda hizmet veren ulusal kurumlar ise yok edilmeye çalışılmaktadır. Oysa bilinmektedir ki ulusal kaynaklara yönelik verilerin toplanması ve Ar-Ge faaliyetlerinin de yapılması gerekmektedir. Bu alanları sadece yönetilecek (!) alan olarak görmenin ulusal kaynaklarımızın harekete geçirilmesinde yeterli katkısı olacak mıdır?

1976 petrol şokları dünyada çok önemli sorunlar yaşanmasına neden olmuştur. Ülkemiz üzerinden geçmekte olan boru hatları ile yaşamımızın her alanını bağlamış durumdayız. Bu bağımlılığımız şiddetlenerek devam etmektedir. Mevcut durum bu şekilde devam ettiği sürece gelecekte karşılaşılabileceğimiz durumlar hakkında öngörülerde bulunabiliriz. Bunun için yaşadığımız olaylar üzerinden senaryolar üretmemiz yeterli olacaktır. Karşılaştığımız sorunları günlük politikalarla çözmek anlayışından vazgeçerek, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi amacıyla dışa bağımlı olmayacağımız, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları konusunda Ar-Ge faaliyetlerine önem vererek bu çalışmalarını desteklemeliyiz.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanabilmek için meteorolojik çalışmaların yeterli seviyeye çıkarılması gerekmektedir. Atmosferik veriye bağlı olarak üretilecek yada üretilmesi düşünülen enerji için gerekli parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu alandaki görevimizi yeterince yaptığımız söylenemez.

Meteoroloji Mühendisliği'nin yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki yerini göstermek amacıyla bu sayımıza Enerji Meteorolojisi ile başlıyoruz. Atmosferik sera gazlarının küresel ısınmaya etkisi üzerinde durduktan sonra rüzgar enerjisi ile devam ediyoruz. Ülkemiz için çok önemli olduğunu düşündüğümüz enerji kaynaklarından Dalga enerjisine de dikkat çekmek istedik. Bu konu üzerindeki araştırma çalışmaları için mutlaka görevlendirmeler yapılmalıdır.

Özellikle enerji alanında Ulusal politikamızı günlük çözümlerden kurtaracak şekilde belirlemeliyiz.

Yayın Kurulu Adına
İsmail KÜÇÜK

ENERJİ METEOROLOJİSİ

Zekai Şen

Prof. Dr., İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Enerji sorunlarının ne denli giderek büyüdüğü ve ülkemizin enerji açığının dışa bağımlılıkla giderilebileceği gerçeği bugün halka bile mal olmuştur. Kamu oyununda en fazla konuşulan konulardan bir tanesi de enerji sorunu, açığı, faturası, kısıtlaması ve tasarrufu gibi konulardır. Fosil kaynakların ülkemizde yeterli miktarlarda bulunmaması, bulunsa bile uzun vadede bu kaynakların dünyanın her ülkesinde yetersiz olacağı şimdiden yapılan ve ömür biçilen bir öngörüdür. Özellikle fosil kaynakların yakılması sonucunda atmosferin doğal dengesini bozacak oranlarda kirlenmesi sonucunda ortaya birçok meslek grubunun ilgi alanına giren sorunlar çıkmıştır. Bu sorunları kendi alanında görmesi gerekli meslek gruplarının başında meteoroloji gelmektedir. Atmosfer bilimcisi ve özellikle de meteorologlar için bunun iki taraflı yönü vardır. Bir taraftan atmosfer kirlenmesinin önlenmesi, diğer taraftan meteorolojik olaylar sonucunda atmosferdeki ışınım ve hareketler sonunda ortaya çıkan muazzam ve temiz enerji kaynakları ile ilgilenilmesidir. Bu bakımdan, yaklaşık 5 yıl önce dünyada ve birkaç yıl içinde de uzun yıllar başkanlığını yaptığım İTÜ Meteoroloji Bölümü'nde ders müfredatına herşeye rağmen koyduğum "Enerji meteorolojisi" isimli temel bir ders artık kabul edilir hale gelmiştir. Fosil yakıtların dışında çevre dostu temiz enerji kaynaklarından meteoroloji ile ilgili olanlarının kümelendiği böyle bir dersin uzmanlarca ve bu konuda çalışmalarını kendilerini dünyada tanıtmış kişilerce verilerek meteoroloji mesleğine ekmek kapısı açacak bir boyutun el birliği ile geliştirilmesinde yarar görmekteyim. İşte bu yazımızda enerji meteorolojisinin tanımı, içeriği ve Türkiye için önemi üzerinde kısaca durulacaktır.

YAPAY ATMOSFER SORUNLARI

Birleşmiş Milletler Teşkilatı tarafından 1970 yılından beri yapılan değişik ulusal ve uluslararası toplantılarda "Sera Etkisi" ve "İklim Değişikliği" konuları büyük bir heyecan ile bütün dünyada konuşulur hale gelmiştir. Bu olaylar evlerde, endüstride ve ulaşımda sınırsızca kullanılan fosil kaynaklı yakıtların atmosferde meydana getirdikleri kimyasal konsantrasyon artımları ile ilgilidir. Atmosfer terkinindeki bu değişimlerin meteorolojik olayların aracılığı ile karışması ile dünyanın her yerine yayılmaktadır. Bu bakımdan meteoroloji ve enerji ikilisinin anlamlı bilimsel birleşmesi de gündeme gelmektedir. Bu iki konunun birleşmesi ile enerji meteorolojisi konusu dünyada ağırlık kazanmıştır. Böylece bu olayların gelecekteki faaliyetleri nasıl etkileyeceği konularında birçok teori ve fikirler ileriye sürülmektedir. Atmosferin doğal kimyasal birleşimindeki bu değişikliklerle sanki yapay bir atmosfer meydana gelmiş olmaktadır. İşte bu yapay atmosferinde tüm insanlık için ortak olabilecek mahzurları bulunur. Bu bakımdan atmosferimizi mümkün olduğu kadar az kirleticilerle yükleyerek doğal dengesine yakın tutmalıyız ki gelecek nesillerde atmosfer nimetinden yararlanabilsinler. Bu kirlenmenin en önemli nedeni fosil yakıtların cömertçe tüketilmesidir. İşte bu gidişe yeter demenin bir yolu temiz ve atmosfer kirlenmesine sebep olmayacak rüzgar, güneş, dalga, gel-git, su gibi temiz güçlerden yararlanmaktır. Atmosferi kirleten sebepler arasında aşağıdakilerin olduğu kanaati artık herkesde belirmiştir.

(a) Atmosferde sera etkisinin meydana gelmesinde rol oynayan gazların yoğunluğu insan faaliyetlerini sürdürebilmesi için kullandığı fosil yakıtlar sonunda ortaya çıkmaktadır.

(b) Gerekli tedbirlerin alınmaması halinde atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu 2050 yılına kadar endüstri hareketlerinin başladığı 1800 yıllarındaki miktarın iki katına yaklaşması beklenmektedir.

(c) CO₂ miktarının ikiye katlanması halinde yeryüzünün sıcaklığının da 1.5 ile 4.5°C arasında bir artış olması beklenmektedir.

(d) Yirmibirinci yüzyılın ilk yarısında beklenen bu CO₂ artışının durdurulabilmesi için enerji üretiminden, ormanların tahribinden ve diğer insan faaliyetlerinden oluşacak CO₂ miktarlarının yarıya indirilebilmesi için hertürlü çalışmanın yapılması gerekmektedir.

İşte bu CO₂ artışlarının sonucu olarakta iklim değişikliği daha önceden kısa zamanda misli görülmemiş bir şekilde hızla artarak devam etmektedir.

Bugün için atmosferin dengesini bozarak canlılara zarar verebilecek "sera etkisi" ve "ozon tabakasının incelmesi" gibi iki olay tesbit edilmiştir. Bilhassa yeryüzünün ısınması sorununun çözümü için derhal çarelere baş vurulmalıdır. Atmosferdeki bu kirlenmeyi durdurabilmek için fazlaca temiz enerji kaynaklarının kullanılmasına gayret göstermelidir. Bunun için aşağıdaki tedbirlerin alınması faydalıdır.

(a) Topluluk halinde insanların yaşadıkları yer olan şehirlere iklim değişikliğinin etkisi diğer yerlerden daha fazla olacağından buralarda fosil enerji kaynaklarının kullanılmasında ya çok iyileştirmelere gidilmesi veya bunların temiz enerji kaynakları ile ikame edilmesi gereklidir.

(b) Hızlı ve verimli iş birliğinin yerel, ulusal ve uluslararası teşkilatlar arasında sağlanması gerekir. Bu bakımdan enerji ile ilgili ders müfredatlarının yeniden gözden geçirilmesi ve özellikle de enerji meteorolojisi konusunun bilimsel ve güncel işleminin yapılması gereklidir.

FOSİL ENERJİ ETKİLERİ

Yeryüzünün iklim sistemindeki güneşten gelen enerji alış verişini gösteren klasik kitaplarda bilgilendirici şekiller vardır. Yeryüzü güneşten aldığı kadar ısıyı yansıtmak sureti ile kendisini belirli bir sıcaklıkta tutabilmektedir. Yeryüzünden yansıtılan ısı enerjisi CO₂, su buharı ve diğer doğal olarak atmosferde bulunan sera gazları tarafından

yutulurlar. Bunun sonucunda bu enerji bulutlar ve hava hareketleri ile atmosferin üst tabakalarına taşınarak oradan radyasyon ile uzaya geri giderler. Sera etkisi bu yutulan enerjinin bir kısmının gitmesine engel olur. Böylece de yeryüzünün ısınmasına katkıda bulunur.

Yeryüzündeki iklim güneşten ışıının ısı dengesine göre şekil alır. Güneşten gelen ışıının bir kısmı su buharı, CO₂, metan ve nitrik oksitler tarafından yutulur. Eğer bu gazlar atmosferin alt tabakası olan troposferde yeterli miktarlarda olmasalardı yeryüzünün sıcaklığı - 18°C olurdu. Bu sıcaklıkta insan, hayvan veya bitkilerin yaşamaları mümkün olamazdı. Doğal sera etkisinin bir sonucu olarak bu canlılar hayatlarını yeryüzünde sürdürebilmektedirler. Çünkü bu doğal sera etkisi sıcaklığın net olarak 33°C artmasına vesile olarak yeryüzü sıcaklığının ortalama olarak +15°C olmasını sağlamaktadır.

İnsan faaliyetleri sonucunda atmosfere giren sera etkisini artırıcı emisyonlar bu doğal sera etkisine destek vererek onun etkisinin artmasına sebep olurlar. Bunun sonucunda da okyanus yüzeylerinde ve yeryüzünde küresel ölçekte sıcaklık artmaları olmaktadır. İşte bu küresel sıcaklık artışları sonucunda aşağıdaki istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir.

(a) Yeryüzü ile güneş arasında dengeli olan ışıının ve bunun sonucunda ısı enerjisi alış verişleri bulunmaktadır. Sera gazlarının ısı enerjisini yutmaları ile böyle bir dengenin bozulmasına neden olur.

(b) Sera gazları ayrıca küçük dalga boylarında gelen yüksek enerjili ışıının geçmesine müsaade eder ancak yeryüzünden bunların uzun dalga boyları ile yansımalarını tekrar yeryüzüne yansıtarak uzaya geçmelerine müsaade etmez ve böylece yeryüzü sıcaklığının artmasına sebep olurlar.

(c) Bu gazlar arasında zararlı olmamasına rağmen CO₂ gazı sera etkisinin oluşmasında baş rolü oynar.

Benzer miktarda sıcaklık artışı şimdi gelecek 1000 yıl içinde beklenir hale gelmiştir. Bunun anlamı son ılıman periyot olan 130.000 yıl süresince olandan daha fazla sıcaklıkların oluşacağıdır. Ekolojik sistemin böyle kısa bir zamanda ortaya çıkacak sıcaklık artışlarına tahammül etmesini beklemek zordur.

%50	%20	%15	%15
Enerji hava kirliliği, CO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ , C _x H _y ,	Kimyasal KFK'ların üretimi ve kullanımı	Orman Ormanların tahribi CO ₂ ve diğer sera gazları	Tarım ve diğerleri Pirinç üretimi (CH ₄) Gübre (N ₂ O) Hayvan çiftliği (CH ₄) Çöp (CH ₄)

İlave sera gazlarının atmosfere verilmesinde birbirinden bağımsız beş alan vardır Bunlar aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Zararlı gazların oluşmasındaki temel kaynaklar enerji temini için fosil yakıtların yakılması ve ormanların tahrip edilmesidir. Milyonlarca sene süresince enerji kömür, petrol ve gaz halinde dünyanın jeolojik tabakaları arasında karbon olarak depolanmıştır. Bu depolarda konsantr olmuş CO₂ depozitleri vardır. Bunlar daha önce atmosferde bulunan CO₂ gazlarının kimyasal olarak alınarak karbonda depo edilmesi ile olmuştur. Son 20-30 yıl içinde yakılan fosil yakıtlardan milyonlarca ton CO₂ gazı atmosfere verilmiştir. Bunun takriben %60 kadar bir kısmı okyanus ve canlı küre tarafından yutulmasının sonucunda % 40 kadarlık bir kısmı da atmosferde kalarak sera gazlarını oluşturmaktadır. Su ve canlı kürenin daha ne kadar bir süre bu depolamaya tahammül edeceği bilinmemektedir. Birçok gazın azaltılması için karar alındığı 1987 yılında atmosfere 20.5 milyar ton CO₂ bırakılmıştır. İçlerinde dünya nüfusunun sadece 1/3'ünü barındıran sanayileşmiş ülkeler bunun 16.4 milyar tonunu atmosfere salırmışlardır. İşte bu dengesizlik sanayileşmiş ülkelerin küresel ısınmaya ne derece sebep olduklarının açık bir delilidir. Zaten fosil enerji kaynaklarının çoğunu da bu ülkeler yakmaktadır.

İklim değişikliğinin incelenmesinde atmosferde değişikliğine sebep olan atmosfere emisyon olarak verilen sera gazlarının miktarlarının değişmesi ile bunların atmosferdeki konsantrasyonlarının artması arasında bir zaman fasılası vardır. Burada zaman fasılasının fiziksel olarak bir anlamı vardır. Buda sera etkisine sebep olan gazların atmosfere verilmesi durdurulsa bile bunu takiben sera gazlarının konsantrasyonlarının atmosferde artması olayı her bir gazın atmosferde kalma zamanlarının bir fonksiyonu olarak uzunca bir zaman fasılası sonra tekrar dengeli bir duruma geçebilmesidir.

"İklim" deyimi atmosferin belirli bir noktasında yapılan ölçümlerin uzun zaman sürelerindeki ortalaması demektir. Genellikle bu süre 30 yıl olarak alınmalıdır. Hava ise bu gene ortalamadan olabilecek anlık veya izafi olarak daha kısa zaman sürelerinde ortaya çıkan salınımları ifade eder. Hava

değişimleri ani ve kısa zamanda olmasına karşılık iklim değişiklikleri daha uzunca zaman aralıklarında ve yavaşça kendilerini gösterirler.

ENERJİ METEOROLOJİSİ

Burada fosil enerji kaynaklarının sebep olduğu istenmeyen durumlara kısaca değindikten sonra temiz enerji kaynaklarından özellikle rüzgar, güneş ve dalgaya ağırlık verilmelidir. Çünkü, meteoroloji öğrencisi diğer derslerde yeterince atmosfer kirlenmesi hakkında bilgilendirilmiş olmalıdır. Böyle bir dersin seçime bağlı olmasında da yarar vardır. Çünkü su ve enerji gibi konular güncellikleri dolayısıyla öğrencisiz kalmaz ve isteyene eğitim verilmiş olur. Özellikle meteoroloji gibi çok geniş kapsamlı konuları olan bir bilim dalında bu tür öğrencinin seçici olduğu derslerin sayısının artırılması gereklidir. Bunun akademisyeninde kendisini yenileme imkanı verir. Meteorolojik olaylarla ilgili olan temiz enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar, dalga ve su güçleri gelmektedir. Enerji meteorolojisi sadece güneş ve rüzgar gücü demek değildir. Su, dalga, gel-git ve hatta orman bakımından biokütleyi de kapsamı beklenebilir. Bunların bilimsel esasta temellendirilerek incelenmesi ve meteoroloji kökenli mühendislerin diğer mühendislik dalları ile uyumlu bir şekilde enerji sektöründe yerini alması temel hedef olacaktır. İlgili mühendislikler arasında inşaat, elektrik, türbin tasarımları bakımından makine, nükleer mühendislik dalları sayılabilir. Enerji meteorolojisinde önce astronomik ve meteorolojik etkenler hakkında bilgiler verildikten sonra özellikle rüzgar, güneş, dalga ve su enerjilerinin hesaplanması, pratikte kullanılabilecek basit modellerinin ülke verilerine göre geliştirilmesi veya uyarlanması ve bunların sonucunda kaç kW güç veya kWhaat enerji üretilmesinin mümkün olabileceği hesaplanmalıdır. Bu hesaplamaların yapılmasında doğrudan hazır programların kulla-

nılmasından ziyade öğrenciye kendisine güven gelecek biçimde bilgiler vererek onun uluslar arası uzmanlarla diyalog kurarak önerilerde veya değişikliklerde bulunacak seviyede yetiştirilmesine özen gösterilmelidir.

Enerji meteorolojisinde birde yapılacak temiz enerji yatırımları ile ilgili ekonomi hesaplamalarına da ağırlık verilmelidir. Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve üretebilecekleri güç konusunda da öğrencinin bilinçlendirilmesi gereklidir. Yapacağı bitirme ödevlerinin değişik bölgeler ama çok demode olmuş klasik hesaplama ve yorumlar yerine, kendisinin geliştireceği ve sürekli uluslar arası saygınlığı düşünerek yapacağı hesaplama yöntemi geliştirme veya mevcutları değiştirerek ülkeye uygun hale getirme şeklinde olmalıdır. Asla rüzgar türbin, güneş toplayısı, dalga pompası, su türbini gibi teknolojik cihazlar hakkında sağlam genel bilgilere sahip olması diğer mühendislerle yapacağı ortak çalışmalarda kendisine yardımcı olacaktır.

ÖNERİLER VE SONUÇLAR

Tüm fosil yakıt kullanan enerji üreticilerinin sadece havayı değil atmosferi kirletmesi sonucunda dünyada beliren temiz enerji kaynaklarının kullanılması bilincine ülkemizde son yıllarda görülen enerji dar boğazı sebebi ile yakından ilgilenir hale gelmiştir. Bu konuda değişik devlet kamu kurumları ile yap-işlet-devret biçiminde çalışmayı amaçlayan özel şirketler bulunmaktadır. Ancak gerekli ön ve uygulama projelerinin gerçekleştirilebilmesi için bilgili, deneyimli ve ehliyetli personele ihtiyaç vardır. Ülkemizde fosil yakıtlar konusunda değişik üniversite ve devlet kuruluşlarında yetişmiş elemanlar bulunmasına karşılık temiz enerji kaynaklarından özellikle rüzgar, güneş, dalga gibi konularda gerekli elemanların bulunmasında güçlüklerle karşılaşmaktadır. İşte bu açığı giderebilmek için değişik birimlerin kendilerine düşen görevi yapmaları artık kaçınılmaz olmuştur. Eğitim kurumlarında ise lisans seviyesinde gençleri bu konulara yönetmek ve yetiştirmek için bilgili ve günün bilgi kaynaklarını yakından takip ederek kendisini güncelleyen akademisyenlere gerek vardır.

Temiz enerji kaynaklarının atmosfer ile ilgili olan yönlerinin barıştırılması, belirlenen sorunların

bilimsel yaklaşımlarla çözümlenmesi için meteoroloji birimlerinde (DMİ, İTÜ Meteoroloji Bölümü ve Meteoroloji Mühendisleri Odası) ortak toplantıların düzenlenerek lisans, yüksek lisans ve meslek içi eğitimlerine öncelikle ağırlık verilmesi gereklidir. Bu yönde İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölüm Başkanı olduğun sıralarda bazı arkadaşlarımla beraber tarafımdan aşağıdaki noktalar üzerinde ısrarla durulmuştur. Üzerinde önemle durulmuştur.

(a) Enerji ile ilgili derslere ağırlık verilmesi: Bu konuda özellikle "Enerji meteorolojisi" tarafımdan verilecek bir ders olarak hazırlanarak müfredata konulmuştur.

(b) Temiz enerji kaynaklarında özellikle bitirme ödevi seviyesinde çalışmaların taklitçi ve literatür aktarması şeklinde değil, dünya literatürüne katkılar yapacak biçimde yönlendirilmesine önem verilmiştir. Bunun örneklerine dünya literatüründeki saygın dergilerde "meteoroloji bölümü" adına rastlamak mümkündür.

(c) Bölümde resmek kuramadığım Enerji Araştırmaları Grubu", uluslar arası düzeyde yazılan onlarca saygın dergi yayınında İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Enerji Araştırma Grubu şeklinde çıkmış ve saygınlık kazanmıştır. Ancak ulusal seviyede bu hoş karşılanmamıştır.

(d) Sürekli sempozyum, seminer ve paneller düzenleyerek temiz enerjinin gündemde kalması konusu sağlanmıştır. Çok sayıda yapılan ulusal ve uluslar arası enerji sempozyumlarının sonunda basılan kitaplardaki yayınlardan hangi akademisyenlerin hangitemiz enerji konusunda katkılarının olduğuna bakılabilir.

Yukarıda sayılan faaliyetler sayesinde bugün meteoroloji mühendisliği bölümü mezunları artan bir biçimde özellikle rüzgar enerjisi konusunda özel şirketlerde iş bulabilmiştir. Yapılan bilimsel sempozyum vb. etkinliklerden ise hem mezunlar hemde genç bölüm elemanları yararlanarak en saygın uluslar arası dergilerde ülkelerine ve mesleklerine yararlı bir biçimde yayınlar yapmışlardır. Bu trendin gelecekte daha da artmasını diler ve böyle bir faaliyette sürekli olarak nerede olursam olayım görev alacağımı belirtirim.

ENERJİ ÜRETİMİNİN ATMOSFERİK SERA GAZLARINA VE KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

Ahmet DURMAYAZ*, Mikdat KADIOĞLU**

*Doç. Dr., İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü

**Doç. Dr., İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fak., Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Sera gazlarının sera etkisi ve bunun neden olduğu küresel ısınma ile başlıca sera gazları kısaca irdelenmiştir. Sera gazları kaynakları, atmosferdeki bazı sera gazlarının konsantrasyonlarının zamanla değişimleri ve enerji üretimi ile atmosferdeki sera gazları konsantrasyonlarının ilişkileri de ayrıca sunulmuştur.

IMPACT OF ENERGY PRODUCTION ON ATMOSPHERIC GREENHOUSE GASES AND GLOBAL WARMING

Greenhouse gases and their effects on global warming are studied. The sources and the variations in time of the concentrations of some greenhouse gases in the atmosphere are also presented. The impact of energy production on the concentrations of the greenhouse gases is reviewed.

GİRİŞ

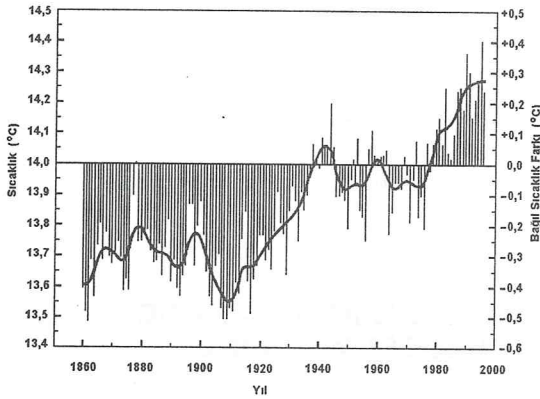
Güneş'ten Güneş ışınımı halinde yayınlanan enerjinin bir bölümü Dünya'ya transfer olur. Güneş'ten yayınlanarak Dünya tarafından alınan enerji ile, bu enerjinin uzaya yansıtılan bölümü ve Dünya'dan yayınlanan enerji arasında tesis edilen ısı denge, yeryüzünde hava sıcaklığını belirler. Atmosferin sera gazı etkisi olmasaydı, bu ısı dengenin -18°C civarındaki bir küresel ortalama yeryüzü sıcaklığında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Ancak, su buharı, bulutlar, karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4), diazot monoksit (N_2O), ozon (O_3) ve kloroflorokarbonlar (CFC-11 ve CFC-12) gibi sera gazı olarak isimlendirilen gazlar ve sera etkisi açısından daha az önemli diğer bazı gazlar, yeryüzünden yayınlanan kırmızı-altı (infrared) ışınımı soğurarak, bu ışınımın bir bölümünün atmosferi terketmesini engellerler. Atmosfer içerisinde yeralan sera gazları nedeniyle hava

sıcaklığında gerçekleşen artış, atmosferin sera gazı etkisi olarak isimlendirilir. Atmosferin sera gazı etkisi, yeryüzünde ortalama hava sıcaklığının yaklaşık olarak 15°C 'de gerçekleşmesinin ve bu sayede yaşam koşullarının ve dolayısıyla yaşamın oluşmasının başlıca nedenidir [1].

KÜRESEL ISINMA

Yeryüzünde 19. yüzyılın (Y.Y.) ortalarından günümüze kadar olan süre içinde küresel ortalama hava sıcaklığı $0,3 - 0,6^{\circ}\text{C}$ artmıştır. 1860 yılından 1996 yılına kadar kaydedilen en sıcak dört yıl ise 1990 yılından sonra olup, Şekil 1'den görüleceği gibi en sıcaktan itibaren sırasıyla 1995, 1990, 1991 ve 1994 yıllarıdır. Gün içindeki farklı saatler dikkate alındığında, Kuzey Yarı Küre'nin orta ve yüksek enlemlerinde, ısınma en fazla geceleri olmuştur. Mevsimlere göre değişim açısından ise ısınma, Kuzey Yarı Küre'de kış ve

İlkbahar mevsimlerinde diğer mevsimlere nazaran daha fazla olmuştur. Özellikle kıtalar üzerinde olmak üzere, bazı bölgelerde ısınma küresel ortalamadan birkaç kat fazla olmuştur [2]. Benzer şekilde, Türkiye'de de kış ve ilkbahar aylarında gece hava sıcaklıkları, 1950'lerden beri önemli bir artış göstermektedir [3]. Kuzey Amerika'daki Güney Mississippi Vadisi üzerinde olduğu gibi, çok az bölgede ise sıcaklıklar düşüş göstermektedir.



Şekil 1. 1860-1996 yılları için yeryüzünde ölçülen küresel ortalama hava sıcaklıkları ve bu sıcaklıkların 1961-1990 yılları için belirlenen sıcaklık ortalamasına nazaran değişimi [2].

Yeryüzünde 19. Y.Y.'dan beri küresel ortalama hava sıcaklığının artmakta olduğunun diğer kanıtları, deniz seviyesinin 10-25 cm artmış olduğunun gözlenmesi, buzul dağlarında küçülme, yeraltında toprak sıcaklığının artması ve Kuzey Yarı Küre'deki kar örtüsünde 1973 yılından günümüze kadar olan sürede tespit edilen azalmadır. Bunlara ilaveten, küresel ısınmaya bağlı değişiklikler olarak iklim kuşaklarının ötelenmesi, yağmur-kar yağışı düzenlerinin değişmesi ve daha şiddetli hava koşulları da olasılık dahilinde gözükmemektedir. Bu değişikliklerin pek çok ülkede yaşamı ve özellikle besin maddelerinin üretimini önemli derecede etkilemesi de beklenebilir.

Ağaç gövdelerindeki yaş halkalarından, yüzeyle yakın buz kristallerinden, mercanlardan ve iklim trendlerinin dolaylı şekilde belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerden elde edilen veriler, yeryüzünde son yıllardaki küresel ortalama hava sıcaklıklarının, son 600 yıl içindeki en yüksek değerinde olduğu sonucunu vermektedir [2, 1].

ATMOSFERİN SERA ETKİSİ

Atmosferdeki sera gazlarının sera etkisi mekanizması Şekil 2'den de yararlanılarak şöyle özetlenebilir:

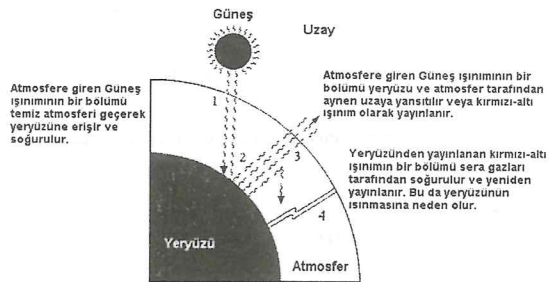
1- Atmosfere giren kısa dalgaboylu Güneş ışınımının yaklaşık olarak %27'lik bir bölümü sera gazlarından etkilenmeksizin doğrudan, yaklaşık olarak %21'lik bir bölümü ise bulutlar içerisinden difüzyon ile geçerek yeryüzüne erişir ve yeryüzünde soğutulur.

2- Güneş ışınımının yaklaşık olarak %4'lük bir bölümü ise yeryüzüne erişmesine rağmen yine kısa dalgaboylu ışınım olarak uzaya yansıtılır. Ayrıca, yeryüzü tarafından soğurulan ışınımın bir bölümü yeryüzünden uzaya yani tekrar geriye daha uzun dalgaboylu, kırmızı-altı ışınım olarak yayınlanır.

3- Sera gazlarının olmaması durumunda atmosferi terketmesi beklenen, yeryüzünden yayınlanan uzun dalgaboylu bu ışınımı, sera gazları bir ısı izolasyon maddesiymiş gibi soğururlar ve önemli bir bölümünü de yeryüzüne doğru yeniden yayınlarlar.

4- Atmosferde aşırı birikme ile konsantrasyonları normal düzeylerinin üzerine çıkan sera gazları, yeryüzünden yayınlanan ışınımı daha çok soğurup yeryüzünde hava sıcaklığının daha fazla yükselmesine neden olurlar. Bu durum da doğal enerji transferi dengesinin bozulması sonucunu doğurur, hava koşullarını ve iklimleri etkiler.

18. Y.Y.'ın ortalarından beri CO₂ gibi sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonu giderek artmaktadır. Bunun, atmosferdeki ısınmanın en önemli nedenlerinden birisi olduğu hususunda günümüzde bir fikir birliği mevcuttur. Atmosferin çeşitli bölümlerindeki sera gazlarının ömürleri maalesef çok uzundur ve şu anda atmosfere serbest bırakılan miktarlarında önemli bir azalma olmadıkça, konsantrasyonları da artmaya devam



Şekil 2. Atmosferin sera etkisi [4, 5].

edecektir. Dahası, bazı geri besleme mekanizmaları, sera gazları emisyonlarının neden olduğu sıcaklık değişikliklerinin ve diğer iklim değişikliklerinin 100 yıldan daha uzun bir süre sonra, yani hayli gecikmeli olarak ortaya çıkmasına neden olabilirler. Bu nedenle, şu anda karşılaşılan değişikliklerin tersinmez (geriye dönüşü olmayan) bir nitelikte olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, halihazırda atmosfere serbest bırakılmış bulunan sera gazları ile gelecekte oluşacak iklim değişiklikleri arasında bir ilişki bulunduğundan söz etmek de mümkündür [1, 4, 5].

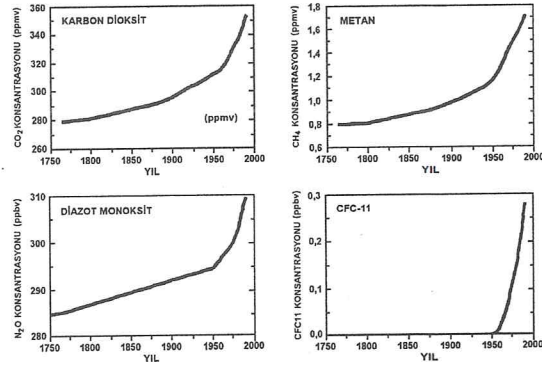
BAŞLICA SERA GAZLARI

Sera etkisi ile ilişkili olan gazlar iki kategoride gruplandırılmaktadır:

1- CO₂, CH₄, N₂O, CFC-11 ve CFC-12 gibi sera gazları yeryüzünden uzaya ısı geçişini engeller, uzaya transfer edilecek ısıyı geriye yani yeryüzüne gönderir ve böylece Dünya'nın ısınmasına neden olurlar. O₃ gazı da ayrıca Güneş'ten doğrudan gelen mor-ötesi ışınımı ve yeryüzünden yayınlanan kırmızı-altı ışınımı soğurur.

2- Azot dioksit (NO₂), karbon monoksit (CO) ve hidroksil (OH) radikalleri gibi sera gazları ile kimyasal etkileşmeye giren gazlar ise ilk gruptaki sera gazlarının konsantrasyonunu etkilerler.

CO₂ ve CH₄ gazı konsantrasyonları 18. Y.Y.'a kadar bağıl olarak fazlaca değişmemiş, daha sonra ise Tablo 1 ve Şekil 3'den de görülebileceği gibi önemli oranda artmıştır. N₂O konsantrasyonları 18. Y.Y.'ın ortalarından beri ve özellikle de 1950 yıllarından sonra artmaktadır. CFC'ler ise



Şekil 3. Bazı atmosferik sera gazları konsantrasyonlarının 18. Y.Y.'ın ortalarından itibaren zamanla değişimi [6].

1930'ların öncesinde atmosferde mevcut bulunmamaktaydı.

Sera gazlarının emisyonlarının tayin edilmesinde, doğal denge çevrimleri ile insan aktiviteleri ürünü emisyonlar arasında açık bir ayırım yapılmalıdır. Diğerine nazaran küçük olan insan aktiviteleri ürünü emisyonlar, doğal çevrimlerdeki dengeyi önemli ölçüde bozarlar. Küresel ısınmadan %95'den fazla oranda sorumlu olduğu düşünülen başlıca sera gazları aşağıda kısaca irdelenecektir [1, 2, 5-8].

Karbondioksit: İnsan aktivitelerine dayanan sera etkisinin yaklaşık olarak yarısının, başlıbaşına atmosferdeki insan aktiviteleri ürünü CO₂ ilavesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Buna rağmen, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu artışı halen sürmektedir.

Havadaki CO₂ konsantrasyonunun geçmişte hangi değerlere sahip olduğu, buzullarda hapseden

Tablo 1. Bazı atmosferik sera gazlarının konsantrasyonlarının değişimi [6], (ppmv = hacimce milyonda bir, ppmb = hacimce milyarda bir, pptv = hacimce trilyonda bir).

	CO ₂	CH ₄	CFC-11	CFC-12	N ₂ O
Atmosferik konsantrasyon	ppmv	ppmv	pptv	pptv	ppbv
1750-1800 yılları	280	0,8	0	0	288
1990 yılı	353	1,72	280	484	310
1990 yılı itibarıyla yıllık değişim	1,8 (%0,5)	0,015 (%0,9)	9,5 (%4)	17 (%4)	0,8 (%0,25)
Atmosferik ömür (yıl)	50-200	10	65	130	150
Konsantrasyonun iki katına çıkması halinde küresel sıcaklık artışına katkısı (°C) [7]	3,0 ± 1,5	0,3-0,4	0,1	0,1	0,3

havanın analiziyle tayin edilmektedir. Orta enlemlerde yeryüzünden itibaren yaklaşık olarak 10-11 km yüksekliğe kadar uzanan ve soluduğumuz havanın yer aldığı, atmosferin en alt katmanı, troposferdeki yıllık ortalama CO₂ konsantrasyonu, Tablo 1'den de görülebileceği gibi, 1750-1800 yıllarında 280 ppmv iken, 1990 yılında 353 ppmv değerine yükselmiştir. Mevcut matematiksel modellere göre, günümüzdeki CO₂ konsantrasyonunun iki katına çıkması halinde, bunun hava sıcaklığında yaklaşık olarak 3°C'lik küresel bir artışa neden olabileceği tahmin edilmektedir. Diğer yandan, CO₂ gazının atmosferik ömrünün Tablo 1'de tek bir değerle ifade edilemeyip, 50-200 yıl aralığı olarak verilmesi, okyanuslarda ve (yeryüzündeki insanlar, hayvanlar ve bitkilerden yani canlılardan oluşan) biyosferde soğurulmasının basit olarak tek bir mekanizmayla olmaması nedeniyledir.

Yeryüzünde süregelen yaşam koşullarının gelişimi, Dünya-atmosfer sisteminde dinamik bir CO₂ alış veriş dengesi tesis edilmesini sağlamıştır. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun artışı, önem sırasına göre aşağıdaki kaynaklardan sağlanır:

1- CO₂ rüzgarın hızına, hava ve deniz suyu sıcaklıklarına ve çeşitli gaz transferi katsayılarına bağlı olarak deniz yüzeyinden atmosfere geçer.

2- İnsan ve hayvanların solunumu esnasında oksijen tüketilip CO₂ üretilir. Ayrıca, bitkilerin çürümesi esnasında CO₂ üretilir.

3- Fosil yakıtların yanması esnasında CO₂ üretilir.

4- CO₂ doğrudan topraktan serbest bırakılır.

5- Yanardağların püskürmesi, kaplıca suları olarak isimlendirilen doğal kaynaklardan sıcak su çıkması ve benzeri jeolojik aktiviteler esnasında CO₂ atmosfere serbest bırakılır.

Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun azalması ise önem sırasına göre şu proseslerle gerçekleşir:

1- CO₂ deniz yüzeyinde atmosferden deniz suyuna geçer ve denizlerdeki bitkiler tarafından tüketilir.

2- Karasal bölgelerde bitkiler tarafından fotosentez ile CO₂ tüketilir ve oksijen üretilir.

3- Yeni fosil yataklarının gelişmesi esnasında da çok az bir oranda CO₂ tüketilir.

Buna göre, okyanuslar en büyük CO₂ depoları olarak karşımıza çıkarlar, okyanusları sırasıyla jeolojik formasyonlar, biyosfer ve atmosfer izler.

CO₂ gazının çevrimi çok karmaşık olup konsantrasyonunu artıran doğal kaynaklar ve konsantrasyonunu azaltıcı doğal etkenler, insan aktiviteleri ürünü olanlardan çok büyüktür (Tablo 2).

İnsanların önemli bir müdahalesi olmaması durumunda, doğadaki karbon çevriminde statik bir dengenin oluşacağı, CO₂ konsantrasyonlarının ve alış verişinin zaman içinde değişmeyeceği düşüncesi yanlıştır. Çünkü, yanardağlardaki volkanik aktiviteler, okyanuslarda gerçekleşen prosesler, deniz yüzeyi sıcaklığının yıllık değişimi (deniz yüzeyi sıcaklığı denizdeki gazların eriyebilirliğini etkilemektedir), iklim, bitki örtüsü dağılımları ve karasal bölgelerdeki bitkilerde gerçekleşen fotosentezdeki değişim, atmosferik CO₂ konsantrasyonlarında büyük değişimlere neden olmaktadır. Ayrıca, deniz içinde meydana gelen fotosentezdeki değişim de küçük bir etkiye sahiptir. Karbon Dünya'da yaşamın mevcudiyeti için anahtar rolü üstlenen bir element olup, atmosferde ve atmosferle ilişkili (okyanusların üst seviyeleri, biyosfer gibi) bölümlerde kalma süresi asırlar mertebesinde yani çok uzundur. Mevcut şartlarda, toplam CO₂ emisyonunun sadece % 40-50'si (havada doğmuş bölümü) atmosferde kalır.

Tablo 2 dikkatle incelendiğinde, atmosferdeki CO₂ stoğunu artıran kaynaklar ve azaltan etkenler arasında yaklaşık 30 milyar ton/yıllık bir fark olduğu görülür. İnsan aktiviteleri ürünü olarak

Tablo 2. Atmosferdeki küresel CO₂ stoğunun yıllık değişimi [1].

	10 ⁹ ton/yıl	Yüzde
Doğal kaynaklar		
Okyanuslardan tümü	~376-390	~60
Karadan tümü	~ 32-440	~36
Toplam doğal kaynaklar	~619 (408-830)	~96
İnsan aktiviteleri ürünü kaynaklar		
Fosil yakıt kullanımı	~ 16-20	~3
Arazi kullanımındaki değişiklikler	~ 0-10	~1
Toplam insan aktiviteleri ürünü kaynaklar	~ 22 (16-30)	~4
Toplam kaynaklar	~642 (424-860)	100
Stoğu azaltıcı etkenler		
Okyanusların aldıklarının tümü	~389-396	~64
Karasal net birincil tüketim	~183-257	~36
Toplam azaltıcı etkenler	~612 (572-653)	100

atmosferde toplam CO₂ birikimi ise yaklaşık olarak 22 milyar ton/yıldır.

İnsan aktiviteleri ürünü CO₂ büyük oranda, taşımacılık, ısıtma, soğutma, elektrik üretimi ve diğer uygulamalar için kömür, petrol ve doğal gazın (fosil yakıtların) kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı halen atmosfere ilave edilen CO₂ gazının %80-85'inin nedeni durumundadır. Bitkiler karbonu bünyelerinde tutarlar, yandıkları veya çürüdükleri zaman ise CO₂ üretirler. Normal olarak, kayıp olan bitkiler ile yeniden yetişen bitkiler birlikte gözönüne alındıklarında, bitki üretimi ve tüketimi esnasındaki net CO₂ üretimi küçük bir değere sahip olur veya üretim ve tüketim birbirini dengeler. Ancak, son bir kaç asırdır çeşitli nedenlerle ormanların yok edilmesi, atmosferdeki CO₂ gazının artmasına önemli derecede katkı sağlamaktadır. Arazi kullanımındaki değişiklikler, halihazırda CO₂ emisyonlarının %15-20'sinden sorumludur.

Metan: Atmosferdeki küresel CH₄ gazı konsantrasyonu 1750-1800 yılları arasında 0,8 ppmv değerinde iken, 1990 yılında 1,72 ppmv değerine ulaşmıştır. CH₄ gazının 1951 ve 1983 yılları arası için hesaplanan yıllık ortalama atmosferik artış oranı %1,1 0,1 ve 1990 yılı için yıllık atmosferik artış oranı ise %0,9'dur. Uzun süreli trendler, Grönland ve Antartika'nın buz katmanlarında hapsolmuş olan hava kabarcıklarından elde edilmektedir.

CH₄ insan aktivitelerinden kaynaklanan ikinci önemli sera gazıdır. CH₄ esas itibarı ile organik karbonu, oksijensiz koşullarda (örneğin, içi su dolu toprakta veya ot yiyen hayvanların bağırsaklarında) minerale dönüştürme esnasında, mikrobiyolojik aktiviteler ile serbest kalır. Pirinç yetiştirme, sığır ve koyun çiftçiliği ve topraktaki çeşitli malzemelerin çürümesi ile CH₄ üretilmektedir. CH₄ ayrıca, biyokütle yakma, kömür ocaklarından kömür üretimi, petrol sondajları gibi insan aktiviteleri sonucunda ve doğal gaz kullanımı esnasında boru hatlarından sızmalar suretiyle de açığa çıkıp atmosfere karışmaktadır. İnsan aktiviteleri, atmosferdeki CH₄ gazı konsantrasyonunu doğal olarak bulunması gerekene nazaran yaklaşık olarak %145 oranında artırmıştır. CH₄ gazının insan aktiviteleriyle toplam küresel yıllık üretimi 135-395 milyon ton/yıl olarak tahmin edilmekte olup, bu aralık önemli bir belirsizliğe sahiptir.

CH₄ konsantrasyonunu azaltıcı başlıca etken, bu gazın troposferdeki radikalleri ile reaksiyonları olup, CH₄ bu reaksiyonlar sonucunda CO₂ ve H₂O'ya dönüşür. Diğer konsantrasyonu azaltıcı etken ise CH₄ gazının oksitlenmesini izleyen stratosfere taşınımıdır. CH₄ gazının atmosferdeki ömrü 10 yıl civarındadır.

Önemli bir husus da, CH₄ gazının molekül başına CO₂ gazına nazaran 32 defa daha fazla sera gazı etkisi göstermesidir.

Diazot monoksit: N₂O konsantrasyonunun zamanla değişimi, 19. Y.Y'ın sonlarından beri Antartika'nın buzullarında hapis olmuş olan havanın ölçülmesiyle belirlenmektedir. N₂O konsantrasyonu 1990 yılında 0,31 ppmv idi, değişim trendi ise yıllık %0,2 - 0,3 artış şeklindedir. N₂O gazının atmosferik ömrü 150 yıl mertebesinde, yani çok uzundur. Atmosferde doğal olarak başlıca oluşumu, azot çevriminin bir parçası olarak toprakta ve sudaki mikrobiyolojik hareketlerle olmaktadır. İnsan aktiviteleri ürünü kaynaklar, fosil yakıtların yanması ile çeşitli tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdir. N₂O konsantrasyonunu azaltıcı başlıca etkenler, atmosferin stratosfer katmanında fotoliz ve N₂O gazının oksijenle reaksiyona girmesidir.

İnsan aktiviteleri halihazırda atmosferde mevcut olan N₂O konsantrasyonunu, doğal olarak bulunması gerekene nazaran yaklaşık olarak %15 oranında artırmıştır.

Kloroflorokarbonlar: Başlıca kloroflorokarbonlar CFC-11 ve CFC-12'dir. Bunlar için doğal kaynak yoktur, doğada kendiliğinden oluşmazlar. Soğutma ve iklimlendirme çevrimlerinde (buzdolapları ve klimalarda) kullanılan akışkanlar, diğer bazı akışkanlar ve aerosol spreyler gibi tamamıyla insan aktiviteleri ürünleri, başlıca kloroflorokarbon kaynaklarıdır. Troposferde CFC'lerin konsantrasyonlarını azaltıcı herhangi bir etken yoktur, stratosferde yani O₃ gazının tüketildiği yerde çözünürler.

Atmosferik ömürleri CFC-11 için 65 yıl, CFC-12 için ise 130 yıl civarındadır. 1990 yılındaki CFC-11 konsantrasyonu 280 pptv ve CFC-12 konsantrasyonu ise 484 pptv idi. Yıllık artışlarının yaklaşık %4 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Sera gazı etkisi açısından CO₂ ile kıyaslandığında, molekül başına CFC-11 14000 kat katkı sağlamakta, CFC-12 ise 17000 kat katkı sağlamaktadır.

CFC'lerin %5-10'luk bölümü, enerjiyle dolaylı biçimde ilişkili olarak (örneğin, ısı izolasyonu malzemelerinin üretimi esnasında) atmosfere serbest bırakılmaktadır.

Stratosferde bulunan ozonun tüketilmesine ve bu suretle O_3 katmanının yok olmasına katkıları nedeniyle, CFC'lerin üretimi mevcut uluslararası anlaşmalar gereğince günümüzde durdurulmuştur. Diğer florokarbonlar da sera gazları olmasına rağmen buzdolapları ve klima cihazları gibi bazı uygulamalarda CFC'lerin yerine kullanılmaktadır.

Ozon: O_3 tabakası iki nedenle canlıların yaşamı için hayati öneme sahiptir:

- 1- O_3 , Dünya-atmosfer sistemi ile uzay arasındaki ısı dengenin sürdürülmesine katkı sağlar.
- 2- O_3 , Güneş'ten kaynaklanan, canlıların yaşamı için zararlı mor-ötesi ışınımın bir bölümünü soğurarak yeryüzüne daha az miktarda ulaşmasını sağlar.

Atmosferin stratosfer katmanında bulunan O_3 , esas olarak katalizörün mevcut olduğu ortamda O_2 ile oksijen atomlarının birleşmesini izleyen moleküler fotoçözünme ile üretilir. O_3 gazının yok olması ise hem doğal nedenlerle (örneğin; Güneş'ten gelen mor-ötesi ışınım ile etkileşimler veya moleküler çarpışmalar sonucunda) hem de insanların neden olduğu emisyonlar (örneğin; CFC'ler) vasıtasıyla gerçekleşmektedir.

Atmosferin en alt katmanı olan troposferde bulunan O_3 , yeryüzünden yayınlanan uzun dalgalı kırmızı-altı ışınım için etkili bir soğurucudur ve sera etkisinin artmasına önemli oranda katkıda bulunmaktadır. Troposferik O_3 , kısmen stratosferden troposfere transportdan ve kısmen de troposferdeki fotokimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, troposferik O_3 hem doğal olarak, hem de (fosil yakıtları tüketen motorlu araçların ve güç santrallerinin kullanımı gibi) insan aktiviteleri sonucunda serbest kalıp atmosferde biriken NO_2 ve diğer bazı gazların, atmosferin bileşimindeki diğer gazlarla kimyasal reaksiyonlara girmesi ile üretilmektedir.

Troposferdeki O_3 gazının ömrü çok kısadır, bu nedenle konsantrasyonu yerel olarak geniş bir aralıkta değişmekte olup konsantrasyon değişimi trendlerini belirlemek de zordur. Stratosferdeki O_3 konsantrasyonunun 0,1-10 ppmv, troposferdeki ortalama O_3 konsantrasyonunun ise 0,02 - 0,1 ppmv aralığında olduğu tahmin edilmektedir.

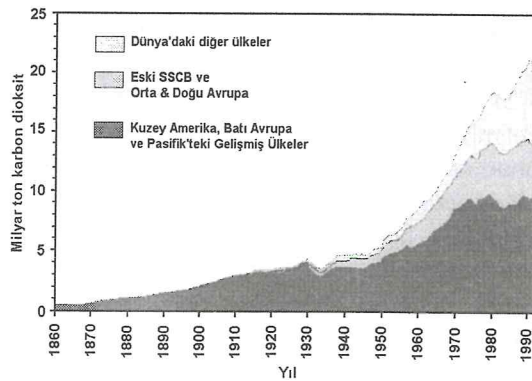
Uydulardan ve yeryüzünden yapılan ölçümler, O_3 konsantrasyonunun zamanla stratosferde azalırken, troposferde artmakta olduğunu göstermektedir.

Yaygın olan düşüncenin tersine, Antartika'daki "ozon deliği" (gerçekten bir delik değil, O_3 konsantrasyonunun aşırı miktarda azalması kastediliyor) küresel ısınmanın nedenlerinden birisi değildir. Aksine, stratosferdeki ozonun CFC'ler ve diğer bazı gazlar nedeniyle tüketilmesi, küçük de olsa bir soğuma etkisi oluşturmaktadır. Bunun nedeni şöyle özetlenebilir:

Stratosfer, orta enlemlerde deniz seviyesinden itibaren yaklaşık olarak ortalama 11-12 km yükseklikten 50 km yüksekliğe kadar olan bölgede yer alır. O_3 , atmosferde en çok stratosfer içinde bulunur. Stratosferik O_3 , hem Güneş'ten gelen mor-ötesi ışınımı hem de yeryüzünden uzaya yayınlanan uzun dalgalı ışınımı önemli miktarda soğurur ve bu nedenle küresel ısınma üzerine toplam etkisi karmaşık bir niteliktedir. O_3 gazının yeryüzü sıcaklığı üzerine toplam etkisi, hangi dalgalı ışınımın O_3 tarafından soğurulacağını tayin eden, soğurmanın gerçekleştiği yüksekliğe bağlıdır. Öyle ki:

1- Deniz seviyesinden 30 km'lik bir yüksekliğin üzerinde O_3 , daha çok Güneş'ten gelen kısa dalgalı ışınımı soğurur ve bu da yeryüzü sıcaklığında azalmaya neden olur.

2- Deniz seviyesinden 25 km'lik bir yüksekliğin altında ise O_3 , daha çok yeryüzünden yayınlanıp uzaya gitmekte olan uzun dalgalı ışınımı soğurur ki bu da yeryüzü sıcaklığında artışa neden olur.



Şekil 4. Üç ülke grubu için 1860-1992 yıllarında kömür, petrol ve doğal gazın yanmasından oluşan CO_2 emisyonları [2].

ENERJİ ÜRETİMİ

Enerji üretiminin yukarıda tanıtilan sera gazlarının emisyonlarına katkısı için yapılan tahminler geniş bir aralıkta yer almaktadır. Küresel ısınma kaynaklarının yaklaşık olarak %50'lik bir bölümünün (CO_2 %41, CH_4 %6, N_2O %3) enerji üretimi ile ilişkili olduğu, diğer yaklaşık %50'lik bölümünün (CO_2 %9, CH_4 %13, O_3 %8, CFC'ler %17, diğerleri %3) ise enerji üretimiyle ilişkisinin bulunmadığı tahmin edilmektedir.

O_3 ve CFC'lerin küresel ısınmaya katkıları olmakla birlikte, bu gazların emisyonlarının enerji üretimiyle bir ilişkisi yoktur [1].

Yakıtların küresel CO_2 emisyonları: 1950 yılından itibaren CO_2 gazı emisyonlarında sürekli bir artış gözlenmekte olup, yaşanan petrol krizi nedeniyle 1975 ve 1979 yılları arasında CO_2 emisyonları bir tepe değerden geçmiştir. 1979 yılındaki petrol krizi, petrol tüketiminde bir durgunluğa neden olurken, doğalgaz tüketimi artış trendini sürdürmüştür. Kömür tüketimi ise tarihi trendlerinin üzerinde bir artış göstermiştir. Dolayısıyla bunun, CO_2 emisyonlarının artışında en önemli faktör olduğu söylenebilir. Kömür tüketimindeki artış son yıllarda CO_2 emisyonlarının rekor sayılabilecek bir değere ulaşmasıyla sonuçlanmıştır. Halihazırda süregelen kömür tüketimindeki artış trendi ise mevcut durumu daha da kötüye götürecektir.

Bazı ülkelerin özgül CO_2 emisyonları: Şekil 4'deki grafikte üç farklı ülke grubu için 1860-1992 yılları arasında kömür, petrol ve doğal gazın yanmasından oluşan CO_2 gazı emisyonlarının zamanla değişimi verilmiştir.

Şekil 4'deki grafikten, Dünya'da fosil yakıtların yanmasından oluşan CO_2 gazı emisyonlarında, 1950 yılından itibaren kayda değer bir artışın sözkonusu olduğu görülmektedir. Bu artış, gelişmekte olan ülkelerde hızlı bir şekilde devam etmektedir. Buna karşılık, endüstrileşmiş ülkelerin CO_2 gazı emisyonlarına katkılarında ise son yıllarda bağıl olarak bir azalma olduğu görülmektedir.

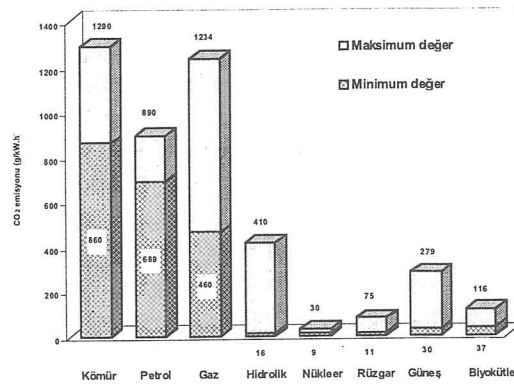
Sektörlere göre CO_2 emisyonları: CO_2 emisyonları açısından diğer önemli bir husus da bu emisyonların ekonomi sektörlerine dağılımıdır. Elektrik üretimi CO_2 emisyonunda önemli bir rol oynar. Dünya'da kabaca CO_2 emisyonlarının üçte

biri elektrik üretimi nedeniyle, dörtte biri endüstri, beşte birinden azı taşımacılık ve diğer aktiviteler ile onda birinden azı ise dönüştürme kayıpları ve proses endüstrilerinin kullanımı nedeniyle olmaktadır.

CO_2 emisyonlarını kontrol altında tutma hususunda yenilenebilir enerji kaynaklarının ve nükleer gücün rolü: Fosil yakıtların yakılması ile yılda yaklaşık olarak 20 milyar ton CO_2 atmosfere bırakılmakta olup bu şekilde gerçekleşen enerji üretimi, atmosferik sera gazlarının konsantrasyonlarının artmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu da sera gazları üretiminin azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının ve nükleer enerjinin rolünün gözönüne alınmasını sık sık gündeme getirmektedir.

1990 yılı itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının Dünya enerji üretimindeki payı %0.7 civarında gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yakın gelecekte Dünya enerji talebinin karşılanmasında önemli bir paya sahip olması olasılığı maalesef çok azdır, bunun tek istisnası ise hidrolik enerjidir [9].

1000 MW (megawatt) elektrik gücüne sahip kömür yakıtlı bir elektrik enerjisi üretimi tesisi, bir yılda yaklaşık olarak 6 milyon ton CO_2 gazını atmosfere bırakmaktadır. Diğer yandan, bir nükleer güç tesisi, çevreye CO_2 ve diğer sera gazlarını bırakmaksızın elektrik üretir. Bu nedenle, aynı güce sahip bir nükleer güç tesisi kullanılarak elektrik üretilmesi durumunda, bir yılda yaklaşık olarak 6 milyon ton CO_2 gazının atmosfere bırakılması önlenmiş olur [1]. Dünya'da 1998 yılı Mart ayında işletmede olan nükleer güç tesislerinin toplam



Şekil 5. Tüm enerji zinciri için CO_2 eşdeğer emisyonları [11].

elektrik gücünün 351795 MW olduğu dikkate alınır, Dünya genelinde çalışmakta olan nükleer reaktörlerin, CO₂ gazının atmosfere bırakılmasını önleme hususundaki rolü açıkça görülür [10].

SONUÇ

Bu çalışmada atmosferin sera etkisi, atmosferik sera gazları ve bunların küresel ısınmaya etkisi incelenmiş ve enerji üretiminin atmosferde artan sera gazı emisyon kaynaklarındaki payı ortaya konmuştur.

Önemi giderek artan bu büyük çevre problemi dikkate alınarak, elektrik üretiminde kullanılan fosil, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji zincirleri için teknik, ekonomik ve çevresel verilerin biraraya getirilmesi ve farklı teknolojilerin karşılaştırılması incelenmesi amacıyla, dokuz uluslararası organizasyon birlikte, kısaca DECADES ismi ile anılan "Elektrik Üretiminde Farklı Enerji Kaynaklarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi İçin Veritabanları ve Yöntemler" başlıklı ajanslar arası bir projeyi 1992 yılında başlatmıştır.

Çok sayıda ülkenin katkı sağladığı DECADES projesi kapsamında yapılan çalışmalarla elde edilen, elektrik enerjisi üretimi amacıyla farklı kaynakların kullanılması durumunda, tüm enerji zinciri için CO₂ eşdeğer emisyonları Şekil 5'deki grafikte sunulmuştur.

Şekil 5'deki grafikten kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtları kullanan tesislerin elektrik enerjisi üretiminde, CO₂ eşdeğer emisyonları açısından çevresel etkileri en fazla olan tesisler oldukları açıkça görülmektedir. Buna karşılık hidrolik, nükleer, rüzgar ve Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde tesisin işletilmesi esnasında sera gazı üretimi söz konusu olmamaktadır. Örneğin, nükleer enerji tesisleriyle 1 kWh (kilowatt-saat) elektrik enerjisi üretimi için grafikte verilen minimum 9 gram ve maksimum 30 gram CO₂ eşdeğer emisyonları, nükleer güç tesislerinin inşası esnasında kullanılan çimento, çelik ve benzeri yapı malzemelerinin üretilmesi ve nükleer yakıtın zenginleştirilmesi amacıyla fosil yakıtların yakılmasından oluşmaktadır [11].

Tüm bu değerlendirmeler, atmosferik sera gazları konsantrasyonlarının artışının önemini vurgulamak, ayrıca, bunun insanlık için yaşamsal bir tehlike arz ettiği ve bir an önce kontrol altına alınmasının gerekli olduğu hususunda bilinçlenmeye katkı sağlamak amacını taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Impact of Energy Production on Atmospheric Concentration of Greenhouse Gases, IAEA Bulletin, Vol. 31, No. 2, 1989.
2. Hamburg, S.P., Harris, N., Jaeger, J., Karl, T.R., McFarland, M., Mitchell, J.F.B., Oppenheimer, M., Santer, B.D., Schneider, S., Trenberth, K.E., Wigley, T.M.L., Common Questions About Climate Change, United Nations Environment Programme (UNEP), World Meteorological Organization (WMO), 1997.
3. Kadioğlu, M., Trends in Surface Air Temperature Data over Turkey, International Journal of Climatology, Vol. 17, pp. 511-520, 1997.
4. Legault, B., The Environmental Challenge - Mother Nature Calls for Help, Ascent, Vol.8, No.1, 1989.
5. Durmayaz, A., Kadioğlu, M., Dünya-Atmosfer Sisteminin Enerji Transferi Dengesi, Enerji Dünyası, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 22, Sayfa 22-28, Şubat 1999.
6. Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephraums, J.J., Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
7. Barry, R.G., Chorley, R.J., Atmosphere, Weather and Climate, Routledge, London and New York, 1992.
8. Balling, R.C. Jr., The Heated Debate: Greenhouse Predictions Versus Climate Reality, Pacific Research Institute for Public Policy, San Francisco, California, 1992.
9. Durmayaz, A., Nükleer Güç Reaktörleri: Dünya Panoraması, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina, Cilt 39, Sayı 463, Sayfa 15-21, Ağustos 1998.
10. Durmayaz, A., Dünya Enerji, Elektrik, Nükleer Güç Değerlendirmesi ve Tahminleri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina, Cilt 39, Sayı 464, Sayfa 24-32, Eylül 1998.
11. Comparing Energy Options the Inter-Agency DECADES Project, IAEA Bulletin, Vol. 40, No. 1, 1988.

RÜZGAR ENERJİSİ*

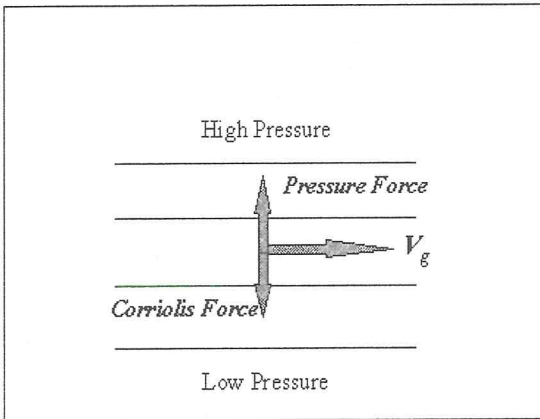
Nedim Erdal
EİE İdaresi Genel Müdürlüğü

ÖNSÖZ

Son yıllarda rüzgar enerjisi ile ilgili olarak, ülkemizde ve dünyada önemli gelişmeler olmuştur. Rüzgar enerjisinin gelişim göstermesi, mesleğimiz açısından oldukça önemlidir. Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve fizibilite raporlarının hazırlanması meslektaşlarımızın kontrolü altında olması gerekirken ne yazıkki, bu konuda bir dağınıklık gözlenmektedir. Bunun nedeninin, üniversitemizden mezun olan arkadaşlarımızın uzmanlık alanının olmayışdır. Günümüz bilgi çağıdır ve her şeyi bilmek, hiçbirşeyi bilmemekle eşdeğer yada hiçbirşey yapamamakla eş anlamlıdır. Oysa, meslektaşlarımız belirli alanlarda uzman olarak yetişse ve uzmanlık alanında diploma almış olsa bir çok problem çözülmüş olacak. Bizim mesleğimiz için bunu düşünürsek; rüzgar mühendisi, hidroloji mühendisi, hava kirliliği mühendisi yada hava tahmin ve analizi mühendisi gibi aklıma gelen uzmanlık alanlarında diploma verilse, bu mesleğimiz ve mesleğimizin gelişimi açısından oldukça önemli olacaktır diye düşünüyorum. Bu yazı ile, meslektaşlarımızın ve bu mesleği yeni seçen öğrenci arkadaşlarımızın dikkatini bu konuya çekmeği amaçladım.

RÜZGAR KUVVETİ HAREKETİ

Rüzgarlar, dünya yüzeyi üzerindeki basınç farklılıklarının nedenidir. Yeryüzü tarafından emilen güneş radyasyonu miktarı, kutuplara göre ekvator da daha büyüktür. Isıdaki bu farklılık, atmosferin en alt tabakasında (troposfer) hareket hücrelerinin oluşumuna neden olur. Basit bir yaklaşımla hava parseli atmosferde yükselmesine rağmen, kutuplarda çöker. Yeryüzü üzerindeki bu devinim hernekadar basit bir sıcaklık transferi olsada, güney ve kuzey yarım kürelerinde bir sirkülasyon serisinin oluşumuna neden olur.



*Çeviri

Yeryüzü üzerinde yüksek basınç zonlarındaki hava parseli çöker, alçak basınç zonlarında ise yükselir. Bu basınç gradyanı yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru akışı sağlar ve böylece rüzgar meydana gelmiş olur. Bu yer değiştirme sırasında rüzgar coriolis kuvvetten etkilenir. Bu nedenle ortaya çıkan rüzgar, batılı ve doğulu olarak yön değiştirir. Geostrafik rüzgar olarak adlandırdığımız bu rüzgar izobarlara paraleldir.

Geostrafik rüzgar basınç kuvveti (pf) ile dengededir.

$$PF = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$

ρ = Hava yoğunluğu

$$\frac{\partial P}{\partial n} = \text{izobarlara normal basınç gradyanı}$$

CF : - f . V

V : Rüzgar hızı

CF : Coriolis kuvvet

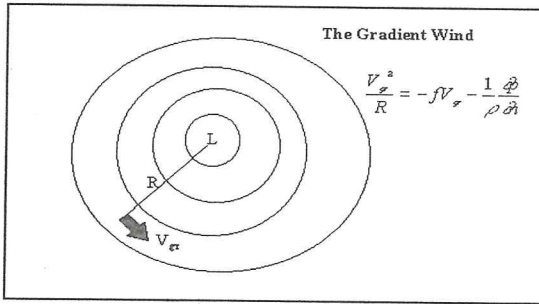
f : $2\omega \sin\psi$ (Coriolis parametresi)

w : Dünyanın açısız dönüş hızı
 ψ : Enlem açısı

Böylece geostrafik rüzgar

$$V_{gr} = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$

Gerçekte Coriolis Kuvvet bir kuvvet değildir, yalnızca bir hava parselinin gözlenmesinin bir sonucudur. Yatay hareket eder ve dönen referans bir oluşumdan ileri gelir. (Dünyanın dönüşü gibi) Basınç gradyanı boyunca olan akış, esasında rüzgarın önüne kattığı bir kuvvettir. Bu izobarların eğilmesine neden olan alçak ve yüksek basınç alanlarının varolmasına bağlı olan, idealize bir durumdur. Bu merkezkaç kuvveti daha uzak kılar. Bu oluşuma gradyan rüzgar adı verilir ve izobarlara paraleldir.



$$\frac{V_{gr}^2}{R} = -f \cdot V_{gr} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$

R = Hava parçacıklarının yörünge eğimi

$$V_{gr} = V_g - \frac{V_{gr}^2}{R \cdot f}$$

Rüzgar yeryüzüne yaklaştıkça, izobarlara olan paralelliği bozulmaya başlar. Rüzgarlar yüzeylere yakın yavaşlar ve izobarlara daha uzun paralel değildir. Bunun nedeni dünya yüzeyinden olan sürtünmedir. Bunlar alçak basınç merkezini engellenecek şekilde kıvrılarak hareket ederler.

LOKAL SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

Farklı yüzeyler arasındaki sıcaklık değişimleri yada farklı seviyelerdeki çözünürlük lokal rüzgar

akışına neden olabilir. Bu rüzgarların çoğu geniş ölçekli bölgesel rüzgarların benzer ölçekli versiyonlarıdır.

Deniz Meltemleri

Deniz meltemleri geniş ölçekli rüzgar hareketleri dışında, lokal etkilerin maskeleyesine benzer bir örneğidir ve lokal rüzgarlara baskın çıkma eğilimindedirler. Deniz meltemleri kara ve deniz arasındaki sıcaklık gradyanının bir sonucudur. Deniz bitişik karalardan yazları genellikle daha soğuktur ve kışları daha ılıktır. Bu, yaz günleri boyunca denizden karaya kıyı boyunca esen melteme yol açar ve kıyı meltemleri kışları gece süresince sürer. Deniz meltemleri önemli hızlara ulaşabilir. Deniz seviyesi üzerinde, 10 metrede 5-8 m/sn mertebelerinde olabilir ve karaların içine doğru kilometrelerce girebilirler, 50 km. kadar bir derinlikte olduğu ölçülmüştür.

Lokal deniz meltemi genellikle sadece en alçak 100 metre seviyesine kadar etkili olabilir ve 30-50 metredeki rüzgar türbinleri bu ek rüzgarı kullanırlar. Deniz meltemi özellikle yazları antisiklonik periyod süresince esen sinoptik rüzgar hızı düşük olduğunda, daha fazla sıklıkta görülmektedir. Deniz ve kara arasındaki farklı sıcaklıklara dayanan deniz melteminin hızı, hava sisteminin geçişi yüzünden sinoptik rüzgarın boyutuna bağlıdır ve güçlü bir sinoptik rüzgar, bir deniz melteminin gelişimini engeller. Bulut örtüsü, bir deniz melteminin gelişimini keza etkileyecektir. Eğer bir deniz meltemi gelişim gösterirse, bu genellikle sabah ortası başlar ve öğle sonu son bulur. Buna karşın kara meltemi geceleyin başlar ve birkaç saat içinde son bulur. Kara meltemi deniz meltemine göre daha zayıftır ve büyük bir olasılıkla rüzgar türbininin çalışma limitlerinin altındadır.

Rüzgar deniz meltemlerinden oluştuğunda, görece pürüzsüz deniz yüzeyi üzerinden geliyor demektir. Bu durumdaki rüzgar yüzey sürtünmesinden en az seviyede etkilenmiştir, dolaşısıyla daha hızlı olduğunu söylemekte bir sakınca yoktur. Genelde deniz seviyesindeki rüzgar hızları dağlık alanlardaki kadar büyük değildir, fakat buna ek olarak deniz meltemlerinin etkisi çalışmakta olan kıyasal bir rüzgar çiftliğinin çalışma sürecini artırabilir. Rüzgardaki türbülans keza oldukça düşüktür. Deniz meltemleri deniz seviyesi üzerindeki nemli ve tuzlu havayı beraberinde taşıdıklarından, kıyasal rüzgar çiftliklerini daha az ömürlü kılabılır. Gücünü deniz meltemlerinden alan sitelerdeki rüzgar türbinleri sık sık durup çalışacağından makinelerin daha çabuk yıpranmasına neden

olacaktır. Özellikle kıyusal rüzgar siteleri için makine ve donanımların, bu oluşumlar göz önüne alınarak tasarlanması gerekmektedir.

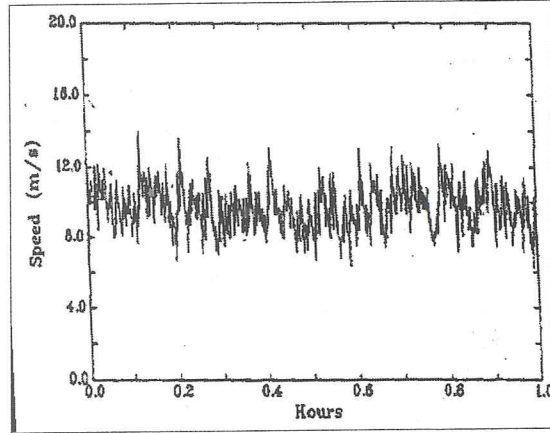
Dağ Rüzgarları

Sıcaklık değişimine bağlı olarak rüzgarın diğer bir biçimi dağ rüzgarlarıdır. Vadideki hava parseli gün süresince ısındığında, eğimli yüzey boyunca yükselir. Buna anabatik rüzgar denir. Bu rüzgarlar oldukça düşüktür ve 3 m/sn mertebelerindedir. Enerji üretimi için beklenen düzeyde olmayan anabatik rüzgarlar, türbülansın artmasıyla sırtlardaki türbinlerin pozisyonları açısından önemli olabilir.

Buna karşın dağ yüzeylerindeki hava geceyin soğuduğunda, vadiye doğru hareket eder ve bu oluşan rüzgara katabatik rüzgar denir, drenaj rüzgarı olarak bilinir. Katabatik rüzgarlar oldukça güçlü olabilirler, özellikle karla örtülü step eğimlerinde soğuk hava kuvvetlidir. Eğer bu rüzgarlar bir vadiye yada geçite yönlendiğinde (sıkıştığında) hız kazanırlar.

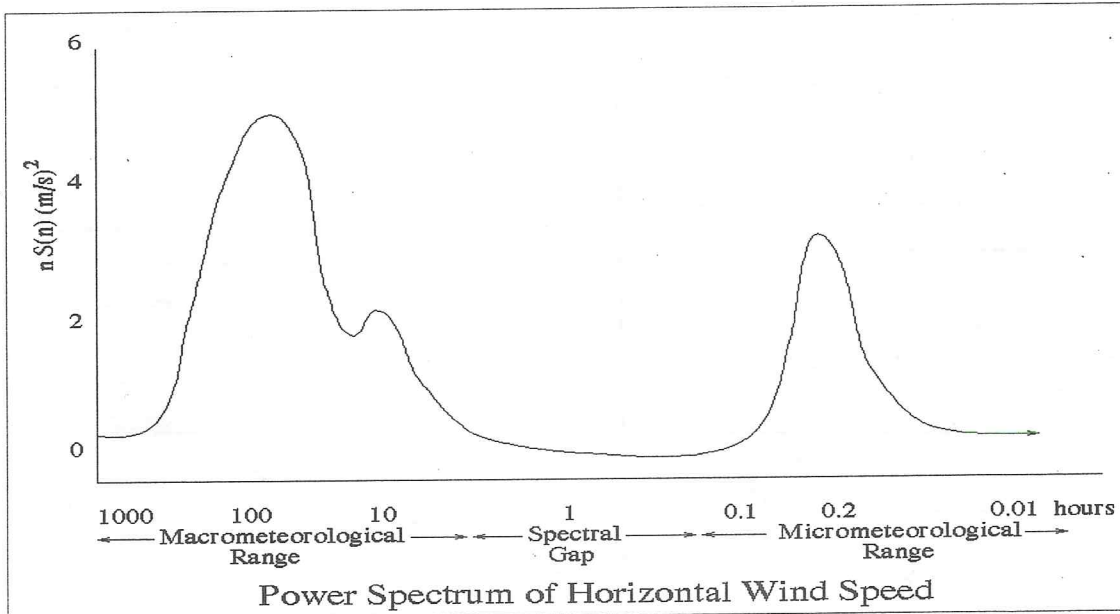
Dağ vadi sistemleri ile oluşan lokal rüzgarlar, vadilerin içine doğru yol bulan hava akımına yol açabilirler. Çünkü, hava gün içinde eğimli yüzeyler boyunca yükselir, rüzgar ise vadiden yükselip belirli bir katmanda durağanlaşır. Gün batımından sonra sirkülasyon yüzeylerden aşağıya tersine doğru döner ve vadiye doğru hareket eder. Bu rüzgarlar yüksek basınç alanlarında etkili olduğunda daha güçlüdür, geostrafik rüzgar ise zayıftır.

Diğer katabatik rüzgarlar, platolardan boşalan



rüzgarı içerir. Geceleri soğuk ve nemli hava parseli vadideki ilk hava parselinin üzerine çöktüğünde yer değiştirirler ve bu sırada oldukça hızlanırlar. Bu rüzgarlar 20-30 m/sn mertebelerinde olurlar.

Diğer bir dağ rüzgarı ise fön rüzgarlarıdır. Bunlar bir dağ bariyeri ile tutulan rüzgarlardır. Alplerdeki klasik fön rüzgarları deneyimi göstermiştir ki fön rüzgarları, dağlar üzerinde yükselen soğuk nemsiz yağış ile oluşan havanın nedenidir. Dağın diğer tarafındaki hava parseli çöker ve daha ılıktır. Diğer bir değişim ise soğuk havanın vadilerde tutulan ılık havayı yukarıya doğru hareket ettirerek yer değiştirmesidir. Fön rüzgarları yeryüzünün bir çok bölgesinde görülmekte olup oldukça güçlüdürler ve kar erimesi sonucu artan sıcaklıkla oldukça tehlikelidirler.



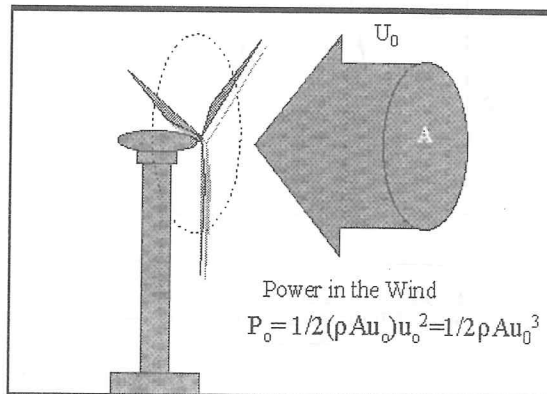
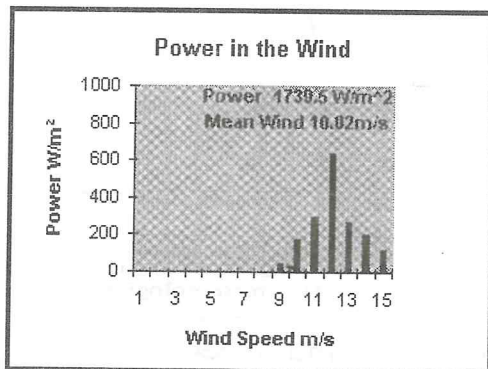
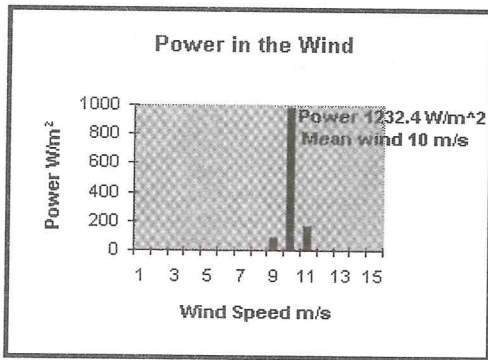
Rüzgarın Değişkenliği

Rüzgar hızı ve yönü sürekli değişkenlik göstermesine rağmen, herhangi bir anemometre kaydı yardımıyla rüzgar hızının değişimini açıkça görebiliriz. Eğer rüzgar hızı dalgalanmalarının uzun süreli bir zaman serisi, bir güç spektrumuna dönüştürülürse, iki belirgin enerji pikinin olduğu kolayca görülebilir. İlki birkaç günlük bir zaman dilimine sahiptir ve geniş ölçekli bir hava sistemindeki enerjinin taşınımını anlatır, örneğin basınç düşmesi gibi. Bu taşınım rüzgar türbini ile elektrik enerjisine dönüşür. İkinci pik ise atmosferde küçük ölçekli türbülans girdapları enerji içeriği ile birlikte birleşirler ve birkaç saniyelik bir zaman periyoduna sahiptir (yaklaşık 0.1 Hz). Bu enerji rüzgarın ani hareketlerinde görülür ve önemli olabilir. Bu enerji, direkt olarak enerji üretimini etkilemesede, türbin ve onun donanımı üzerinde yarattığı dinamik yüklemeler açısından oldukça önemlidir. Enerjiyi tam olarak saptamak için, rüzgar yönü üzerinde değişimlere neden olan etkileri azaltmak gerekir ve türbinler rüzgar ile direkt bağlantılı olmalıdır, böylece enerji üretimi en az etki ile daha verimli olacaktır.

Rüzgar, bir hava sisteminin birkaç saatlik geçişi sırasında değişecektir. Rüzgardaki bu değişiklik,

üretilen enerjisinin sürekli değişmesi anlamına gelir. Bu durum sürekli korunan yerleşik enerji kaynaklarından oldukça farklıdır. Rüzgar enerjisi üretimindeki bu girdinin sağlanması, sürekli akışı olan kararlı bir durum değildir. Bir sistemin rüzgar iklimi, istatistiksel dağılımı tanımlar ve farklı yerlerde farklı rüzgar iklimlerine sahip olduğunu gösterir. Tropikler tüm yıl boyunca kararlı orta şiddetli rüzgarlara sahiptir ve bu sıcaklık enlemleri, özellikle daha yüksek rüzgar hızı oluşumlarında daha fazla değişime sahiptir. Buna bağlı olarak rüzgar hızının küpü ile orantılı olan rüzgar enerjisinin bir yıllık ortalama üretiminin, siteden siteye değişeceğini görebiliriz. Basit bir örnekle, yıllık ortalama hızları 10 m/sn olan iki farklı siteyi göz önüne alalım.

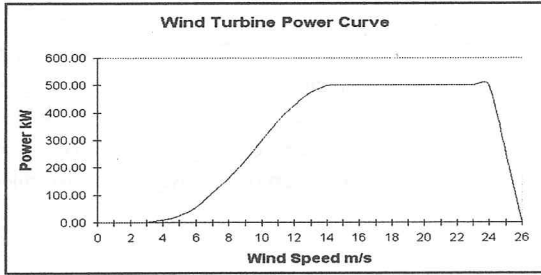
İlk sitenin 1232.4 W/m², ikinci sitenin ise 1739.5 W/m² yıllık toplam enerjiye sahip olduğu görülmektedir. Rüzgar enerjisi üretim ekonomisinde, güçlü rüzgarların önemini ne denli anlamlı olduğu buradan açıkça görülmektedir. Buna ek olarak rüzgardan elde edilen enerji miktarı, bütün zamanlarda garanti edilemeyen, enerji üretim miktarı 36 saatten fazla tahmin edilebilmesine karşın kontrolümüz altında değildir. Elektrik enerjisi terminolojisinde tek bir türbinle enerji üretimi güvenilir bir durum değildir. Bu yüzden, bataryalar gibi enerji korunmadığından bir elektrik şebekesi gereklidir. Bu, rüzgar enerjisinin ekonomik ömrü açısından tek çözümdür. Sürekliliğin sağlanması açısından rüzgar enerjisine bir sorun gibi bakılmaktadır. Rüzgar, istatistiksel terimlerle tanımlanabilir ve tesis yıllık üreteceği ortalama enerji miktarına göre tasarlanır. İstatistik elemanlarla tanımlı olan şebekedeki enerji talebi, rüzgar enerjisi içeriğinin küçük miktarda olması koşuluyla planlanmalıdır. Bu yüklem faktörü yada türbinin kapasitesi ile orantılıdır.



Rüzgardan Enerji Elde Edilmesi

Rüzgardan enerji üretebilmek için, bir takım çalışmalar yapmak gerekir. Modern rüzgar türbinleri,

10 -15 m/sn hızlarındaki rüzgar girdisine göre dizayn edilmektedir. Bu ilk dizaynlar deniz durumunu tanımlar ve dağ rüzgarlarının özelliklerine göre değişiklikler yapılmaktadır. Bu rüzgar enerjisi için yararlı bir gelişmedir. Bir rüzgar türbininden enerji elde etmek için; hareket halindeki rüzgar hızı (U_0), rüzgar rotorunun süpürme alanı (A) olan bir kolondan birim zamanda geçen kinetik enerjidir. Böylece, elde edilebilir enerji miktarı rüzgar hızının küpü ile orantılıdır. Rüzgar ile elde edilen enerji arasında yüksek bir ilişkinin olduğunu görebiliriz. Rüzgar hızının 2 kat artması enerjinin 8 kat artmasını gerektirir fakat iki kat türbin süpürme alanı olduğunda da iki kat güç aldığını söyleyebiliriz. Yüksek rüzgar hızlarına sahip sitelerde, rüzgar türbinlerinin optimum yerleşiminin önemli yararları vardır ve en verimli ekonomik performans için önemlidir. Türbin özelliklerinin güç üretimindeki bilgisi normalde bir belirsizlik olarak ifade edilir, bu da W/m^2 güç yoğunluğu ya da birim alandaki güç olarak tanımlanır. Standart atmosfer koşullarında hava yoğunluğu 1.225 kg/sn olarak kabul edilir. Bu koşullarda ki teorik güç yoğunluklarını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.



Rüzgar hızı (m/sn)	Birim alandaki enerji (W/m^2)
5.0	76.6
10.0	612.5
20.0	4900.0
25.0	9570.3

Üretilen enerjinin hernekadar rüzgar hızının küpü ile orantılı olduğunu belirtmekte, havanın yoğunluğunda etken olacaktır. Hava, genelde ılık iklimlerde daha az yoğundur ve yükseklikle artar. Hava yoğunluğu 1.4 kg/m^3 ile 0.9 kg/m^3 değerleri

arasında değişir. Ancak bu değişimi rüzgar hızındaki değişimle karşılaştırsak oldukça düşüktür. Pratikte, rüzgardaki kinetik enerjinin tümü şaft gücüne dönüşmeyebilir.

Çünkü, hava süpürme alanından geçebilmektedir. Betz ölçütünde; momentum ve enerji korunumu ilkelerine göre maksimum olası türbin etkinliği, güç katsayısının %39'nu verir. Uygulamada, enerji etkinlikleri %20-30 arasındadır. Bazı rüzgar türbinleri belirlenmiş bir rüzgar hızında üretilen maksimum enerjiye göre tasarlanırlar. Bu, güç eğrisi olarak bilinir ve çeşitli rüzgar hızlarına göre hazırlanan eğridir. Rüzgar türbini güç eğrisinden rüzgar hızı seçildiğinde, bu hız lokal bir rüzgar rejimine sahip olan bir siteden elde edilen ortalama rüzgar hızı ile karşılaştırıldığında 1.5 katıdır.

Sıfırdan başlayan fakat genelde 5 m/sn den sonraki ortalama rüzgar hızı değerlerine göre üretilen enerji miktarlarını verir. Türbin enerji eğrisine bakıldığında (14-25) m/sn hız değerleri arasında aynı enerji üretim değerinin olduğu görülmektedir. Eğer rüzgar hızı tehlikeli bir seviyeye ulaştığında (25-30) m/sn, türbin kendini otomatik olarak kapatacaktır. Buna kapanma rüzgar hızı denir. Bu zorunlu düzenlemeler, bir yılın üzerindeki rüzgar hızı dağılımına göre dizayn edilecek rüzgar türbini güç eğrisi içindir. En son dizayn edilen rüzgar türbinleri, gelişen enerji hesapları için değişik özellikler içermektedir. Örneğin, iki hızlı rüzgar rotorları düşük rüzgar hızlarına üretilen enerji miktarını arttırmaktadır. Değişik hızda üretilen rotorlar, rüzgar hızları ile fit olacağından daha fazla enerji üretimine izin verir.

RÜZGARDA LOKAL ETKİLER

Topoğrafya Etkisi

Tepeler ve dağlar rüzgar akışına bir blok gibi engel olurlar. Hava engel etrafında yada üzerinde kanal gibidir. Tepenin biçimi ve boyutu, meydana gelen akım bandının şeklini etkiler. Rüzgar pürüzsüz bir tepenin üzerinden akarken, akım vektörleri sıkıştığından hızın artmasına neden olurlar. Bu oluşumlar tepelerde rüzgar türbini için iyi bir site oluştururlar. Hızdaki bu artış, bitki örtüsünün pürüzlülüğüne bağlı olarak 20 ile 30 dereceden az eğimli tepeler için uyumludur. Logaritma yasası kalınlığı l olan sıkıştırılmış akım vektörlerinin alanı için geçerlidir. Verilen bir düzlem üzerindeki tepenin yüksekliği h, yatay genişliği L, tepenin en üst noktasına olan yüksekliği h/2, hız faktörü S olarak tanımlanabilir.

$$\Delta S = \frac{\Delta U}{U} = \frac{h}{L} \frac{\ln^2(L/Z_0)}{\ln^2(l/Z_0)}$$

$\Delta U / U$: Lokal arazi üzerindeki orjinal rüzgara karşılık gelen yükseklikteki rüzgar değişim oranı.

Kalınlık l , $0.1L$ olarak kullanılır. Uygulamada rüzgar hızı $2h/L$ olarak kullanılır. Bu kabuller tepedeki pürüzlülük açısından düşük rüzgar alanları içinde aynıdır. Eğer rüzgar hareketleri, pürüzlü bir alandan pürüzsüz bir alana doğru akışı hızlandırıyorsa orada iki faktör vardır ve bu iki faktör ideal bir sitedeki enerji üretimini artırıcı bir etki yapar. Bazı ideal pürüzsüz tepeler, daha kompleks olma eğiliminde olan arazilere göre daha uygundur. Birçok yüksek rüzgar alanları, dağlık ve tepelik bölgelerdedir ve bu tepeler ve sırtlar hava akışının artmasına neden olur.

Her ne kadar özen gösterilmiş olsada, rüzgar türbinleri siteye kurulduğunda daha büyük olduklarından türbülansın artmasına neden olabilirler. Buna ek olarak sırtlardaki bitkiler daha

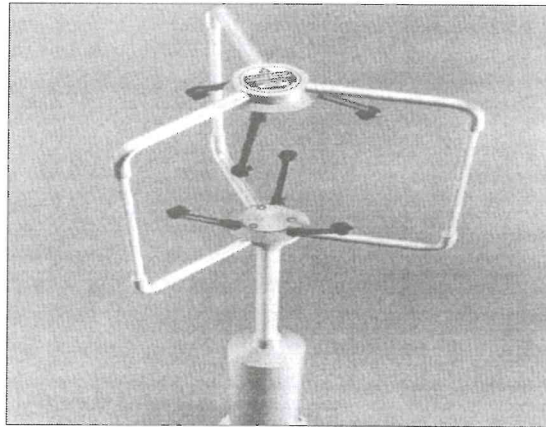
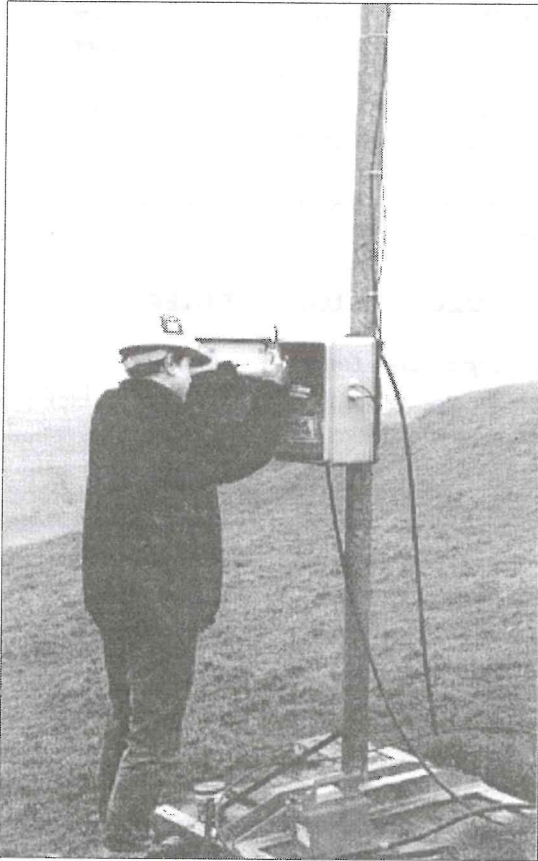
pürüzlüdür ve rüzgar hızı, pürüzlülük değişimine bağlı olarak değişir. 30 dereceden büyük eğimli yada daha düşük eğimli fakat çok pürüzlü stepler, birer engelleyici gövde gibi dururlar ve tepenin varolan biçimine göre zirvede yada önde akımın dağılmasına neden olurlar. Tepe, akış dağılımına ve türbülansın artmasına yol açan rüzgar akımının sürüp gitmesine ek olarak zorla kabul ettirebilir. Bu, saçılma kabarcıklarının yanındaki çok düşük rüzgar hızlarına neden olur. Çünkü, tepeler nadiren simetrikdir ve bazı tepeler rüzgar yönündeki bir sektör için iyi akış karakteristiklerine sahip olabilirler.

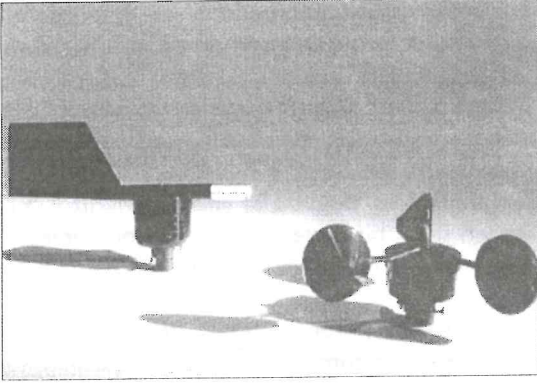
Yapılar ve Diğer Engeller

Yapıların yakınlığı ve ağaçların geniş gövdeleri, bir türbindeki akışı karmaşıklaştırır. Engeller havanın akışını tutar ve türbülansa neden olur. Geniş bir engel hava akımını dağıtacak ve mesafeye bağlı olarak rüzgar hızını düşürecektir. Türbülansın artması türbin üzerinde artı bir yük oluşturabilir ve bu durum türbin ömrünün kılmasına neden olabilir. Birçok sorun yaratacağından, türbine yapılan yatırımı karşılamayabilir. Geniş engelli ve çok kapalı türbin yerleşimlerinden sakınmak en akıllıca yaklaşımdır. Eğer türbülans iyi gözlenemiyorsa, geniş ölçekli türbin seçimi atılacak en iyi adımdır.

Site Ölçümlerini Kullanarak Rüzgar Kaynağı Değerlendirmesi

İdeal bir sitedeki rüzgar kaynağını belirlemek için, o siteye ait mümkün olan uzunlukta bir zaman serisi veri gerekmektedir. Buna ek olarak site geçişindeki türbülansın anlaşılması, rotor ve rüzgar türbinini tasarımı için gereklidir. Bunu başarmak için ölçüm noktalarının uzaysal dağılımını ve hızlı bir örnekleme zamanı zorunludur. Uygulamada, dik-





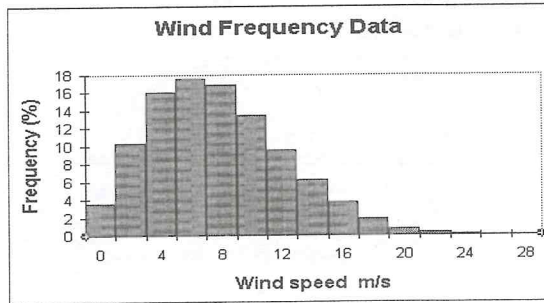
katli bir yatırım için zaman ve harcama sıklıkla göz önünde bulundurulur. Kompleks arazideki rüzgar hızı, siteyi geçişte değişime uğramasına rağmen, birkaç direkt kısa bir deneme veya zincirleme uçurtmalar, bize site hakkında bilgi verebilir. Bu andan itibaren olası rüzgar enerjisine geri dönülür.

1- Sitedeki datanın toplanması

Veri toplanması önerilen bir sitedeki ölçüm direkleri, konuşlandırılacak rüzgar türbini noktalarının yakınlarına kurulmuş olması, daha sağlıklı yaklaşımlar getirecektir. Seçilen ölçüm aleti, ilişkili olduğu rüzgar verilerini kaydetmek için direğe monte edilir. Tüm ölçüm aletleri tuttukları kaydı ancak belirli bir süre için saklayabilir. Belirli sürelerle verilerin bir diskete aktarılması yada otomatik olarak veri değerlendirme merkezine yönlendirilmesi gerekmektedir.

Rüzgar hız ve yön bileşenlerinin ölçülmesi gerekliliği oldukça açıktır fakat diğer meteorolojik elementler, özellikle sıcaklık ve basınç bir veri setinin oluşumu ve diğer sitelerle karşılaştırılabilmesi için kaydedilmelidir. Rüzgar hız ve yönü ölçümleri, 10 m. ve hub yüksekliği olmak üzere en az iki seviyede olmalıdır. Eğer veri, site yüzey pürüzlülüğünün tahmini için kullanılacaksa, daha farklı seviyelerde ölçüm yapmak gerekir. Ortalama rüzgar hızı verisi, genellikle fincan şeklinde kanatları olan anomemetreler kullanılarak toplanır, en güvenilir ve oldukça ucuzdurlar. Bu anomemetrelerle meteorolojik amaçlı ölçüm yapılan istasyonlardan daha iyi sonuç alınmaktadır. Eğer bir site için türbülans verisi almak istiyorsak, üç boyutlu rüzgar verisi gerekmektedir ve bunun için sonik (ses dalgası ile çalışan) anomemetreler kullanılmalıdır. Veri yüksek frekanslarda sınımlanmalıdır (20 Hz), yoksa hemen data kayıtları ile dolar ve sonra kaydetmez. Bu fincan şeklindeki veya kanatlı anomemetrelerin dönüşü rüzgar hızı ile orantılıdır.

Bu ya sinyal yada değişen voltaj şeklinde ölçülür. Tüm dönüşümlü anomemetreler belirli bir başlangıç hızına sahiptir ve genellikle 0.5 m/sn ile 2 m/sn arasında değişmektedir. Alet, rüzgar hızındaki değişimlerde, ya aralık sabiti yada zaman sabiti ile tanımlıdır. Tüm anomemetreler bir rüzgar tüneline kalibre edilmişlerdir. Hernekadar bazı sitelerde veri toplanması sürsede, bu bir referans anomemetre kullanılarak sitedeki kalibrasyonuna bakılarak, performansına dikkat edilmelidir. Anomemetre okumaları diğer alatlara yada ölçüm direklerine göre rüzgar akımının biçimini bozmasıyla etkilenebilir ve ölçüm direği en küçük sıcaklıkta rüzgar yönü dağılımını sınırlamak için uyumlu olmalıdır. Bu bilgi genellikle yerel meteorolojik veriden sağlanır. Rüzgar bileşenlerini ölçen hız ve yön sensörleri belirli bir kablo ile veriyi kaydedip saklayan alete (logger) bağlıdır. Tipik olarak maksimum akım, aletin yön sensörünün gerçek kuzeye yönlendiğinde dönüşür ve minimum 3570 civarındadır. Bundan dolayı aletin kuzeyine kapalı bir aralık meydana gelir. Alet hataları +/- 20 dir ve yönler birbirine yaklaştıkça 0.30 hata gözardı edilebilir. Sensörler doğru biçimde bağlanmalıdır ve hataların çoğu bu durumdan kaynaklanmaktadır. Yön sensörü sıklıkla farklı yönlere yönlendiğinden, ölçüm direğinin gölgelemesinden etkilenebilir. Bu nedenle ölçüm direği, hakim rüzgar yönünü önden alacak şekilde sabitlenmelidir. Aletin toplayıp saklayacağı verileri koruması açısından, nemden ve özellikle yağmurdan izole edilmesi gerekmektedir. Bu aletler bazı çevreler tarafından zarar verilebilir olarak düşünülmelidir, fakat günümüz piyasasında oldukça güvenilir sistemler mevcuttur. Rüzgar verileri uzaktan algılama yöntemi ile de toplanabilir ve telefon hatlarıyla merkeze yüklenebilir. Bu yöntemin avantajı, verileri ekrandan izlerken bir problem olduğunda fazla zaman yitirmeden müdahale



şansınızın olmasıdır. Verilerin kaybını önlemek amacıyla, veri toplama aşamasını dikkatli planlamak gerekmektedir.

SİTE DATASININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Data acele olarak analiz edilebilir yada sonrası için saklanabilir. Olanaklara bağlı olarak site değerlendirilmesi için datanın istatistiksel süzgeçten geçirilmesi gerekir. Genellikle, datanın her dakikası kayıtlıdır. Datanın zayıf datalardan arındırılmasında nitelikli kontrol şarttır. Tutarsız datalar çek edilmeli ve okumalar kalibre edilmelidir. Ayıklanan veriler, gün içinde verilen 10 dakikalık ortalama rüzgar hızları içinde kontrol edilerek analiz edilmelidir. Çünkü bu tüm mevsimsel değişimleri içermektedir. Bu veri paketinin frekans tablosu incelendiğinde, sitenin ortalama rüzgar hızı ve olası rüzgar hızı teşhis edilebilir, rüzgar enerjisindeki dağılım gözlemlenebilir. Data spesifik rüzgar hızından (genellikle $U > 0$) daha büyük bir rüzgar hızı olasılığı görülebilir. Bu data genellikle iki parametrelili Weibull dağılımı ile açıklanabilir. Hareket denklemlerine benzer terimler kullanılarak k ve c katsayıları elde edilir. Rüzgarlı yada sakin bir yılın ele alınması önemli değil, siteyi temsil eden datayı toplamak önemlidir. Elektrik tüketiminin maksimum olduğu kış aylarında ki rüzgar hızları dikkatle ele alınmalıdır. Rüzgar enerjisi üretimine aday bir site hakkında

bilgi toplamak için, site üzerindeki en az bir noktada bir yıl süre ile ölçüm yapmak gereklidir. Bir yıllık verilerle de site hakkında yeterli bilgiye sahip olamayız. Site hakkında güvenilir istatistiksel bilgilere ulaşabilmemiz için 10 yıllık bir veri paketine gereksinim vardır. Site için belirtilen 10 yıllık datayı toplamak olası değildir. Bu yüzden, elimizdeki bu verileri lokal bir meteoroloji istasyonu verileri ile ilişkilendirmemiz gerekmektedir. Bunun için ;

1- Weibull parametrelerinin diğer siteyle karşılaştırılması, ölçüm periyodunun karşılaştırılması ve referans datanın dayandığı ilişkiyi görmek gerekir.

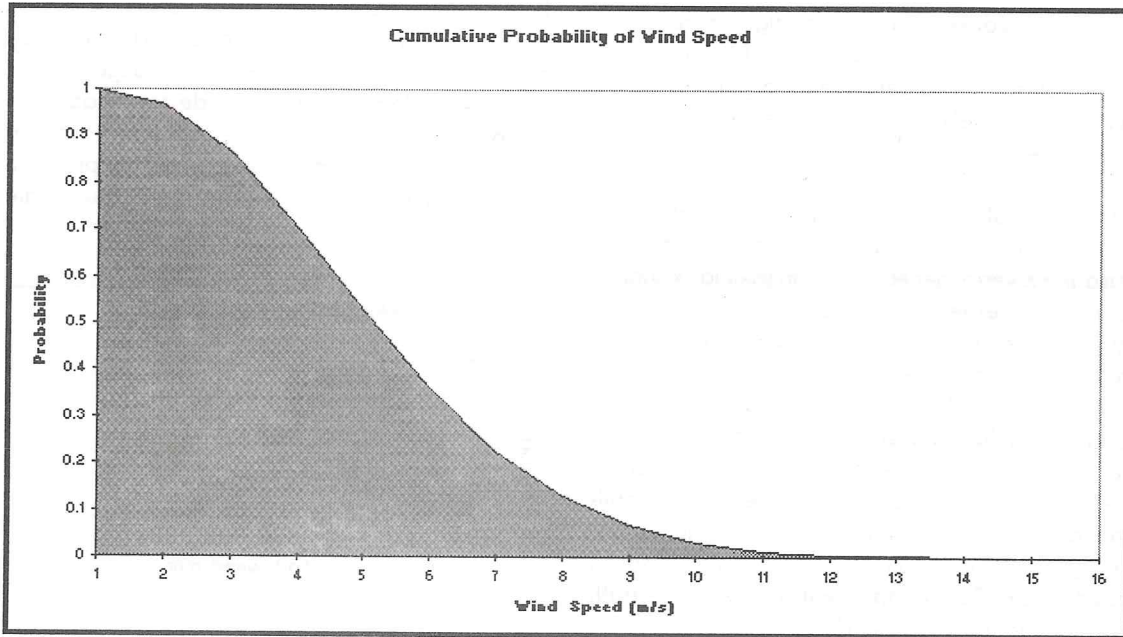
2- İki site arasındaki rüzgar hızı etkilerini ölçüm süresi boyunca hesaplamak gerekir.

3- Ölçüm periyodu üzerinden tüm bu data fonksiyonlarını üretmek gerekmektedir.

Uzun dönemli frekans dağılım verileri, bir enerji üretim frekans dağılımı verileri ile karşılaştırılması ve türbin güç eğrisi arasında ilişki kurulmalıdır. Bu bir sitedeki umulan hesaplanmış enerji üretimine eşitlenir. Veri tabiki farklı türbin tiplerine göre karşılaştırılabilir ve optimum sonuçlara göre uyumlandırılabilir.

Kaynakça:

Wind energy training course, Helen Chadwick



RÜZGARIN TEHLİKELİ SOĞUTUCU ETKİSİ

Mikdat KADIOĞLU

Doç. Dr. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

Hava durumu raporlarında "dışarıda hava sıcaklığı 0°C olacak, fakat kuvvetli rüzgar nedeniyle biz onu -20°C olarak hissedeceğiz" denirse bu ne anlama gelir?

Yaz aylarında yüksek hava sıcaklığı ile birlikte yüksek nem bizi ne kadar sıcaktan bunaltıyorsa, kış günlerinde de düşük hava sıcaklığı ile birlikte kuvvetli rüzgarlar da bizi o kadar üşütür. Yazın etkili olan yüksek nemden dolayı insanların hissettiği hava sıcaklıkları, termometre ile ölçülen hava sıcaklıklarından daha yüksektir. Kışın ise zaman zaman etkili olan kuvvetli rüzgarların soğutucu etkisinden dolayı insanların hissedeceği hava sıcaklıkları termometreler ile ölçülebilecek hava sıcaklıklarından daha düşüktür. Vücudumuz hava sıcaklığını termometre gibi hassas bir şekilde ölçemez fakat ne kadar hızlı soğuduğuna veya ısındığına karşı çok hassastır.

Soğuk bir kış günü açık havada yapılan bir

futbol maçını seyrederken tahta ya da demir bir banka oturma arasında tercih yapma şansına sahip olsanız büyük ihtimalle tahta bankı seçersiniz. Bankaların üzeri aynı sıcaklığa sahip olmasına rağmen demir bank daha soğuk olarak hissedilecektir. Çünkü demir yüzeyi daha büyük ısı iletimine sahiptir ve bizim daha hızlı bir şekilde soğumamıza neden olur. Soğuk ve rüzgarlı bir günde kendinizi sıcak tutabilmek için sizi rüzgardan koruyabilecek bir şey, saklanabilecek bir yer ararsınız. Burada havanın kötü bir iletken olduğu konusunda itiraz edebilirsiniz. Evet bu yüzden çift camların arasında ısı yalıtımı görevi gören hava bulunur. Fakat hareket eden hava iyi bir yalıtkan değil iyi bir iletkenidir.

Rüzgar soğuğu faktörünü açıklayabilmek için, önce sakın bir havayı göz önüne alalım. Temas yoluyla ısı, sizin cildinizden alınıp derinizi çevreleyen havaya taşınır. Buradaki havanın molekülleri rastgele hareketlere sahiptir ve derinizden uzaklaşırken

Tablo 1. Rüzgar soğuğu faktörü; metre/saniye ve Celsius cinsinden. Rüzgar şiddetlerini metre/saniye'ye çevirmek için rüzgar şiddetlerini 2'ye bölünüz.

Rüzgar Şiddeti (knot)	Sıcaklık (°C)									
	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
0	7	2	-2	-7	-12	-17	-22	-26	-31	-36
4*	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
10	-3	-9	-16	-22	-28	-34	-41	-47	-53	-59
15	-6	-13	-21	-27	-34	-40	-48	-55	-61	-68
20	-8	-16	-24	-30	-37	-44	-52	-60	-66	-74
25	-10	-18	-26	-32	-39	-47	-55	-63	-70	-78
30	-11	-19	-28	-34	-41	-49	-57	-65	-73	-81
35	-12	-20	-29	-35	-42	-50	-58	-66	-74	-82
40	-12	-20	-29	-35	-42	-50	-58	-66	-74	-82

vücut ısısının bir kısmını kendisi ile birlikte alıp götürür. Rüzgar esmeye başladığı zaman, cildinize daha fazla hava molekülü temas etmeye başlar ve her bir hava molekülü vücut ısısının bir kısmını taşımaya başlar. Yüzünüze çarpan hava moleküllerinin sayısı rüzgarın hızının artması ile artar. Yüzünüzün ısı kaybetme hızı artar ve siz hızla üşümeye başlarsınız. Rüzgar soğuşu faktörü sadece, havanın hareketi ile kaybedilen ısıdaki artışı dikkate alır. Aşağıdaki tablolar rüzgar soğuşunu, hava sıcaklığı ve rüzgar şiddetinin bir fonksiyonu olarak verir.

Yukarıdaki tabloları kullanarak rüzgarın soğutucu etkisini bulmak için, tabloların en üstündeki satırında bulunan gerçek hava sıcaklığını bulun ve sol taraftaki rüzgarın şiddeti ile kesleştirin. Örneğin, Tablo 1'den hava sıcaklığı -5°C ve rüzgar hızı 30 knot ise, rüzgarın soğutucu etkisini -28°C olarak bulursunuz.

Burada önemli olan nokta, rüzgarın soğutucu etkisinin vücudumuzdan rüzgar nedeniyle kaybedilen ısı (üşüme) hızının bir ölçüsü olduğu, ve kesinlikle havanın sıcaklığı olmadığıdır. Rüzgarın soğutucu etkisi örneğin, parmağınızın, araba radyatörünün veya içeceğinizin bir bardak suyun ne kadar soğuk olduğunu değil, rüzgar tarafından ne kadar hızlı bir şekilde ısı kaybedip üşüyeceğimizi bize söyler. Diğer bir deyişle, hava sıcaklığının

donma noktasının (0°C 'nin) üzerinde olduğu fakat rüzgarın soğutucu etkisinin donma sıcaklığının altında olduğu zaman bir bardak içindeki su donmayacaktır. Veya eğer sizin arabanızın antifrizi -30°C ise ve rüzgarın soğutucu etkisi -35°C ise, arabanıza (gerçekten hava sıcaklığı -30°C 'nin altına düşmediği için) bir zarar gelmez. Fakat, insan ve hayvanlar için, örneğin, rüzgarın soğutucu etkisi -28°C altına düştüğünde rüzgar ısırganlığı tehlikesi önemli ölçüde artar. Diğer bir deyişle, rüzgar soğuşu sadece insan ve hayvanları etkiler.

Yukarıdaki tablo Siple (1945)'nin formülasyonu kullanılarak 33°C ortalama deri sıcaklığı ve 1.8 m/s rüzgar şiddetine göre hesaplanıp hazırlanmıştır. Tablodan görülebileceği gibi ve tanımdan dolayı rüzgar hızı 4 knot (≈ 1.8 m/s, 6.4 km/saat) olduğunda rüzgar soğuşu faktörü etkili değildir. 1.8 m/s'den küçük değerler için rüzgarın soğutucu etkisi hava sıcaklığından daha büyüktür. Fakat, 1.8 m/s'den büyük değerler için rüzgarın soğutucu etkisi hava sıcaklığından daha küçüktür. Rüzgar soğuşu, hava sıcaklığının vücut içi sıcaklığından (37°C) daha düşük olduğu zamanlar geçerlidir. Bununla birlikte rüzgarın soğutucu etkisi genellikle hava sıcaklığı 15 veya 10°C 'den daha küçük olunca hesaplanır. Rüzgar hızı (90 km/saat) 25 m/s'deyken rüzgarın soğutucu etkisi en büyük değerine ulaşılır. Bunun üzerindeki rüzgar şiddetleri ise havayı daha sıcak

Tablo 2. Rüzgar soğuşu faktörü; kilometre/saat ve Celsius cinsinden.

Rüzgar Şiddeti (km/saat)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)											
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
Sakin	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
10	8	2	-3	-9	-14	-20	-25	-31	-37	-42	-48	-53
20	3	-3	-10	-16	-23	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68
30	1	-6	-13	-20	-27	-34	-42	-49	-56	-63	-70	-77
40	-1	-8	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-60	-68	-75	-83
50	-2	-10	-18	-25	-33	-41	-48	-56	-64	-71	-79	-87
60	-3	-11	-19	-27	-35	-42	-50	-58	-66	-74	-82	-90
70	-4	-12	-20	-28	-35	-43	-51	-59	-67	-75	-83	-91

Küçük tehlike : 5 saatten az bir sürede ve kuru ciltte çatlama, rüzgar ısırganlığı tehlikesi var.

Artan tehlike : Açık yüzeylerin 1 dakika içinde donma tehlikesi var.

Büyük tehlike : Açık cilt yüzeylerinin 30 saniye içinde donma tehlikesi var.

hissetmemize neden olur (wind-scorch factor). Diğer bir deyişle, özellikle hava sıcaklığı 33°C'den daha yüksek ise (birazda neme bağlı olarak), rüzgar hissedilen hava sıcaklığını daha da yükseltir; artık düşürmez.

Rüzgarın soğutucu etkisi üzerine orijinal çalışmalar Antarktika kaşifleri olan Paul Siple ve Charles Passel tarafından 1941 kışında yapılmıştır. Onlar bir tavadaki ve plastik bir silindirdeki suyun donma süresini ölçmüşler ve ısı kaybı hızının, su ve hava sıcaklığı ile birlikte rüzgar şiddeti ile de belirlenebileceğini bulmuşlardır. Bu yöntemin direkt olarak insanlar üzerine uygulanabilirliği üzerine bilimsel çevrelerde büyük tartışmalar vardır. Örneğin, insan bir tava sudan daha karmaşıktır ve her kişi yaşına, cüssesine, sağlık durumuna ve içinde bulunduğu fiziksel etkinliğe göre soğuğa farklı tepkiler gösterebilir. Aynı zamanda güneşlenme ve havadaki bağıl nemin de göz önüne alındığı yeni indeksler de geliştirilmiştir, ama hiç biri yaygın bir şekilde kullanılan rüzgar soğuğu indeksinin yerini alamamıştır. Sonuç olarak rüzgarın soğutucu etkisi, açık havadaki etkinliklerimiz ve dışarıya çıkarken nasıl giyinmemiz konusunda bizlere fikir vermesi bakımından çok faydalı ve kullanışlı bir indekstir. Bu indeks sadece dışarıdaki havayı ne kadar soğuk hissedeceğimizi anlamamıza yardımcı olur.

Soğuk ısırması (frostbite) cildinizin sıfır derece (donma) sıcaklığının altında olan bir sıcaklığa düşüğünde oluşur. Soğuk ısırması genellikle vücudun en uç noktaları olan kulaklar, el ve ayak parmaklarında görülür. Bu da bize bir cismin soğuma hızının aynı zamanda, cismin yüzey alanının cismin hacmine oranı ile de ilişkili olduğunu gösterir. Bu oran ne kadar büyükse cismin soğuması da o kadar hızlı olur.

Vücudumuz ürettiği ısıdan daha fazlasını kaybederse, vücut iç sıcaklığı düşer. Vücut; sıcaklığını korumak için, örneğin titreyerek, enerji kaybeder. Vücut sıcaklığı, metabolik aktiviteler normal bir şekilde sürdürülemeyecek kadar düşüğünde de hypothermia oluşur. Hypothermia'nın ilk işareti zihin karışıklığı ve şaşkınlıktır. Bunu uyuşukluk, baygınlık ve ölüm takip eder. Hypothermia'dan sakınmak için rüzgarın soğutucu etkisi hakkında mutlaka bilgi sahibi olmalısınız. Rüzgarın soğutucu etkisi kuvvetli olduğu zamanlar rüzgardan korunun ve kuru

kalmaya çalışın. Eğer birisi aşırı derecede soğukta kalmış ise ona sıcak ve kuru giysiler giydirin. Ona sıcak içecekler verin, onun açlığını giderip istirahat etmesini sağlayın, ama kesinlikle alkollü içecek vermeyin.

Meteoroloji bilim dergilerinde ısı indeksi ve rüzgar soğuğu üzerine sayısız bilimsel makaleler vardır. Rüzgar soğuğunun Türkçe olarak en yalın açıklamasını ise TÜBİTAK Popüler Bilim kitaplarından Hava ve İklim'in 35'inci sayfasında bulabilirsiniz. "Rüzgar, hava sıcaklığını olduğundan daha soğuk hissetmemize yol açabilir. Buna rüzgarın soğutucu etkisi denir. ... " Örneğin, "Hava sıcaklığı 0°C olup hafif bir rüzgar esiyorsa sıcaklığı rüzgarın soğutucu etkisinden dolayı -3°C olarak hissederiz. Kuvvetli bir rüzgar esiyorsa sıcaklık -10°C gibi hissedilir." Diğer bir deyişle, kışın güneşli havalara hiç aldanmamak ve rüzgar soğuğunu bilmeden sokağa çıkmamak gerekiyor.

Gelişmiş ülkelerde medya, insan sağlığı için önemli olan bu ve benzeri bilgileri halka yıllardır ulaştırıyor. Örneğin, ABD'de 1973'lerden beri soğuk havanın esen kuvvetli rüzgarlar tarafından el, yüz, kulak gibi çıplak yüzeylerdeki etkisi bilinip ona göre giyinilerek sokağa çıkılıyor. Kış sabahları Amerikan TV'leri rüzgar soğuğuna göre halkın kafasındaki "bugün nasıl giyinelim?" sorusuna yanıt veriyor. Sabah dışarı çıkarken, ya da çocuklar okula gönderilirken eldiven ve kaşkole ihtiyaç olup olmadığı da belirtiliyor.

Rüzgarın soğutucu etkisi sadece bir indekstir. Eğer dışarı soğuksa sizi sıcak tutacak kuru bir şeyler giyinin. Eğer dışarıda hava hem soğuk, hem de rüzgarlıysa sizi daha fazla üşütecektir. Ve eğer kayak yapıyor, koşuyor veya bayır aşağı kayıyorsanız rüzgar sizi daha da fazla etkileyecektir.

İnsanlar ve hayvanlar, havanın nemine ve esen rüzgarın şiddetine göre termometreden farklı olarak hava sıcaklıklarını hisseder. Bu nedenle de yazın ısı indeksi, kışın da rüzgar soğuğu vb. bilgileri sunan hava durumu programlarını izleyiniz ve medyanızdan bu bilgileri de ısrarla isteyiniz.

Not: "Hissedilen sıcaklık" kavramının bilimsel olup olmadığı ve yurtdışında hava durumu bilgileri arasında halka bu bilginin de verilip verilmediğini anlamak için lütfen internet'te "heat index" ve "wind chill effect" şeklinde aramalar yapın.

RÜZGAR ENERJİSİ

Murat DURAK

TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Enerji ve Yenilenebilir Enerji Komisyonu Başkanı

Rüzgar enerjisi kullanımı günümüzden çok öncelere dayanmaktadır. Sanılanın aksine ilk kullanımları Batı medeniyetlerinde değil, Asya medeniyetlerinden olan Çin, Tibet, Hindistan, Afganistan ve İran'da kullanılmıştır; Avrupa'ya 10. yüzyıl civarında geçmiştir. O dönemlerde ve hala günümüzde birçok ülkede çiftçiler tarafından kullanılan rüzgar gülleri daha çok tahıl öğütme (Şekil 1) ve kuyulardan su çekme amacıyla yönelik olarak kullanılmıştır.

Endüstri devrimi ile beraber, 18. yüzyılda buhar makinelerinin ortaya çıkmasını takiben, dünya, enerji gücünün temini için termodinamik işlemlere dayanan makinelerden yararlanmaya başlamıştır. İstenildiği zaman enerji kaynağı sağladıkları için, rüzgar enerjisinden daha popüler hale gelmiştir. Bu yüzden 19. yüzyıl ve 20. yüzyılın ortalarına kadar rüzgar enerjisinin önemi azalmıştır. Fakat 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizi insanoğlunu tekrar alternatif enerji kaynakları aramaya itmiştir. Rüzgar, güneş, jeotermal, dalga vb gibi alternatif

enerji kaynaklarının yenilenebilir olması, çevre kirliliğine yol açmaması, ham maddeye gereksinim duymaması gibi sebeplerden dolayı tekrar kullanılmaya başlanmıştır. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutan rüzgar enerjisi genel olarak aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir (Durak, 2000):

- Düşük güç gerektiren yerlerde yani aydınlatmalarda (otoproduktör),
- Yüksek kurulu güçlü santraller ile yüksek güç gerektiren yerlerde,
- Küçük işyerleri ve küçük işletmelerde, çiftlikler, evler ve büyük ölçekli sulamalarda,
- Açık denizde giden yat, gemi vb için elektrik üretimi,
- Tahıl öğütme amacıyla yönelik kullanma.

Günümüzde dünyada ve ülkemizin özellikle Ege bölgesinde birçok çiftçi tarafından sulama

(a)

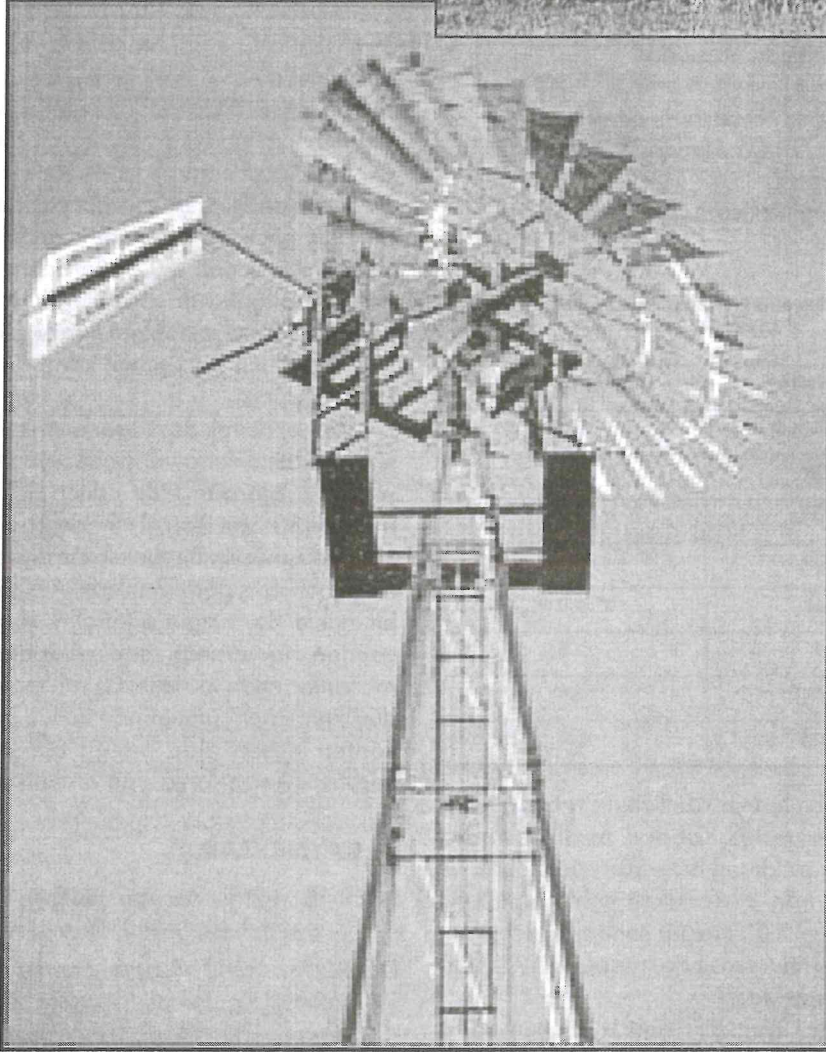
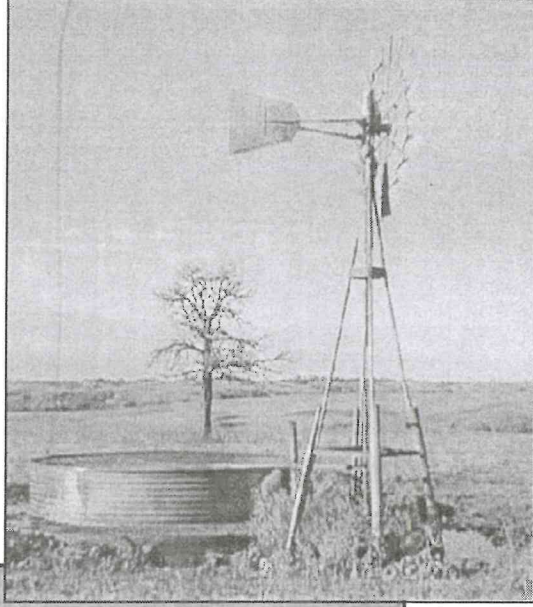


(b)

Şekil 1. Bodrum (a) ve İspanya'da (b) tahıl öğütme amacıyla yönelik olarak kullanılan yel değirmenleri.

amaçlı yel değirmenleri kullanılmaktadır (Şekil 2). Özellikle Manisa, İzmir, Balıkesir, Çanakkale illerimizdeki birçok çiftçimiz yıllardır bu doğal enerjiden faydalanmaktadır.

Rüzgar enerjisi kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunların başında santral arazisinin ikili kullanıma açık olmasıdır (Şekil 3). Aynı zamanda rüzgar santrali çalışırken ağaçlandırma, tarımsal faaliyetler vb yapılabilmektedir. Rüzgar türbinlerinden herhangi bir atık madde çıkmadığından dolayı, ekosisteme herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Avrupa ve Amerika'da bulunan birçok rüzgar santralının bulunduğu arazide hem santral çalışmakta, hem de santral arazisinde ağaçlandırma ve tarımsal faaliyetler devam etmektedir. Özellikle hammaddeye gereksinim



Şekil 2. Su çekme amacına yönelik olarak kullanılan yel değirmenleri.



Şekil 3. Rüzgar santralinin görünüşü

duyulmaması ve yatırım maliyetinin diğer enerji kaynaklarına göre düşük olması, rüzgar enerjisini çekici kılan diğer faktörlerdendir.

Diğer avantajları arasında:

- Sera gazı etkisi yapmaması,
- Temiz bir enerji kaynağı olması,
- Diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi dışa bağımlı olmaması,
- Güvenirliliği ve ucuzluğu gittikçe artması, sayılabilir.

Tablo 1. 1 kWh enerjinin ortalama üretim maliyeti (AREB-TŞ, 1999).

Güç Kaynağı	Ortalama (cent)
Solar termal hibrid	6.9
Nükleer	7.3
Doğal Gaz	4.7
Hidrolik	12.1
Rüzgar	6.0
Kömür	5.8
Jeotermal	5.6
Biomass	6.1

Rüzgar türbinlerinin özellikleri üretim gücüne göre değişmektedir. Kabaca özelliklerinden bahsetmek gerekirse, 40~50m yükseklik ve 22~25m çapında pervanelere sahip olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 3). Rüzgar santrali içindeki her bir rüzgar türbininin arasında mesafe 100~150m arasında değişmektedir.

Günümüzde kullanılan rüzgar gücü, dünyadaki toplam elektrik enerjisi üretiminde %1'lik bir paya

sahipken, önümüzdeki dönemde bu oranın artacağı tahmin edilmektedir.

TÜRKİYE'DE DURUM

Ülkemiz rüzgar potansiyeli bakımından şanslı bir coğrafyada bulunmaktadır. Bunda gerek orta enlemlerde olması, gerekse de üç tarafı denizlerle çevrili olmasının etkileri vardır. Yukarı seviyelerdeki rüzgarlar orta enlem sinoptik sistemlerinin etkisiyle genellikle batılı yönde iken; yerel rüzgarlar, genellikle kuzey-kuzeydoğu yönlerinden esmektedir. Hammadde gerektirmemesi ve yatırım maliyetinin düşük olması ülkemizde son yıllarda rüzgar enerjisine olan ilgiyi arttırmıştır. Şu anda rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretim amaçlı 3 adet rüzgar çiftliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki 3 adet rüzgar türbini bulunan İzmir Çeşme Alaçatı Germiyan Köyü'nde 1.7 MW kurulu güçlü, ikincisi yine İzmir Çeşme Alaçatı'da 12 adet rüzgar türbinine sahip 7.2 MW kurulu güçlü ARES santrali; son olarak ise Bozcaada'da bulunan 17 adet rüzgar türbinine sahip 10.2 MW kurulu gücünde sahip BORES rüzgar santralidir. Bununla beraber, yakın bir gelecekte ülkemizde rüzgar santrallerinin önemli bir artış göstereceği resmi kaynaklar tarafından doğrulanmaktadır. Şu anda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na 3000 MW'lık başvuru yapılmıştır. Ülkemizin toplam kurulu gücünün 26000 MW olduğunu hatırlarsak konu daha da iyi anlaşılabilir olur.

Maliyet olarak da rüzgar enerjisi diğer konvansiyonel kaynaklarla yarışır düzeye gelmiştir. 1980 yılında rüzgardan elde edilen 1 kWh enerjinin maliyeti 30 cent iken, 1991'de bu değer, 6 cent'e kadar düşmüştür. Bunun aksine diğer kaynaklarda sürekli bir artış görülmektedir. Ayrıca diğer önemli bir nokta da, rüzgar santrali kurulduktan sonra yapılan harcamalar sadece işletme ve bakım masraflarından ibarettir. Bu miktar da son derece düşüktür. Enerji üretiminde kullanılan diğer farklı yöntemlerden elde edilen elektriğin maliyet karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

KAYNAKLAR

- AREB-TŞ, 1999. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği Türkiye Şubesi, Sayı 2, Ekim, Ankara.
- Durak, M., 2000. Rüzgar Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye Uygulaması: Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali, İTÜ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

RÜZGAR ENERJİSİ ve TÜRKİYE GERÇEĞİ

Zekai ŞEN

Prof. Dr., İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Temiz enerji kaynakları arasında bugün için güncelliği özel şirketlerin Enerji Bakanlığı'na yaptıkları başvurular sayesinde en fazla olanı rüzgar gücünden elde edilecek enerjidir. Genel olarak hergün ve bilhassa soğuk sonbahar, kış ve ilkbahar aylarındaki rüzgar esmelerinin ne kadar fazla bir enerji kaynağına ortam hazırladığı bilinmekte, ancak bunun teknolojik olarak ekonomiye katkısı biçiminde değerlendirilmesi yapılamamaktadır. Yine son yıllarda ülkemizde özel şirketlerin bazıları sayesinde rüzgar enerjisi güncellik kazanarak enerji krizinin dar geçitinde önem kazanmıştır. Bunun anlamı, rüzgar enerjisi ile uğraşacak şirketlerin gelecekte daha da fazla artmasının beklentisidir. Bu ise İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü mezunlarının su boyutu yanında kendilerine kazanç sağlayacak başka bir sektörün gelişmesi anlamındadır. Zaten bugün için önemli şirketlerde, rüzgar enerjisi konusunda bilgili bölüm mezunları aranılır olmaktadır. Bu şirketlerde iş bulanlarında bu konuda yapacakları girişimler sonucunda rüzgar ve diğer temiz enerji kaynaklarının önemi daha da anlaşılacak ve bu konularda ders müfredat ve içeriklerinin yenilenmesi yönünde girişimlerin olması da beklenebilecektir. Ancak, başarıya ulaşmanın bir sırrı da yalnız ders notları ile yetinmemektir. Maalesef bugünkü üniversitelerimizin bazı bölümlerindeki anlayış, eline bir ders notu geçiren veya ben ders veririm diyenlere bu derslerin verdirilmesinin hazin sonuçları da gelecekteki nesillerden ağır ağır çıkacaktır. Başarının sırları arasında teorik esaslara sahip mezunların ayrıca arazi çalışmaları ve uluslararası bilim ve şirket çevrelerinde de saygınlık kazanma yönünde yayın, seminer ve sempozyum faaliyetlerinde bulunması gereklidir. Bu yazıda temiz enerji kaynaklarından sadece rüzgar gücü ve enerjisi üzerinde durularak Türkiye bakımından durumu arz edilecektir.

TARİHÇE

Enerji sıkıntılarının yaşandığı son yıllarda atık Türkiye'nin enerjisinin tümünü kendisinin üretebileceği ve büyük ölçüde dışa bağımlı kalacağı anlaşılmıştır. Bu bakımdan ülkede üretilmesi mümkün olabilecek her türlü enerji türünden yararlanmak hedefleri artık planlamalara sokularak uygulamaya geçirilmelidir. Genel olarak, fosil denilen kömür, petrol ve benzeri kaynaklardan üretilen enerjinin atmosferi kirleterek son birkaç on yılda çevre sorunlarına sebep olduğu, yani bu kaynakların tüketilmesinin bir yan etkisi olduğu anlaşılmıştır. Diğer taraftan, sonlu rezervleri bulunan bu kaynaklardan kömürün en fazla 200 yıl sonrasında artık tükenmeye yüz tutacağı gerçeği de anlaşılmıştır. Fosil yakıtların atmosferi kirletmeleri sonucunda ortaya iklim değişikliği, sera etkisi, küresel ısınma ve mevsimlerin bir dereceye kadar değişmesi sorunları da dolaylı olarak meydana gelmektedir. Bu bakımdan bütün dünyayı ilgilendiren atmosfer kirlenmesi, fosil yakıtların tüketilmesine tahditler getirmektedir. Bunun üzerine çevre ile dost, temiz ve yenilebilir, böylece sürdürülebilir enerji kaynaklarının araştırılarak kullanılması yollarına gidilmektedir. Bu yazının konusu temiz enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisidir.

İlk insanlar rüzgarın neden meydana geldiğini bilememekle beraber, onun gücünden yararlanma yoluna gitmişlerdir. Aslında rüzgarın günün hangi zamanlarında, yılın hangi mevsimlerinde ve bir yörenin nerelerinde fazlaca estiği tecrübelerle tesbit edildikten sonra, onun gücünden yararlanarak toplum için faydalı işlerin görülmesi düşünülmüştür. Bu yönde belki de ilk uygulamalar yelkenli gemilerin yüzdürülmesi yolu ile başlamıştır. Eski Yunanlılar ve onları takiben Romalılar zamanında her ne kadar gemilerin yelkenler vasıtası ile yüzdürülmesi mümkün olmuş ise de, toplumun diğer faaliyetlerinde rüzgar gücünden yararlanma

yoluna gidişler onlar tarafından yapılmamıştır. Daha ziyade kara topluluklarında gelişen ve dairesel hareketli yel değirmenlerinden güç kaynağı olarak yararlanmak, Orta ve batı Asya ülkelerinde başlamıştır. Böylece, rüzgar değirmenlerinin ilk kullanım alanları olarak karşımıza İran, Afganistan, Tibet ve doğu Asya'da Çin çıkmaktadır. Eski devirlerde insanlar yelken takımının ayarlanması ile bir teknenin rüzgarın yönünden farklı bir yönde gidebileceğinin farkındaydılar. Ancak bu uygarlıklarda yel değirmeni gibi topluma faydalı makinelerin kullanılmasına rastlanılmamaktadır.

Milattan önceki veya daha kuvvetli olarak sonraki birinci yüzyılda yaşadığı anlaşılan İskenderiyeli Heron tarafından yazılan Pneumatika isimli eserinde org çalmak için rüzgar gücünden yararlanıldığı söylenmektedir. Daha sonraki asırlarda, özellikle İslam medeniyeti sırasında geliştirilmiş ve on ikinci yüzyıl sonlarına kadar süren bir uygarlık sırasında rüzgar gücünden yararlanmak için değişik cihazlar geliştirilmiştir. Öncelikle rüzgar değirmenleri orta Asya'daki çalışmalarla ortaya çıkararak gelişmiştir. Diyarbakır yöresi Artuk Türklerinden Ebu'l İzz tarafından geliştirilen ve rüzgar gücü ile çalışan su pompası bugünkü modern anlamda silindir, piston ve süpape gibi kısımları ihtiva etmektedir (Şen, 2000).

Dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve bilimsel faaliyetlerin gelişmesi ile paralel olarak gelişen teknolojiler sonucunda suya ve enerjiye olan talep gün gittikçe artmaktadır. Yeni kaynakların geliştirilememesi veya keşfedilememesi halinde mevcut imkanlar ile artan talebin karşılanması imkansız hale gelmektedir. Zaten temel ihtiyaç maddesi olan bu kaynakların gün geçtikçe kalite ve miktarlarındaki azalmalar insanoğlunu yeni araştırmalara sevk etmektedir. Onsekizinci yüzyılın sonlarına doğru başlayan sanayi devrimi ile beraber hiç azalmayacak bir biçimde ve zamanla artan enerji miktarına ihtiyaç olmuştur. İnsanlık günümüze kadar olan zaman zarfında enerjinin değişik türlerinden yararlanmış ve zaman zaman bunlardan bazılarının kullanımından vaz geçilmiş veya kullandıkları miktarı azaltarak başka başka enerji türlerini kullanıma almıştır. Böylece, insanlık oldukça geniş ve verimli bir tecrübeye sahip olmuştur.

Günümüzde rüzgar gücü, enerji açığını kapatabilecek miktarlarda üretilmesi bile, gün geçtikçe daha yaygın bir şekilde kullanılabilir hale gelmektedir. Bunun esas sebebi rüzgar enerjisi kaynağının bedava olması, hiç yatırım gerek-

firmemesi, hava kirliliğine neden olmaması ve çevre dostu enerji kaynağı olmasıdır. İnsanlar, Milattan önceki devirlerde bile rüzgar enerjisinden yararlanarak düşük seviyelerdeki suların daha yükseklere çıkarılmasında, buğday öğütülmesi için yel değirmenlerinde, gemilerin yüzmesi ile ulaştırmada kullanıla gelmiştir. Bilhassa, İran yörelerinde çok eski devirlerde yaygın olan rüzgar gücü ile çalışan fırınlar daha sonraları yavaş yavaş batıya doğru kaymış ve özellikle on üçüncü asırdan sonra batı Avrupa ülkelerine kadar ulaşmıştır. İlk zamanlarda rüzgar enerjisi hesabı için hiç bilimsel yaklaşımlar yapılmamıştır. Zaten az olan enerji ihtiyacı hesapların yapılmasını gerektirmemekte idi. Böylece, ilk faydalanmalara sadece teknolojik gelişmelerin yön verdiğini görebiliriz.

RÜZGAR VE ENERJİSİ

Rüzgar konusunun bilimsel incelemesi daha sonraki yıllarda başlamış ve on dördüncü asırdan sonra ağırlık kazanarak günümüze kadar gelmiştir. İlk defa rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesine Hollan'da da başlanmıştır. Bugün, ABD'de elektrik enerjisinin %20'ye yakın bir kısmı atmosferdeki hava kütlelerinin hareketi sonucunda ortaya çıkan rüzgar enerjisinden faydalanmak sureti ile karşılanmaktadır. Ayrıca, Clarke (1988) rüzgar enerjisinin kullanımının artması ile elektrik enerjisi üretmekte kullanılan fosil yakıt miktarının azalması dolayısı ile çevrede kirlenmenin azalacağı hususlarını ayrıntılı olarak incelemiştir. Rüzgar enerjisi, özellikle 1993 yılında ortaya çıkan dünya enerji dar boğazından sonra önem kazanmıştır. Bu tarihten sonra Avrupa'nın değişik ülkelerinde rüzgar-çiftliklerinin kurulması yönüne gidilmiştir (Anderson, 1992; EWEA, 1991; Troen and Peterson, 1989). Ülkemizde de rüzgar enerjisi ile ilgili olarak yapılan bilimsel ve uygulamalı çalışmalar son yıllarda artmıştır (Durak, 2000; Durak ve Şen, 2000; Durak ve Şen, 2001)

Güneşten gelen ışınım ile ısınan yeryüzü, albedolardaki farklılıklar dolayısı ile atmosferde ısınma farklılıklarının ortaya çıkmasına, bunun sonucunda da yatay basınç farkları meydana gelir. Bu cümlede bulunan farklılık kelimesi kısa mesafe veya meteorolojik faktörlerdeki değişmelerin rüzgar enerjisi hesaplamalarında oluşturacağı farklılıklara işaret ederek bu konularda araştırma yapılmasının gerekliliği olarak algılanabilir. Özellikle de atmosferin sınır tabakası içindeki değişik grad-

yantların sonucunda beliren meteorolojik değişikliklerin rüzgar enerjisi hesaplamalarında etkisi doğrudan görülebilir. Genel olarak, rüzgar enerjisi biri dinamik karakterli meteorolojik, diğeri ise daha kararlı jeomorfolojik faktörlerin etkisi altında meydana gelir. Bu iki grup faktör birbirinden bağımsızdır. Yani birinin etkisinin olması diğersinin de olacağı anlamına gelmez. Yeryüzünün tamamen düz olduğu yerlerde bile atmosferdeki sıcaklık ve basınç farklılıkları rüzgar enerjisinin mikro ve makro ölçeklerde değişmesine neden olur. Dinamik karakterli bu değişimler sonucunda rüzgarın kaotik bir yapıya sahip olduğu ve böylece rüzgar enerjisi hesaplarının ortalamalar dışında pek sağlıklı olamayacağı anlaşılır. Ancak aşağı atmosferdeki hava hareketleri rüzgarın zaman ve mekanla değişmesine meydan verirler. Ayrıca, jeomorfolojik faktörler arasında arazinin engebeli, yüksek tepeliklerin olması, oluk ve vadilerin bulunması yüksek platoların varlığı sayılabilir. Jeomorfolojik faktörler dolayısı ile rüzgar enerjisi değişimleri zamansal değilde uzaysal veya alansaldır. Justus (1986) rüzgar hesaplarını günümüz bilim seviyesine kadar inceleyerek literatüre kazandırmış olmalarına rağmen rüzgar enerjisinin zamansal ve alansal değişimleri pek fazla incelenememiştir.

Rüzgar yeryüzüne göre göreceli olan bir hava hareketidir. Rüzgar türbinlerinin tasarlanarak enerji üretiminin yapılması için durağan olan rüzgar vektörünün üzerindeki salınımların da göz önünde tutulması gereklidir. Enerji hesaplamalarında durağan olan rüzgar hızı ile bunun etrafında salınımlar şeklinde ortaya çıkan sapmaların rüzgar türbinleri üzerine olabilecek kuvvetlerin ve bunun sonucunda ortaya çıkabilecek rüzgar gücünün hesaplanması gereklidir.

Aklını kullanan insanlık, atmosferin alt tabakalarında esen rüzgardan da istifade etmenin yollarını aramıştır. Güneş ışınımının etkisi ve yeryüzeyi albedosunun farklılığı sonucunda oluşan hava hareketleri, atmosfer sınır tabakasında bulunan moleküllerin durmadan hareket etmesine sebep olur. İşte bu hava kütlelerinin kinetik enerjisinin bir pervane ve düşey mil ile istenilen yere nakil edilmesi sonucunda, mesela, kuyulardan suların yeryüzüne çıkarılması için çeşitli fırıldak tabir edilen rüzgar fırıldakları imal edilmiştir. Geçmişte bu fırıldakların rüzgar etkisi ile dönmesi sonucunda yine hareket istenilen yere taşınarak mesela 'yeldeğirmeni' adı verilen tahıl öğütme yerleri yapılmıştır. Rüzgar enerjisi kullanımının bir başka şekli ise, yelkenler vasıtası ile gemilerin yüzmesidir. Günümüzde ise rüzgar fırıldakları artık yeni bir

tabirle rüzgar türbini adını almıştır. Bunun sebebi ise artık rüzgardan doğrudan hareket değilde, elektrik enerjisi üretilmesine yönelmesidir.

Meteorolojik olarak atmosferde az da olsa basınç farklarından ortaya çıkan hava hareketlerine rüzgar denir. Işınım farkları nedeni ile oluşan basınç farkları (alçak ve yüksek basınç merkezleri) sonucu hava hareket ederek kinetik enerji ortaya çıkar. Bir yerde rüzgar enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak rüzgarın yön, sıklık ve hızının belirli seviyelerde olmasına bağlıdır. Bu faktörler bir yerin rüzgar enerjisinin potansiyelini belirlemede kullanılırlar. Rüzgar enerjisi için basit bir hesaplama ile saniyede 6 metre hızı olan bir rüzgarın 12 metre kanat uzunluğuna sahip bir türbin üzerine 900 kg basınç ve türbini 42 kere döndürmek sureti ile 6.6 kw'lık bir elektrik gücü üretilebilir.

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ

Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de rüzgar enerjisinden yararlanma ilk zamanlar yeldeğirmenleri vasıtasıyla olmuştur. Bunun en yaygın olarak kullanıldığı yer bugün bile Yeldeğirmeni olarak bilinen İstanbul'un Kadıköy ilçesindeki bir mahalle olmuştur. Dünyada, 1940 yıllarında bazı küçük köylerin elektrikleştirilmesinde rüzgar enerjisinin kullanıldığı bilinmektedir. Daha sonra yedek parça sorunu olduğu için bu faaliyetler önemini kaybetmiştir. Ancak, 1961 yılında yapılan bir envanter çalışması Türkiye'deki 718'i kuyudan su çekmek, 41'i ise elektrik üretmek için toplam 859 adet rüzgar türbininin kullanıldığını göstermiştir. Çizelge 1'de en düşük rüzgar hızından en büyüğe doğru sıralanmış hızların hüküm sürdüğü bölgeler gösterilmiştir. Bu konuda ayrıntılı bilgiler Akgün(1998) tarafından verilmiştir.

Güneş ışınımının yeryüzüne ulaşması ve değişik yüzeylerden yansımaları ile meydana gelen ısı ve sıcaklık farkından havanın yatay olarak hareket etmesine rüzgar denildiğini yukarıda izah etmiştik.

Çizelge 1. Yıllık ortalama rüzgar hızları

Bölgeler	Hız(m/sn)
Karadeniz	0.6-4.6
Doğu Anadolu	0.6-2.8
Akdeniz	1.0-4.8
Ege	1.1-3.5
Güneydoğu Anadolu	1.4-2.9
Marmara	1.6-5.1
Orta Anadolu	1.7-3.3

Bu hareketler;

- Gezegen,
- Kıtalar (sinoptik),
- Ülkeler (mezo),
- Yerel (makro)
- Çok küçük (mikro)

ölçeklerinden biri veya birkaçının karışımı şeklinde olur.

Zaman ve mekanla olabilecek rüzgar enerjisi kaynaklarının dağılımını anlayabilmek için dönen aramızda ortaya çıkan değişik ölçekteki hava akımlarının incelenmesinde yarar vardır. Atmosferdeki tüm enerji kaynaklarının esası güneş olduğundan, rüzgar doğrudan güneş ışınlamı ile yönlendirilmez. Rüzgarın yönlendirilmesi atmosferdeki değişik enerji dönüşümleri sayesinde. Bu tür incelemelerin rüzgar enerjisi ile ilgili mühendislerin fizik olayları anlamasına yararı vardır. Bu fizik olaylar arasında dinamik, termodinamik ve ışınlam olayları bulunur. Bu olayların ortaklaşa ve eş zamanlı olarak atmosferde meydana gelmeleri sonucunda rüzgar ortaya çıkar.

Atmosferde değişik zaman ve mekan ölçeklerinde işlemler bulunur. Bunlar saniyeden ve metrenin küçük ondalıklarından başlayarak yıl ve binlerce kilometre uzaklıklara kadar bir aralıkta olabilirler. Atmosferdeki hareketlerin zaman ve mekan ölçekleri ve bunların rüzgar enerjisi bakımından önemleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çok büyük olan iklim ölçekleri mevsim ve yıllar arası rüzgar değişikliklerini içerir. Bu ölçek bölgesel rüzgar kaynaklarının değerlendirilmesi için önemlidir. Basın veya hava yolları tarafından kullanılan hava haritaları ölçeğinde büyük ölçekli

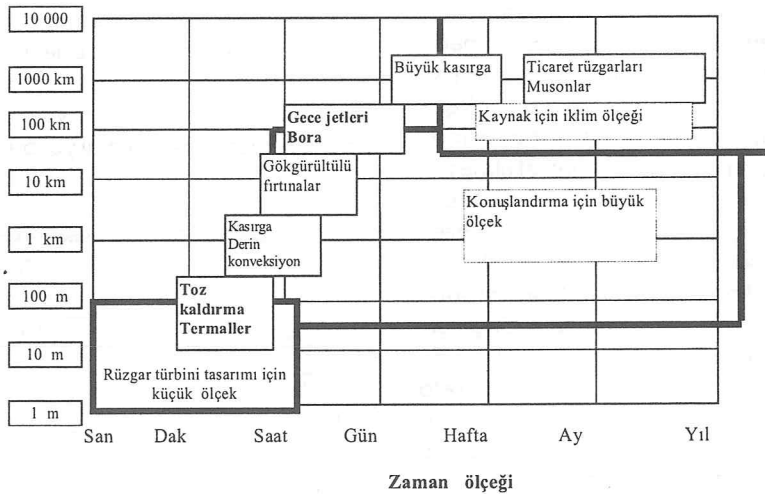
sinoptik salınımların tesbit edilmesi, bir memleket boyunca olabilecek hareketlerin eş-basınç (izobar) paternlerinden çıkarılmasına yarar. Bu büyük ölçekli salınımların rüzgar gücü istasyonlarının verimliliği üzerine etkileri vardır. Uygun istasyonların konuşlandırılması bu hareketlerin patternlerine göre yapılır. Daha küçük ölçeklerdeki salınımların, ölçek olarak daha yerel ve fazla sıklıklı olmaları, en iyi biçimde yerel anemometre kayıtları ile ölçülür. Bu ölçekteki veriler türbin tasarımı ve mikro-konuşlandırma için gereklidir. Türbinlerin teker teker konuşlandırılması bu ölçekteki verilere bağlıdır.

Bir meteoroloji istasyonunda yapılan rüzgar hızı ölçümleri biri belirgin (deterministik) yani ortalama diğeri bunun etrafında belirsiz salınımlar olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Bu salınımların istatistik özellikleri rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmesinde önemlidir.

Belirgin kısmın zamanla değişimi ihmal edilecek kadar azdır. Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde bu kısım önemlidir. Salınım rüzgar hızları ise türbin kontrolü ve stabilitesi için önemlidir. Rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplamasında ortalama rüzgar hızlarından elde edilen iki büyüklük önemlidir.

a) Rüzgar hızı sıklık dağılımı: Göz önünde tutulan bir hızın zaman olarak kaç defa aşıldığını gösterir.

b) Rüzgar hızı ısrarlılığı: Göz önünde tutulan hızın zaman olarak ne kadar sürekli bir sürede aşıldığının bir göstergesidir. Bu büyüklük rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplamalarında, rüzgardan üretilen enerjiye bağımlı kalabilirlik, gerekli



Şekil 1. Atmosfer hareketinin zaman ve mekan ölçekleri

depolama seviyelerinin belirlenmesi ve karışık tasarımlarda (rüzgardan üretilen ve mesela sudan üretilen elektrik enerjilerinin aynı anda kullanılması) önem kazanır.

RÜZGAR ÇİFTLİKLERİ

Rüzgar enerjisi üretmeye elverişli olan bir yere en azından birkaç tane rüzgar fücünü elektrik enerjisine dönüştürecek türbinin kurulması ile ortaya çıkan yerlere rüzgar çiftlikleri adı verilir. Buralara bazen rüzgar santralleri adı da verilir. Rüzgar çiftlikleri, kurulmaları uygun yerlere yaklaşık 100 - 200 m aralıkla türbinlerin yerleştirilmesi ile ortaya çıkar. Rüzgar çiftliklerinin birim elemanı rüzgar türbinidir. Modern rüzgar türbinleri aerodinamik olarak rüzgarın sürüklenme (drag) ve kaldırma (lift) kuvvetlerinden yararlanarak çalışırlar. Bu konuda ayrıntılı bilgiler Taylor (1995), Spera (1994) ve Durak (2000) tarafından verilmiştir. Sürüklenme kuvveti rüzgar esme yönünde türbin yüzeyine rüzgar tarafından yapılan basınç kuvveti, kaldırma kuvveti ise esme yönüne diktir.

Yerleşim bölgelerine özellikle gürültünün ulaşmaması ve elektromagnetik kuvvetlerden elektronik cihazların etkilenmemesi için en azından 600 - 1000 m uzaklıkta kurulan rüzgar çiftliklerinin aşağıda sayılan faydaları vardır. Bunlar:

a) Hammadde ihtiyacı yoktur. Rüzgar yukarıda söylenen ve tamamen atmosfer güneş etkileşimi ile meydana gelen yatay hareketler olduğundan, hammaddeye ihtiyaç göstermez. Bu bakımdan, rüzgarlı zamanlarda rüzgar gücü ve onun dönüştürüldüğü elektrik enerjisinden faydalanılabilir. Bir bakıma hammadde bedavadır. Bu hammadde tamamen meteorolojik şartlara bağlıdır. Yılın her gününde ve ayında aynı miktarlarda bulunmaz. Değişkenliği fazla olmasına mukabil ülkemizde kış aylarında daha fazla olduğu söylenebilir.

b) Kurulması diğer enerji santrallerine göre daha hızlı: 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 ulaşımın ve taşınımın sürekli sağlanması gereklidir. Rüzgar türbinlerinin yatırımına karar verdikten sonra mali bütçesinde hazır olması ile üç ay gibi kısa bir zaman zarfında inşası tamamlanarak üretime başlanabilir. Diğer taraftan, rüzgar üreten türbinlerin ömürleri 30-40 yıl olarak garanti edildiğinden

yatırım maliyeti uzun vadede az ve enerji faydası nerede ise bakım masrafları dışında çok az olması dolayısı ile nerede ise bedavadır. Bir rüzgar türbininin yatırım maliyeti yaklaşık 2-3 sene içinde kendisini amorte etmektedir.

c) Temiz enerji kaynağı olması: Rüzgar hammaddesi tamamen atmosferdeki hava hareketleri olduğundan ve bunlarında ortaya çıkmasında çok temiz olan güneş ışınımı rol oynadığından, rüzgar enerjisinde temiz olduğu sonucuna varılır. Hava kirlenmesi veya çevre kirlenmesi şeklinde hiçbir yan etkisi bulunmamaktadır.

d) Sürdürülebilir enerji kaynağı olması: Diğer enerji türlerinden özellikle çevre dostu ve temiz olmayan fosil yakıtların ömürleri kömür olarak en fazla 220 yılı kadar sınırlı iken rüzgar enerjisinin az olan miktarına karşılık böyle bir ömür sorunu yoktur. İşte bu bakımdan rüzgar enerjisinin sürdürülebilir olduğu sonucuna varılır.

e) Enerjide dışa bağımlılığın azalması: Türkiye son yıllarda yapılan enerji planlamalarında hep ve ölüğçe önemli oranda dış kaynaklı enerjilere istese de istemese de bağlı olacaktır. Bunun doğal sonucu olarak ülkede tükenmeyen denilebilen rüzgar ve güneş enerjilerinin öncelikli olarak azami miktarda kullanılmasının fosil türü diğer enerji kaynaklarının kullanılmasının yerine geçeceğinden dışa bağımlılık bir bakıma azalacaktır. Bu bakımdan ülke üzerinden esen rüzgarların enerjilerinin sağılmasında ülke ekonomisi ve enerji potansiyelinin artırılması açısından faydası vardır.

f) Sera gazı etkisini azaltması: Son iki on yıllık araştırmalardan atmosfer kirlenmesinin yol açtığı sera etkisinin kökeninde fosil yakıtların kullanımının olduğu bilimsel incelemeler sonu anlaşılmıştır. Sera etkisi güneşten yeryüzüne gelen kısa dalga boylu ışınımın bir kısmının yeryüzünden uzun dalga boylu olarak tekrar atmosfere verilmesi sırasında, fosil yakıtlar dolayısı ile atmosferde CO₂ birikmesinin yol açtığı kimyasal terkip dolayısı ile uzun dalga boylu ışınımın atmosfer dışına çıkmasına müsaade edilmemesidir. Rüzgar ve güneş gibi temiz ve hatta bir dereceye kadar temiz olan doğalgaz kullanılması ile fosil yakıt kullanımının azaltıldığı ve böylece atmosfer şartlarında geriye dönüşlü bir iyileşmenin olacağı var sayılmaktadır.

g) Fosil yakıt tüketimini azaltır: Önceki maddede belirtildiği gibi rüzgar enerjisi kullanımının artması ulusal şebekede özellikle termik santrallerle üretilmiş elektrik enerjisinin miktarı azalacağından bunları üretmek için kullanılan hammadde fosil

yakıtların kullanımında da düşüşler şimdiden gözlenmektedir.

h) Her geçen gün güvenilir olmakta ve ucuzlamaktadır. Rüzgar enerjisinin bundan 25-30 yıl öncesine göre maliyet seviyesi gittikçe artarak, bugün için kullanılabilirliği bazı kurum, kuruluş ve şirketler tarafından düşünülebilir seviyeye inmiştir. Buna rüzgar türbini araştırmalarından elde edilen düşük maliyetli imalatlar ile hammadde sorununun bulunmamasındandır.

i) Rüzgar türbinlerinin kurulduğu arazi tarım alanı olarak kullanılabilir. Rüzgar çiftliklerini tesis eden değişik türbinler orada yapılaşmaya müsaade etmez. Ancak, bu çiftliklerin gölgesinde tarıma hiç zarar vermeyecek biçimde devam edilebilir. Hatta, kurak bölgelerde rüzgar enerjisinden yararlanarak suyun yeraltından yeryüzüne çıkması için gerekebilecek enerjinin üretilmesi ile rüzgar türbininin kullanılmasına olumlu bakılmaktadır.

j) Ormanlık alanların azalmasını engeller: Rüzgar çiftliklerinin bulunduğu yerlerde tarım dışında hemen hiç faaliyet yapılmayacağından buraların yeşil ve ormanlık tutulmasında katkılar da olabilir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde 80000 MW ile 10000 MW arasında rüzgar enerjisi potansiyelinin bulunduğu değişik kişi ve kuruluşlar tarafından tahmin edilmektedir. Enerji Bakanlığı'nın tahmini ise 10000 MW'tır. Bunun bu güne kadar 100 MW'ı bile gerçekleştirilememiş olmasından gelecekte rüzgar enerjisi üretimi için ne kadar bir çalışmasahasının açılacağı konusunu kestirmek kolaydır. Bu çalışma sahasının bir özelliği konu ile ilgili olan kuruluşların kamu esaslı değil de ezici çoğunlukla yap-işlet-devret biçiminde çalışmalar yapmak peşinde olan özel şirketlerdir. Buralarda çalışabilecek kişilerin temiz enerji ve özellikle de rüzgar enerjisi bakımından güncel ve uluslar arası bilgilerle donanmış olmaları aranan nitelikler arasındadır. Bu konuda kendisini bugüne kadar tek yer olarak gören veya başkaları tarafından öylece sanılan İTÜ Meteoroloji bölümünden başka yerlerde de temiz enerji kaynakları bakımından dersler açılmaktadır. Bunun ülkemizdeki en son örneği İTÜ İnşaat Fakültesinin 7. Yarıyılında bu seneden itibaren "Temiz Enerji Kaynakları ve Modellenmesi" isimli seçimsel dersin müfredata alınmasıdır.

Temiz enerji kaynaklarının önemi ve bu konulardaki gelişmelerin takibi ve uluslararası arenaya tanıtılması yine bu konulara gönül vermiş,

yayınlar ve yetiştirdiği gençlerle yayılmasına imkan veren akademisyenlerin yanında özellikle Meteoroloji Mühendisleri Odasının rüzgar, güneş ve dalga enerjilerine ağırlık vererek bunlara meslekdaşları için sahip çıkması yararlı olacaktır. Çünkü kısa bir gelecekte artık meteoroloji mesleğinde temiz enerji kaynakları konusunda tıpkı su konusunda olduğu gibi kazanç sağlayacak kapılar artarak açılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Anderson, M., 1992. Current status of wind forms in the UK, Renewable Energy System.
- Aslan, Z., Menteş, S., Tolun, S., (1993). Gökçeada'da rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi. I. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 104-112.
- Clarke, A., 1988. Wind farm location and environmental impact, Network for Alternative Technology and Technology Assessments C/O EEDU, The Open University, UK.
- Durak, M., (2000). Rüzgar enerjisi teknolojisi ve Türkiye uygulaması: Akhisar rüzgar elektrik santrali. İTÜ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Durak, M., ve Şen, Z., (2001). Akhisar rüzgar elektrik santrali için rüzgar türbini mikrokonuşlandırılması. III. Temiz Enerji Sempozyumu, sayfa 291-299.
- Öztopal, A., Şahin, A.D., Akgün, N., Şen, Z., (2000). On the regional wind energy potential of Turkey. Energy, 25, 189-200.
- Öztopal, A., Kahya, C., Şahin, A., (2000). Yapay sinir ağları ile rüzgar şiddeti modellenmesi. III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, sayfa 415-422.
- Şahin, A.D. (1999). Extreme wind speed risk evaluation model and application. Wind Engineering into the 21st Century, 323-327.
- Şen, Z., (2000). İSKİ Havzalarında Rüzgar Gücünün Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi. İTÜ, İnşaat Fakültesi, Hidrolik Anabilim Dalı, Uygulama Poje, 178 sayfa.
- Şen, Z. (2001). Areal assessment of wind speed and topography with applications in Turkey. Renewable Energy, (baskıda)
- Spera, D. A.,, 1995. Wind Turbine Technology. Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering. ASME, New York, 638 pp.

RÜZGAR ENERJİSİ MALİYETLERİ*

Nedim ERDAL
EİE İdaresi Genel Müdürlüğü

Bu makale, rüzgar türbinlerinde kullanılan elektrik üretim sistemleri için fiyat niteliklerini ele almaktadır. Rüzgar türbinleri çeşitli çap ve ortamlarda kullanılmaktadır. Bunlar şebekeye bağlı olan yada bağlı olmayan küçük makine kümelerinin (rüzgar çiftlikleri) verdikleri elektrik, rüzgar türbinlerinden ulusal şebekeye dek uzanmaktadır.

Yeni ve yenilenebilir enerji sistemlerinin fiyatları geçen 15 yıldır anlamlı bir şekilde azalmakta fakat kullanımında gün geçtikçe artmaktadır. Ekonomik değerleri örneklerle göstermek, rüzgar türbinlerinin ekonomik performansını belirlemek ve ölçüm fiyatları olarak üç metod kullanılır. Bu tanımlamalar, sermaye maliyeti ile başlar, yılda üretilen birim enerji fiyatı ile devam eder ve enerji maliyeti ile son bulur. Bu üç maliyet hazırlıkları artan biçimde herşeyi içine alır. İlk antlaşmalarda sadece kurulu sermaye gücü ile kilovat başına düşen dolar ederi belirlenir. Tam sermaye maliyeti, kurulu sermaye maliyetli rüzgar türbinlerinin enerji özellikleri ve rüzgar kaynağının kalitesi ile belirlenir. İkinci hazırlık olarak yılda kilovat saat başına düşen cent miktarıdır. Üçüncüsü ise daha kapsamlıdır. Enerji maliyetinin ömrünü, rüzgar sisteminin 20-30 yıllık ömrü süresindeki bakımının ve işletim maliyetinin rüzgar kaynağının kalitesi ile toplam kurulu güç sermayesinin belirlenmesidir. Enerji maliyetlerini daha fazla içinde bulunduran bu üçüncü bölümde; enerji maliyetinin ömrü, enerji üreticisinin ödeme-akış durumu, kar ve zarar, alternatif yeni fiyat anlaşması veya vergi giderlerin süreleri olarak tanımlayabiliriz. Burada yararlı bir uygulama perspektifi sunulurken, bu değerler her metod için yaklaşık olarak aynı olmalıdır.

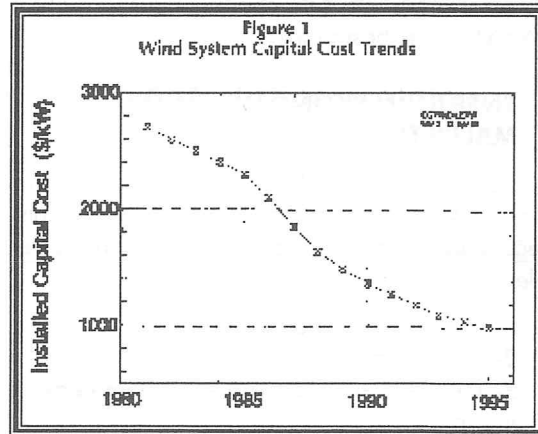
TESİS MALİYET HESABI

Rüzgar türbini sistemleri için maliyet ölçümlerinin en basiti, tesis maliyet hesabıdır. Bu değerlendirme tüm planları içerir, bunlar; aletlerin alımı, anahtar teslimi inşaat ve kurma maliyetleridir. Bu maliyet, bakım ve altyapıyı destekleme, sistemin tüm elektrik yükü, kule alımı ve rüzgar türbinini içermektedir.

Kamu yararına olan uygulama ve politikalara bağlı olarak elektrik sistemi, sermaye maliyetinin yerini alabilirde almayabilirde. Bir rüzgar çiftliğinde tesis maliyet hesabı şu maddeleri içermektedir.

- 1- Rüzgar kaynağı hesabı ve analizi.
- 2- İzin, inceleme ve ekonomi.
- 3- Servis yollarının inşaatı.
- 4- Rüzgar türbinlerinin temel inşaatı, besleme trafolarının hazırlanması.
- 5- Site için rüzgar türbinlerinin nakliyesi ve kurulması.
- 6- Rüzgar türbinlerinin birleştirilmesi, aralarındaki iletimin kurulması, rüzgar hız ve yön sensörlerinin kurulması ve inşaatı.
- 7- Bir besleme trafosundan diğerine, her rüzgar türbini enerjisinin kablolarla bağlanmasını içeren enerji toplama sistemlerinin inşaatı.

- 8- Bakım - onarım araç gerecinin oluşturulması
- 9- Bir santral çalışmalarını yürüten araç gereği için, her rüzgar türbininden olan veri akışını ve bir rüzgar çiftliği iletişim sistemini destekleyen kontrol merkezinin inşaatı.
- 10- Data saklama araç gereçleri ve gösterimi, rüzgar türbinlerinin bilgisayar kontrolü ve enerji ölçümünün sağlanması.
- 11- Tüm sistemlerin doğru çalıştığını gözlemlemek ve entegrasyonunu sağlamak.
- 12- Türbinlerin salınım periyodu ve görevlendirme.
- 13- Müdahale gurubu veya son çalışan sayısı.



*Çeviri

Dikkat etmek gerekirken, kurulu sermaye gücü, sadece ekipman araç gereci, onları destekleyen sistemi ve çalışma hazırlıklarını içermektedir. Bu hazırlık, rüzgar hızlarının dağılımına karşılık gelen rüzgar türbini enerji eğrisi değerlerinin karşılaştırılması veya rüzgar kaynağının gücü hakkında hiçbirşey ifade etmez. Kurulu sermaye gücü, bir rüzgar sisteminin ekonomik performansının komple ölçümü değildir. Rüzgar çiftlikleri için, toplam sermaye bedeli 2500\$/kW dan 900\$/kW a doğru azalmaktadır. Bu aktüel fiyatlar, destekleme birimleri ve ekipmanının oluşturulmasına, inşaat güçlüğüne ve tesisatın boyutuna bağlı olarak değişir.

TAM SERMAYE MİKTARININ HESAPLANMASI

Bir rüzgar çiftliğinin tam sermaye ederi yada üretilen kilowat saat enerji miktarının elde edilmesindeki tesisat fiyatlarıdır.

$$C \text{ kWh/y} = \frac{\text{Kurulu sermaye gücü}}{\text{Yılda üretilen enerji miktarı}} = (\text{Cents-y/kWh}) \quad (1)$$

Buna bağlı olarak tam sermaye ederi ($C_{\text{kWh/y}}$), kurulu sermaye gücünü, rüzgar kaynağı gücünü ve rüzgar hız dağılımının rüzgar türbini güç eğrisi ile karşılaştırılmasını içermektedir. $C_{\text{kWh/y}}$ değerlerinin temsil edilip edilmediğinin hesabı için bizim yıllık enerji üretimi ile kurulu güç ederi (1000\$/kW) değerinin toplamını doğru kabul etmek zorundayız. Bunu yapmak için %28 oranındaki bir kapasite faktörüne (C_f) uygun enerji üretiminden yararlanmalıyız. 500 kW'lık bir rüzgar türbini için uygun yıllık enerji üretimi değeri 1.226 kWh/y'dir. Bu değeri kullanırsak ve tesis maliyet hesabı 1000\$/kW ise tam sermaye miktarını 41 cents/(kWh/y) olarak hesaplarız.

ENERJİNİN EKONOMİK ÖMÜR MALİYETİ

Üçüncüsü ve en kapsamlı olan enerjinin ekonomik ömrü olan rüzgar enerjisi maliyetinin değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme tüm maliyet bileşenlerini içine alır.

- 1- Kurulu sermaye gücü
- 2- Sermaye maliyeti
- 3- Tesis ömrünün uzaması için yapılan bakım ve onarım masrafları

4- Sistem parça değişimi ve genel inceleme maliyeti

Bu değerlendirme, rüzgar türbini ve rüzgar kaynağı karakteristiklerini içermektedir. Metod, yıllık rutin bakım maliyet akışı için hesaplanan bazı yararları (4) ile kullanılan metodoloji için gerekli vergi gelirinin basit bir biçimi olan enerjinin ekonomik ömrünün tahmini için kullanıldı. Kullanılan taşınmazların finansal geri dönüşü, enflasyon oranı, ekonomik öngörüler ve en düşük frekanslar olduğunda elde edilecek gelirler göz önüne alınmalıdır.

Bu bir dizi tahminin aktüel maliyetleri projenin 20-30 yıllık ömrünün üzerindedir. Bu maliyetler, tahmini güncel fiyatların yıllık çok yönlü sıralamasına eşdeğer birini bile sağlaması için düzeltilir. Bu çok yönlü maliyet elementleri dört kategoride toplanabilir. Bunlar, kurulu sermaye gücü, ekonomi ve para politi-kalarının öngörüsü, yıllık bakım-onarım maliyetleri ve her 5 yılda bir tekrarlanan genel inceleme ve parça yenileme maliyetleri. Bütün bu masrafları günümüz değerine taşıyıp ve yıllık enerji üretimine bölersek, cents/kWh olarak birim maliyeti buluruz.

$$\text{CoE} = \frac{(\text{ICC} \cdot \text{FCR}) + (\text{O\&M}) + (\text{LCR})}{\text{Yılda üretilen enerji miktarı}} = \text{cents/kWh} \quad (2)$$

- CoE : Enerjinin ekonomik ömrü
 ICC : Kurulu sermaye gücü (cents)
 FCR : Yıllık sabit ücret bedeli (%)
 O&M : Yıllık bakım onarım masrafı
 LCR : Yenileme maliyetlerinin bugünkü değeri

SERMAYE MALİYETİ BİLEŞENLERİ

Enerjinin ekonomik maliyetinin sermayeye karşılık gelen bileşenleri, kurulu sermaye gücünün seçilen tesis ömrünün üzerinde bir zaman dilimine yayılmasıyla belirlenir. Bu maliyetlerin günümüz koşullarına denkleştirilmesi ve bunun doğru bir temel üzerine oturtulması gerekir. FCR, borç servisi maliyetini içeren ve yıllık bakıma ayrılan miktarın, kurulu sermaye gücüne oranıdır. Sermaye bileşenleri, bir eve konulan ipoteğe benzer. Bu borçlanma, tesis ömrü üzerinden ödeme periyoduna karşılık gelen miktardır. Borçlanma ömrü, tesisin fiziksel ömrünün projelendirilebilir yada hesaplanabilir olan bölümüdür. Beklenen fiziksel ömür 20 ile 30 yıl arasındadır. (2) eşitliğindeki kurulu sermaye gücü, tam sermaye maliyeti olan yıllık enerji üretimine bölünür. Bununla yıllık %7.5

olan (FCR) ve tam sermaye maliyeti 41 cents - kWh/ y enerjinin ekonomik maliyetinin sermaye bileşeni 3.08 cents/kWh olmaktadır.

BAKIM ONARIM MALİYETLERİ

Bakım onarım maliyetleri, kurulan tesisin rutin bakım ve yenileme maliyetlerinin birleşimidir. Bakım onarım maliyetleri sıradışı müdahaleleri içermez (Örneğin, rüzgar türbini ve diğer sistemlerin büyük parça ihtiyaçları gibi).

Bakım ve onarım fiyatları bakım ile birleştirilir. Bakım maliyetleri genellikle 3 kategoriye ayrılır.

1- Planlanmayan maliyetler fakat istatistik tahmin, rutin bakım ziyaretleri (rüzgar türbini olumsuzluklarının çözümünde)

2- Rüzgar türbini ve güç toplama sistemleri için planlı koruyucu bakım fiyatları

3- Rüzgar türbininin küçük çaplı yedek parçaları ve planlı büyük çaplı inceleme maliyetleri

Bunların ilk ikisi bakım onarım masrafı bileşenlerini içerir ve bir yıllık deneme süresi içinde olur. Üçüncüsü ise 5, 10 ve 15 olmak üzere 5 yılda bir gerçekleştirilir. Modern rüzgar türbinlerinin bakım maliyetleri 1 cent/kWh yada daha düşüktür. Toplam bakım masrafı 0.9 cent/kWh olarak kabul edilirse bu aşağıdaki gibi ayrıştırılabilir.

1- Planlı olmayan bakım masrafları	75%	0.68 cents/kWh
2- Özel bakım ziyaretleri	20%	0.18 cents/kWh
3- Büyük ayrıntılı inceleme	5%	0.04 cents/kWh
4- Toplam bakım maliyeti	100%	0.90 cents/kWh

1- Rüzgar çiftliklerinde kullanılmak üzere tasarlanan rüzgar türbinleri, her yıl az sayıda problemlere sahip olacaktır. Donanım ve yedek parçadan oluşan küçük bir midibüs kullanılarak, iki kişilik bir çalışma gurubu oluşturulur. Bu çalışma gurubunun bakımı, sıklıkla 1 den 4 saate kadar sistemin çalışmasını etkileyebilir. Bazı problemler verilen bir rüzgar türbini için tahmin edilemezken, bunların sayıları bir yılın üzerinde bir deneme sonunda tahmin edilebilir. Genellikle, rüzgar türbin üreticisi onarım uzmanı ve analistçisinin birleşimi aracılığıyla, her büyük rüzgar türbininin çalışma sisteminin tahminlerini sağlayabilir. Buna ek olarak, tahmin için ortalama zaman saptanabilir. Bu değerler, projelendirilen planlı olmayan bakım masrafı yetkisi ile bakım stratejisinin birleşimidir.

2- Özel bakım ziyaretleri, her türbin için yılda bir kez planlanabilir. Eğer rüzgar rejimi mevsimsel bir profile sahipse, koruyucu bakım ziyaretleri yılın

düşük rüzgarlı bir periyoduna planlanabilir. Koruyucu bakım ziyaretleri, tasarım ayrıntılarına bağlı olarak türbin başına 2 saat kadar sürebilir (iki kişilik gurup ile). Bu enerji üretimi açısından minimum bir kayıptır. Trafo ve enerji dağıtım sistemi bakımı, etkilenen rüzgar çiftliği enerji dağıtım sistemi yada bir bölümü için enerji üretimini etkileyebilir.

3- Bu bakım bileşeni sadece 5 yıllık aralarla yapılır.

DİĞER ÇALIŞMA BİLEŞENLERİNİN MALİYETLERİ

Bakım ve onarım işi maliyetlerine ek olarak parça yenilenmesi ve diğer bakım gereçleri ile rutin ve yıllık yenileme onarım maliyetlerini içermektedir.

1- Gayrimenkul ve vergiler

2- Site kullanım ödemeleri

3- Sigorta

4- Elektrikliğin transferi ve süreli ödemeler

5- Yönetim ödemeleri, genel ve idari ödemeler

Bu değerlerin maliyet bileşenleri duruma bağlı olarak değişmektedir. Yerel kiralama vergi durumları, kara kullanım anlaşmaları, sigorta oranları ve süren ödemelerin bölgeden bölgeye ve bir rüzgar çiftliğinden diğerine olan değişimi

Tablo-1 İşleyişle ilgili maliyet bileşenlerinin hesaplanmış değerleri

Gider biçimleri	Değeri (cents/kWh)	Tahmini bileşenler
Gayrimenkul vergileri	0.10	Ortalamanın üzerinde bir ömre sahip bir sitenin saha değeri %20 ye indirgenerek bunun %1 lik kısmı vergi olarak varsayılır.
Site yeri kullanımı	0.10	5 cents/kWh satış fiyatı üzerinden elde edilen gelirin %2 si olarak varsayılır
Sigorta	0.003	6.57 cents/ 1.000\$ sigorta ücreti olarak kabul edilir.
Elektrik transferi	0.002	Sadece önerilen fiyattır.
Trafo bakımı	0.002	30\$/kW lik trafo maliyetinin %1.5 lik kısmı yıllık bakım maliyeti olarak kabul edilir.
Yönetim ödemeleri	0.15	Anlaşma değeri.
Toplam	0.39	İşletim maliyeti elementlerinin toplamı.

Tüm hesaplamalar 500 kW lik rüzgar türbini, Kurulu sermaye gücü 1000\$/kW, $C_f = 0.28$ (capasite faktörü), enerji üretimi 1.226 milyon kWh/yıl kriterlerine göre yapılır.

Tablo 2- Hesaplanan enerji maliyeti bileşenlerinin karşılaştırılması

Enerji maliyeti bileşenleri	Değeri (cents/kWh)	Ayrıntılar	Toplam enerji maliyeti oranı (%)
Kurulu sermaye gücü (ICC*FCR)	3.08	Kullanılan FCR = %7.5/yıl ve tam sermaye maliyeti = 41 cents/(kWh/y)	% 70
Planlı olmayan bakım	0.68	0.9 cents/kwh olan toplam bakım maliyetinin % 75 kadardır.	% 16
Koruyucu bakım	0.18	0.9 cents/kwh olan toplam bakım maliyetinin %20 si kadardır.	% 4.1
Büyük çaplı inceleme	0.04	0.9 cents/kwh olan toplam bakım maliyetinin %5 kadardır.	%0.92
Diğer işletim maliyeti bileşenleri	0.39	Tablo 1	% 8.9
Toplam enerji maliyeti	4.37	Enerji maliyeti bileşenlerinin toplamı	%100
Tüm hesaplamalar Tablo 1 de verilen koşullar gözönüne alınarak yapılmıştır.			

özel anlaşma görüşmelerinin bazı sonuçları çeşitlilik gösterir. Bu aralıktaki değişik teklifler aralığı olmasına rağmen tipik değerler kadar önemli değildir.

BÜYÜK PARÇA DEĞİŞİMLERİ

Rüzgar türbinleri genel olarak her 5 yılda bir büyük bakıma alınır fakat bu karar yinede türbinlerin tasarımına bağlıdır. Yenileme fiyatları santralin maliyet bileşenlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunlar; yerel kiralama vergi koşulları, site kullanım antlaşması, sigorta oranları. Bu kalemlerdeki süren ödemeler, bölgeden bölgeye ve bir rüzgar çiftliğinden diğerine çeşitlilik gösterir. Hernekadar fiyatlar bu değişim bandında olsada, tipik değerleri kadar önemli değildir. Bakım maliyetlerini karşılarırsak, oranlar bu maliyet bileşenlerinin kurulu sermayenin yanında yarım cent bile olduğunu göstermektedir. Bu bakım maliyet bileşeni 0.04 cents/kwh olarak tahmin edilmektedir.

TOPLAM ENERJİ MALİYETİ

Rüzgar çiftlikleri için dizayn edilen rüzgar türbinleri ile birleştirilen toplam enerji maliyeti; büyük parça değişimleri, inceleme maliyetinin günümüz değerine taşınması, onarım ve bakım maliyeti anasermaye maliyeti bileşenleri içinde sayılır. Tahmini değerler tablo 2'de gösterilmiştir. Bu tahmini değerlerin gerçek büyüklüklerinde bu sistemlerin herşey dahil bir maliyet anlamı vardır. Tablodanda görüleceği üzere anasermaye ve planlanmayan bakım-onarım kalemlerinin önemli bir büyüklük oluşturduğu görülür. Bu iki bileşen toplam %86'lık bir orana karşılık gelmektedir.

ÖZET

Maliyet değerlendirmeleri 3 ana başlıkta incelendi. Bu maliyet analizleri, şebekeye bağlı rüzgar çiftlikleri, geniş ölçekli ve en ilgi çekici ekonomileri ile sergilenmiş ve her uygulamaya karşılık gelen maliyetleri örneklerle gösterilmiştir. Bu değerlendirmeler;

- 1- Kurulu sermaye gücünün (ICC) tanımlanması, anahtar teslimi rüzgar sistemleri, üretmeye hazırlık ve elektrik dağıtımı (\$/kw olarak üniteler).
- 2- Tam sermaye maliyeti, yılda üretilen bir birim enerjinin tesis maliyeti (cents/(kWh/y) olarak üniteler).
- 3- Enerji maliyetinin ömrü (CoE) (cents/kwh olarak üniteler).

Bu maliyet elemanları artan bir biçimde genişlemektedir. Kurulu sermaye gücü, olanaklar ve altyapıyı, tasarımı, sistemin kurulmasını, çalışmaya hazır hale gelmesini ve sadece işi sürdürecektir ekipmanı içermektedir. Rüzgar kaynağı için rüzgar türbini güç eğrisinin karşılaştırılması yada rüzgar kaynağının gücü hakkında hiçbirşey söylenmemiştir. Rüzgar kaynağı gücü, verilen bir rüzgar hızı aralığında tanımlı olan yıldaki saat sayısı dağılımını niceliksel olarak göstermektedir. Rüzgar türbini güç eğrisi ise, sisteme giren rüzgar hızı ile üretilen elektrik enerjisi arasındaki niceliksel ilişkidir. Yıllık enerji üretimi bu iki niceliksel tanımlamanın toplamının sonucudur.

İkinci değerlendirme; toplam sermaye maliyeti, rüzgar kaynağı ve onunla ilişkili rüzgar türbini güç eğrisinin gücü ile kurulu sermaye gücünü içine alır. Bu yıllık enerji üretimi, düzenlenmiş kurulu sermaye

gücüdür. Böylece, rüzgarın elektrik enerjisine dönüşüm verimliliği ve sermaye maliyetinin bir değerlendirilmesi gibi düşünülür.

Üçüncü değerlendirmede; enerjinin düzeltilmiş ekonomik ömrü en kapsamlı olanıdır. Bu değerlendirmede küçük parça değişimleri, devamlı olmayan büyük inceleme ve parça değişimi maliyetleri, tesis ömrü üzerinden bakım ve yıllık rutin onarım maliyetleri, sermaye maliyeti ve kurulu sermaye gücü ele alınmıştır. Bu maliyetlerin toplamı, sistemin 20-30 yıllık ömrünü kapsayan bazı hesapları doğruluyorsa o zaman enerjinin ekonomik ömrüne ulaşması için üretilen yıllık enerji miktarı normal olarak kabul edilir.

Tablo 3- Rüzgar enerji sistemleri için maliyet değerlendirmeleri

Maliyet biçimi	Karşılık değeri	Açıklamalar
Kurulu sermaye gücü (ICC)	1.000\$/kW	Şebekeye bağlı bir rüzgar çiftliğinin karşılık ödenek değeri
Tam sermaye maliyeti (Yılda bir birim enerji elde etmek için harcanan tahmini miktar)	41 cents/kWh	Rüzgar kaynağı ve türbin karakteristikleri sermaye maliyetinin içine dahil edilir.
Enerjinin ekonomik ömrü	4,37 cents/kWh	Büyük parça değişimleri, bakım onarım masrafları, rüzgar kaynağı ve türbin karakteristikleri, anasermaye maliyeti site maliyetinin içine dahil edilir.

NOTLAR

1- Rüzgar performans karakteristikleri

2- Kullanılan değerler net enerji üretim değerleri olmalıdır, bu enerjinin toplanmasıdır ve diğer kayıplar çıkarılmıştır. Bu ulusal şebekeye bağlantı noktasından verilen aktüel enerjidir.

3- Kapasite faktörü ile enerji değerinin oranıdır. Sayaç bir yıl içerisindeki toplam periyod süresince alınan aktüel enerjidir. Sistem yılda 8760 saat olarak tam çalışabilirse, üretilen farazi enerji miktarını elde ederiz. Rüzgar çiftlikleri için kapasite faktörü %24 ile %30 arasında değişmektedir. Kapasite faktörü bir rüzgar çiftliğindeki bir rüzgar türbininin ürettiği enerjiyi tanımlamanın alternatif bir yoludur. Buna bağlı olarak, örneğin 500 kw'lık bir rüzgar türbini, 1.226 milyon kWh/y enerji üretirse kapasite faktörü %28 olmalıdır.

KAYNAKLAR

Wind Energy Technology: Generating Power from the Wind (WET), published bimonthly by the U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, P.O. Box 62, Oak Ridge, TN 37831. The March-April 1995 issue bears the publication numbers DOE/WET-95/2 (PB95-933102) and ISSN:0896-5102 CODEN:WETWET. The publications are available from the National Technical Information Service, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, telephone (703) 87-4650.

Wind Energy Bibliography (Report NREL/SP-440-6642), May 1995, published by the National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393. Available from the National Technical Information Service, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, telephone (703) 487-4650.

Wind Project Performance, 1994 Summary (Report P500-95-003), by Juanita Loyola, California Energy Commission, Sacramento, CA 95814, August 1995.

Collected Papers on Wind Turbine Technology (Report DOE/NASA-5776-2 and NASA CR-195432), David Spera, Ed., U.S. Department of Energy, Conservation and Renewable Energy Technology, Office of Management and Administration, Washington, DC, May 1995.

Alternative Windpower Ownership Structures: Financing Terms and Project Costs (Report LBNL-38921, UC-1321), by R. Wiser and E. Kahn, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, CA 94720, May 1996

FATE2-P, Financial Analysis Tool for Electric Energy Projects, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, Draft report dated February 1996.

The Integration of Renewable Energy Sources into Electric Power Distribution Systems, Vol. 1, National Assessment (ORNL-6775/V1), by P.R. Barnes, J.W. Van Dyke, F.M. Tesche and H.W. Zaininger, Oak Ridge National Laboratory, June 1994.

The Integration of Renewable Energy Sources into Electric Power Distribution Systems, Vol. 2, Utility Case Assessments, by H.W. Zaininger, P.R. Ellis and J.C. Schaefer, Oak Ridge National Laboratory, June 1994.

AKHISAR RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALI İÇİN RÜZGAR TÜRBİNİ MİKROKONUŞLANDIRMASI

Murat DURAK

TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Enerji ve Yenilenebilir Enerji Komisyonu Başkanı

Zekai ŞEN

Prof. Dr., İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Meteorolojik değişkenlerden olan rüzgar, M.Ö'den başlamak üzere insanoğlu tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Doğu medeniyetlerinin Batı medeniyetlerine tanıttığı rüzgar enerjisi, sanayi devrimi ile beraber, 20. yüzyılın ortalarına kadar popülerliğini yitirmiştir. 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra alternatif olarak tekrar gündeme oturmuştur. Bilindiği gibi, son yıllarda da ülkemizde konu ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na 2000 MW'a yakın santral için başvuru yapılmıştır. Bu çalışmada, Manisa İli Akhisar İlçesinde kurulması düşünülen 12 MW kurulu gücünde Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali (AKRES) bir rüzgar elektrik santrali için öncelikle bölgenin rüzgar iklimi belirlenip kurulması düşünülen santral için dünyada yaygın bir şekilde kullanılan Bonus, Nordex, Neg-Micon, TackeWind ve Windtec firmalarının rüzgar türbinleri ile mikrokonuşlandırma yapıp santralin yıllık enerji üretimleri hesaplanarak bölge için en uygun rüzgar türbini belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi; rüzgar türbini; mikrokonuşlandırma; WASP

ABSTRACT

Wind as a meteorological parameter has been using by human since BC. Wind energy which is recognized to Western civilizations by Eastern civilizations, was on the decrease with industrial revolution. However, after petrol crisis which is occurred in mid-1970s, wind energy was comes into mind. Nowadays, wind energy is gaining momentum in Turkey. Investors submitted to their feasibilities nearly 2000 MW to the Ministry of Energy and Natural Resources. In this study, 12 MW installed capacity wind farm planned in Manisa Province Akhisar Town considered. Firstly wind data has been analyzed then widely used wind turbine types tried to determine for the site.

Keywords: Wind energy; wind turbine; micro-siting; WASP

1. GİRİŞ

Meteorolojik değişkenlerden olan rüzgar, M.Ö'den başlamak üzere insanoğlu tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Doğu medeniyetlerinin Batı medeniyetlerine tanıttığı rüzgar enerjisi, sanayi devrimi ile birlikte başlayarak 20. yüzyılın ortalarına kadar popülerliğini yitirmiştir. Petrol, kömür, doğal gaz vb gibi fosil yakıtların kullanıldığı termik santrallerden istenildiği zaman enerji üretilebilmesi, rüzgar enerjisinden daha cazip hale gelmiştir. Fakat fosil yakıtların çevre dostu

olmadığı ve tükenebilir olduğu uzun bir süre akıllara gelmemiştir. 1970'li yıllardaki petrol sıkıntısı nedeniyle ortaya çıkan enerji krizi ve gelişen çevre bilinci insanoğlunu yenilenebilir ve çevre dostu temiz kaynaklara doğru itmiştir. İşte bu noktada sonra rüzgar enerjisi eski popüleritesini tekrar yakalamıştır. Günümüzde rüzgar gücünden elektrik enerjisi üretmek için birçok çalışma yapılmaktadır (1-3).

Bu çalışmada, WASP modeli kullanılarak Manisa İli Akhisar İlçesinde Kayalıoğlu Beldesi'nde

(Şekil 1) kurulması düşünülen 12 MW (20x600 kW) kurulu gücünde Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali (AKRES) için dünyada yaygın bir şekilde kullanılan Bonus, Nordex, Neg-Micon, TackeWind ve Windtec firmalarının rüzgar türbinleri (RT) ile elde edilebilecek enerji üretim değerleri verilmiştir.

2. KULLANILAN VERİ ve YÖNTEM

Çalışmada, WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) programı kullanılmıştır. WASP, Danimarka RISO Ulusal Laboratuvarı Meteoroloji ve Atmosfer Fiziki Araştırmaları Laboratuvarında geliştirilmiş bir program olup dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aşağıdaki 4 ana işlemden oluşmaktadır (4):

a) Ham veri analizi: İlk adım olan bu kısımda, istenen rüzgar ölçümlerinin zaman serilerinin analizi yapılmaktadır.

b) Rüzgar atlası verisinin oluşturulması: Analiz edilen zaman serileri, rüzgar atlas verilerine çevrilir. Bu kısımda, rüzgar ölçümleri özel arazi koşullarından (engel, pürüzlülük, gölgeleme vb) arındırılıp standart hale getirilir.

c) Rüzgar ikliminin belirlenmesi: Rüzgar atlası verileri kullanılarak bölgenin rüzgar iklimi belirlenir.

d) Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi: Son olarak, ortalama rüzgar hızı dikkate alınarak bölgenin enerji potansiyeli belirlenir.

Bu dört kısım göz önünde tutulduğunda genelde, analiz ve uygulama olmak üzere temel iki kısımdan bahsedebilir. Bununla beraber, modeldeki birçok değişken (pürüzlülük, engel, gölgeleme vb) kullanıcı tarafından girilmektedir, zira bu değişkenler bölgeden bölgeye değişmektedir.

Herhangi bir rüzgar türbininin rüzgardan çıkartacağı enerji miktarı üç ana değişkenin fonksiyonudur. Bunlar, rüzgar hızı, türbinin pervane çapı ve güç eğrisidir (3). Rüzgar hızı bütün türbinlerde aynı olduğundan burada belirleyici faktör pervane çapı ve güç eğrisi olmaktadır.

Rüzgar potansiyeli belirlemedeki en önemli husus ise, verilerin güvenilir olmasıdır. Çünkü rüzgar enerjisi, rüzgar şiddetinin üçüncü dereceden kuvveti ile orantılı olduğundan çok küçük gibi görünen bir düşük veya yüksek rüzgar hız ölçümü hesaplamalarda büyük farklılıklar meydana getirmektedir.

Çalışmada kullanılan veri, Temmuz 1997 ile Haziran 1998 arasında olup 10'ar dakikalık ortalamalar halinde rüzgar şiddeti ve yön verisidir. Ölçüm direğinin yüksekliği 10 mdir.

2.1. Rüzgar İstatistikleri

Temmuz_97 - Haziran_98 dönemini kapsayan dönem dikkate alınarak WASP programı ile yapılan modellemeye ait sonuçlar aşağıdaki Tablo 1'de



Şekil 1. Akhisar bölgesinin Türkiye haritasındaki yeri.

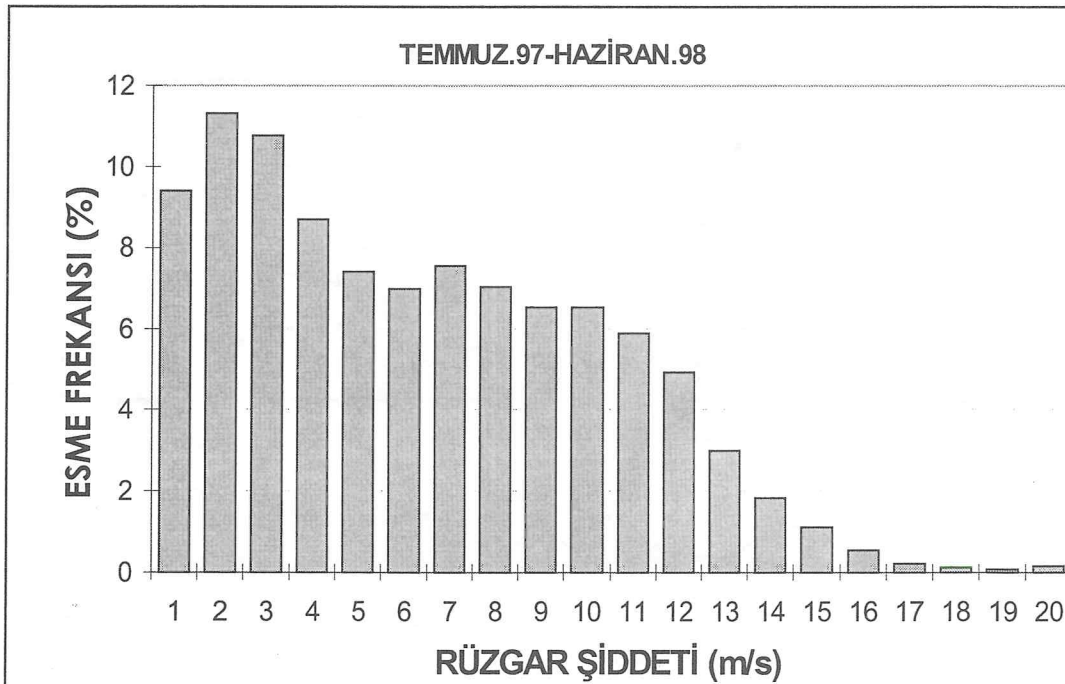
Tablo 1. Sektörel rüzgar şiddeti frekansları, esme sayıları, ortalama rüzgar şiddeti, yoğunluğu ve Weibull parametreleri.

Yön	Frek	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17>	17	A	k
0	30.6	34	43	43	43	59	81	105	107	110	204	129	39	4	0	8.9	2.93
30	24.5	36	48	57	55	60	69	82	86	86	200	131	57	21	11	9.3	2.55
60	1.1	522	286	108	32	32	14	5	2	0	0	0	0	0	0	1.4	1.10
90	0.8	571	237	90	52	16	14	11	7	2	0	0	0	0	0	1.3	0.94
120	1.6	329	257	152	132	76	30	7	8	4	5	0	0	0	0	2.2	1.25
150	8.6	93	98	165	160	140	123	96	58	32	26	6	2	0	0	4.8	1.86
180	12.3	88	209	230	172	81	46	38	37	31	39	24	4	1	0	3.6	1.16
210	10.8	123	217	177	108	89	58	47	32	24	45	35	26	14	6	4.1	1.06
240	3.8	173	172	139	120	104	66	91	73	36	21	6	0	0	0	4.1	1.54
270	1.8	292	194	178	142	103	65	20	5	1	0	0	0	0	0	2.7	1.56
300	1.6	364	268	123	83	56	38	50	15	0	2	0	0	0	0	2.0	1.07
330	2.4	387	282	154	84	49	23	14	5	1	1	0	0	0	0	1.9	1.19
Top		94	113	108	87	74	70	76	70	65	124	79	29	8	3	6.8	1.73
Gözlem Sayısı : 52560								İhmal Edilen Gözlem : 0									
Hatalı Okuma Sayısı : 0																	
Ortalama Rüzgar Şiddeti =5.8 m/s								Ortalama Güç Yoğunluğu = 308 W/m ² (% 0)									

verilmiştir. Yapılan 1 yıllık ölçümlere ait değerlendirmeler sonucunda ortalama rüzgar şiddetinin 5.8 m/s, hakim rüzgar yönünün ise 0° (KUZEY) sektörü olduğu belirlenmiştir. Ortalama güç yoğunluğu (mean power density) ise 308 W/m² olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Tablo 1'de

ayrıca yapılan 10'ar dakikalık ortalamalar şeklindeki rüzgar gözlemlerine ilişkin genel bilgiler yanı sıra sektörel esme sayıları ve Weibull A, k parametreleri verilmektedir.

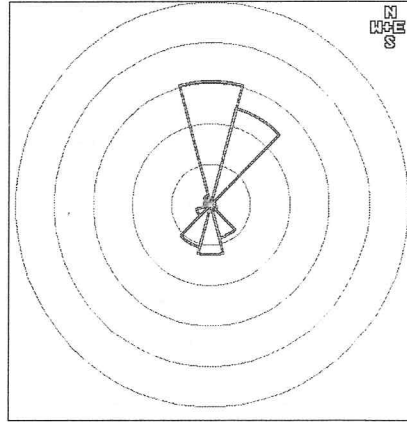
Bir yıl boyunca ölçülen rüzgar şiddetinin esme sıklık (frekans) histogramı ise, Şekil 2 ile verilmiştir.



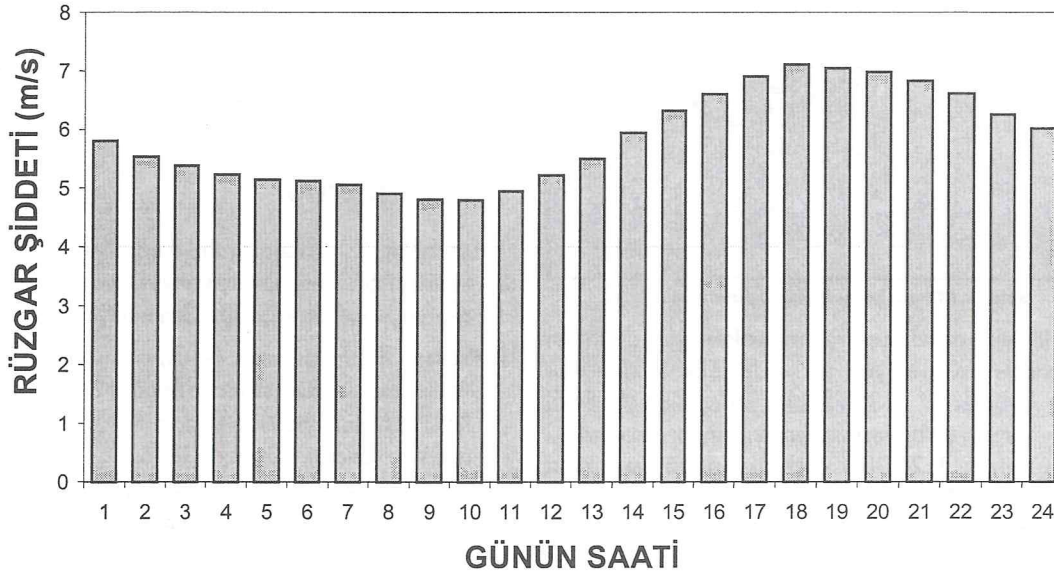
Şekil 2. Temmuz_97 - Haziran_98 arasındaki rüzgar şiddetlerinin frekans histogramı.

Aynı periyotta ölçülen rüzgarın esme yönlerine göre çizilen rüzgar gülü şablonu ise, Şekil 3 ile verilmiştir. Rüzgarın 1 yıl boyunca hakim estiği yönün Kuzey-Kuzeydoğu olduğu daha da iyi görülmektedir. Dolayısıyla, rüzgar türbinlerinin mikrokonuslandırması yapılırken bu özellik dikkate alınmalıdır. RT'lerin yönü rüzgarın estiği hakim yön doğrultusunda konmalıdır.

1 yıl boyunca rüzgar şiddetinin gün içinde saatlik olarak değişimini gösteren grafik ise, Şekil 4'te verilmiştir. Gün içinde maksimum rüzgar şiddetleri 16.00-24.00 saatleri arasında esmiştir. Minimum rüzgarlar ise sabah 8.00-10.00 saatleri arasında esmiştir. Yani gece saatlerinde, gündüze göre daha fazla rüzgar bulunmaktadır.



Şekil 3. Temmuz_97 - Haziran_98 rüzgar gülü şablonu



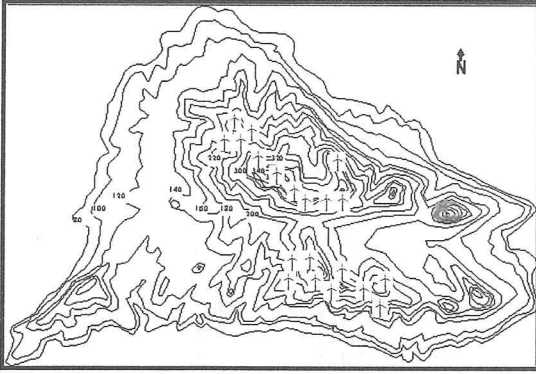
Şekil 4. Rüzgar şiddeti değerlerinin gün içerisinde saatlik olarak değişimi.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan RT'lerin bazı önemli özellikleri.

RT Markası Özellik	Bonus	Nordex	TackeWind	Neg-Micon	Windtec
Devreye giriş hızı (m/s)	3	3.5	3	4	3.5
Nominal rüzgar hızı (m/s)	15	13	12	15	11
Devreden çıkış hızı (m/s)	25	25	20	25	20
Göbek (hub) yüksekliği (m)	50	50	50	46	50
Pervane çapı (m)	44	43	46	43	50
Pervane alanı (m ²)	1520	1452	1661	1452	1963

2.2. Mikrokonuşlandırma ve Enerji Hesaplamaları

Bölgenin rüzgar potansiyeli belirlendikten sonra, rüzgar türbinlerinin mikrokonuşlandırma işlemlerine geçilerek yıllık enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada daha önce de belirtildiği gibi, dünyada yaygın bir şekilde kullanılan 600 kW kurulu gücünde rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Bu türbinler ile gerekli girdi dosyaları hazırlanarak WASP programına tanıtılmıştır. Yukarıdaki Tablo 2'de kullanılan RT'ler ile ilgili önemli bazı özellikler verilmiştir (5-9).



Şekil 5. RT'lerin bölgede konuşlandırılmış hali.

RT'lerin arazi üzerinde mikrokonuşlandırılması yapılırken, rüzgar yön verisi de dikkate alınarak türbin yönleri $0^\circ - 23^\circ$ hizasına yerleştirilmiştir. Şekil 5'te rüzgar türbinlerinin proje sahası üzerindeki konumları 1:25000 ölçekli harita üzerinde görülmektedir.

Tablo 3 ise, WASP programına göre hesaplanan ve adı geçen RT markalarından yıllık üretilebilecek enerji miktarını vermektedir. Dikkat edilirse bulunan gerçek değerlerden %10 düşüldükten sonraki sonuçlar verilmiştir. Bunun nedeni, topografya, model hatası, insan hatası vb gibi gözden kaçan bazı noktaların olduğudur.

Tablo 3'ten de görüldüğü gibi, en fazla üretim Windtec marka RT ile meydana gelmektedir. Windtec marka RT'den yılda 41559.290 MWh (@41.5 GWh) elektrik enerjisi üretilecektir. İkinci olarak TackeWind marka RT gelmekte iken en az üretim de Neg-Micon marka RT'den hesaplanmıştır. Dolayısı ile o bölgede kullanılabilir en uygun RT Windtec marka RT'dir. Windtec RT'nin yüksek çıkmasının temel nedeni kanat çapının diğer RT'lere kıyasla daha büyük olmasıdır. Ayrıca diğer RT'lerden daha önce nominal güce (11 m/s) ulaştığı görülmektedir. Neg-Micon marka RT hem nominal hıza yüksek değerinde (15 m/s) ulaşmakta olup;

Tablo 3. Çalışmada kullanılan RT'lerin yıllık üretim miktarları.

RT Markası	%10 Hata ile Yıllık Üretim (MWh)
Bonus 600 kWRT	33975.682
Nordex N43/600 kWRT	32402.095
Neg-Micon 600 kWRT	31415.583
TackeWind 600 kWRT	37321.205
Windtec 600 kWRT	41559.290

hem de nominal hızın üstündeki değerlerde enerji üretimi düşüğünden dolayı en az enerji üretimi Neg-Micon marka RT'den hesaplanmıştır.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak, potansiyeli belirlenen bir bölgede en iyi verim alınabilecek rüzgar türbini seçilmiş olup, yıllık üretim miktarları da bulunmuştur. Rüzgar potansiyeli hesaplamaları yapılırken, dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, verilerin güvenilirliği ve ölçüm aralığının mümkün mertebe kısa olmasıdır.

4. KAYNAKLAR

1. Landsberg, L., "Predicting the Production from Wind Farms", RISO National Laboratory Department of Meteorology and Wind Energy, Denmark, 1999.
2. Petersen, E.L., Mortensen, N. G., and Landsberg, L., "Wind Resource Estimation and Siting of Wind Turbines", RISO National Laboratory Department of Meteorology and Wind Energy, Denmark, 1998.
3. Durak, M., "Rüzgar Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye Uygulaması: Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali", İTÜ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2000.
4. Mortensen, N. G., Landsberg, L., Troen, I. And Petersen, E. L., "Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP), Vol.1: Getting Started", Riso National Laboratory, Denmark, 1993.
5. Bonus A/S., "600 kW Mk IV Wind Turbine Technical Description Brochure", Brande, Denmark, 1999.
6. Neg-Micon, "NM 600/43 600 kW Wind Turbine Technical Description Brochure", Randers, Denmark, 1999.
7. Nordex GmbH, "Nordex N43 600 kW Wind Turbine Technical Description Brochure", Give, Denmark, 1999.
8. TackeWind, "TackeWind 600a 600 kW Wind Turbine Technical Description Brochure", Salzbergen, Germany, 1998.
9. Windtec, "Windtec 650 600 kW Wind Turbine Technical Description Brochure", Völkermarkt, Austria, 1998.

DALGA ENERJİSİ VE METEOROLOJİ

Zekai ŞEN

Prof. Dr., İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Atmosferin alt tabakası olan troposferin irtibatla olduğu yüzey birimlerinden litosfer (kayaküre), biosfer (canlı küre) ve hidrosfer (suküre) değişik albedo değerleri dolayısı ile rüzgarların meydana gelmesine sebep olurlar. Rüzgar aslında yatay hava hareketlerine verilen isimdir. Karalarda rüzgar hızının mekanik enerjisi dolayısı ile rüzgar gücü, rüzgar enerjisi ve bununda elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile faydalanılması yoluna gidilmektedir. Bunun için rüzgar türbinlerinden oluşan "rüzgar çiftlikleri" kurulmuştur. Buralardan elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyelinin son yapılan çalışmalarla 10.000 MW dolayında bulunduğu anlaşılmaktadır.

Rüzgarın deniz ve okyanus yüzeylerindeki hareketleri sonucunda ortaya çıkan dalgalar da birer enerji birimi olarak karşımıza çıkar. Rüzgarların sınır tabakasındaki sürtünme dolayısı ile ortaya çıkardıkları dalgalar deniz yüzeyinin tamamen rastgele iniş ve çıkışlara sahip olmasına neden olurlar. İşte bu iniş ve çıkışlar senelerce birçok kişinin değişik nedenlerle ilgisini çekmiştir.

Dalgalarla son 100 yılda olan değişik konulardaki bilimsel çalışmaların yanı sıra son bir iki onyılda dalga enerjisinin kullanımı ile ilgili düşünceler 1970 sonrası enerji krizinin ortaya çıkması ile daha da belirgin hale gelmiştir. Dalgadan elde edilecek enerji temiz, yenilenebilir ve çevre dostu olması ile de ilgi çekmektedir.

Özellikle üç tarafı denizlerle çevrilmiş olan ülkemizde de bu konuda araştırmaların yapılarak elektrik enerjisi elde etme yollarının belirlenmesi gereklidir. Bu tür çalışmaların yapılması için dalga klimatolojisinin iyi bilinmesi gereklidir. Türkiye'de

Seyir ve Hidrografi Dairesinden alınacak verilerin bu amaçla işlenmeleri gereklidir.

Dünyadaki Yaklaşım ve Gelişmelerin Değerlendirilmesi

Özellikle fosil yakıtların yakılması sonucunda atmosfere verilen karbondioksit gibi kirleticilerin konsantrasyonlarının azaltılması yolunda dalga enerjisinin gündeme alınması ile azalmalara gidilebilir. Bu bakımdan da ülkemizde özellikle Karadeniz'de oluşan dalgalar kısmi bir çözüm getirebilir. Dalga enerjisinin etkin kullanılması için dalgaların aşağı-yukarı hareketlerini dönüştürebilecek cihazların geliştirilmesi yararlıdır. Bu cihazlar için ülkemizde belirli bir araştırma ve geliştirme seviyesinde başlanmalı ve zamanla bunların daha da geliştirilmesi yoluna gidilmelidir. Dalga enerjisi deyince gel-git sonucunda meydana gelen enerji dönüşümlerinin anlaşılması gerekir. Buda bir deniz hareketi olmasına karşılık meydana geliş sebepleri arasında astronomik faktörler vardır. Özellikle 1973'den sonraki enerji krizinin ortaya çıkması ile temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha da yoğun biçimde kullanılması araştırma, geliştirme ve teknolojik yapılanmaya önem verilmiştir. Bu arada dalga enerjisinin önemi gittikçe artmıştır. Bu konuda gerekli ölçümlerin alınması, matematik modellerin kurulması, laboratuvar deneylerinin yapılması ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından desteklenmesi şarttır. Aksi takdirde, kıt bütçesi olan kamu kuruluşları tarafından yürütülecek çalışmalar kısır kalmaya mahkumdur. Batıda özellikle 1990 sonrasında dalga enerjisinin önemi gündeme gelmiştir. İngilterede yapılan bir çalışma ile yılda üretilebilecek dalga enerjisi miktarının 7000 -



100000 MW olduğu anlaşılmıştır. Bu rakkamın ülkemiz için 8000 MW civarında olması beklenebilir.

Yapılan ilk çalışmalarda dalganın düşey hareketinin sanki bir emme-basma tulumba imiş gibi düşünülmesi ile düşey bir silindirik kabın içinde havanın itilmesi ile dönen pervaleler vasıtası enerji elde edilebilir.

TEKNOLOJİ POLİTİKASI VE STRATEJİLER

Daha önce belirtildiği gibi deniz dalgaları rüzgarlar tarafından meydana getirilmektedir. Ancak deniz yüzeyi ile atmosfer sınır tabakası arasında ne gibi ilişkilerin geçerli olduğu tam anlamı ile bilinmemektedir. Ancak böyle bir ara ilişkide aşağıdaki üç ilkenin geçerli olduğu söylenebilir.

1) İlk olarak atmosferdeki yatay rüzgar deniz yüzeyine teğet olan bir kuvvet tatbik eder ve bunun mesafe ile sürdürülmesi sonucunda dalga meydana gelir.

2) Atmosferde ve deniz yüzeyi yakınındaki türbülanslı hava akımı değişken olan kayma gerilmesi ile basınç meydana getirir. İşte bu salınımların dalga ile aynı fazda olması sonucunda dalga daha da gelişerek hareketine devam eder.

3) Son olarak, dalgalar belirli bir büyüklüğe ulaştıkça rüzgar bunların üzerine daha da fazla kuvvet tatbik ederek ilave dalga gelişmelerine sebep olur.

Rüzgarlar başlangıç olarak güneş ışınımı enerjisinden meydana geldikleri için denizdeki

dalgalara bundan ortaya çıkan enerjinin depolanmış hali olarak düşünebiliriz. Güneş gücü ortalama olarak 100 W/m^2 olduğundan bunun sebep olacağı dalga enerjisi miktarı birim dalga kreti boyunca 100 kW olacağı anlaşılmıştır.

Genel olarak dalgalar, L dalga uzunluğu, H dalga yüksekliği ve T dalga periyodu ile tanımlanırlar. Rüzgar tarafından ortaya çıkan dalgalarda etkin olan üç faktör vardır. Bunlar rüzgar hızı, V, rüzgar süresi, S, ve F ile gösterilen feç uzunluğudur. Bu son uzunluk rüzgarın ne kadar mesafe

Dalgaların ilk olarak ortaya çıktıkları şekle "fırtına dalgaları" adı verilir. Bunlar karöaşık ve gelişigüzel deniz yüzeyini meydana getirirler. Daha sonra ortaya çıktıkları alandan uzaklaşan dalgalar

bünyelerindeki depolanmış enerjileri taşıyarak başka bölgelere giderlerki bunlara da "swell" dalgaları adı verilir. Dalga ne kadar büyük olursa bunların küçük dalgalara göre birim krest uzunluğunda taşıdıkları enerji miktarı daha fazladır. Birim metreye karşı gelen kilowatt cinsinden güç, P, yaklaşık olarak dalga yüksekliğinin karesi ve dalga periyodunun ise kendisi ile doğru orantılıdır. Genel olarak bir dalganın üretebileceği güç aşağıdaki formülden hesaplanır.

Burada r sının yoğunluğunu ve g yerçekimi ivmesini gösterir. Bu formül kısaca şeklinde de yazılabilir. Burada a katsayısı g, r ve p'ninde etkilerini içeren bir parametredir. Değişik yer ve zamanlarda yapılan ölçümlerden değişik dalga yüksekliği ve periyotları elde edilir. Zaman serisi şeklinde yapılan ölçümlerin istatistik incelenmesi ile sayısal hale dönüştürülmesi mümkündür.

Teknolojik Önceliklerin Belirlenmesi ve Genel Politikalar

Dalgadan enerji üretebilmek için dalganın tesirini gösterdiği kuvveti alabilecek birtakım yapılaşmaya gitmek gereklidir. Dalganın kuvvetini alabilecek cihazların geliştirilmesi gerekir. Eğer bu cihaz deniz tabanına veya karaya yakın yerlerde sabit şekilde inşa ediliyorsa bunun an azından bir kısmının dalga kuvvetini mekanik enerjiye çevirebilmesi için hareketli olması uygundur. İşte bu mekanik enerjinin daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülmesi söz konusudur. Yüzen cihazlarda kullanılabilir ama bunlarında bir parçasının tüm kütleyle göre göreceli olarak hareket ediyor olması istenir. Bunun için birkaç dalga boyu kadar olabilen

büyük kütleler yaparak bunların oldukça az hareket etmesi sağlanabilir. Zaten dalga enerjisi üretiminde bu tür cihazların boyutlandırılması kritik bir aşamadır. Bu boyutlandırma o şekilde yapılmalıdır ki, cihaz bir dalgada olabilecek enerjinin tümünü alabilecek yetenekte olsun. Genel olarak dalga enerjisi çeviricilerini üç ana grupta toplayabiliriz. Bunlar:

1) Sonunda dalga enerjisini yakalayan terminal şeklindeki cihazlar. Bunların eksenleri dalga kretine paraleldir.

2) Dalga ile beraber hareket halinde bulunan cihazlar. Bunlarda esas eksen dalga kretine diktir.

3) Denizin sabit bir noktasında dalga enerjisi üretebilecek cihazlar. Bunlar dalga boyutuna göre oldukça küçük boyutlara sahiptirler ve buldukları noktanın civarındaki alandaki enerjiyi toplamaya çalışırlar.

Geliştirilen cihazların çoğu salınım yapan su kolonu esasına dayanır. Dalga tepe noktası ve en düşük seviyesinin böyle bir hücre içinde salınım yapması sırasında hapsedilen havanın bir delikten çıkması yani basılması veya emilmesi ile mekanik bir hareket elde edilir. Havanın bu geçişleri bir türbin vasıtası ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Bu cihazlardan en gelişmiş olanlarında havanın emilişi veya basılışı esnasında bir pertvanenin hep aynı yönde dönmesini temin eden durumdur.

Dünyada dalga enerjisi araştırmaları en fazla japonya, Norveç, İngiltere, Çin ve Hindistan'da yapılmaktadır.

Kısa, Orta ve Uzun Dönemli Stratejiler

Dalga enerjisi konusunda henüz bir plan ve projesi olmayan ülkemizde kısa vadede yapılması gerekli olan çalışmaları kısaca aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

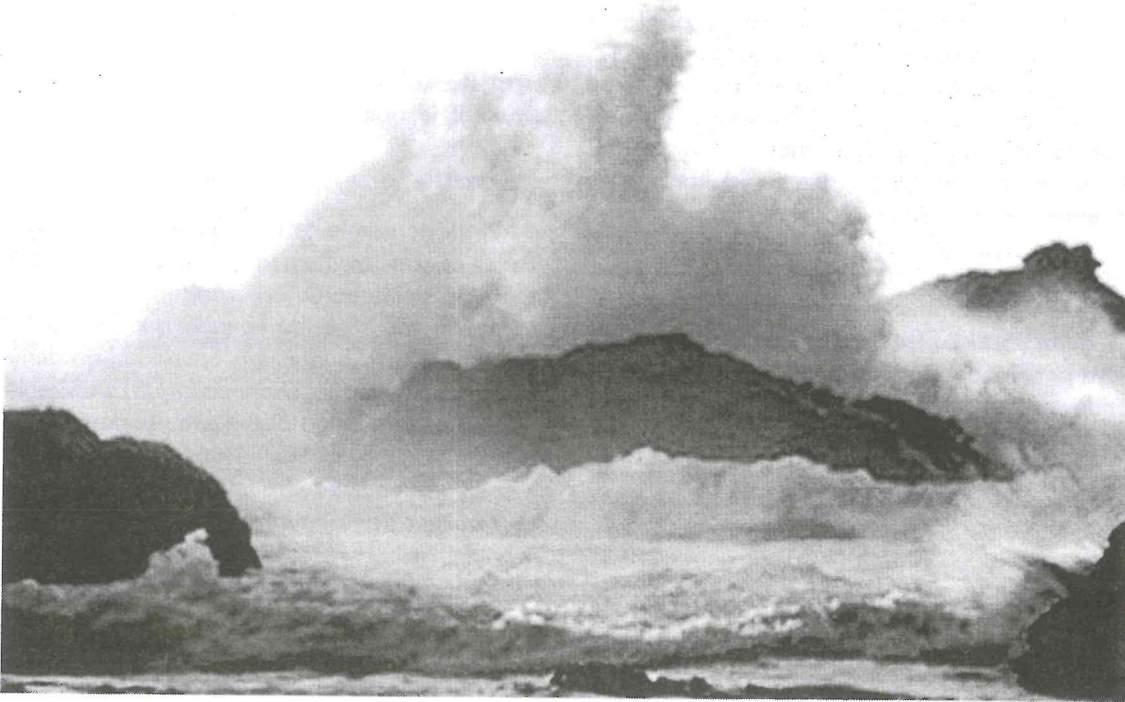
a) Oşinografi, meteoroloji, hidrometeoroloji, seyir ve hidrografi ile uğraşan kurumlar arasında bir ortak çalışma ön grubunun belirlenerek şimdiye kadar bu konuda neler yapılmış veya ölçülerek veri haline getirilmiştir sorularına ortak bir cevap hazırlamak.

b) Dalga enerjisi kanuni prosedürünün ne olacağı konusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile temasa geçerek yasal sorumluluk ve zorunlulukların belirlenmesine çalışılması

c) Türkiye'de temiz enerji kaynakları ve özellikle de dalga enerjisi ile ilgilenmiş veya ilgilenme potansiyel ve yetenekleri olan kişilerin görüşlerinin alınması

d) Bu çalışmalar sonunda bir ortak rapor ile ilgilenen kişi, kuruluş ve bakanlıkların haberdar edilmesi gereklidir.

Dalga enerjisi ile ilgili olarak orta vadede yapılabilecek konuların da aşağıdaki gibi olması





ilk aşamada düşünülerek gerekli planlamalar yapılabilir.

a) Birkaç pilot bölge seçilerek buralara silindir şeklinde ve literatürde bulunan sabit dalga enerjisi üretebilecek cihazlar yerleştirerek bunların verimliliğinin araştırılması yoluna gidilmelidir.

b) Elde edilecek bulguların ve Türkiye'ye has çözüm, çizelge ve grafiklerin karşılaştırmalı kıyaslamalarının yapılarak inceleme alanlarını kapsayan bölgelerin dalga enerjisi karakteristiklerinin belirlenmesine çalışmak.

c) Bu aşamada dünyada kullanılan dalga enerjisi teknolojisi ile ilgili bilgilerinde toplanarak Türkiye'ye uyarlanması yoluna gitmek gerekir.

d) Yapılacak bir temiz enerji ulusal sempozyumu veya panel gibi ortamlarda özellikle kıyı bölgelerinde yaşayan kişilerin bilgilendirilmesi için eğitici çalışmalar yapılmalı

Uzun vadede dalga enerjisi ile çalışmanın amaçları aşağıdaki noktalar etrafında toplanmalıdır.

a) Türkiye kıyılarının tümünde ve göllerinde dalga enerjisi potansiyelinin gerekli envanter ve çalışmalardan çıkarılarak bir "dalga atlasının" hazırlanması.

b) Dalga enerjisi üretmek isteyen firma ve

kamu kuruluşlarına yardımcı olarak yasal gereklerin yerine getirilmesi ile çalışmalarını desteklemek.

c) Büyük ölçekte dalga enerjisi üretebilecek teknolojilerin Türkiye'ye ithal edilmesi ile, dalga enerjisinin bizzat üretimine geçmek

d) Bu konularda uluslararası diyalogların kurularak teknoloji alış verişinde bulunmak.

SONUÇ

Etrafı denizlerle çevrili olan ülkemizde dalga enerjisi ile yapılmış hemen hiç çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle en azından bir pilot ön çalışmanın yapılması bu konuda ışık tutacak bir kaynak olacaktır. Bunun için öncelikle Karadeniz kenarında, örneğin, Şile civarında uygun bir bölgenin seçilerek burada dalga ölçümlerine başlanmalı ve bunların istatistiksel, spektral ve stokastik incelenmeleri ile ortaya çıkabilecek durumların belirlenmesine çalışılmalıdır. Konu ile ilgili yasal gerekli düzenlemelerin yapılmasına çalışılmalıdır. Ülke düzeyinde dalga enerjisine ilgi duyan kişi, kuruluş ve şirketlerin bir araya getirilerek ortak tartışma ve neler yapılabilir yönlerinde otumlardan yararlanarak görüşlerin çıkarılması yararlıdır.

İnternet Erişiminde TR.NET Çözümleri!

"Leased Line" Kiralık
Hat Bağlantısı

"Anahtar Teslimi"
Proje Çözümleri

E-mail Ev Sahipliği
Servisi

Server Ev Sahipliği
Servisi

www Ev Sahipliği
Servisi

Teknik Servis Desteği

DNS Server Hizmeti

"Dial-Up" Bağlantı

Elektronik Ticaret

X.25 Bağlantı

Eğitim

TR.NET

TÜRKİYE'NİN İNTERNETİ

www.tr.net

Tel: +90 (312) 295 9200

Faks: +90 (312) 295 9090

