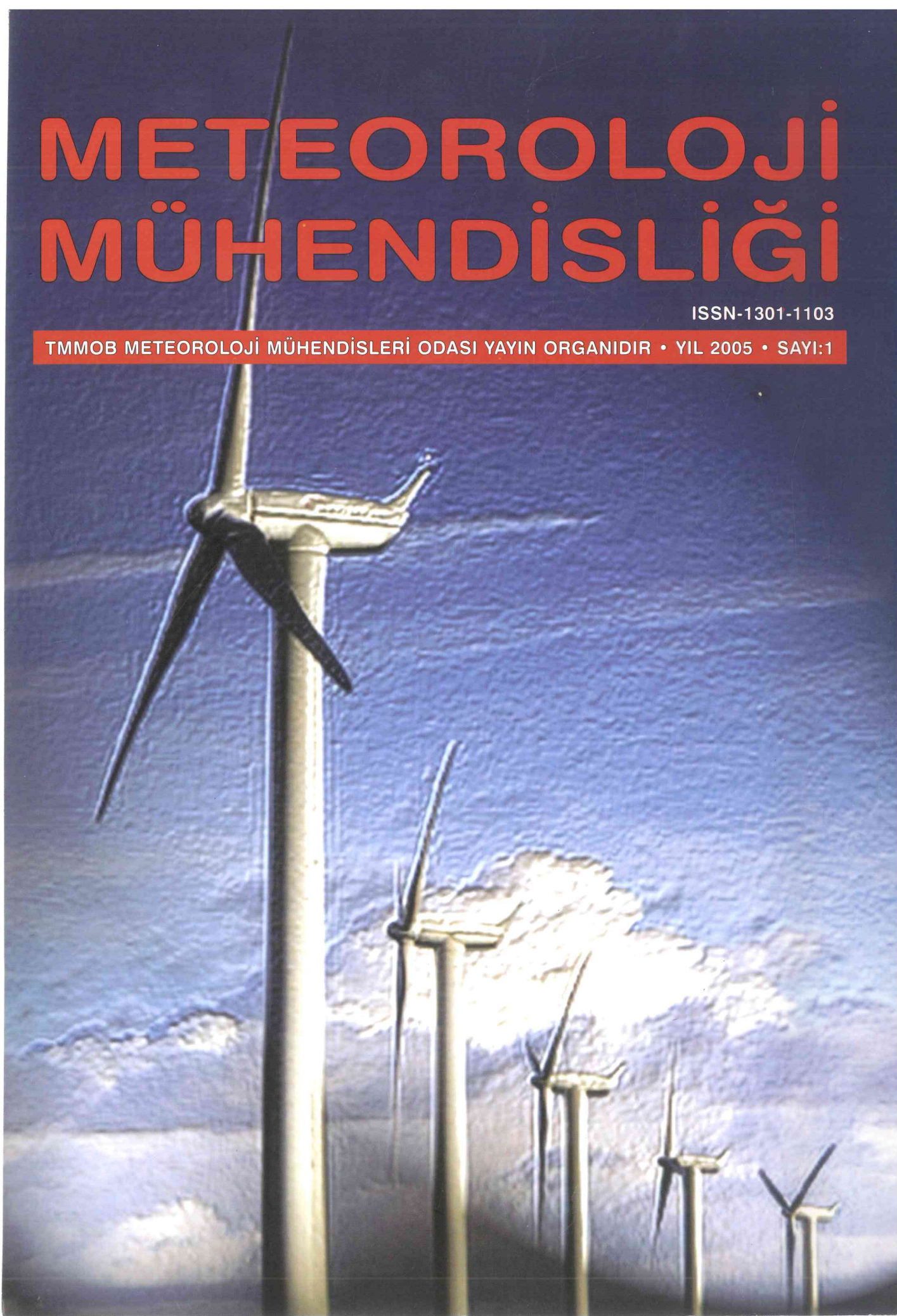


METEOROLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ISSN-1301-1103

TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANIDIR • YIL 2005 • SAYI:1



Bu Sayıda

Bir akışkan olan atmosfer sürekli değişim içinde olduğundan canlı ve cansız tüm varlıklar üzerinde etki meydana getirmektedir. Bu yüzden de tarih boyunca hava hareketleri gelişmelerinin izlenmesi ve yorumlanması yaşamımızda önemli bir yer tutmuştur. Yapılan bu çalışmalar hava tahminlerinin kapsam alanının gelişmesini sağlamıştır. Hava tahmini için sektörel kavramlar ve tahminler oluşturulmuştur. Ancak gelinen nokta itibarıyla yapılan çalışmalarda hava tahmininin ne olduğu ve nasıl yapılması gerektiği konusunda bir çok tartışma hala ülkemizin gündemindedir. Evrensel tanımları hala bir türlü kabul edememiş durumdayız.

Burada önemli olan hava tahmininin ne olduğunu tanımlamak ve bu tahmin(ler) için hangi bilgilerin ne şekilde ve ne zamanlarda verilebileceğidir. Bu konuda verilen bilgiler ülkeden ülkeye değişmektedir. Gelişmiş ülkelerde tahminler için belli bir standart oluşturulmuştur. Tarım, turizm, sanayi, enerji, ulaştırma ve spor sektörleri için ayrı ayrı tahminler verilmektedir. Ülkemizde ise hava tahmini yapma yetkisini elinde bulundurmaya çalışanlar ile bu hizmetlerin nasıl olması gerektiği konusunda katkı yapmak isteyenler sürekli karşı karşıya gelmektedir.

Hava tahmini konusunda çalışanlar; gelişen teknolojinin iletişiminden yararlanarak başka ülkelerin sitelerinden aldıkları hava tahmin ürünlerini karşılaştırmak suretiyle değerlendirmektedirler. Hatta bazı firmalar kendi meteoroloji istasyonlarını kurarak kendi sorunları için kısmi çözüm üretmeye çalışmaktadırlar.

Bazı ülkelerde hava tahminleri tahmin olmaktan hemen hemen çıkarılmış, bazı atmosferik parametreler için kesin sonuç verebilir duruma gelmiştir. Hatta sigortalı ürünler bile piyasaya sürülmüştür. Gelişmiş ülkelerde yanlış hava tahminleri konusunda insanlar linç bile edilmişken ülkemizde hava tahmininin ne olduğu yada ne olması gerektiği konusunda kamuoyunun yeterince bilgisinin olmadığı açıktır. Hava tahminlerinin ne olduğu konusunda bilgisi olmayanlar bu konuda talepte bulunamazlar. Talepler yapılabilecek işin ne olduğunun bilinmesi ile başlar. Hava tahmininin yer, zaman, miktar gibi değerleri içermesi gerektiğini kamuoyu tam anlamıyla anladığında bu konudaki talepleri de artacaktır.

Meteoroloji Mühendisleri olarak görevimiz, kamuoyunun bu konudaki bilgisini artırarak talep oluşmasını sağlamaktır. Ancak o zaman yetkili kurumlar ya da hava tahmini yapmaya kalkışanlar çağdaş anlamda hava tahmini yapabilmek için personel ve teknoloji olarak alt yapı eksikliklerinin tamamlayacaklardır.

Ülkemizde hava tahminlerinin nasıl olduğu ve nasıl olması gerektiği konusundaki tartışmalar devam edeceğe benziyor. Burada önemli olan bu hizmetlerin yeterince verilemediğini kabul etmek ve verilemeyeşinin nedenlerini ortaya koymaktır. Hava tahminlerinin kamuoyunun işine yarayacak şekilde verilemeyeşindeki sorunlar kabul edildiğinde, sorunun çözümü için en büyük adım atılmış olacaktır.

Ülkemiz Avrupa'ya enerji sağlama amacıyla enerji koridoru durumuna getirilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar ise ülkemizi enerji alanında tamamen dışa bağılı duruma getirirken geri dönülmesi çok zor olan bir sürece girmemize neden olmaktadır. AB ülkeleri enerji tüketimlerinin %20 sini yenilenebilir kaynaklardan sağlanması konusunda ciddi adımlar atarlarken, yenilenebilir enerji potansiyeli konusunda oldukça yüksek bir potansiyele sahip olan ülkemizde atılan adımlar yeterli değildir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında potansiyel ve üretim açısından daha fazla öneme sahip olarak değerlendirilmelidir. Bu konuda yapılacak projeler ve dolayısıyla yatırımlarda önemli olan ölçümlerdir. Rüzgar enerjisine bağılı olarak yapılacak bütün yatırımlarda rüzgarın meteorolojik bir parametre olarak Meteoroloji Mühendislerince ölçülmesinin ve potansiyelinin belirlenmesinin önemi artık karar vericiler tarafından bilinmelidir. Bu konuda yatırım yapılacak olanlar da yatırımlarının doğru ve ekonomik olabilmesi için ölçümlerin önemini kavraması ve gereği için adım atması gerekmektedir. Yetersiz ölçümler ve yanlış yer seçimleri yatırımın kullanılmasından önce haline gelmesine neden olabileceği gibi ülkemizdeki çalışmaların da başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olacaktır. Sonuç olarak burada kaybeden sadece yatırımcı değil ülkemiz olacaktır.

Atmosfere bağılı kaynaklardan yararlanmak için Meteoroloji Mühendisliği disiplini kurallarına göre ölçüm yapmak ve değerlendirmek gereklidir. Fizibilite çalışmalarında yatırımın olup olmayacağı veya nasıl olacağı ölçümlere göre belirleneceğinden, başlangıçtaki ölçümler için yapılan harcamaların bütün yatırımın ekonomik olmasını sağlayacağı bilinmelidir. Yatırımcılar yatırımlarının hemen geri dönüşümü istedikleri için ölçümleri gereksiz görebilirler. Bu konuda devlet öncülük görevini mutlaka yerine getirmeli ve ülkemizin rüzgar potansiyeli için daha kapsamlı bir ölçüm ağının gerekliliği kabul edilmelidir.

Bir sonraki sayıda Meteoroloji Mühendisliğinin çalışma alanlarına ilişkin konuları gündeme getirmeye devam edeceğiz.

YAYIN KURULU

TMMOB METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYIN ORGANI

YIL 2005 • SAYI: 1

ISSN: 1301-1103

TMMOB
METEOROLOJİ MÜHENDİSLERİ
ODASI ADINA
SAHİBİ ve SORUMLU
YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ
Mustafa DİREN

YAYIN KURULU
Yüksel MALKOÇ
Eşref BATUR
İsmail KÜÇÜK
A. Deniz ÖZDEMİR
Gökhan YÜCEL

YÖNETİM YERİ
Bayındır Sokak No:49/16
Kızılay/ANKARA
Tel: 0 312 419 56 04 • Faks: 0 312 419 57 05
e-posta: yonetim@meteoroloji.org.tr
<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.

ODAMIZ HESAP NUMARALARI POSTA ÇEKİ NO:

TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası - 105616

BANKA HESAP NO:

TC. Ziraat Bankası Kızılay Şubesi - 217624
Yapı Kredi Bankası Anafartalar Şubesi - 1035019-9
Türkiye İş Bankası Yenişehir Şubesi - 4218-3419634
Vakıfbank Ankara Şubesi - 2054789

DİZGİ ve TASARIM PLAR

Tel: (0.312) 432 01 83 - 93
Faks: (0.312) 432 54 22
e-posta: plar@ttnet.net.tr

BASKI

KARDELEN OFSET
Tel/Faks: 0312 432 13 78 - 432 23 78 - 435 37 90

İÇİNDEKİLER

Bu sayıda	2
HAVA TAHMİNİ EPİSTOMOLOJİSİ Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU	3
ENERJİ SANAYİNİN METEOROLOJİK BİLGİ GEREKİNİMLERİ Dr. Yüksel MALKOÇ	9
ELEKTRİK PİYASASI LİSANS YÖNETMELİĞİ UYGULAMALARI Murat DURAK	15
RÜZGAR ENERJİ KAYNAKLARI ATLASI Dr. Yüksel MALKOÇ, Fatma AYAZ, Fatih AYAZ	20
RÜZGAR ÖLÇÜMLERİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR Murat DURAK	35
AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI AÇISINDAN KÜÇÜK HES'LER ve RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINA VERİLEN TEŞVİKLER Murat DURAK	42
RÜZGAR ENERJİ SANTRALLARI İÇİN ÖN ETÜT ve KAYNAK BELİRLEME ÇALIŞMALARI Mustafa ÇALIŞKAN	48
MEASNET STANDARTLARINA GÖRE YAPILAN CUP ANEMOMETRE KALİBRASYON YÖNTEMİ Murat DURAK	56
İLERİ HİDROLOJİK TAHMİN YÖNTEMLERİ Hamza ÖZGÜLER	61

YAYIM KOŞULLARI

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, konularındaki çalışmalar dergimizde yayınlanır.

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

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

Gönderilen eserler şu kısımlardan oluşturulmalıdır. Başlık, Yazarlar (Görevler ve yazışma adresleri), özet (150 kelimeyi geçmemelidir), Metin (Giriş, Materyal ve Metod, 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 sayfayı geçmeyecek olan özetleri yayınlanır.

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

HAVA TAHMİNİ EPİSTOMOLOJİSİ

Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU

İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi

Filozof Arago, 1810 yılında “bilim ve teknolojiadaki gelişmeler ne olursa olsun, prestijini düşünen kişiler asla hava tahmini yapmaya kalkışmaz” demişti. Günümüzde ise özellikle bilgi toplumu olan gelişmiş ülkelerde hava tahmini ve hava durumu sunuculuğu; artık “canını seven yapmasın” dedirtecek kadar tehlikeli bir iş haline aldı. Ülkemiz ise tam bir “meteoroloji cenneti”. Bunu daha iyi anlamanız için, Ahrens’in 2001 yılında yayınlanan Meteorolojinin Temelleri adlı kitabında yer verdiği aşığıdaki hikayeyi okumalısınız.

Meteorolog Francisco Arias Olivera, ABD’de 21 bin kişilik bir kasabanın bir tane olan TV istasyonunda çalışan çok meşhur ve çok güvenilen bir hava durumu sunucusuydu. Fakat yanlış bir tahmini nedeniyle Francisco’nun hayatı trajik bir olayla sonuçlandı. Bir akşam “yarın kasabada metrekareye 5 kg yağış düşecek” dedi, ama kasabaya düşen yağış 25 kg oldu. Bir de Vilcanota nehri şahlanıp yatağından çıkarak 250 evi önüne alıp götürdü. 17 kişi sel sularında boğulup sel suları çekildikten hemen sonra kızgın kasabalı TV istasyonunun etrafını sardı. Francisco’yu işini doğru yapmamak ile suçluyorlardı. Kalabalığın arasında kendini bilmez birkaç kişi istasyona girip meteorologu ofisinden dışarı çıkarttı. İstasyonun arkasındaki ağaca bağlandıktan sonra meteorologu linç ettiler. Bunlardan

altı tanesi cinayetten yargılandı ama, haklı nedenlerle adam öldürmekten (justifiable homicide) serbest bırakıldılar. Duyumlara göre şuan kasabada yaşam normale dönmüş ama TV istasyonundaki hava durumu sunuculuğu ise hala boş.

Modern toplumların doğru hava tahminine olan gereksiniminin giderek arttığı apaçık ortadadır. Hava tahmini, meteoroloji mühendislerinin sokağa çıkmak isteyen insandan, uçağını kaldırmak isteyen pilota kadar hayatın her safhasında insanlara sunduğu en önemli üründür. Aynı zamanda, havayolları ve meyve yetiştiricileri gibi çeşitli endüstri kolları da, ağırlıklı olarak doğru hava tahminine muhtaçtırlar. Buna ek olarak; bina, baca vb yapısal dizayn ve birçok endüstriyel etkinlikler atmosferik parametrelere göre belirlenmelidir.

Bütün bunlara rağmen, ülkemizde hava tahmini, hava tahmini başarı değerlendirilmesi, haftalık ve mevsimlik gibi uzun vadeli tahminler ve meteorolojik uyarılar konusunda uygulama ve bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu yazı da bu konu kısaca ele alınıp 2004-2005 kış mevsimi için bir bilimsel tahminden bahsedilecektir.

Hava Tahmini Nedir?

Hangi konuda olursa olsun, sadece “Kaynak, Yer, Zaman, Miktar ve Olasılık” gibi nicel büyüklükler belirten kestirimlere *tahmin* denilir. Bir andaki hava durumundan faydalanarak, atmosferin ilerideki nicel durumunu belirlemeye de kısaca *hava tahmini* denir.

Bunun için önce meteorolojik gözlemlerin yapılması, bölgesel ve global merkezlere gönderilmesi ve dağıtılması gerekir. Her ülkenin bu aşamada topladığı meteorolojik gözlemleri, mevcut hava durumunun doğru olarak tespit edebilmesi için ayrıntılı bir şekilde analiz etmesi (*diagnoztik*) gerekir. Sonrada belli bir

sistem dahilinde derlenmiş ana ait hava durumu gözlemlerinden faydalanarak, atmosferin ilerideki durumunu gösteren tahmin (*prognastik*) kartlarını elde etmek için de birçok bilimsel metot ve teknoloji kullanılır. Bu işlemlerin tümüne, "Hava Tahmini" adı verilir.

Esasında, güvenilir bir hava tahmininde bulunmak, meteorolojinin temel amacıdır. İyi bir tahmin, atmosferin şuan ki ve gelecekteki durumunu tam olarak tetkik edebilmesinde yatar. Diğer bir deyişle, doğru bir hava öngörüsünün yapılabilmesi için, önce halihazırda atmosferin özelliklerini çok iyi kavramaları gerekir. Buna "Hava Analizi" (*diognastik*) denir ve derlenip toparlanmış milyonlarca gözlemsel verinin sistematik analizini içerir.

Hava tahmini yapabilmesi için pek çok ileri bilimsel metotlar ve teknoloji araçlar kullanılmalıdır. Gelişmiş ülkelerdeki meteoroloji teşkilatlarının merkezleri, kısa ve uzun vadeli *paragnostik kartların* oluşturulmasında temel olarak *nümerik (sayısal) hava tahminini* kullanmaktadır. Sonra bu bilgiler bölgesel ve yerel olmak üzere, *istatistiksel* metotlarla daha kesin ve noktasal hava tahmini yapmaya çalışan yerel merkezlere gönderilir.

Atmosferin sürekli değişim içerisinde olduğundan dolayı, ölçümlerin mümkün olduğu kadar hızlı bir biçimde yapılması gerekir. Buna ilaveten, herhangi bir veri alınırken, analiz yapan kişi, verileri hava öngörüsü yapacak kişinin kolayca kavrayabileceği bir biçimde ortaya koymalıdır. Bu da bilgilerin *sinoptik hava kartlarına* işlenmesiyle yapılır. *Sinoptik hava tahmini* 1950'li yılların sonuna doğru, hava tahmininde kullanılmaya başlanılan temel metottu. Modern hava tahmini artık, ağırlıklı olarak *sayısal hava tahminine* dayanır. Sayısal hava tahmini, atmosferdeki gazların, bilinen fiziksel prensiplere uyması, özelliğine dayanır. Mevcut şartlar verildiğinde bu fiziksel kanunlar, atmosferin ilerideki durumunun belirlenmesinde kullanılabilir. *İstatistiksel metotlar* genellikle nümerik hava tahminiyle birlikte kullanılır. İstatistiksel yöntemler genel hava durumunu tahmin etmek için kullanılmakla birlikte daha çok, örneğin, verilen bir yer ve zamanda maksimum sıcaklığın belirlenmesi için kullanılır. Hava tahmininde diğer bir yaklaşımın ismi *analog metottur*. Bu yöntem, daha önceki kayıtlardan, şu anki duruma mümkün mertebe en çok benzeyen durumu belirleyerek paralellikten

yararlanır. Bu yöntem, barış anında da kullanıldığı gibi, savaş anında ülkenin dışarıdan bilgi alamadığı durumlarda kullanılabilir tek yöntemdir.

Prognastik (*tahmin*) kartları olmadan tahmin yapılamayacağı için hava tahminini; bir andaki hava durumundan faydalanarak, atmosferin ilerideki durumunu belirlemek için yapılan işlemlerin tümü olarak düşünmek gerekir. Bu nedenle, "Hava tahmini", mevcut hava şartlarının belli bir zaman periyodu sonunda nasıl değişeceğini hazır prognastik (*tahmin*) kartlara bakıp yorumlamak" şekilde tanımlanmak yanlıştır. Türkiye'de yapılan yanlış da budur. Ben dahil olmak üzere ülkemizde hava tahmini yaptığını söyleyen herkes başka ülkelerin hazırladığı prognastik kartlara bakarak "hava tahmini" adı altında yorumlar yapıp bir şeyler söylemektedir.

Hava Tahmini Çeşitleri

Ülkemizde olduğu gibi gerçekte hava tahminleri tek tip ve üç gün ile sınırlı değildir. Gelişmiş ülkelerde beş farklı periyot için halka sunulan hava tahminleri şunlardır:

0-12 Saatlik (çok kısa vadeli tahminler): Önemli ve yararlı niceliklerin öngörüsü yapılar. Tahminde (nereye, ne zaman, ne kadar, ne olasılıkla gibi) alansal ve zamansal detaylar verilir. Küçük ve kısa süreli yerel fırtınalar belirlenebilir. Cepheler ve büyük miktardaki yağışlar gibi olaylar 6 ile 12 saat arasında öngörülür. Kuvvetli dikey rüzgarlar ve düzensiz yağışlar ise birkaç saat içerisinde öngörülebilir. Bu tahminler meteorolojik afetlerde ve karla mücadelede de çok önemlidir.

12-72 Saatlik (kısa vadeli tahminler): Orta enlemlerdeki hava sistemlerinin oluşumu ve gelişimi, sıcaklık, yağış miktarı, bulutluluk ve hava kalitesindeki gelişmeler bu periyotta öngörülür. Ayrıca, şiddetli fırtınaların meydana geleceği alanlar ise 24 saatlik bir süre zarfında öngörülür.

3-7 Günlük (orta vadeli tahminler): Büyük ölçekli hava sirkülasyonları, fırtınalar ve soğuk hava dalgaları birkaç gün öncesinden belirlenebilir. Bu periyotta ortalama sıcaklık ve yağışın normalinden olan sapmaları da tahmin edilir.

14 Günlük (uzun vadeli tahminler): Bu periyotta ortalama sıcaklıklar tahmin edilebilir. Ayrıca günlük ortalama sıcaklık ve yağışın normalinden olan sapmaları da tahmin edilir.

Aylık ve Mevsimlik Tahminler: Aylık ve mevsimsel sıcaklık ortalamaları ve bunların mevsim normallerine göre durumu belirlenir. Enerji, turizm ve tarım sektörü için önemlidir.

Ülke olarak, üyesi olduğumuz Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmini Merkezinin (European Center of Medium Range Forecast, ECMWF) ürünlerine bağımlıyız. Bu nedenle, Türkiye’de dışarıdan alınan tahminlere göre şehirlerimiz için yeterli ölçüde nicel bilgiler içermeyen ve sadece 3-günlük olan hava tahmini bültenleri hazırlanabilmektedir.

Hava Tahmincisi Psikolojisi

Hava tahmini bir bilim olduğu kadar bir sanattır da. İyi bir tahmini yapabilmek için sadece iyi bir (dinamik ve sinoptik) meteoroloji bilgisine sahip olmak yeterli değildir, aynı zamanda tecrübelerinize dayalı olarak gelecekte hava şartlarının ne olacağı hakkında da kuvvetli bir önseziye sahip olmalısınız. Sadece yaşadığı yer ve çok kısa süreler için tahmin yapan amatör hava tahmincileri ise doğru hava tahminde önemli rol oynayan bir çok kavram ve teoriyi bilmez. Amatör hava tahmincilerin bir çok şeyi ayrıntılı olarak bilmesi de gerekmez.

Bununla beraber, profesyonel bir hava tahmincisi halk için veya bir organizasyon ya da bir şirket için hava şartlarını takip ediyor ve tahminler yapıyorsa gündün güne değişen hava şartlarını tahmin edebilmek için hava tahmini felsefesini ve hava tahminin arkasında yatan bilimsel esasları iyi bir şekilde bilmek zorundadır. Profesyonel hava tahmincisi aynı zamanda yaptığı tahminlerin sorumluluğunu da ağır bir şekilde taşır. Örneğin;

Kennedy’nin 1961’de resmen ABD başkanlık görevine başlamasından kısa bir süre önce, ülkenin başkentinde kar yağmaya başladı. İlk önce, sadece birkaç ufak kar tanesi kaldırımlarda parıladı. Fakat öğleye doğru şiddetlenen kar yağışını, güçlü rüzgarlar takip etti. Akşama doğru da, yollar kardan geçilmez oldu. Binlerce araba yolları kilitledi, araç sürücüleri kara saplanıp kalmış araçlarını terk edip kör edici fırtınanın içinde yürümeye başladı. Şiddetli rüzgarın getirdiği kar, şehri felce uğrattı. Kar yağışı sabaha kadar durur muydu? Başkanın göreve başlama töreni ertelenmeli miydi? Bu sorular tören komitesinde ve meteorologlarda büyük stres oluşturuyordu.

Meteorologlar günün ilk ışıklarıyla beraber, yüksek seviye rüzgarlarının fırtınayı bölgenin dışına sürükleyeceğini ve kar yağışının durup havanın açacağını hesapladı. Tahminleri tutmuştu. Başkanın göreve başlama gününde, güneşin doğmasıyla kar yağışı sona erdi. Öğlene doğru tören başladığında resmi geçidi izleyen 1 milyon kişi kuvvetli rüzgardan dolayı sıcaklığı -21 °C hissederken buz kesiyordu. Akşam karanlığında törenden geride kalan sadece kısmen donmuş bir başkan, onun erkek kardeşi Robert ve onun eşi Ethel idi.

Görüldüğü gibi hava tahminleri, hayat kurtarmak, malımızı korumak ve işlerimizi planlamak için bizlere atmosferik çevremizden neler beklememiz gerektiğini bildirir. Örneğin hava durumu, işçiler, öğrenciler ve memurlar için tıkanmış su kanalları, su basmış caddeler, felç olmuş trafik ve geç yenen akşam yemekleri vb manasına da gelir.

Bu durumda kendinizi bir an için bir hava tahmincisinin yerine koyun. Havayı tahmin etmek sizin sorumluluğunuzda. Milyonlarca insan çeşitli nedenlerle havanın nasıl olacağını bilmek istiyor. Eğer hatalı hava tahmini yaparsanız, şakaların, hor görmelerin, kızgınlıkların hedefi haline gelebilirsiniz. Bu psikolojik baskı altında tahmin yapar sonrada tahmininiz tutuyor mu diye sürekli aklınız havada kalır.

Hava Tahmini Başarı Değerlendirmesi

Şimdi gelin hep beraber kendi kendimize bir test yapalım. Size hafta başından itibaren tüm hafta boyunca “yarın hava yağışlı olacak” deyip deyip dursalar ama denildiği gibi yağış olmasa bu duruma kızar mıydınız? “Bilemediler”, “tutturamadılar” vb şeyler dermiydiniz? Eğer büyük bir kuraklıkla kavru lan, “su, su” diye kıvrılan bir çiftçi değilseniz, güneşli havayı “güzel hava” olarak adlandırır, kendinizi kar da bile sayardınız, değil mi?

Bir de, pazartesi gününden beri yağacak denilen ama yağmayan yağmur, kazara Cumartesi günü yağsa ne dersiniz? Bence bu soruya cevaben “vay be, kaç gün öncesinden bildiler!” diyeceklerin sayısı ülkemizde oldukça fazla. Bunun ile birlikte, “yarın hava güneşli olacak” dense ama yağmur yağsa ne düşünürsünüz? Hele bu yağış sizin pikniğe veya yürüyüşe çıktığınız bir hafta sonuna rast gelirse, müthiş kızmaz mısınız?.

Toplumlar arasında hava tahminlerini algılamadaki farklılıkların yanı sıra benzerlikler de vardır. Örneğin

hafta içinde kapalı ortamlarda çalışan işçi, memur ve öğrenciler, özellikle hafta sonundaki hava şartlarına karşı çok duyarlıdır. Onlara sorsanız, size "havanın sanki inadına onların gezip tozma, dışarı çıkma günleri olan hafta sonunda hep yağdı" gibi bir inanışın yaygın olduğunu görürsünüz.

Hava tahmini doğruluğu, hava tahmini becerisiyle nasıl karşılaştırılabilir? Urfa'da yazın günlük hava tahmini yaptığınızı varsayın. Bugün yağış olmuyor ve sizin tahmininiz yarın için de 'yağış yok' diyor. Ertesi günü yağmur yağmadığını varsayın. Doğru bir hava tahmini yaptınız ama bunu yaparken hiçbir beceri gösterdiniz mi? Yazın Urfa'da yağmur yağması ihtimalinin de çok az olduğunu zaten biliyoruz; Günden güne yağmur yağmaması iyi bir şans. Bir hava tahmininde, beceri gösterebilmek için verilen bölgede sadece aktüel bir havadan (süreklî) ya da normal havadan (iklimden) daha fazlası olmalıdır. Bundan dolayı 'Urfa'da ölçülebilen miktarda yağış olmayacak' şeklindeki açıklamalar doğru olacaktır. Fakat yazın hangi günlerin yağışlı olmayacağı değil; yağışlı olacağını tahmini için bir beceriye ihtiyaç vardır.

Hava tahmini başarısını (beceriyi) değerlendirmek için değişik metotlar vardır. Bunlarda birinde puanlama golf oyununda olduğu gibi düşük kötü puanlar daha iyidir. Eğer sıcaklık tahmininiz 10 derece, fakat gözlenen 7 derece ise, tahmininizden 3 kötü puan alırsınız. Yağış tahmininde puanlama, verilen yağış miktarı ve yağış ihtimalinin yüzdesine dayanır. Eğer sizin tahmininiz doğru yağış miktarı kategorisinde ise hiç kötü puan almazsınız. Farklı her bir kategori için 5 kötü puan alırsınız. Tüm başarı değerlendirme yöntemlerinde, yağış tahminindeki başarı tahmin edilen yağış miktarına göre hesaplanır. Metrekareye düşecek yağış miktarı verilmezse yağış tahmini yapılmamış demektir.

Meteorolojik afetler, önceden tahmin edilerek erken uyarıları yapılabilen afetlerdir. Bu özellikten yararlanarak, gelişmiş ülkelerin afet yönetim programlarının bir parçası olan meteorolojik tahmin ve erken uyarı, planlama ve eğitim ile can kayıplarında önemli azalmalar ve ekonomik zararlarda da önemli düşüşler sağlanmıştır.

Meteorolojide erken uyarı üç adımda yapılır. Birinci adım kısa vadeli hava tahminidir. Bu tahminler, 12-24 saat öncesinde şehir ölçeğinde yapılır. Bu tahminlerde kaynak, yer, zaman, miktar ve olasılık verilir.

İkinci adım (takip) gözetlemedir. 2 ila 6 saat önce kasaba/köy ölçeğinde yapılır. Tahminde verilen bilgilere ilave olarak gözetlenen meteorolojik afetin olası şiddeti ve ona karşı halkın alması gereken önlemleri içerir. *Meteorolojik uyarı ve ihbarlar* gözetlenen meteorolojik afetin bir kaç dakika öncesinde 30-60 dakika için mahalle veya sokak ölçeğinde yapılır. İhbarların içeriği gözetleme ile aynıdır, fakat hemen eyleme geçilmesini ister.

Ülkemizde hava tahminlerini kullandığımız ECMWF'in sayısal modellerinin grid mesafeleri sel ve fırtınalara neden olan yerel hava sistemlerini yakalayamaz. Bunun için ülkemizde hep "aniden başlayan kar, ya da sağanak yağış" gibi ifadeler kullanılır. Ayrıca, meteoroloji literatüründe yağış, "etkili" ve "etkisiz" diye de (komik bir şekilde!) ayrılmamaktadır.

Hava Tahminindeki Yanılgıların Nedenleri

Sık sık ve haklı olarak birçok havaya duyarlı ve eğitimli insan radyo ve televizyonda verilen hava tahminlerinin neden çoğu zaman tutmadığını sorguluyor.

Başarılı hava tahmininin sırrı ise, atmosferin gelecekteki durumunu tam olarak belirlenebilmesinde yatıyor. Bu da eksik gözlemler ve atmosferin henüz tam anlaşılammış ve hızla değişebilen kaotik yapısından dolayı kolay bir iş değil. Bunun için meteorolojist Robert Ryan hava tahminindeki güçlükleri şöyle özetliyor:

"Dönen küremizi, çeşitli materyaller, çeşitli özellikteki çeşitli gazlar içeren 800 mil genişliğinde ve 93 milyon mil enindeki devasa bir alan içerisinde nükleer reaktörler tarafından ısıtılan bir sistem gibi düşünün. Dünya devasa büyüklüğünden dolayı farklı yer ve farklı zamanlarda farklı ısınmalara maruz kalmaktadır. Sonrada insanlar, 20 mil derinliğinde ve 250 milyon metrekare gibi küçük bir alan içerisindeki bir noktadan gözlem yaparak, bu gazlar karışımının 3 günlük süre zarfındaki davranışını öğrenmek istiyorlar. İşte meteorolojistlerin yüz yüze kaldığı problem budur."

Bütün bu zorluklara rağmen sorgulanmamızın nedeni birazda bizim kesin hava tahmini yapmamızda yatıyor. Hava tahmininin yapılmaya başlandığı ilk yıllarda, yapılan tahminler arada bir doğru çıkınca insanlar son derece mutlu oluyorlardı. Bu gün ise bizler hava tahmininde mükemmeliyet beklediğimiz için arada bir doğru çıkmayan tahminleri gözümüzde büyütüyoruz. Bununla beraber aynı zamanda, hava

tahmininin kesin olarak belirtilmesine yöneliyoruz. Öyle ki tahminlerde yağmur olasılığının kesin olarak belirtip, olayın meydana geliş zamanını ve beklenen yağışın miktarını da söylüyoruz.

Modern hava tahminlerinin çok iyi çıkmamasının nedenleri pek çoktur. Öncelikle çok önceden dünyada kurulmaya başlanmış olan gözlem istasyonu şebekesi tamamlanamamıştır. Ayrıca, dünyanın kara ve deniz yüzeylerinin büyük bir bölümünün uydu görüntülerini elde edebilmemize rağmen, birkaç bölge dışında, troposferin orta ve yukarı kesimlerinden yeterince veri elde edemiyoruz. Dahası, atmosferdeki olayların tamamen anlaşılabilir olması ve elimizdeki atmosfer modellerinin ideal olmaması da vardır.

Bilindiği gibi herhangi bir şeyin davranışlarındaki sadelik ve düzen onun gelecekteki hareketlerinin de kolayca tahminini mümkün kılar. Örneğin, dünya ve diğer gezegenler basit ve düzenli bir yörüngeye sahip olduklarından onların astronomik hareketlerini kolayca tahmin edebiliriz. Örneğin, Halley kuyruklu yıldızının ne zaman görüleceğini çok önceden belirleyebiliriz. Öte yandan, atmosferdeki karışıklık ve düzensizlik ise, havanın gelecekte alacağı durumun önceden bilinmesini imkansız kılmaktadır.

Atmosferde değişimin tümüyle belirlenip açıklanması da çok zor bir problemdir. Bununla birlikte basit matematiksel modeller, atmosferdeki dinamik işlemleri anlamak ve açıklamakta bize yardımcı olabilmektedir. Çok hızlı bilgisayarların geliştirilmesine ve yeni atmosferik modellerin oluşturulmasına rağmen, hava tahmininde hala istediğimiz noktaya ulaşamadık. Birkaç 10 yıl önce insanların "Hava yarın açık olacak, çünkü havanın yağışlı olacağı rapor edildi" türü şakaları iştirmek çok da anormal şeyler değildi. Bu gibi önyargılar sayısal hava tahmini sayesinde bu gün artık geçerli değildir.

Bu gün modern hava tahmini ağırlıklı olarak sayısal hava tahminine dayanır. Sayısal hava tahmini, atmosferdeki gazların, bilinen fiziksel prensiplerini kullanır. Mevcut sınır ve başlangıç şartları verildiğinde bu fiziksel kanunlar, atmosferin ilerideki durumunun tahmin edilmesinde kullanılabilir. Halen, atmosferin dinamik olmasını göz önünde tuttuğumuzda, değişkenlerin çok oluşu, bu metodun dezavantajı olarak görülüyor. Bu problemi çözmek için sayısal model, atmosferde zamanla değişmeyen değişkenleri hesaba katmaz.

Bölgesel sayısal modeller de tüm dünyayı dikkate almaz. Bu nedenle sınır bölgelerindeki havayı doğru bir şekilde temsil edemez. Kullandıkları sayısal noktaların geniş aralığı nedeniyle yerel hava şartlarını da belirleyemez. Dağları ve yeryüzü özellikleri ile birlikte havadaki bir çok fiziksel olayları da tam olarak doğru bir şekilde temsil edemez...

Diğer bir deyişle en büyük problemimiz, meteorolojik parametreleri tamamen doğru olarak hiçbir zaman ölçemiyor ve modellerde temsil edemiyor olmamızdır. Meteorolojik aletler ile sıcaklık, basınç ve benzeri değişkenleri yaklaşık olarak ve çok seyrek noktalarda ölçmekteyiz. Bu eksik ve doğru olarak ölçülemeyen parametreler, meteorologlar tarafından sayısal hava tahmin modellerinde başlangıç değerleri olarak kullanılmaktadır. Farklı başlangıç değerleri, modellerin farklı fiziksel özellikleri ve atmosferin kaotik çekicisinden dolayı tahminler gerçekten tamamen çok farklı olabilmesine yol açabilmektedir.

Bununla birlikte günümüzde havadaki kelebek kavramı (kaotik çekici), atmosferi inceleme ve tahmin etmedeki yaklaşımlara yenilik getirerek hava tahminlerinin güvenilirliğinin tespit edilebilmesine olanak tanımaktadır. Lorenz'in keleşi, A.B.D. Ulusal Meteoroloji Merkezi, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) ve diğer gelişmiş meteoroloji merkezlerinde artık sayısal modeller ile yapılan hava tahminlerinde kaosun ortaya çıkıp çıkmadığı ve tahmin edilebilir kararlı atmosferik yapının ne kadar korunabileceğini (yani tahminin güvenilirliğini) tespit etmekte kullanılmaya başlanmıştır.

Bu nedenle hava tahmininin yüzde ne kadar güvenilirlikle yapıldığını sorgulayabilirsiniz. Bu soruyu cevaplamak da, sanıldığı kadar kolay değildir. Bu konudaki büyük problemlerden biri hava tahmininin ne kadar doğru olduğunun belirlenmesidir. Örneğin hava tahmininde minimum sıcaklık 10°C olarak verilse ve hava sıcaklığı 9°C olarak gerçekleşse bu hava tahmini doğru mu kabul edilecek? Hava tahmininde Ankara'da kar görüleceği bildirilse ve Ankara'nın 2/3'ünde kar yağışı gözlenirse bu tahminin yanlış olduğu mu kabul edilecek? Yoksa tahminin 2/3'ü mü doğrudur mu denilecek? Bu örneklerden de anlaşılacağı gibi hava tahmininin değerlendirilmesinde bu tip problemler göze çarpmaktadır. Gelişmiş ülkelerde yüzde olarak tahmini yapılan hava olayı sadece yağıştır. Her ne kadar yağışın meydana

gelmesi %80 güvenilirlikle tahmin edilebilirse de, yağışın miktarı ve düşeceği yer halen tam olarak belirlenmemektedir. Ülkemizde ise bu tür nicel bilgiler hiç verilmemektedir.

Özetlersek, ülkemizin ECMWF'den temin ettiği gündelik hava tahminlerdeki hatalar, meteorolojik gözlemlerdeki eksiklik ve hatalar, sayısal modellerin sayısal noktaları arasındaki büyük mesafeler, sayısal hesaplardaki küsurat yuvarlamaları, modellerin atmosferi ve atmosferdeki fiziksel olayları temsil etmedeki yetersizliği, Türkiye'nin bu modellerin hesap alanının kıyısında bulunması ve atmosferin kaotik yapısından kaynaklanabilmektedir.

Kaynakça

Ahrens, C.D., 1988: Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment, 3rd edition, St. Paul: West Publishing Company, p. 581.

AMS Policy Statment – Weather Analysis and Forecasting, 1998: <http://www.ametsoc.org/POLICY/statewaf.html>

Weather Analysis and Forecasting, Summary, http://wps.prenhall.com/esm_lutgens_atmosphere_9/0,7475,632338-,00.html ■

ENERJİ SANAYİNİN METEOROLOJİK BİLGİ GEREKSİNİMLERİ

Dr. Yüksel MALKOÇ
Meteoroloji Mühendisi

Meteoroloji Mühendisleri Odası Enerji Komisyonu üyesi

Özet

Ulusal meteoroloji hizmetlerinin en temel görevlerinden biri kamu kurum ve kuruluşlarına, özel sektör ve kişilere hava, iklim ve deniz durumlarıyla ilgili bilgileri üretmek ve dağıtmaktır. Bu zor ve o kadar da karışık olan görevin yerine getirilmesi üretilen bilginin amaca uygun olarak gerekli yerlere zamanında ulaştırılmasını ve üretilen bilginin doğruluğunun ileri model ve gözlemlerle sürekli olarak geliştirilmesini de zorunlu kılmaktadır. Meteoroloji hizmeti veren kuruluşların her ne kadar sektörlere özel meteorolojik bilgi verme gibi sorumlulukları varsa da bu hizmetlerin sektörlerin dinamikleri gereği bünyelerinde istihdam edecekleri meteoroloji mühendisleri veya amaca uygun özel meteoroloji hizmeti veren şirketler tarafından yapılması günümüzde gelişmiş ülkelerin uyguladıkları bir yöntemdir. Yani meteoroloji kurumlarından elde edilecek genel hava durumu bilgilerinin sektörün ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde dönüştürülmesi ya sektördeki meteoroloji mühendisleri tarafından ya da bu konularda hizmet veren uzman özel şirketler tarafından yapılması sektörde başarılı olmak için gerekli olmaktadır.

Bu çalışmada enerji sanayinin ihtiyaç duyduğu meteorolojik bilgiler (özellikle hava, iklim ve deniz) ortaya konulmaya çalışılmıştır. Enerji sanayi üç kategoriye ayrılarak (yenilenebilir olmayan, yenilenebilir ve elektrik üretimi) her kategorinin değişik operasyonlarında gereksinim duydukları meteorolojik bilgiler listelenmiştir.

1. Giriş

Hava ve iklim tahminleri, deniz durumu veya emisyon izleme ve modelleme gibi meteorolojik bilgiler enerji sanayinin bir çok dalında kullanılmaktadır. Petrol ve doğal gaz, yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, dalga, biyokütle ve hidroelektrik üretimi gibi), elektrik üretimi ve iletiminde özellikle meteorolojik bilgiye ihtiyaç duyulan alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarım ve su kaynakları sektörü ile karşılaştırıldığında enerji sektöründe meteorolojik desteğin yeteri kadar kullanılmadığı dünya ve ülkemiz uygulamalarından açıkça görülmektedir. Fakat son zamanlarda meydana gelen hızlı teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artması, kaliteli, güvenli, zamanında ve sürekli enerjinin temin edilmesi gibi nedenlerden dolayı son on yılda enerji sektörünün tüm dallarında da meteorolojik bilgiye olan ihtiyacın arttığı görülmektedir. Bu talebin artmasına neden olan diğer sebepler arasında meteorolojik bilgiye erişimde sunulan kolaylıklar, sektörler göre hazırlanan paket meteorolojik bilgi destekleri ve rekabetçi piyasalarda enerji operasyonları için meteorolojik bilginin değerinin iyi kavranılması da etkili olmuştur.

Meteorolojik bilgilerin değişik fiziksel şartları ve ekonomik gelirleri nasıl etkileyeceği konusundaki bu olumlu ve ayrıntılı bilgiler enerji yöneticilerini kararlarında daha etkili kılmaya başlamıştır. Bu yüzden, rekabetçi enerji piyasalarında fiyat ayarlamalarını yaparken enerji şirketlerinin karşı karşıya kaldığı

fiyat indirimleri için enerji kaynaklarının arz ve talebini etkileyebilen güvenilir tüm faktörlerin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Enerji kaynaklarının arz ve talebini etkileyen temel bilgiler arasında doğru ve güvenilir mevcut atmosferik şartlar, hava ve iklim tahminleri önemli yer tutmaktadır.

Bu çalışmada, herbir enerji sanayi alanını etkileyen meteorolojik bilgi gereksinimleri detaylı olarak belirtilmeye çalışılmıştır. Bunlar gelişmiş ülkelerde enerji sektörünün kullanmakta olduğu meteorolojik bilgiler incelenerek hazırlanmıştır. Meteorolojik bilgi gereksinimleri, enerji sanayinde faaliyette bulunan şirketlerin ihtiyaçlarını yansıtmaktadır.

2. Doğal Gaz ve Petrol Keşif, Geliştirme ve Üretimi

Petrol ve doğal gaz keşfi, geliştirmesi ve üretimi yapan tüm şirketler üretim tekniklerini zenginleştirmek, personel ve ekipmanların zarar görmesini engellemek veya olumsuz meteorolojik etkileri en aza indirebilmek için deniz aşırı operasyonlarının tüm safhalarında meteorolojik bilgilere azami derecede ihtiyaç duyarlar. Doğal gaz ve petrol keşfi, geliştirilmesi ve üretimi safhalarında hava ve iklim verileri aşağıda belirtildiği gibi etkili olmaktadır;

Keşif ve Sondaj

- Sismik etütler deniz aşırı doğal gaz ve petrol rezervlerinin yerlerini tespit etmekte kullanılmaktadır. Su sıcaklığı, su basıncı, deniz suyu partikülleri, akıntılar ve tuzluluk gibi faktörler sismik etütlerin ses dalgalarını suda hareket ederken önemli ölçüde etkiler.
- Deniz aşırı kuyu ekipmanları zor deniz şartlarında çalışacak şekilde imal edilmişlerdir. Yapının tipi, kuyu açılacak bölgedeki su derinliği, hava ve deniz şartlarına son derece bağımlıdır.
- Sondaj operasyonlarını etkileyen meteorolojik hadiseler arasında tropik hava sistemleri, şiddetli rüzgarlar, maksimum dalga yükseklikleri ve anormal akıntılar sayılabilir.
- Güçlü okyanus akıntıları genelde sıcak sularda meydana gelir ve önemli ölçüde sondaj kulesini etkiler. Okyanus akıntılarını ve girdaplarını izleyebilmek için ulusal ve özel kaynaklardan elde edilen okyanus akıntı verileri ve tahminlerini sanayide kullanır. Sabit platformlarda yapılan sondaj operasyonları rüzgar hızı ve dalgalardan

etkilenmektedir. Operatörler bu ve bunun gibi etkilerin işi geciktirmesinden kurtulabilmek için sürekli olarak tahminleri izlemek durumundadır.

Üretim Operasyonlarındaki Kesintileri En Aza İndirmek

- Kasırgalar ve diğer şiddetli hava olayları, hem üretimi/ulaşımı sektöre uğratarak hem de personel ve tedarik imkanlarını kısıtlayarak üretim operasyonlarına darbe vurur.
- İleri fırtına takibi ve fırtınaların sahile varma zamanlarının ve yerlerinin tahminleri gereksiz kazı işlemlerinden sakınmayı sağlar ve 3 gün kadar deniz aşırı üretim faaliyetlerinin durmasını engelleyebilir. Bu da yaklaşık olarak günde 15 milyon dolarlık tasarruf sağlayabilir.
- Gelişmiş kısa süreli genel hava durumu ve sis tahminleri taşıma, ulaştırma ve kaza riskleri açısından faydalı olabilmektedir.

Ekipmanların Kurulması ve İnşası

- Operatörler genellikle deniz aşırı inşaatlarını yaz aylarında yaparlar. Bu şekilde yaz aylarındaki durgun deniz şartlarından yararlanmış olurlar.
- Tropik fırtınaların takibi ve sıklıklarının gelişmiş uzun vadeli tahminleri, deniz aşırı inşaa maliyetlerinde potansiyel olarak yıllık milyonlarca doların tasarruf edilmesini sağlayabilir.

Gelecek Yılın Petrol ve Doğal Gaz Üretim Planlaması

- Keşif, üretim aktiviteleri ve platform dizaynı çalışmalarının uzun dönem planlamasını optimize edebilmek için iklim değişikliği paternlerinin daha doğru tahminlerinin ve onların şiddetli hava olayları (akıntılar, dalga yükseklikleri, deniz seviyesi ve buzlanma şartları) üzerine etkilerinin bilinmesini gerekli kılmaktadır.

3. Petrol Piyasası

Kaliteli hava ve iklim bilgileri petrol piyasasını da önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etkiler;

Rafineri İşlemleri

- Sahil bölgelerindeki rafineri operasyonları kasırga ve şiddetli hava hadiselerinde kesintiye uğrayabilir. Kasırgalar, rafineri işlemlerine veya rafinerilere ham petrol taşıyan boru hatlarının

çökmesine sebebiyet verebilir. Kasırgaların veya şiddetli hava olaylarının sahile varmadan önce doğru tahmin edilmesi büyük ekonomik kazançlar sağlayabilir.

- Kışın ısınma yakıtlarına olan talebin artması ve yaz aylarında yüksek oranda benzin tüketimi gibi faktörler üretim ihtiyaçlarını etkiler. Uzun dönemli ısınma derece günlerin tahmini (HDD) ve diğer iklimle alakalı veriler rafineri üretim planlaması için son derece kritik bir durumdur.

Petrol Ürünlerinin Taşınması

- Hava olaylarının taşıma altyapısına etkileri petrol ürünlerinin son kullanıcılara etkin bir şekilde ulaşmasında önemlidir.
- Taşımacılar açısından bu kesintilerin en aza indirilmesi, boru hatlarının devre dışı kalması durumunda acil durum planlarının hazırlanması ve alternatif taşıma yollarının planlanmasını yapmak üzere kasırga, kar fırtınası, thunderstorm, buzlanma, rüzgar patenleri, taşkınlar gibi hava olaylarının günlük tahminleri gereklidir.
- Tanker ve mavnalı taşımacılığı petrol ürünlerinin güvenli taşınması için hava ile ilgili bilgiler özellikle ihtiyaç duyar. Dalga yükseklikleri, deniz akıntıları, şiddetli hava hadiseleri konusunda ileri düzeyde tahminler, tanker ve mavnalı kazaların önlemede gereklidir.
- Deniz yoluyla petrol taşıma sanayi, kazalarda petrolün denize dökülmesi durumunda olayı yönetebilmek için ayrıca şiddetli hava olaylarını, deniz akıntıları ve dalga yükseklikleri bilinmek istenir.

Petrol Ürünleri Dağıtımı

- Beklenmeyen bir çok hava hadisesinin petrol piyasasını etkilemesinden dolayı bu sanayi kısa ve uzun dönem hava tahminlerini, stratejik planlarını optimize etmek için yakından izlemek durumundadır. Örneğin, sıradışı uzun bir soğuk kış distile ürünler, stoklar ve fiyatlar üzerinde önemli derecede etkiye sahip olur.
- Olumsuz hava koşullarından kaynaklanan zararları minimize etmek için bazı dağıtım şirketleri ürünlerini sigortalatma yoluna gitmektedirler. Sigorta şirketleri de kısa ve uzun dönemli hava tahminlerini bu işlerde sıkça kullanmaktadır.

4. Doğal Gaz Piyasası

Kaliteli iklim ve hava bilgileri doğal gaz piyasasında da kritik öneme sahiptir. Alanlara göre kullanılan bilgiler aşağıdaki gibidir;

Doğal Gaz İletimi

- Boru hatları şirketleri, ileriye doğru planlamalarını yapmak ve boru hattı sistemlerini genişletmek için hava ve iklim tahminlerini kullanmaktadır.
- Fırtınalar, buzlanma durumları, yıldırım ve yağış gibi hakim iklim durumu ile ilgili bilgiler güvenilir ve emniyetli boru hattı dizaynı için kullanılmaktadır.
- Boru hattı operatörleri belirli dönemlerdeki girdi ve çıktılarını tahmin edebilmek için hava tahminlerini kullanmaktadır. Bu yüzden operatörler talep ve karlarını doğru bir şekilde belirleyebilmek için hava tahminlerini kullanırlar. Doğal gaz talebinin yüksek olduğu alanlardaki ısınma ve soğuma derece günler, ortalama sıcaklıklar ve rüzgar patenleri en çok kullanılan bilgilerdir.

Doğal Gaz Depolama Sistemi

- Hava tahminleri, doğal gaz envanterleri ve stok seviyelerinin yönetimini optimize edebilmek için kullanılabilir. Sıcaklık patenlerini bir aydan üç aya kadar tahmin edebilen orta vadeli tahminler özellikle kullanışlı olmaktadır. Normalinde daha sıcak geçen veya daha soğuk geçen kış aylarında bu tip bilgilerin bilinmesi çok faydalı olabilmektedir.
- Doğal gaz üretim şirketleri kuyuların ve toplama sistemlerinin donma ve piyasaya doğal gaz temini riskini en aza indirebilmek için hava tahminlerini kullanmaktadır. Sıcaklık, kar fırtınaları ve buzlanma durumları en çok kullanılan bilgilerdir.

Doğal Gaz Eldesi ve Ticareti

- Doğal gaz ihracatçıları ve dağıtıcıları değişik piyasalardaki doğal gaz satışlarını optimize edebilmek için hava tahminlerini yaygın olarak kullanmaktadır. Özellikle kısa dönemli teslimlerde tahminler daha da önem arz etmektedir.

Doğal Gaz Temini ve Dağıtımını Planlama

- Doğal gaz tedarikçileri, servis alanları içerisindeki doğal gaz talebini tahmin etmek için hava ve iklim bilgilerini kullanırlar. Doğru hava tahmini

bilgileri, en verimli ve maliyet etkin bir şekilde sistemde ürünün iletimini garanti eder.

- Doğal gaz temini planlayıcıları günlük, haftalık ve aylık hava değişikliklerini sürekli izleyerek müşterilerine boru hatları ve depolama sistemlerinden günlük dağıtımları yönetebilmek için kullanılmaktadır. Bu konuda en çok kullanılan meteorolojik bilgiler; ısınma ve soğuma derece günler, rüzgar hızı, yağış, güneşlenme ve fırtına yörüngeleridir.

- Dağıtım şirketleri dağıtım sisteminde meydana gelebilecek problemleri giderebilmek ve hazır olabilmek için yıldırım fırtınaları sürekli izlerler.

5. Yenilenebilir Enerji Piyasası

Yenilenebilir enerji piyasası için iklim ve hava bilgileri son derece önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin çok çeşitli olması meteorolojik bilgi gereksinimlerinin de çok değişik olmasını ortaya koymaktadır. Bu bilgilerden bazıları;

Rüzgar Enerji Gelişimi

- Kısa ve uzun dönemli rüzgar paternleri, kara ve denizlerde kurulacak rüzgar enerjisi sistemlerinin işletilmesi, dizaynı ve konuşlandırılması ve şebekeye verilecek elektriğin niteliğini belirlemek açısından büyük önem taşır.

Biyokütle Enerji Üretimi

- Üretimi optimize edebilmek için biyokütle üreticileri, ürün seçme, zaman ve ekim metodu, sulama, gübreleme ve hasat için dikkatli planlamalarla çalışmalıdırlar. Bu işlemler mevcut ve tahmin edilecek hava şartlarına göre yapılır.

- Biyokütle tarımı doğrudan kuraklıklar, taşkınlar, zarar verici rüzgarlar ve orman yangınları gibi faktörlerden etkilenir.

- Biyokütle üreticileri ürün sigortasına ihtiyaçları olup olmayacağı konusunu açıklığa kavuşturabilmek için de hava tahminlerini kullanmak durumundadır.

- Küresel ısınmadan dolayı bölgesel ve yerel sıcaklık değişimlerinin mevsim spesifik tahminleri sektörün gelişimini optimize edebilmek için biyokütle sanayine yardımcı olacaktır.

- Biyokütle üreticileri gelecek ısınma sezonu süresindeki talepleri elde etmek, gelecek hasat

ve stratejileri planlamak için mevsimsel ve aylık hava tahminlerini kullanırlar.

Solar Termal Enerji ve Fotovoltaik Enerji Üretimi

- Güneşlenme miktarı, toz ve bulut kapallığı gibi hava ile ilgili bilgiler, solar uygulamaların yer seçimi ve kullanılacak olan enerji sisteminin tipini belirlemede yardımcı olur.

- Solar enerji üreticileri, güneşlenme, bulut kapallığı, toz durumu ve yağış hakkında günlük ve saatlik bilgi talep ederler. Çünkü solar ve diğer enerji kaynaklarından ne kadar enerji üreteceklerini tahmin etmek durumundadırlar.

Hidroelektrik Üretimi

- Su varlığı coğrafik olarak değişir ve su akımları günlük, mevsimlik, yıllık ve 10 yıllık zaman ölçeklerinde salınımlar gösterir. Su akımları önemli ölçüde klimatolojik işlemlere bağlı olduğundan bu konuyla ilgili bilgilerin elde edilmesi önem taşır.

- Hidroelektrik enerji üretiminde uygun yer seçimini yapabilmek için ilgili havzanın hidrolojik durumu ile bilgilerin detaylı bir şekilde bilinmesi gerekir. Geçmiş yağış analizleri (mevsimsel değişimler dahil), akımlar, kuraklık ve taşkınların etkileri ve oluşum sıklıkları bu bilgilerden bazılarıdır.

- Su akımlarını tahmin etmek için kullanılan modeller lokal şartlara göre düzenlenir ve lokal yağış miktarları, rüzgar, sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu gibi verileri girdi olarak alır.

- Hidroelektrik üreten şirketler su kaynaklarını optimum bir şekilde kullanabilmek için yağış tahminlerine ihtiyaç duyarlar.

- Hava ve iklimle ilgili bilgiler, hidroelektrik şirketlerinde uzun dönemli operasyonel ve finansal planlamalar için de kullanılmaktadır.

6. Elektrik Üretimi, İletimi ve Dağıtımı

Elektrik enerjisi üretim sektörü ülke ekonomisi için can alıcı bir öneme sahiptir ve belki de enerji sektörünün diğer dallarından daha fazla hava olaylarına karşı hassastır. Hava ve iklimde meydana gelen en ufak bir değişim doğrudan havalandırma, ısınma ve diğer gerekli cihazların kullanımından elektrik talebine kadar tüm alanları etkisi altına alır. Böylece, elektriğin iletimi ve dağıtımının hava kaynaklı

kesintileri toplumun tüm kesimlerini (konut, ticari, sanayi, ulaşım v.b.) hemen etkisi altına alır. Elektrik sektörünün özelleşmesi ile elektriğin ucuz ve güvenli dağıtımını garanti etmek ve operasyonları optimize etmek için her zamankinden daha fazla doğru hava tahminlerine artan bir ihtiyaç duyulmaktadır.

Yakıt Temini

- Enerji satın alıcıları, 1 aydan 12 aya kadar sıcaklık, nem, fırtına ve yağış trendlerinin tahminlerini kullanırlar. Bu satın alma işleminde, yaz boyunca sıradışı ısı dalgaları ve kış boyunca meydana gelen aşırı soğuk dönemler gibi talepte bir dalgalanmaya neden olan anomalilere odaklanırlar.
- Dağıtım şirketleri aynı zamanda kullanılacak yakıt tip ve miktarını, yakıt satın alınacak bölge veya kuruluşu, elektrik santraline ulaşım şeklini seçmede tahminleme yaparlar.

Elektrik Üretimi

- İleri talep tahminleri bir kaç saatten bir kaç haftaya kadar havayı tahmin edebilme yeteneğine bağlıdır. Bu yetenek, elektrik enerjisi yük taleplerini karşılamak için en iyi ve maliyet etkin üretimi belirler.
- Hava ile ilgili değişkenler arasında yük talebi en fazla çevre sıcaklığına hassastır, aynı zamanda çığ noktası sıcaklığı, bulut kapallığı, yağış ve rüzgardan da etkilenir.
- Talep üzerine hava etkisinin hatalı yorumunun dağıtım şirketi işletim maliyetlerine getirdiği önemli yüklerden biri üretim birimlerinin devreye alma ve kapatılması ile ilgili maliyettir. Kısa dönemli sıcaklık tahminlerindeki gelişmeler dağıtım şirketlerine birim devreye alma ve kapatma maliyetlerinde yıllık milyon dolarlar kadar tasarrufta bulunabilme imkanı verir.

İletim ve Dağıtım

- Enerji üretim ve iletim tesisleri tasarımları yapılırken, tesis temelinde, alternatif konuşlandırma, temelin inşasında ve gereksiz işlemlerden kaçınmak için şiddetli hava olayları dikkate alınır.
- Yeni ve mevcut iletim ve dağıtım hatlarının değerlendirme ve tasarımı için güvenli ve kesintisiz hizmet sağlamak üzere doğru buzlanma tahminleri ve yapı yüklerinin iyi hesaplanması gereklidir.

• Dağıtım şirketleri fırtına, yıldırım veya orman yangını ikazlarına göre kaynak planlaması ve mobilizasyonu yapmada tahminleri kullanırlar.

• Kasırga, güneş fırtınaları ve şiddetli thunderstormlar gibi büyük hava olayları tahminlerindeki gelişmeler dağıtım şirketi yöneticilerine kaynak planlama ve malzeme yönetiminde yardımcı olur.

• Şiddetli thunderstorm içindeki yıldırım ve rüzgar zararları yıl boyunca elektrik hizmetlerini aksatabilir. Fırtına tahminlerindeki yüksek tutarlılık müşterilerin elektriksiz kalma sürelerinde çok önemli azalmalar sağlayabilir.

Elektrik Enerjisi Ticareti

• Günlük hava tahminleri aynı zamanda toptan enerji piyasası ve saatlik enerji fiyatlandırma gibi diğer enerji üretim alanlarında da etkili olmaktadır.

• Hava risk piyasasının gelişmesiyle, havaya duyarlı enerji firmaları risk azaltmadan kara doğru yeni bir imkan sağlamaktadırlar. Bu firmalar hava risk yönetimi imkanlarından faydalanabilirler. Bununla beraber 1-8 günlük tahminlerdeki önemli bir hata enerji tedarikçisi açısından önemli ekonomik kayıplara neden olabilir.

• Dağıtım şirketleri büyük nüfuslu alanlarda fiyatları öngörmeye 48-72 saatlik sıcaklık tahminlerini kullanırlar. Dağıtım şirketleri aynı zamanda gelecek bir yıl içindeki tahmin ve elektrik enerjisi satın alımlarını öngörebilmek için 1-12 aylık sıcaklık ve yağış tahminlerini de kullanırlar.

• Orta vadeli tahminlerdeki ilerlemeler toptan enerji piyasası ve saatlik enerji fiyatlandırma ile ilgili riskleri azaltabilir.

• Normal sıcaklıklardan olan sapmalar için mevsimsel tahminlerdeki artan güven mevsimler arasında daha etkili enerji fiyatlandırma, işletim planlaması, büyük üretim tesislerinin bakım ve onarımında enerji sektörünün yeteneğini artıracaktır.

Emisyon Ölçümü ve Kontrolü

• Enerji şirketleri konuşlandırma ve lisanslama, çevre hava kalitesi ve meteorolojik izleme, nükleer acil durum etkinlikleri ve adli meteorolojik analizler gibi amaçlar için iklim ve hava bilgilerini kullanırlar.

- Yönetmelik yapıcılar tarafından emisyon yayımını ve kirlilik yönetmeliği hazırlanacak alanları belirlemede rüzgar paternleri ve coğrafik etkilerini içeren veriler kullanılır.
- Sanayi bölgeleri tüm karbondioksit emisyonlarından her yerde belli oranlarda sorumludur ve bu kaynakların noktasal izlenmesi mümkün olabilir. Enerji santrallerinin ve sanayi bölgelerinin emisyonlarını uydu veya diğer bir yol ile izlemek üzere bir sistem geliştirilmesi sera gazları azaltmalarını izlemede ve doğrulamada önemli katkıda bulunur.
- Deniz sıcaklıklarını, akımları ve deniz hayatını izleme ve bilmedeki artış, denizlerdeki karbondioksit indirgemelerinin büyük ölçekte fizibil olup olmadığını belirlemeye yardımcı olur.

7. Sonuç

Uygun fiyatlı, yeterli ve kolay enerji temini ülkemizin refah seviyesinin yükselmesinde ve ulusal güvenliğin sağlanmasında kritik bir öneme sahiptir. Ülke enerji sanayisinin işletilmesi ile hava şartları, iklim ve diğer meteorolojik bilgiler arasında doğrudan etkili bir ilişki vardır. Hava ve iklim bilgileri altyapı planlamada, fiyatlandırmada, risk azaltımında ve düzenlemelerde anahtar bir girdidir. Hava ve iklim tahminleri, deniz durumu izleme ve/veya emisyon izleme gibi güvenli meteorolojik bilgiler enerji altyapılarında ve ulusal ekonomideki zararları önlemede milyarlarca YTL tasarrufu sağlayabilir. Örneğin, bir su idaresinde yapılan bir çalışmada %10'luk su temini ve sulama tahmini hatası kuruma yılda 10 Milyon YTL'ye mal olduğu görülmüştür.

Ulusal enerji sanayinde hava, iklim ve deniz bilgileri için talep edilen bilgi özellikleri;

- Hava ve iklim tahminlerinde yüksek doğruluk
- Zamansal ve mekansal yüksek çözünürlük
- Geçmiş verilerin zaman serilerinin mevcudiyeti
- Tüm verilerde süreklilik
- Daha fazla güncel veriler
- Tahminlerin güvenilirliklerini belirleyen daha kesin yöntemler

- Daha fazla elektronik veri
- Stratejik enerji noktalarında ilave meteoroloji istasyonları
- Rüzgar enerji santralleri konuşlandırmada ilave rüzgar hızı verileri
- 3-5 günlük atmosferik durum tahminleri
- Saatlik ortalama ısınma derece hesaplamaları
- Amaca uygun tahminler şeklindedir.

Ulusal enerji sanayinin tüm sektörlerinde uzun dönemli planlamalarda klimatolojik bilgilere ihtiyaç vardır. Ulusal elektrik enerjisi sektöründe, enerji piyasasının özelleşmesi ve sera gazlarının azaltılması konusunda artan önem doğru hava ve iklim bilgilerini önemli bir ihtiyaç haline getirmiştir. Elektrik enerjisi sektöründeki özelleştirmeler sonucu operasyonları optimize etmek ve maliyet etkin ve güvenli elektrik enerjisi teminini sağlamak üzere çok hızla artan bir şekilde doğru hava tahminlerine gereksinim olmaktadır. Hava ve iklim bilgilerinin kalitesi, zamandallığı ve mevcudiyeti devam eden özelleştirme ve sera gazı emisyonları açısından artan bir önem kazanmaktadır.

Bununla birlikte, yenilenebilir olmayan enerji kaynakları için hava ve iklim tahminleri, deniz durumu ve/veya emisyon takibi ihtiyacı küçümsemeyecek ölçüdedir. Deniz aşırı operasyonların hemen tüm safhalarında, petrol ve doğal gaz keşif, geliştirme ve üretim işleri yapan şirketler üretim tekniklerini belirlemede, ekipman ve personel zararlarını önlemede ve/veya olumsuz ortam etkilerini azaltmada güvenilir hava ve iklim bilgilerine oldukça bağımlıdır. Doğru ve güvenilir iklim ve hava verileri aynı zamanda enerji sanayinin yenilenebilir enerji sektöründe de önem taşır. Rüzgar sınıflarının, güneş ışınlarının ve su akımlarının belirlenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilirliği, bu kaynakların kullanılabilirliği ve/veya yedekleme için kritik girdilerdir.

8. Kaynaklar

Defining the Requirements of the U.S. Energy Industry for Climate, Weather, and Ocean Information, Science Applications International Corporation (SAIC), July 2000 ■

ELEKTRİK PİYASASI LİSANS YÖNETMELİĞİ UYGULAMALARI

Murat DURAK

Meteoroloji Mühendisi

Meteoroloji Mühendisleri Odası, Enerji Komisyonu Üyesi

Özet

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu uyarınca oluşturulması öngörülen mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik piyasasında rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterecek tüzel kişilere verilecek lisanslara ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir. Bu çalışmada, piyasada üretim lisansı alınabilmesi için yapılan yenilenebilir enerji kaynakları başvuruları incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Üretim lisansı, yenilenebilir enerji kaynakları (YEK).

Abstract

The objective of Electricity Market Licensing Regulation is to set forth the principles and procedures regarding the licenses to be granted to the legal entities who shall be acting in a competitive environment, governed by private law, in a financially

sound, stable and transparent electricity market to be formed as stipulated by the Electricity Market Law no: 4628, with the purpose of delivering sufficient, good quality, uninterrupted, low cost and environmentally friendly provision of electricity to consumers. In this work, it is mentioned latest production license applications in terms of renewable energy resources.

Key Words: Production license, renewable energy sources (RES).

1. Giriş

1980'lerde uygulanmaya başlayan elektrik sektörünün liberalizasyon çalışmalarında istenen sonuç 2000'lere kadar alınamamıştır. 2001 yılında yayınlanan 4628 sayılı Enerji Piyasası Kanunu (Kanun) ve bu Kanuna istinaden çıkarılan Yönetmelik, Tebliğ, Kurul Kararı, gibi yasal altyapı oluşturma çabaları devam etmektedir. Kanunun temel amacı, elektriğin tüketicilere yeterli, kaliteli, sürekli ve düşük maliyetli bir şekilde sunulmasını sağlayacak rekabet ortamının oluşturulması için gereken yasal çerçeveyi yaratmaktır [1]. Kanun, piyasa katılımcıları arasında yapılacak ikili anlaşmalara ve dengeleme ve uzlaştırma mekanizmasına dayalı bir modelin teşkilini öngörmektedir [2]. Kanunda öngörülen piyasa modelinin işleyişi büyük ölçüde piyasa hedeflerine uygun bir özelleştirmenin yapılmasını ve müzakereye açık bir arz fazlasının oluşmasını gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede; eşit taraflar arasında ayırım gözetmeyen, rekabete dayalı ve şeffaf bir piyasa yapısının teşkili büyük önem kazanmaktadır. Yapılacak düzenlemelerle piyasa risklerinin asgari düzeye indirildiği, güvenin tesis edildiği ve belirli bir program çerçevesinde serbestleştirilmenin giderek artırıldığı bir piyasa yapısı, yerli ve yabancı özel sektör yatırımcıları açısından cazip hale gelecektir. 04/08/2002 tarih ve 24836 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğü giren

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, enerji piyasasında faaliyette bulunmak isteyen yatırımcılara yol haritasını ayrıntılı olarak anlatmaktadır [3].

2. Elektrik Piyasası Lisans Düzenlemeleri

Lisans, bir tüzel kişinin piyasada faaliyet gösterebilmesi için Kurumdan almak zorunda olduğu bir yetki belgesidir [3]. Piyasada faaliyet gösterilebilmesi için Kurumdan her bir piyasa faaliyeti ve aynı faaliyet gösterilen her bir tesis için ayrı lisans alınması zorunludur. Birden fazla tesiste aynı tüzel kişilik adı altında üretim faaliyeti göstermek isteyen tüzel kişiler; üretim, otoprodüktör ya da otoprodüktör grubu lisanslarından ancak birini alabilirler. Kanun kapsamında lisans sahibi tüzel kişiler tarafından gerçekleştirilebilecek faaliyetler aşağıda yer almaktadır:

- Üretim
- İletim
- Dağıtım
- Toptan Satış
- Perakende Satış
- Perakende Satış Hizmeti
- İthalat ve İhracat

Toptan satış lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından yürütülebilecek ithalat ve ihracat faaliyetleri ile perakende satış lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından yürütülebilecek ithalat faaliyetleri, bu tüzel kişilerin toptan satış veya perakende satış lisansları kapsamında düzenlenir ve ayrıca lisans alınmasını gerektirmez. Perakende satış hizmetleri ve perakende satış faaliyeti, perakende satış lisansında yer verilmesi halinde aynı lisans kapsamında yürütülebilir.

Kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere elektrik enerjisi üretimi yapan ve iletim veya dağıtım şebekesi ile paralel çalışmayan tesis veya ekipmana sahip gerçek veya tüzel kişilerin, bu tesis veya ekipmanı iletim veya dağıtım şebekesi ile bağlantı tesis etmeden çalıştırmaya devam ettikleri ve bu tesislerde üretilen elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin toptan ve/veya perakende satışı faaliyetinde bulunmadıkları sürece, lisans alma yükümlülükleri yoktur.

2.1. Üretim Lisansı

Üretim lisansı sahibi tüzel kişiler; üretim tesisi kurulması, işletmeye alınması, elektrik enerjisi üretimi, ürettikleri elektrik enerjisinin ve/veya kapasitenin müşterilere satışı ile iştigal edebilir. Üretim şirketleri,

kontrol oluşturmaksızın dağıtım şirketleri ile iştirak ilişkisine girebilir. Herhangi bir özel sektör üretim şirketinin iştirakleri ile birlikte işletmekte olduğu üretim tesisleri yoluyla piyasada sahip olacağı toplam pay, bir önceki yıla ait olarak TEİAŞ tarafından yayımlanmış Türkiye toplam elektrik enerjisi kurulu gücünün yüzde yirmisini geçemez. Üretim lisansı sahibi tüzel kişiler, üretim tesisi kurulması, işletmeye alınması, elektrik enerjisi üretimi, ürettikleri elektrik enerjisinin ve/veya kapasitenin müşterilere satışı ile iştigal edebilir. Lisanslarında yer alması halinde, piyasa faaliyetini tamamlayan ve/veya gereği olan faaliyetler ile piyasa faaliyeti sonucu oluşan yan ürünlere ilişkin faaliyetleri de ayrı hesap tutmak kaydıyla yürütebilir. EÜAŞ ve/veya bağlı ortaklıkları tarafından rekabet ortamında piyasaya yapılan elektrik enerjisi ve/veya kapasite satışı, kamu kurum ve kuruluşları ve özel sektör kuruluşları arasında ayırım gözetilmeksizin uygulanır ve EÜAŞ ve/veya bağlı ortaklıklarının satış fiyatı hiçbir şekilde ve hiçbir yolla sübvansede edilemez. EÜAŞ, bağlı ortaklıkları ve özel sektör üretim şirketleri; işletmekte veya işletirmekte oldukları ya da kiraladıkları her bir üretim tesisi için ayrı lisans almak ve ayrı hesap tutmak zorundadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde üretim yapan üretim lisansı sahibi tüzel kişiler, bir takvim yılında, lisanslarında yer alan öngörülen ortalama yıllık üretim miktarını geçmemek kaydıyla özel sektör toptan satış şirketlerinden elektrik enerjisi satın alabilirler. Üretim lisansı bir defada en az on, en çok kırkdokuz yıl için verilmektedir.

Üretim faaliyeti, Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), bağlı ortaklıkları, özel sektör üretim şirketleri, otoprodüktörler ve otoprodüktör grupları tarafından gerçekleştirilir. Bu kapsamdaki lisans sahibi tüzel kişiler ürettikleri elektrik enerjisi ve/veya kapasiteyi; toptan satış lisansı sahibi tüzel kişilere, perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilere ve serbest tüketicilere ikili anlaşmalar yoluyla satabilir. Söz konusu tüzel kişilerin yükümlülükleri arasında;

- Mücbir sebepler ile yıllık programlı bakım takvimi dışında, üstlendiği yükümlülükleri yerine getirecek şekilde üretim tesisinin işler halde tutulması,
- Ölçme-iletişim-kontrol alt yapısının gerektirdiği çok zaman dilimli ölçüm yapabilen sayaçların tesis edilmesi,

- Üretilen elektrik enerjisinin ve/veya kapasitenin herhangi bir bölge sınırlaması olmaksızın müşterilere satışında iletim ve/veya dağıtım bedeli ödenmesi,
- Teknik olanaklar çerçevesinde TEİAŞ veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişilere, maliyetin tamamını karşılayacak bedel üzerinden yan hizmetler için teklifte bulunulması,
- Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği çerçevesinde Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezine yük alma ve yük atma teklifi verilmesi,
- Otoprodüktör ve otoprodüktör grupları hariç olmak üzere işletmekte veya işletirmekte oldukları ya da kiraladıkları her bir üretim tesisi için ayrı lisans alınması ve ayrı hesap tutulması,

yer almaktadır. Bu genel kuralların yanı sıra üretim faaliyeti gösteren tüzel kişilerin uymak zorunda oldukları diğer kurallar şunlardır;

- EÜAŞ ve bağlı ortaklıkları: Kamu tüzel kişiliğine haiz EÜAŞ ve bağlı ortaklıkları kamuya ait tüm elektrik üretim tesislerinin mülkiyetini muhafaza edecek ve işletecektir. Kanunun geçici 6 ncı maddesi uyarınca süresi 5 yili geçmeyecek bir düzenleme çerçevesinde ürettikleri elektrik enerjisini TETAŞ'a satacaktır. Gerçek maliyetlerin oluşturulabilmesi için EÜAŞ'ın DSI'den hidroelektrik tesisleri devralması ve bağlı ortaklıkları da dahil olmak üzere her bir tesis bazında kapasite ve enerji maliyetlerini belirlemesi gerekmektedir.
- Özel sektör üretim şirketleri: Sahip oldukları, finansal kiralama yoluyla edindikleri veya işletme hakkını devraldıkları üretim tesisi ya da tesislerinde elektrik enerjisi üretimi ve satışı ile iştigal eden özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilerdir. Özel sektör dağıtım şirketleri ile kontrol oluşturmaksızın iştirak ilişkisine girebilir. Herhangi bir özel üretim şirketinin iştirakleri ile birlikte işletmekte olduğu üretim tesisleri yoluyla piyasada sahip olacakları toplam pay, bir önceki yıla ait yayımlanmış Türkiye toplam elektrik enerjisi kurulu gücünün yüzde yirmisini geçemez.
- Otoprodüktörler ve Otoprodüktör Grupları: Otoprodüktörler esas olarak kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere faaliyetlerini sürdürecektir. Bunun yanı sıra otoprodüktör ve otoprodüktör

grupları bir önceki takvim yılı içinde ürettikleri toplam elektrik enerjisinin yüzde yirmisini aşmamak kaydıyla Kurul tarafından belirlenecek orandaki miktarını serbest rekabet ortamında satabilir. Eşit taraflar arasında ayırım gözetilmemesi ilkesinden hareketle, otoprodüktör ve otoprodüktör grubu lisansı sahibi tüzel kişiler, bir takvim yılı içinde Kurulca belirlenen orandan daha fazla elektrik enerjisini piyasada satmaları durumunda üretim lisansı almak zorundadır.

2.2 Yek Açısından Elektrik Piyasası Lisans Düzenlemeleri

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'ne yenilenebilir enerji kaynakları öncelikle tanım olarak Yönetmeliğin 5. Maddesinin Tanımlar ve Kısaltmalar'da 55. sırada aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

"Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri: Rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, gel-git, biyokütle, biyogaz, hidrojen enerjisine dayalı üretim tesisleri kurulu gücü 20 megavat (MW) ve altında olan kanal veya nehir tipi hidroelektrik üretim tesisleri ile rezervuar hacmi yüz milyon metre küpün veya rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesislerini" ifade etmektedir.

Yönetmeliğe göre, lisans yenileme, lisans sureti çıkartma ve lisans tadili bedelleri peşin olarak ödenmekte iken, YEK santralleri için aşağıdaki maddeler uygulanmaktadır:

- Yerli doğal kaynaklar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere lisans almak için başvuruda bulunan tüzel kişilerden lisans alma bedelinin yüzde biri dışında kalan tutarı tahsil edilmemesi,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için ilgili lisanslara derç edilen tesis tamamlanma tarihini izleyen ilk sekiz yıl süresince yıllık lisans bedeli alınmaması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri açısından; tesis tamamlanma tarihinde, tesis tamamlanma süresinin yüzde onunu aşan bir gecikme olması halinde, lisans sahibi tüzel kişiler, bu Yönetmelikte ilk sekiz yıl için yıllık lisans bedeli ödenmemesi olarak öngörülen muafiyetten yararlanamaması,
- Yerli doğal kaynaklar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerine, TEİAŞ

ve/veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından, sisteme bağlantı yapılmasında öncelik tanınması

gibi teşvik edici bir takım maddeler konmuştur.

2.3 Üretim Lisansı Başvuruları ve Yek Oranı

Lisans Yönetmeliğini takiben piyasada elektrik hizmeti ile ilgili olarak faaliyette bulunan şirketler ile elektrik piyasasında yer almak isteyen şirketler üretim lisansı alabilmek için harekete geçmişlerdir. Aşağıdaki Tablo 1, 18.02.2004 tarihi itibari ile Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan alınan Üretim Lisanslarını vermektedir [4].

Tablo 1. 18.02.2004 tarihi itibari ile EPDK'dan alınan üretim lisansları [4].

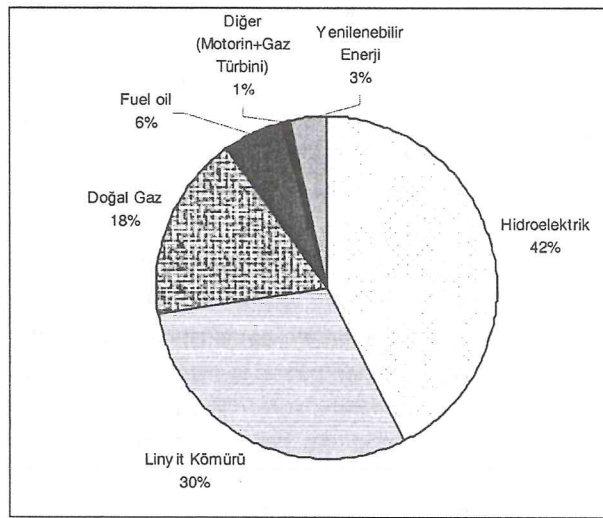
Kaynak	Kurulu Güç (MW)
Hidroelektrik	11927
Linyit Kömürü	8467
Doğal Gaz	4920.41
Fuel oil	1587.61
Diğer (Motorin+Gaz Türbini)	239.1
Rüzgar	919.46
Jeotermal	28.4
Biogaz+Kojenerasyon	1.39
Toplam	28090.37

Şekil 1 ise, bu dağılımın daha iyi anlaşılabilmesi için dilim grafiği üzerinde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, hidroelektrik, linyit kömürü ve doğal gaz, elektrik piyasasının yaklaşık %90'ini oluşturmaktadır.

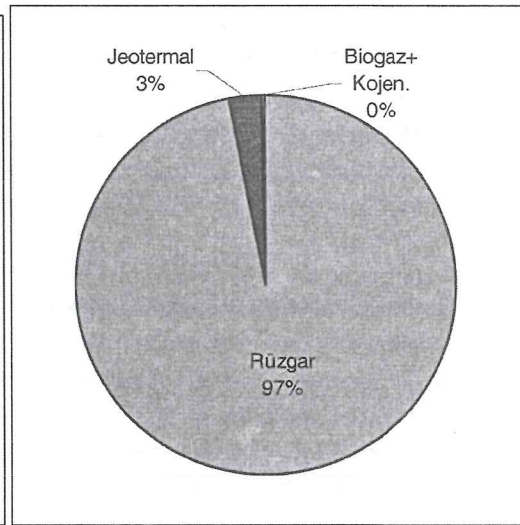
18.02.2004 tarihi itibari ile Enerji piyasası Düzenleme Kurumu'na yapılan başvuruların gösterildiği Tablo 2 ile dilim grafiği olan Şekil 2'den de görüleceği gibi özellikle rüzgar enerjisi ile ilgili olarak yatırımcılar başvuruda bulunmaktadır.

Tablo 2. EPDK'ya yapılan başvuru [4].

Kaynak	Kurulu Güç (MW)
Linyit Kömürü	332
Doğal Gaz	1388
Fuel oil	49
Asfaltit	110
Rüzgar	4426
Jeotermal	7.5
Toplam	6312.5

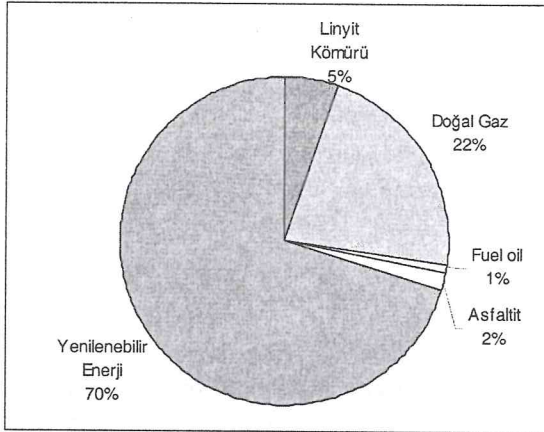


(a)



(b)

Şekil 1. EPDK'dan alınan üretim lisansları (a) ve bunu içindeki YEK kaynak oranı (b).



Şekil 2. EPDK'ya yenilenebilir enerji kaynakları açısından yapılan başvurular.

3. Sonuçlar ve Öneriler

Ülkemizde diğer bütün Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde olduğu gibi henüz bir YEK kanunu bulunmamaktadır. Bununla beraber, AB müktesebatına uyum sürecinde olan ülkemiz, bu bildirinin yazıldığı tarihlerde YEK kanunu taslak olarak hazırlanmakta olup teknik seviyede tartışılmaktadır. Net bir

YEK politikası ve buna bağlı olarak yasal altyapı henüz oluşmadığından dolayı YEK kullanımı istenen seviyede değildir. Lisans alan bir çok YEK yatırımcısı da Kanunu beklemektedir. Özellikle rüzgar elektrik santralleri (RES) ile ilgili bir çok başvuru bulunmaktadır. Bunun nedeni ise, 1996 yılından bu yana Yap-İşlet-Devret statüsünde RES geliştirmeye çalışan yatırımcıların projelerinin, yeni piyasa yapısı gereği üretim lisansına dönmesi ile proje başvurusu yapmış olmalarından kaynaklanmaktadır.

4. Kaynaklar

1. 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, 03/03/2001 tarih ve 24335 Sayılı Resmi Gazete.
2. Elektrik Piyasasında Mali Uzlaştırma Yapılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ, 04/11/2003/ tarih ve 25279 Sayılı Resmi Gazete.
3. Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, 04/08/2002 tarih ve 24836 Sayılı Resmi Gazete.
4. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) resmi internet sayfası www.epdk.gov.tr ■

RÜZGAR ENERJİ KAYNAKLARI ATLASI

Dr. Yüksel MALKOÇ
Meteoroloji Mühendisi,

TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Enerji Komisyonu Üyesi

Fatma AYZA
Matematikçi,

Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü

Fatih AYZA
Meteoroloji Mühendisi,

Elektrik İşleri etüt İdaresi Genel Müdürlüğü

Özet

Bir rüzgar enerjisi atlası, atlas alanındaki rüzgar enerjisi kaynağını tahmin etmede ve olası yüksek rüzgar potansiyel bölgelerini göstermede kullanılır. Bu bilgiler rüzgar enerjisi geliştiricileri ve uygulamacıları için kullanılabilir. Çünkü atlas onlara bir sonraki adımda daha fazla ayrıntılı inceleme yapmak üzere tahmini yüksek rüzgarlı alanları verir. Bu çalışmada, bir rüzgar enerjisi atlasının nasıl hazırlanacağı anlatılmaya çalışılacaktır.

Giriş

İlk iş olarak, rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanıma sunmak üzere, ülke çapındaki tüm ölçüm noktalarına ait ayrıntılı rüzgar istatistiklerini bir rüzgar veri bankasında toplamak gerekir. Rüzgar gücünü hesaplamak için rüzgar hız ve yön verileri değişik tekniklerle analiz edilir. Veri tabanı şu bilgileri kapsar; rüzgar gücü istatistikleri ve yön, hız,

frekans dağılımları gibi diğer rüzgar özetleri. Rüzgar kaynağı değerlendirmelerinde veri kaynaklarından alınan rüzgar bilgileri uygun rüzgar enerjisi istatistikleri için analiz edilir. Rüzgar atlaslarında yerel ölçekteki değişikliklerin verilmesi hedeflenmez, fakat kuvvetli rüzgar kaynaklarının olduğu alanlar gösterilir. Bu alanlar rüzgar türbini uygulamalarına uygun bulunan alanlardır. Rüzgar atlası hazırlamada kullanılan veri ve teknikler bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Rüzgar atlası hazırlanırken ortalama rüzgar gücü yoğunluğu haritalarının hazırlanması bilgilerin tutarlı sentezlerine bağlıdır. Sentez işleminin amacı, iyi rüzgar alan yerleri temsil eden rüzgar gücü yoğunluğu değerlerini sunmaktır.

1. Harita Tanımları

Rüzgar atlası yıllık ve mevsimsel ortalama rüzgar kaynaklarının güncel haritalarını, kesinlik oranlarını ve alansal dağılımları içerir. Rüzgar enerjisi haritaları, analiz haritaları ve grid-li haritalar olmak üzere ikiye ayrılır. Grid-li haritalar hazırlanırken analiz haritaları grid hücrelerine bölünür, bu haritalar rüzgar kaynak tahminlerinin kesinlik durumunun değerlendirilmesinde ve rüzgar kaynaklarının alansal dağılımında kullanılır. Grid-li rüzgar kaynak haritaları analiz haritalarında bulunan daha küçük ölçekli özelliklerin bazılarını vermez. Bu nedenle, rüzgar analiz haritaları özellikle dağlık ve sahil bölgelerinde grid-li haritalardan daha fazla ayrıntı verir. Rüzgar atlasında, güncellenen rüzgar kaynakları hesaplarının bölgesel özetleri bulunur. Her bölge için rüzgar türbinleri uygulamalarına uygun rüzgar enerjisi potansiyellerinin hesaplandığı asıl rüzgar alanları tanımlanır. Bölgedeki illere ait yıllık ortalama rüzgar haritaları rüzgar atlasında verilir. Her haritada ilgili yerleri belirtmek üzere grid enlem-boylamları verilir. Her haritada şehirler, dağlık alanlar, coğrafik özellikler ve referans amaçlı olarak önemli rüzgar alanları bulunur.

Rüzgar kaynak haritalarında kaynak hesabı rüzgar gücü sınıfları (bakınız Tablo A-8) ile tanımlanır. Her bir sınıf ortalama rüzgar gücü yoğunluğuna (W/m^2 biriminde) ait bir aralığı veya yeryüzeyi üzerinde belli bir yükseklikteki eşit ortalama rüzgar hızını temsil eder. *Sınıf 3 ve daha büyük bir değere sahip alanlar rüzgar türbini uygulamalarına uygundur.* Rüzgar atlasında, rüzgar gücü hesabında yerel rüzgar engelleri dikkate alınmaz ve hesaplama işlemi ovalar, yaylar ve tepeler gibi iyi rüzgar alan yerlere uygulanır. Dağlık alanlarda rüzgar hesaplamaları sırt-üstleri ve dağ-zirvelerine uygulanır. Yerel arazi özellikleri, ortalama rüzgar enerjisinde, özellikle sahil-dağlık-tepelik alanlarda kısa mesafelerde dikkate alınacak oranda değişikliğe neden olur. Rüzgar kaynak haritalarında tahmini yüksek rüzgarlı alanlar gösterilmesine rağmen, bu haritalar yerel arazi özelliklerinin neden olduğu değişkenliği vermezler. *Rüzgar atlaslarında yerel ölçekteki değişikliklerin verilmesi hedeflenmez, fakat kuvvetli rüzgar kaynaklarının olduğu alanlar gösterilir.* Rüzgar kaynak analizleri yerden 20 ile 60 m yüksekliklerde toplanan mevcut veriler ile yapılır. Bununla beraber bir çok alanda sadece yere daha yakın seviyelerde (3 ile 15 m gibi) veriler bulunabilir. 10 ve 50 m gibi referans seviyelerindeki değerler mevcut ölçüm değerleri kullanılarak *1/7 güç kanunu* (bakınız Eşitlik 7) ile uyarlanarak bulunur. *1/7 güç kanununa* göre 50 metredeki rüzgar gücü yoğunluğu uygun koşullar altında 10 metredekinin iki katıdır. Rüzgar atlasında rüzgar gücü sınıfları tablosunda, ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ve ortalama rüzgar hızı arasındaki ilişki rüzgar hızlarının Rayleigh dağılımına ve deniz-seviyesi hava yoğunluğuna göre verilir (Tablo A-8). Yükseklikle hava yoğunluğunun düşmesi nedeni ile, verilen bir rüzgar gücü yoğunluğuna ulaşmak için daha yüksek bir ortalama rüzgar hızı gerekir. Yıllık ortalama rüzgar hızı yıllık ortalama rüzgar gücü yoğunluğu için tek başına güvenilir bir gösterge değildir. 10 m ortalama rüzgar hızında yerel özelliklerin belirleyici etkisi vardır. Bununla beraber, rüzgar hızının frekans dağılımına dayanan aktüel rüzgar gücü yoğunluğu farklı rüzgar gücü sınıflarına sahip değişik yerler için oldukça farklılık gösterir. Güç yoğunluğunun bulunmasında sadece ortalama rüzgar hızının ve Rayleigh dağılımının kullanıldığı ender durumlarda, hesaplanan güç yoğunluğu gerçek güç yoğunluğundan çok daha küçük çıkabilir. Örneğin, 5.2 m/s lik bir ortalama yıllık rüzgar hızı

olan bir yerde eğer Rayleigh dağılımı uygulanabilirse rüzgar gücü sınıf 3 ($160 W/m^2$) olarak bulunur, eğer burdaki rüzgar hız dağılımı Rayleigh dağılımından çok daha geniş ise gerçek rüzgar gücü sınıf 6 ($320 W/m^2$) olarak bulunur.

Rayleigh dağılımı rüzgar hızının olasılık yoğunluk fonksiyonunun analitik bir ifadesidir. Gözlemlenen birçok rüzgar hızı dağılımına oldukça uygun olsa bile, tümü için uygun değildir. Rayleigh dağılımını kullanmanın avantajı tek bir parametre (uzun-dönem ortalama rüzgar hızı) tarafından tam olarak belirlenmiş olmasıdır.

Topoğrafyanın karmaşıklığı ve güvenli ölçümlerin mevcudiyeti, ilgili yerel noktalarda, rüzgar hesaplamalarına dayanan kesinlik oranını belirler. Bu kriterler rüzgar atlasında yer alan haritalarda her grid hücre için rüzgar kaynak tahminlerinin kesinliğini belirler. Kesinlik 1 ile 4 arasında dört aşamalıdır. Rüzgar kaynak tahminlerinin kesinliğini gösteren haritalar rüzgar kaynak haritaları ile birlikte kullanılmalıdır. Rüzgar gücü kaynakları tahminlerinin yorumlanmasında diğer bir etken bunların alansal dağılımıdır, alansal dağılım belli bir rüzgar gücü sınıfı tarafından temsil edilen arazi alanı yüzdesidir. Arazi pürüzlülüğünün artışına bağlı olarak rüzgar alan arazi yüzdesi aniden düşer.

2. Rüzgar Kaynakları

Rüzgar atlasında rüzgar enerji kaynağının coğrafik dağılımı, rüzgar hesaplamalarına bağlı olarak kesinlik ve rüzgar kaynaklarının alansal dağılımı (alan yüzdesi) tanımlanır [1].

2.1. Yıllık Ortalama Rüzgar Kaynakları

Rüzgar atlasında, rüzgar enerjisi uygulamalarına potansiyel olarak uygun alanlar (rüzgar gücü sınıfı 3 ve üzeri) gösterilir. Dağlardaki yüksek sırt-üstleri ve dağ-zirvelerinin birçoğunda kuvvetli rüzgar kaynakları vardır. Bununla beraber, aşırı rüzgarlar, buzlanma ve kışın kötü havanın neden olduğu erişim zorlukları bu alanların çoğunda rüzgar enerjisi işlemlerini sınırlamaktadır. Dağlık bölgeler boyunca vadi, yalak ve açık ovalarda ortalama yıllık rüzgar gücü genellikle düşüktür. Soğuk aylarda, soğuk hava genellikle düşük güneş ışınları nedeni ile gün boyunca sık sık kararlı kalan bir dikey sıcaklık profili oluşturarak vadi ve yalakları doldurur. Bu kararlı yüzey konumu altında, atmosferdeki dikey karışım sınırlıdır, ve hafif

yüzey rüzgarları yakınlardaki yüksek arazilerde kuvvetli rüzgarlar olsa bile genellikle ovalarda kalır. Sıcak aylarda, güneş ısıtması ve dikey karışım artsa bile, yukarıdaki ortalama rüzgar hızları soğuk aylara göre çok daha düşüktür. Dağlık bölgelerdeki bağıl olarak alçak seviyelerde yüksek rüzgar kaynakları oluşabilir, buralarda hava akışları sıkıştırma alanları veya koridorlar boyunca kanallanarak rüzgar hızını artırır. Bu rüzgar kanallarının genişliği birkaç kilometreden 50 kilometreye kadar değişir. Rüzgar atlasında bu rüzgar kanallarının çoğu coğrafik kapsama göre göreceli olarak küçük gösterilir ve bir çoğu dağlık bölgelerdeki geniş alanlar boyunca zorlukla fark edilir. Bu rüzgar koridorlarının bir çoğunun ana taşıma koridoru olarak çalışması nedeni ile, yüksek sırt-üstleri ve dağ-zirveleri ile karşılaştırıldığında bu rüzgar koridorlarına giriş kolaydır. Daha da ötesi, bu koridorlarda hava durumu yüksek dağ sıralarındaki kadar şiddetli/sert değildir. Bu nedenle, bu hava koridorlarının birçoğunda dikkate değer rüzgar enerjisi geliştirmeleri yapılabilir. Bu koridorlardaki daha küçük ölçekli arazi özellikleri daha büyük ölçekli kanal etkileri ile birleşerek, bu koridorların bir çoğunda aşırı yerel değişkenlikler doğurabilir ve bu yerlerdeki işlemleri güçleştirebilir.

2.2. Rüzgar Kaynaklarının Mevsimsel Değişimi

Rüzgar atlasında, rüzgar enerji kaynaklarındaki dikkate değer mevsimsel değişimler nedeni ile (en yüksek değişimler kışta ve ilkbaharda ve en düşük değişimler yazda ve sonbaharda), her mevsim için rüzgar enerji kaynağı değerlendirilmesi yapılır. Rüzgar atlasında, haritalar ile rüzgar kaynağının coğrafik dağılımı gösterilir.

2.2.1. Kış (Aralık, Ocak, Şubat)

Ortalama yüksek seviye hava rüzgar hızları, kışın en kuvvetli olmakla beraber, ortalama rüzgar hızları dağlık bölgeler boyunca vadilerde, yalaplarda ve düz ovalarda genellikle düşüktür. Soğuk hava genellikle bir dikey sıcaklık profili oluşturarak vadi ve yalıkları doldurur, bu sıcaklık profili düşük güneş ışınları nedeni ile gün boyunca sık sık kararlı kalır. Bu kararlı yüzey şartlarında, atmosferin dikey karışımı sınırlıdır ve hafif yüzey rüzgarları yakınlardaki yüksek arazilerde kuvvetli rüzgarlar olmasına rağmen genellikle ovalarda kalır. Bu nedenle, dağlık bölgeler boyunca vadilerde, yalaplarda ve ovalarda kışın genellikle sadece sınıf 1 veya 2 rüzgar kaynağı

bulunur. Yüksek rüzgar kaynağı kışın, soğuk hava drenajının yüksek seviyelerden alçak seviyelere doğru rüzgar hızını artıran sıkıştırma bölgeleri veya koridorlar boyunca kanallandığı alanlarda oluşabilir. Bu rüzgar koridorlarının genişliği bir kaç kilometreden 50 kilometreye kadar değişir. En yüksek rüzgar hızları genellikle koridor çıkışı yakınındadır.

2.2.2. İlkbahar (Mart, Nisan, Mayıs)

İlkbaharda gelen güneş radyasyonu kışa göre daha yüksek olduğu için, sıcaklık profilleri daha az karardır ve yüzey tabakasında kışa göre daha fazla dikey karışımlar olur. Bu nedenle, yüzeye yakın vadi, yalak ve ovalarda ortalama rüzgar hızları ilkbaharda kışa göre genellikle daha büyüktür. İlkbaharda, sahil bölgeleri, kara ve deniz arasında en büyük termal farklılıkları gösterir.

2.2.3. Yaz (Haziran, Temmuz, Ağustos)

Sahil bölgelerinde yüksek rüzgar kaynağını, basınç gradyanları meydana getirir ve sıcak karalar, deniz havasını dağlardaki büyük gediklerden karalara iteler. Yazları genellikle bu rüzgar koridorlarında kuvvetli, sürekli rüzgarlar oluşur. Rüzgar kaynağı sınıfı 6 veya 7 olan alanlar yazları oluşur, bu alanlarda topoğrafya huni gibi davranır veya bu rüzgar koridorlarındaki akışı kuvvetlendirir.

2.2.4. Sonbahar (Eylül, Ekim, Kasım)

Yukarı seviye rüzgar hızları sonbahardan kışa doğru kuvvetlenir. Genellikle ortalama rüzgar gücü Kasım ayında Ekim ayına göre daha büyüktür. Genellikle, ortalama sonbahar rüzgar kaynağı kış ve ilkbahara göre daha küçük fakat yazda göre daha büyük olur.

2.3. Kaynak Hesaplarının Kesinliği

Rüzgar gücü sınıfını belirleyen kesinlik derecesi üç etkene bağlıdır: yeterli miktarda ve kaliteli veri; arazi karmaşıklığı; ve kaynağın coğrafik değişkenliği. Rüzgar atlasında her hücre için enerji kaynağı hesabının bir kesinlik oranı (1 ile 4 arası) yapılır.

2.4. Rüzgar Kaynaklarının Alansal Dağılımı

Rüzgar kaynağı haritalarında gösterilen rüzgar gücü sınıfı değerleri sadece iyi rüzgar alan alanlara uygulandığı için, harita alanı bu gücün hissedildiği doğru araziye göstermez. Haritalarda gösterilen rüzgar gücü sınıfları tarafından temsil edilen arazi dilimleri arazi-yüzeyinin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Tepelik ve dağlık alanlarda rüzgar gücü sınıfı, alanın sadece iyi rüzgar alan küçük bir bölümü için

uygundur. Halbuki bir açık düzlükte alanın tamamına yakını aynı rüzgar gücü sınıfında olacaktır. Rüzgar gücünün alansal dağılımı (her arazi yüzeyi yapısında) iyi rüzgar alan, orta rüzgar alan ve az rüzgar alan arazi yüzdeleri dikkate alınarak hesaplanır. Rüzgar atlasındaki haritalarda her hücre için alansal dağılımlar belirlenir.

3. Bölgesel Özetler

Bölgesel değerlendirmede, her bir bölgede, rüzgar türbini uygulamaları için yeterli rüzgar enerjisi potansiyeli (sınıf 3 veya üzeri yıllık ortalama rüzgar gücü) bulunduğu hesaplanan ana rüzgar kaynağı alanları belirtilir. Bölgesel özetler bölgesel ve ulusal haritalar ile birlikte hazırlanır. Bölgesel haritalar ana şehirleri, dağlık alanları ve coğrafik özellikleri gösterir. Ulusal haritalar yıllık ortalama rüzgar gücünün coğrafik dağılımını, önemli rüzgar enerjisi alanlarını ve diğer coğrafik özellikleri gösterir [2].

3.1. Bölgesel Değerlendirmelerin Sentezleri

- Veri Analiz ve Değerlendirme Yöntemleri

Rüzgar atlası hazırlamada kullanılan veri ve teknikler bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Dağlık bölgelerde kullanılan veriler ve yöntemler, zorunlu olarak, çoğunlukla düz ve küçük miktarda dikey yükseltilere sahip alanlara göre, daha değişkendir. Dağlık bölgelerde, rüzgara maruz dağ zirveleri ve sırt üstlerinde rüzgar kaynaklarını hesaplamada, yukarı seviye rüzgar verileri kullanılmalıdır, çünkü geleneksel yüzey verileri çok azdır veya yoktur. Rüzgar kaynağındaki büyük değişikliklerin genellikle dağlık alanlarda oluşması nedeni ile, dağlık alanlarda diğer alanlara göre, kaliteli rüzgar kaynağı göstergeleri daha fazla kullanılır. Kaliteli göstergelerde topoğrafik ve meteorolojik özelliklerin belirli kombinasyonlarının tanımları, rüzgarlı arazi biçimlerini içeren alanlar, ve rüzgar bayraklanmalı ağaçlık alanlar (ağaç dallarının rüzgar nedeni ile bir yöne yönelmesi) yer alır. Ağaçlarda ve bitkilerde meydana gelen rüzgar deformasyonlarını belirlemek üzere yoğun bir incelemeye gerek vardır, rüzgar bayraklanmalı ağaçlık alanları belirlemek üzere geniş alanlarda halktan bilgi toplamak ve daha sonra hava ve yer gözlemlerine başvurmak gerekir. Sahillerde de kullanılan veri tipleri ve teknikler iç kesimlerde kullanılanlardan farklıdır. Bir çok alanda sahildeki rüzgar kaynağı bilgileri belirli sahil alanları

içinde olmak üzere örneğin gemi gözlemlerinden elde edilen verileri içerebilir.

3.2. Rüzgar Veri Kaynaklarının Tanımlanması

Kaynak değerlendirmelerinde temel alınan yüzey rüzgar verileri değişik kaynaklardan elde edilebilir: Enerji Bakanlığı, Orman Bakanlığı, Meteoroloji, üniversite araştırma projeleri, enerji santralleri ve diğer değişik kaynaklar. Diğer bir çok veri setleri üniversite araştırma projelerinden, rüzgar türbinleri kurulan yerlerden, rüzgar enerjisi alan çalışmalarından (EİE ve özel sektör gibi) ve diğer değişik kamu ve özel sektör kuruluşlarından elde edilebilir.

3.3. Rüzgar Verilerinin Seçilmesi

En kullanışlı verilerin geldiği istasyonların seçilmesi gerekir, rüzgar kaynak dağılımını belirlemede kullanılmayacak verilerin geldiği istasyonların belirlenerek gerekli ise elenmesi gerekir. Genelde, sayısal veya özet formatlı rüzgar verileri öncelikle özetlenmemiş verilerden seçilir. Hem sayısal hem özet verileri bulunan seçilmiş istasyonlar için, özet verilerin hazırlanmasında kullanılan sayısal veriler rüzgar kaynağını mevcut özetlerden çok daha iyi karakterize eder. İstasyonların yoğun olduğu ve çok miktarda sayısal ve özet verilerin mevcut olduğu alanlarda, genellikle, en iyi rüzgarlı ve anemometre yerinin ve yüksekliğinin en uzun süre değiştirilmediği istasyon seçilir. Sayısal veya özetlenmiş formatta az miktarda verisi olan veya hiç verisi olmayan istasyonlarda özetlenmemiş veriler seçilir. Özetlenmemiş veriler Meteoroloji, Hava Kuvvetleri ve Deniz Kuvvetleri standart format raporları, rüzgar kayıtları, üçlü kayıtlar ve sinoptik kayıtlar gibi değişik formatlarda olabilir. Rüzgar kaynağı değerlendirmesinde özetlenmemiş verilerin uygunluğunu belirlemek üzere gözlem tipi ve frekansı bilgileri, anemometre yüksekliği ve rüzgarlılık, ve istasyon yeri incelenir. Bazı istasyonlar değerlendirme dışı tutulur. Birçok istasyonda, rüzgar verileri işlemlerinde en az bir yıllık kayıtlar kullanılır. Yukarı seviye rüzgar verileri, mevcut yüzey istasyon verilerinin az olduğu dağ zirveleri ve sırt üstleri gibi yüksekliklerde, rüzgar kaynağını hesaplamada kullanılır. Buralarda dağlık araziler bölgenin büyük bir bölümünü oluşturur [3].

3.4. Veri Değerlendirme Yöntemleri

Üç değerlendirme yöntemi vardır: Rüzgar gücü hesaplamaları, dikey uyarlamalar ve sırt üstü hesaplamaları.

3.4.1. Rüzgar Gücü Yoğunluğunun Hesaplanması

Rüzgar gücünün coğrafik değişimlerini haritalama işinde; rüzgar gücü yoğunluğu, rüzgar hızına göre önceliklidir. Çünkü güç yoğunluğu değeri, rüzgar hızlarının dağılım etkisini ve güç yoğunluğunun hava yoğunluğuna ve rüzgar hızına bağımlılığını birlikte verir. Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu için sayısal, özetlenmiş ve özetlenmemiş formlarda nicel rüzgar verileri değerlendirmeye tabi tutulur.

Sayısal Veriler:

1 saat ve 3 saatlik sayısal verileri olan istasyonlar için, bir dikey düzlemde rüzgar yönüne dik ortalama rüzgar gücü yoğunluğu \bar{P} (Watt/m²) şu formülle hesaplanır:

$$\bar{P} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho_i V_i^3 \quad (1)$$

Burada;

- n: ortalama alınan sürede yapılan gözlem sayısı
 ρ_i : hava yoğunluğu (kg/m³)
 V_i : i nci gözlem zamanındaki rüzgar hızı (m/s)

Hava yoğunluğu ölçülen sıcaklık ve istasyon basıncından hesaplanır veya istasyon yüksekliği için standart hava basıncı düzeltilmesinden bulunur. Hava yoğunluğu (ρ) ölçülen sıcaklık (T) ve istasyon basıncından (P) şu formülle hesaplanır:

$$\rho = P/RT \quad (2)$$

Burada R bir gaz sabitidir. Eğer sıcaklık veya istasyon basıncı yok ise, yoğunluk sadece istasyon yüksekliğinin (Z) bir fonksiyonu olarak şu formülle bulunur:

$$\rho = 1.225 - (1.194 \times 10^{-4})Z \quad (3)$$

burdaki hava yoğunluğu Standart Atmosfer profili ile hemen hemen aynıdır. [4]

Özetlenmiş Veriler:

\bar{P} şu formülle hesaplanır:

$$\bar{P} = 1/2 \bar{\rho} \sum_{j=1}^c f_j V_j^3 \quad (4)$$

Burada;

- $\bar{\rho}$: ortalama hava yoğunluğu
c: rüzgar hız sınıfı numarası
 f_j : j nci sınıftaki rüzgar oluşum frekansı
 V_j : j nci sınıfın median rüzgar hızı.

Ortalama hava yoğunluğu genellikle (3) eşitliği ile hesaplanır. Çok az bölgesel atlas rüzgar gücü hesaplamasında mevsimsel hava yoğunluğu değişimini içerir.

Özetlenmemiş Veriler:

Özetlenmemiş rüzgar verilerinin değerlendirmeye alındığı durumlarda, mevsimsel ve yıllık ortalama hız V, birçok istasyon için, bir yıllık orijinal gözlemsel meteoroloji kayıtlarının incelenmesinden bulunur. Bazı istasyonlarda, sıkça raporlanan aylık ortalama rüzgar hızları mevcut saatlik gözlemlerin tümünden hesaplanır. Bu durumlarda, mevsimsel ve yıllık ortalama rüzgar hızları raporlanmış aylık ortalama hızlar temel alınarak hesaplanır. Rüzgar gücü yoğunluğu, buna dayanılarak, hız frekans dağılımının bir Rayleigh dağılımına uyduğu varsayılarak hesaplanır. [5]

$$\bar{P} = 0,955 \bar{\rho} \bar{V}^3 \quad (5)$$

Ham fakat kolay elde edilebilen gözlemsel verilerin incelenmesi, istasyonlarda mevsimsel ve yıllık ortalama rüzgar hızlarının kaba bir tahmininin yapılması anlamına gelir. Genellikle, bu subjektif yöntemle ulaşılabilecek en iyi hedef, ortalama rüzgar hızlarını hafif (<4.46 m/s), orta (4.46-5.35 m/s) veya kuvvetli (>5.35 m/s) olarak tahmin etmektir. Yine de, ortalama rüzgar hızını bulmada kullanılan bu subjektif yöntem bir çok alanda sadece rüzgar kaynağı bilgilerini verir. Belirli durumlarda, daha objektif bir mevsimsel ve yıllık rüzgar gücü tahmini seçilmiş istasyonlardan elde edilir. Bir istasyona ait tüm saatlik (veya üç saatlik) gözlemleri girme zahmetinden kaçınmanın değişik yöntemleri vardır. Örneğin, bazı bölgelerde, ortalama mevsimsel rüzgar hızları, her mevsim için bir aylık süredeki her üç gözlem esas alınarak hesaplanır. Bu yöntem sadece görsel olarak yüksek rüzgar enerjisi potansiyeli gösteren ve günde en az sekiz gözlem kaydı yapılan istasyonlara uygulanır. Rüzgar gücü Eşitlik (5) ile hesaplanır. Bazı

bölgelerde, ortalama mevsimsel ve yıllık hız küpleri V^3 , seçilen istasyonlar için, özetlenmemiş veriler kullanılarak, bir yıl boyunca her üç günlük tüm V^3 hızlarının ortalaması alınarak hesaplanabilir. Bundan sonra, bu istasyonlar için, rüzgar gücü yoğunluğu şu formülle hesaplanır:

$$\overline{P} = 1/2 \overline{\rho V^3} \quad (6)$$

Bazı durumlarda, rüzgar gücü yoğunluğu, Rayleigh yerine Weibull hız frekansları alınarak ortalama rüzgar hızlarından hesaplanır.

Bazı bölgeler için mevsimsel ve yıllık rüzgar hızı frekans dağılımları şöyle bulunur; seçilen istasyonlara ait 1 yıllık orijinal yüzey meteoroloji kayıtları taranıp her 4. saat değeri alınarak frekans dağılımı elde edilir. Daha sonra Eşitlik (4) ile rüzgar gücü yoğunluğu hesaplanır.

3.4.2. Dikey Uyarlamalar

Rüzgar kaynağını göstermede kullanılmak üzere, anemometre yüksekliği yeryüzeyi üzerinde nadiren 10-m veya 50-m seçilen referans seviyesindedir. Uzun dönem ortalama rüzgar hızını veya güç yoğunluğunu referans seviyesine taşımak için aşağıdaki Eş. 7 kullanılır:

$$\frac{\overline{V}_r}{\overline{V}_a} = \left(\frac{Z_r}{Z_a} \right)^\alpha \quad (7)$$

Burada;

\overline{V}_{ar} : $Z_{a,r}$ (anemometre ve referans seviyesi) seviyesindeki ortalama rüzgar hızıdır.

α = güç kanunu üssüdür.

Anemometre yüksekliğinin değiştirildiği ve direk üzerinde çoklu seviyeli anemometre ölçümlerinin yapıldığı havaalanları gibi alanlarda uzun dönem ortalama rüzgar hızları için $\alpha \sim 1/7$ değeri düşük yüzey pürüzlülüğü olan ve iyi rüzgar alanı tarafları için uygulanabilir bir değerdir[6]. Bu nedenle, α 1/7 değeri kullanılarak, çoğu istasyonda sadece bir seviye verisi ile, ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu 10 m ve 50 m referans seviyesine taşınır. Anemometre yüksekliği bilinmeyen istasyonlar için 10 m yüksekliği kabul edilir. İki (veya daha fazla) sevi-

yede 10 m ve 50 m referans seviyelerine taşınmaya uygun verisi olan istasyonlarda, rüzgar hızını ve güç yoğunluğunu 10 m ve 50 m referans seviyelerine taşımada, ölçüm seviyesindeki ortalama rüzgar hızından ve/veya rüzgar gücünden hesaplanan α değeri kullanılır. Havaalanlarına göre daha büyük pürüzlülüğü olan şehirlerde veya etrafı ağaçlarla çevrili alanlarda pürüzlülüğe uygun bir uyarlama faktörü kullanılır. Bu özellikleri taşıyan istasyonların rüzgar verileri 10 m ve 50 m referans seviyelerine taşınırken, şu formül kullanılır:

$$\frac{\overline{V}_r}{\overline{V}_a} = \frac{B_r}{B_a} \quad (8)$$

Burada;

\overline{V}_{ar} : Eşitlik (7) ile aynıdır,

B_{ar} değerleri, değişik yüzeyler için uygun pürüzlülük değerleri kullanılarak log-law rüzgar hızlarının bir karşılaştırması ile belirlenen uyarlama faktörleridir [7].

3.4.3. Dağlık Alanlarda Rüzgar Gücü Hesaplamaları

Dağ zirvelerinde ve sırt üstlerinde yüzey gözlemleri çok az yapıldığı için, dağlık alanlardaki zirve ve sırt üstleri yüksekliklerinde serbest atmosfer rüzgar hızlarını hesaplamada potansiyel kullanım için yukarı seviye rüzgar verileri tanımlanır. Dağ üstleri ve serbest atmosfer rüzgar hızları arasında kuvvetli bir korelasyon vardır [8]. Rüzgar atlası hazırlanırken, dağlık alanları göstermek ve dağlık alanlardaki dağ zirvelerini ve/veya sırt üstleri temsil edecek yükseklikleri belirlemek üzere bir yöntem uygulanır. 300 metreyi aşan yerel yükseltilerin olduğu dağ zirveleri ve/veya sırt üstlerinden oluşan dağlık alanlar yeryüzü biçimine göre sınıflandırılan haritalar ve topoğrafik haritalar kullanılarak gösterilir [9]. 300 metreyi aşan derinlikte kanyon ve vadilere sahip platolar, 300 metreden daha az yükseltili tepelik alanlar ve tekil/tek başına dağlar (bir düzlükteki 300 metreden daha küçük tekbaşına bir dağ) genellikle dağlık alan olarak alınmaz. Dağlık alanlardaki dağ zirveleri ve sırt üstlerini temsil eden ortalama yükseklikleri belirlemek için çoğu bölgelerde bölümlü havacılık kartları kullanılır. Bazı bölgelerde ise diğer tip topoğrafik kontur haritaları kullanılır. Rüzgar atlasında, her hücre (1/4°

enlem $\times 1/3^\circ$ boylam veya $1/2^\circ$ enlem $\times 1^\circ$ boylam veya $1/8^\circ$ enlem $\times 1/8^\circ$ boylam gibi ölçeklerdeki için dağlık bölgelerdeki ortalama dağ zirvesi ve sırt üstü yükseklikleri belirlenir. Dağ zirvesi ve sırt üstü yüksekliklerindeki ortalama serbest atmosfer rüzgar hızını ve güç yoğunluğunu hesaplamada kullanılan işlemler, kullanılan yukarı seviye hava verileri ve diğer klimatolojik bilgilerin alındığı kaynaklara göre değişir. Dağ zirvelerinde ve sırt üstlerinde ortalama rüzgar hızlarını ve rüzgar gücü yoğunluklarını hesaplamada şu husus dikkate alınmalıdır; dağlık alanlarda rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplamasında güvenilir bir universal işlem yoktur. Bir ülkede bir bölgede iyi sonuç veren bir işlem başka bir ülkedeki bir bölgede gerçekdışı bir sonuç verebilir. Yine, bir işlem yılın tüm mevsimlerine uygulanamayabilir. Crutcher; kuzey yarımkürede 850, 700, ve 500mb seviyelerindeki yukarı seviye hava klimatolojilerini kullanan bir işlem geliştirmiştir [10]. Burada, dağ zirvesi veya sırt üstü yüksekliğindeki serbest atmosfer rüzgar hızı sabit basınçlı yüzeyler üzerindeki skaler hızlarından interpolate edilebilir. Grid noktalarında (örneğin, $1/4^\circ$ enlem $\times 1/3^\circ$ boylam ölçekli) dağ tepesindeki rüzgar hızları hesaplanır. Dağlık bölgelerde böyle grid hücrelerinde, ortalama dağ zirvesi veya sırt üstü yüksekliği ve uygun sabit basınçlı ortalama yüzey rüzgar hızları hesaplanır. Lineer tahminler (arazi yüksekliğindeki ortalama serbest atmosfer rüzgar hızı ve Rayleigh hız dağılımının uygulanması ile) ortalama serbest atmosfer rüzgar gücünü verir. *10 m ve 50 m referans seviyelerindeki ortalama rüzgar gücü, yeryüzü yakınlarında sürtünme nedenli rüzgar hızı zayıflamasını hesaba katmak üzere, serbest atmosfer değerinin üçte biri ve üçte ikisi olarak alınır.* Hesaplanan bu tahmini değerler ele alınan dağ zirve ve sırt üstleri için alt limit değerleri olarak dikkate alınır (bu dağlık alanlarda yerel arazi özellikleri rüzgar gücünü önemli oranda kuvvetlendirebildiği için). Yine, dağlık alanlardaki ana belirsizliklerden biri, rawinsonde istasyonlarından alınan ve serbest atmosfer hesaplamalarının dayandığı bazı yukarı seviye rüzgar verilerinin temsil edilmeyişidir. Bazı yukarı seviye hava istasyonlarında 850 mb seviyesi yeryüzüne yakındır veya altındadır. Bazı istasyonlarda özellikle 700 mb seviyesi yakınındaki dağların ortalama dağ zirvesi yüksekliğinin altındadır. Mümkün olan her yerde, yukarı seviye hava verilerine dayanan hesaplamalar dağ zirvesi ve sırt üstlerindeki yeryüzü verileri

ile karşılaştırılmalıdır. Bazı dağlık alanlarda, yukarı seviye hava kayıt istasyonunun yeri ve/veya sırt üstlerindeki yüzey verileri temel alınarak, hesaplamalar uyarlanır. Eğer yeterli miktarda dağ zirvesi ve sırt üstleri verileri mevcut ise yukarı seviye rüzgar verilerine dayanan hesaplamaların doğrulaması yapılmalıdır. Bazı bölgelerdeki dağlık alanlarda, özellikle sıcak mevsimlerde, serbest atmosfer rüzgar uygulamalarında büyük hatalar olabilir. Bu tür dağlık alanlarda, sıcak mevsimlerde dağların çoğunda, termal olarak üretilen mesoscale (deniz meltemi) ve/veya toposcale (yüzey eğimi ısıtması) sirkülasyonları nedeni ile yüzey rüzgarları genellikle kuvvetli olduğu halde, yukarı seviye rüzgarları aşırı derecede hafiftir. Dağ zirvesi hesaplamaları ilkbahar, yaz ve sonbaharda, eğer mevcut ise, orman yangını meteoroloji istasyonu verileriyle uyarlanabilir. Kış hesaplamaları serbest atmosfer tekniği ile yapılır, soğuk mevsimde termal etkiler oldukça azalır ve sinoptik etkiler artar. Dağlık alanlarda rüzgar gücü hesaplamalarında mevcut rawinsonde istasyonlarının verilerinin kullanılması; ortalama dağ zirvesi veya sırt üstü yüksekliklerindeki rüzgar gücü değerlerini hesaplamak için, yüzey üzerinde 150 m ve 300 m deniz seviyesinden itibaren 500 m veya 1000 m seviyelerine ait aylık ve yıllık rüzgar hız frekans dağılımları kullanılabilir. Rüzgar gücü değerleri ilk önce her istasyon için mümkün olan her seviyede hesaplanır. Daha sonra, yüzey üzerinde 300m ve üzeri seviyelerdeki rüzgar güçleri kullanılarak yıllık tabanda her ay için her istasyona ait bir güç kanunu üs değerleri hesaplanır. Her grid hücresine en yakın istasyonlar için, hücrenin ortalama dağ zirvesi veya sırt üstleri yükseklikleri kullanılarak, istasyonlarda serbest atmosferde rüzgar gücünü hesaplamada uygun güç kanunu üsleri kullanılır. Her bir grid hücresinde istasyonlar arasındaki yatay interpolasyonları bir "ağırlıklı karesel ters mesafe" yöntemi kullanılarak yapılabilir. Bu işlem her bir grid hücresindeki arazi yüksekliğinde serbest atmosfer rüzgar gücünün hesaplanmasını sağlar. Standart yöntemde, 10 m ve 50 m referans seviyelerindeki rüzgar gücü serbest atmosfer değerinin üçte biri ve üçte ikisi olarak alınır.

3.5. Rüzgar Kaynağının Kaliteli Göstergeleri

Rüzgar verilerinin alındığı istasyonlar toplam alan üzerinde genelde düzgün olarak dağıtılmamış durumda olabilir. İstasyonların çoğu şehirlerde ve

karayolları üzerindedir. Ölçüm istasyonları dağılımının seyrek-verili alanlara uygulamak üzere üç farklı rüzgar hızı veya gücü göstergesi kullanılmaktadır.

3.5.1. Topoğrafik/ Meteorolojik Göstergeler

Belli topoğrafik ve meteorolojik özelliklerin kombinasyonuna bağlı olarak, yüksek ve düşük rüzgar hızları ile ilişkili olmak üzere, çokça kullanılan bir tekniktir [11].

Yüksek ortalama rüzgar hızlarını gösteren özellikler şunlardır:

- olağan kuvvetli basınç gradyan alanlarındaki boşluklar, geçişler ve boşazlar
- dağ sıralarından aşağıya doğru uzanan uzun vadiler
- yüksek seviyelerdeki plato ve ovalar
- ovalarda ve vadilerde kuvvetli basınç gradyanları ile ilişkili olmak üzere aşağıya doğru kalıcı/sürekli kuvvetli rüzgarlar
- kuvvetli yukarı seviye rüzgarları bulunan yerlerdeki rüzgar alan dağ zirve ve sırt üstleri.
- sahillerde kuvvetli yukarı seviye rüzgarları veya kuvvetli termal/basınç gradyanları olan yerler.

Daha düşük ortalama rüzgar hızlarını gösteren özellikler şunlardır:

- yukardaki hakim rüzgarlara dik vadiler
- siperlenen yalaklar
- kısa ve/veya dar vadiler ve kanyonlar
- ormanlık tepe gibi yüksek yüzey pürüzlülüğü olan alanlar

Bu özellikleri taşıyan alanlar, topoğrafik kontur ve gölgeli yükseltileri olan haritalar incelenerek ve sinoptik ve klimatolojik haritalarda basınç izleri ve hava akışı incelenerek belirlenir.

3.5.2. Rüzgar Tarafından Bozulan Bitki Örtüsü

Kuvvetli/kalıcı rüzgarlar rüzgarın bozduğu bitki örtüsüne bakılarak da tespit edilebilir [12]. Ortalama rüzgar hızları, ağaç ve çalılıklar üzerindeki bu tür bozulmaların büyüklüğüne bakılarak ortaya çıkarılabilir [13]. Bununla beraber, ağaçları ortalama rüzgar hızının bir göstergesi olarak kullanmada bazı sınırlamalar vardır. Rüzgar bayraklamalı ağaçlar 4 m/s den daha kuvvetli ortalama rüzgar hızları için bir gösterge olabilmesine rağmen, bayraklanmamış ağaçlar rüzgarın hafif olduğunu göstermeyebilir. Kuvvetli rüzgarların birkaç yönden geldiği yerler olabilir,

buralarda tek bir yönden yeterli sürekli rüzgar gelmediği için ağaçlarda rüzgar bayraklaması oluşmayabilir. Yine de, ağaçları ortalama yıllık rüzgar hızının bir göstergesi olarak kullanmada muhtemel hataların olması doğal olsa bile, bu göstergeler orta-yüksek dereceli rüzgar kaynağı potansiyel alanlarını belirlemede kullanışlıdır. Rüzgar tarafından bozulan bitki örtüsünün yerlerini belirlemek için çeşitli yöntemlerle inceleme yapmak ve yerel kişilerden bilgi toplamak gerekir (Griff-Putman İndeksi).

3.5.3. Rüzgarın Şekillendirdiği Arazi Biçimleri

Vaha ve kumul ve diğer tip rüzgar nedenli arazi biçimleri oluşturmak üzere yeryüzü materyallerinin sürüklenmesi ve yer değiştirmesi hemen hemen sabit bir yönden esen kuvvetli rüzgarları gösterir. Bu özellikleri uzun dönem ortalama rüzgar hızlarına ilişkilendirmek zordur [14]. Bununla beraber, seyrek verili bazı alanlarda, bu özellikler kuvvetli rüzgarların ve yüksek rüzgar kaynağı potansiyel alanlarının yerlerini belirlemede kullanılabilir.

3.6. Rüzgar Analizi

Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu haritalarının hazırlanması bilgi parçalarının tutarlı sentezlerine bağlıdır. Sentez işleminin amacı, iyi rüzgar alan yerleri temsil eden rüzgar gücü yoğunluğu değerlerini sunmaktır. Rüzgarı engelleyen yerel engelleri olmayan, tepe üstleri, sırt üstleri, dağ zirveleri, büyük açıklıklar (bitki örtüsü olmayan açıklıklar) ve diğer yerler iyi rüzgar alan yerler olarak kabul edilir. Buna karşılık dar vadi ve kanyonlar, tepelerde ve engellerde rüzgar esiş yönü yerleri, veya ormanlık ve şehir alanları az rüzgar alan alanlar olarak bilinir. Bir rüzgar atlasındaki haritalarda, rüzgar gücü yoğunluğu, zayıf rüzgarlı alanları temsil etmez. Haritalarda gösterilen zirvelere ve sırt üstlerine ait hesaplanmış değerler, iyi rüzgar alması umulan bu alanlar için, alt sınır rüzgar gücü değerlerini ifade eder. Bu tip alanlarda, yerel arazi özellikleri rüzgar gücünü önemli ölçüde kuvvetlendirilir (faktör 2 veya 3 gibi). İyi rüzgar alan yerlerdeki rüzgar kaynağını göstermek için, veri alınan her yerel alan için, genel arazi yüzey biçimini ve topoğrafyayı değerlendirmek zorunludur. Haritalarda istasyon yerleri, ortalama rüzgar gücü yoğunluğu, anemometre özellikleri ve topoğrafya ve arazi yüzey biçimleri gösterilmelidir. Hatalı veriler durumunda, hatalı verinin alındığı yerdeki rüzgar özellikleri (rüzgar gücü yoğunluğu bölge içinde yakındaki bir diğer

değerden çok farklı ise) ve topoğrafya yapısı, hatanın nedenini belirlemek üzere ayrıntılı olarak ele alınmalıdır. Örneğin, bir yere ait rüzgar gücü hatalı olarak çok yüksek ise, bu yerin yüksek bir yer (bir tepe üstü, sırtüstü, veya başka bir yükselti gibi) olup olmadığını belirlemek üzere rüzgarlılık durumu daha yakın bir incelemeye tabi tutulabilir. Bazı alanlarda, topoğrafik ve meteorolojik özelliklerin kombinasyonları, eğer uygunsa, dikkate alınan yüksek rüzgar kaynağının bir göstergesi olabilir. Eğer hatalı olarak yüksek çıkan bir değer için makul bir açıklama getirilemiyorsa, bu durumda bu değer bu yerdeki rüzgarı temsil etmediği kabul edilir ve dikkate alınmaz veya uygun düzeltme yapılır. Eğer bir yerdeki bir değer hatalı olarak düşük ise, anemometre, ölçüm yeri veya eğer uygulanabiliyor ise meteorolojik ve topoğrafik özellikler (düşük rüzgar kaynaklarını gösteren) incelenerek nedeni belirlenir. Yukarı seviye hava verilerine dayanan dağ zirveleri ve sırt üstlerindeki rüzgar gücü hesaplamaları, eğer mevcut ise, dağ zirveleri ve sırt üstlerindeki yüzey verileri ile karşılaştırılır ve değerlendirilir. Bazı alanlarda, bu karşılaştırma sonucu dağ zirveleri ve sırt üstlerindeki hesaplamalarda bazı düzeltmelere gidilebilir. Bazı seyrek verili

alanlarda kaliteli rüzgar kaynağı göstergelerinin katkısı olabilir. Sadece tüm bu veri ve bilgiler tam olarak değerlendirildikten sonra son analiz yapılır. Bölgesel haritalar hazırlanarak bunların sentezi ile rüzgar atlası değerlendirmesi yapılır.

3.6.1. Rüzgar Gücü Sınıfları

Rüzgar gücü haritalarının analiz edilmesi, rüzgar gücü yoğunluğu sınıflarının sınırlarını geleneksel isopleth analizi (harita üzerinde eş değerlerin bir kontur ile gösterilmesi) ile göstermekle başlar. Her rüzgar gücü sınıfı, bu sınıflama için tasarımılanan bir alanda, rüzgar gücü yoğunluğuna karşılık gelen bir genişliği temsil eder. Tablo A-8, bölgesel atlaslarda 10 m ve 50 m referans seviyelerinde kullanılan rüzgar gücü sınıflarının güç yoğunluğu limitlerini verir. Rüzgar gücü yoğunluğu, rüzgar hızı dağılımının kübü ve hava yoğunluğu ile orantılıdır, bu nedenle, ortalama rüzgar hızı güç yoğunluğunu doğrudan temsil etmez. Bununla beraber, bir Rayleigh rüzgar hızı dağılımı ve standart deniz seviyesi hava yoğunluğu (1.22 kg/ m³) tanımlanarak, her rüzgar gücü sınıf limiti için bir ortalama rüzgar hızı belirlenebilir. Aynı rüzgar gücü yoğunluğunu korumak için, hava

Tablo A- 8. 10 m ve 50 m seviyelerinde rüzgar gücü yoğunluğu sınıfları ^(a)

Rüzgar Gücü Sınıfı*	10 m		50 m	
	Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Hız ^(b) m/s (mph)	Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Hız ^(b) m/s (mph)
1	0	0	0	0
2	100	4.4 (9.8)	200	5.6 (12.5)
	150	5.1 (11.5)	300	6.4 (14.3)
3	200	5.6 (12.5)	400	7.0 (15.7)
	250	6.0 (13.4)	500	7.5 (16.8)
4	300	6.4 (14.3)	600	8.0 (17.9)
	400	7.0 (15.7)	800	8.8 (19.7)
5	1000	9.4 (21.1)	2000	11.9 (26.6)

(a) Rüzgar hızının dikey extrapolasyonu 1/7 güç kanununa dayanır. (b) Ortalama rüzgar hızı eşdeğer ortalama rüzgar gücü yoğunluğunun Rayleigh hız dağılımına dayanır. Rüzgar hızı standart deniz-seviyesi durumundaki hızdır. Aynı güç yoğunluğunu elde etmek üzere hız yükseklikle 1000 m de %3 arttırılır. *NOT: Her rüzgar gücü sınıfı iki güç yoğunluğunu taramalıdır. Örneğin, Rüzgar Gücü Sınıf = 3, 150 W/m² ve 200 W/m² arasındaki Rüzgar Gücü Yoğunluğunu temsil etmelidir.

yoğunluğunun yükseklikle azalmasına karşılık ortalama Rayleigh hızının yükseklikle %3/1000 m oranında artması gerekir. Eğer rüzgar hızı dağılımı Rayleigh dağılımından daha keskin bir şekilde peak yapıyor ise, eşdeğer ortalama hız Tablo A-8 deki değerden hafifçe yüksek olacaktır. Tersine, rüzgar hızlarının genişçe bir dağılımı da eşdeğer ortalama hızı hafifçe düşürücektir.

3.6.2. Arazi Yüzey Biçimi Sınıfları

Arazi yüzey biçiminin fiziksel özellikleri bazı rüzgar türbinlerini etkiler. Örneğin, düz bir ovadaki arazilerin %90'dan fazlası rüzgarlı alanlar olabilir. Bununla beraber, dağlık alanlarda, sadece sırt üstleri ve geçitler (toplam alanın %5 gibi veya daha küçük bir kısmını oluşturan) rüzgarlı yerleri temsil edebilir. Bu nedenle arazi yüzey biçimlerini veren sınıf haritaları hazırlanmalı ve ovaların, düzlüklerin, tepelerin ve dağların dağılımı gösterilmelidir [15]. Her arazi yüzey biçim sınıfı için, iyi rüzgarları, orta rüzgarları ve hafif rüzgarları temsil eden alan yüzdeleri bulunmalıdır. Bu yüzdeler subjektif olarak eğimin, yerel yükseltilerin ve Hammond tarafından belirlenen profilin bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Tablo A-9'da bu bilgiler verilmiştir. Bu yüzdellik alanlarda bölgeden bölgeye hafifçe bir değişiklik vardır.

3.6.3. Kesinlik Oranı

Rüzgar gücü haritalarında gösterilen (rüzgarlı yerlerdeki) rüzgar gücü yoğunluğu analizleri birkaç faktörün subjektif entegrasyonuna bağlıdır: yeterli miktarda rüzgar verileri, kaliteli rüzgar hızı veya gücü göstergeleri, rüzgarlı tarafın değişik arazilerdeki

özellikleri ve bölgenin meteorolojik, klimatolojik ve topoğrafik aşinalığı. Sonuç olarak, kesinlik derecesi (kesinlik derecesi ile rüzgar gücü sınıfı belirlenebilir) şunlara bağlıdır:

- rüzgar verilerinin çokluğu ve kalitesi
- arazinin karmaşıklığı
- kaynağın coğrafik değişkenliği.

Rüzgar enerjisi kaynak hesaplamalarında kullanılan kesinlik oranı 1 (düşük) ile 4 (yüksek) arasındadır. Haritalarda her hücre için bu oran yukardaki faktörlerin etkileri dikkate alınarak hesaplanır. Kesinlik oranlarının tanımları Voelker tarafından belirlenmiştir [16]. Rüzgar kaynağı değerlendirmesinde kesinlik oranları şu şekilde tanımlanır:

Oran 1. En düşük kesinlik derecesi. Şu durumların bir kombinasyonu mevcuttur:

- Hücre civarında veri mevcut değil.
- Arazi çok karmaşık.
- Değişik meteorolojik ve topoğrafik göstergeler hücre içinde yüksek seviyeli bir kaynak değişkenliği işaret etmektedir.

Oran 2. Bir düşük orta kesinlik derecesi. Şu durumlardan biri mevcuttur:

- Hücrede veya yakınında veri yoktur veya az veri vardır, fakat kaynağın küçük miktardaki değişkenliği ve arazinin az karmaşıklığı bize rüzgar kaynağının veriye yakın alanlardaki kaynaktan çokça farklılık göstermeyeceğini verir.
- Hücre yerelinde sınırlı miktarda veri vardır, fakat arazi çok karmaşıktır veya kaynağın mesoscale değişkenliği büyüktür.

Tablo A-9. Rüzgarlı yerleri temsil eden arazi-yüzey biçimi özellikleri

Arazi Yüzey Biçimi	Rüzgarlılık Özelliği (Harita Değeri)	Yüzde ^(a) Alan
Düzlükler	Düzlükler	
Düzlükler (Tepeler var)	Açık Düzlükler	
Düzlükler (Dağlar var)	Düzlükler	
	Sırt Üstleri ve Dağ Zirveleri	
Platolar	Platolar, Yaylalar	
Açık Tepeler	Tepe Üstleri ve Yaylalar	
Açık Dağlar	Geniş Vadiler	
	Sırt Üstleri ve Dağ Zirveleri	
Tepeler	Tepe Üstleri ve Yaylalar	
Dağlar	Sırt Üstleri ve Dağ Zirveleri	

^(a) Yüzdellikler belirli bir bölgedeki arazi-yüzey biçimlerinin bir ortalamasını temsil eder.

Oran 3. Bir yüksek orta kesinlik derecesi. Şu durumlardan biri mevcuttur:

- Hücre yerelinde sınırlı miktarda rüzgar verisi vardır, fakat arazinin az karmaşıklığı ve kaynağın küçük miktardaki mesoscale değişkenliği bize veriye yakın alanlardaki rüzgar kaynağından küçük ayrılmalar olduğunu verir.
- Önemli miktarda rüzgar verisi vardır fakat bu veriler orta derecede karmaşık arazilerdedir ve/veya orta dereceli kaynak değişkenliğinin mümkün olabileceği alanlardadır.

Oran 4. En yüksek dereceli kesinlik oranı. Hücre yerelindeki rüzgarlı taraflarda yeterli miktarda veri vardır ve bu veriler hücre içindeki rüzgarlı alanlarda geçerlidir (çünkü arazi az karmaşıktır ve kaynağın değişkenliği düşüktür).

Bir kesinlik oranı belirlenirken etkin faktörler arasındaki etkileşimin subjektif değerlendirilmesi gereklidir.

3.7. Rüzgar Kaynağının Alansal Dağılımı

Yukarıda söylendiği gibi, haritalarda gösterilen rüzgar gücü yoğunluk sınıfı sadece iyi rüzgar alan taraflara uygulanır. Bununla birlikte, belirli bir rüzgar gücü sınıfına sahip olduğu belirtilen harita alanı bu rüzgar gücüne sahip gerçek araziye göstermez. Bunun yerine burada; arazi yüzeyi biçimi sınıfı, arazi yüzey alanı ve rüzgar gücü yoğunluğunun harita değeri arasında miktarsal ölçüm bakımından komplike ve zor bir ilişki vardır. Her arazi yüzeyi biçimi için, iyi rüzgar alması oldukça muhtemel alan kısımları (rüzgar gücü yoğunluğu harita üzerinde gösterilen gibi) hesaplanır. Tablo A-9 değişik arazi yüzey biçimleri için ortalamaları gösterir. İlave olarak, geriye kalan alan için bir rüzgar gücü yoğunluğu tesis edebilmek için, aynı zamanda, az rüzgarlı alanlarda haritada gösterilen rüzgar gücünü düşüren bir faktör belirlenmesi zorunludur. Ayrıca, bazı arazi yüzey biçimleri (yakın bir düzlükteki izole/tek-başına tepeler ve sırtlar gibi) haritada gösterilenden daha yüksek bir güç yoğunluğuna sahip de olabilir. Bu değişik istasyonları bağdaştırmak için, verilen bir arazi yüzey biçimi tarafından temsil edilen arazi/alan rüzgarlılık bakımından dört kategoriye ayrılır: (arazi üzerinde) tipik rüzgardan daha iyi olan rüzgar esmesi, o arazi yüzey biçimi için tipik rüzgar esmesi, parçasal olarak siperli rüzgar esmesi ve çok siperli rüzgar esmesi. Arazi yüzey biçiminin dört katego-

riye bölünmesinde birincil parametreler arazi yüzey biçimlerinin sınıflandırılmasında kullanılan parametrelerdir. Haritadaki rüzgar gücü yoğunluğu değerini değişik rüzgarlılık kategorilerine uyarlamak için, güç yoğunluğu haritadaki güç yoğunluğu değerine göre daha büyük, eşit, az bir miktar küçük ve çok küçük olarak ölçeklendirilir. Harita değerinin uyarlanmasında kullanılan faktör (her kategoride rüzgar gücü yoğunluğunu temsil etmek üzere) arazi yüzey biçimi haritalarında (Hammond'ın haritaları gibi) verilen yükseltelerin yükseklikleri ile belirlenir. Bir kategori için belirlenen en küçük güç yoğunluğu rüzgar gücü yoğunluğuna ait sınıf 1'in medyan değeridir. Rüzgar gücü yoğunluğu için skala faktörü, arazideki yükselti kodu ile tanımlanan yükseklik değişikliği ile bir güç kanunu tipi dikey uyarlamanın bir konservatif uygulamasına dayanır. Her hücre için, arazi yüzey biçimi belirlenir, ve rüzgar gücü sınıfı (bu arazi yüzey biçiminde bir tipik rüzgarlılık ile ilişkili olan) belirlenir. Hücre alanı dört rüzgarlılık kategorisine bölünerek, ve rüzgar gücü sınıfını her kategoriye skalalandırarak, bu hücrenin alansal dağılıma katkısı belirlenir. Alansal dağılımın hücre hücre bir temsil edilişi bir haritada verilir. Bu harita bir hücre içindeki yüzdesel alanı gösterir (bu yüzdesel alanda rüzgar gücü sınıfı bir eşik değerine eşittir veya aşar). Haritalarda bölgesel ve iller bazında alansal dağılımın (hücrelerin katkılarının bir bileşkesi olan) bir özet tablosu verilmelidir. Her rüzgar gücü sınıfı için, her rüzgarlılık kategorisi tarafından etkilenen toplam alan da her bölge için belirtilmelidir. Her hücre içindeki her rüzgar gücü sınıfı ile ilişkili alanların toplanması güç sınıfının verilen bir değeri aştığı bölgesel alanı verir. Tablo, hesaplanan alanı (km²) ve her güç sınıfı ile ilişkili yüzdesel alanı verir. Rüzgar kaynağına ait alansal dağılımın bu her iki sunuluş şekli de, alanın dört rüzgarlılık kategorisine bölünmesinde kullanılan hesaplama ve her rüzgarlılık kategorisi için rüzgar gücü yoğunluğunun skalalandırılmasına kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Bu nedenle, rüzgar gücü ve arazi yüzey biçimi haritalarından elde edilen alansal dağılım sadece bir yaklaştırma olarak dikkate alınmak zorundadır. Yeterli ve kaliteli miktarda rüzgar verileri ve topoğrafik bilgiler gerektiren hücresel çapta yüksek dereceli bir rüzgar kaynağı değerlendirme işlemi bu çalışmanın amacını çok aşar. Bununla beraber, yeni ölçme programlarının uygulanması

ile veya mevcut veri setlerinin ortaya çıkarılması ve işlenmesi ile elde edilen rüzgar bilgileri kullanılarak, hücresel tabanda rüzgar kaynağının alansal dağılımının değerlendirilmesi geliştirilebilir.

4. Rüzgar Verileri

4.1. Rüzgar Veri Tabanı

Özellikle rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılmak üzere bir rüzgar veri tabanı geliştirilmelidir. Rüzgarlı yerlerdeki rüzgar gücünü hesaplamak üzere belirli istasyonlardan alınan rüzgar hız ve yön verileri değişik tekniklerle analiz edilmelidir. Veri tabanı rüzgar gücü istatistiklerini ve yön, hız, frekans dağılımları gibi diğer rüzgar özetlerini içermelidir. Rüzgar kaynağı değerlendirmelerinde kullanılacak olan, birincil rüzgar veri kaynaklarından alınmış, saatlik veya 3 saatlik gözlemler halinde kodlanmış veri setleri uygun rüzgar enerjisi istatistikleri için analiz edilmelidir.

Anemometre yüksekliği, anemometre yeri ve gözlem frekansı mevcut olan her kayıt periyodu için analizler yapılmalıdır. Hazırlanacak olan Ulusal Rüzgar Verileri İndeksi [17] kullanılarak bu periyotlar belirlenir. Daha sonra veri tabanı arşivlenmelidir.

Veri Kayıt Tabloları:

Veri kaydında sabit bir anemometre için verilen standart bilgiler şunlardır; tablo no, istasyon adı, istasyon numarası, kayıt periyodu, geçerli gözlem sayısı, anemometre yüksekliği ve referans yeri.

Veri kaydında sabit bir anemometre için verilen istatistik bilgiler şunlardır; aylara göre saatlik aritmetik ortalama hız ve frekanslar, yıllık saatlik aritmetik ortalama hız ve frekanslar, yıllık saatlik hız süreleri, ortalama rüzgar hızları ve rüzgar gücü (saat, ay, mevsim), aylara göre maximum ve minimum ortalama saatlik rüzgar hızları, ortalama rüzgar hızları ve rüzgar gücü (ay, yıl), hız ve gücün standard sapması (ay, yıl), rüzgar hız pattern faktörü (ay, yıl), gözlem sayısı (ay, yıl), aylara göre önemli hava parametreleri ve olayları, aylık rüzgar hız frekansları, aylara göre birleşik rüzgar hız/yön frekansları, yıllık birleşik rüzgar hız/yön frekansları, yıllık birleşik rüzgar gücü/yönü frekansları, yönlere göre aylık rüzgar hızı süreleri, yönlere göre yıllık rüzgar hızı süreleri, yönlere göre yıllık rüzgar gücü süreleri, hız eşikleri üzerinde rüzgar hızı sürekliliği, yönlere göre rüzgar yönü sabitliği.

4.2. İstasyon Bazında Yıllık ve Mevsimsel Aritmetik Ortalama, Rüzgar Hız ve Gücü Özetleri

Ulusal rüzgar enerjisi değerlendirmesinde elde edilen belli sayıda rüzgar ölçüm verileri (sabit anemometre yeri, ölçüm, frekans ve veri kodlama frekansı ile tanımlanan ayrı rüzgar ölçüm kayıtları) kullanılır. İstasyonlara ait bilgiler (istasyon kimliği, yereli, yıllık ve mevsimsel ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu) istasyon bazında ve kayıt periyotlarına göre özetlenir.

Yıllık ortalama rüzgar hızı ve yıllık ortalama rüzgar gücü yoğunluğu, kayıt periyodları için tüm mevcut verilerden hesaplanır. Mevsimsel ortalamalar, aylık ortalama değerlerin ay içindeki gözlem sayısına göre ağırlıklı ortalamasının bulunması ile hesaplanır. Yıllık ve mevsimsel ortalama değerlerde iki tane veri kalite kontrolü kullanılabilir. İlki geçerli rüzgar hızı gözlemleri sayısının kayıt periyodu içinde kodlanabilen maksimum mümkün gözlem sayısına oranıdır. İkincisi, hesaplanan hava basıncı ve sıcaklığı kullanılarak hesaplanan rüzgar gücü yoğunluğu değerleri sayısının periyod içinde yapılan toplam rüzgar gücü yoğunluğu hesaplamaları sayısına oranıdır.

5. Rüzgar Kaynakları Tahminlerinin Doğrulanması veya Güncellenmesi İçin Yeni Rüzgar Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Bölgesel rüzgar enerji kaynak atlası hazırlamada kullanılan rüzgar verileri çeşitli kaynaklardan elde edilebilir, rüzgar enerjisi amaçlı olmayan rüzgar verileri de kullanılabilir. Yüksek rüzgar kaynağı tahmin edilen bir çok alanda bu tahminlerin kesinlik oranı düşük olabilir, çünkü çok az veri vardır veya veri yoktur.

Yeni ölçüm yapılan bir yerdeki ölçülmüş rüzgar kaynağı bölgesel atlastaki tahmini rüzgar kaynağı ile karşılaştırılır. Ölçülmüş rüzgar kaynağı, tahmini kaynaktan oldukça farklı olabilir. Bu nedenle rüzgar atlasları yeni rüzgar ölçümleri elde edildikçe güncellenmelidir. Bu işlem mevsimsel olarak yenilenmelidir, mevsimsel veriler yok ise yıllık olarak yapılabilir. Ölçülmüş yeni rüzgar verileri rüzgar atlasında kullanılan yöntemlerden daha geçerli ve gerçektir, bu nedenle gerektiğinde mevsimsel haritalar gözden geçirilmelidir.

Ayrıca yıllık ve mevsimsel ortalama rüzgar gücü haritaları, kesinlik oranı haritaları (rüzgar kaynağı tahmin-

lerini veren) ve alansal dağılımlar güncellenmelidir. Yeni bir ölçüm yerindeki yerden 50 m yükseklikte yapılan rüzgar verileri ile yapılan kesinlik oranları güncellemesi rüzgar kaynağı tahmininde güvenilirliği artırır. Rüzgar atlasları ile yeni ölçüm değerlerinin karşılaştırılması sonucunda şu genelleme yapılabilir; 10 m deki rüzgar gücü sınıfı 50 m deki rüzgar gücü sınıfı için her zaman güvenilir bir gösterge değildir (hatta iyi rüzgar alan yerlerde bile).

5.1. Yeni Rüzgar Veri Kaynakları

Rüzgar atlası hazırlama işleminde öncelik ham veriler değil rüzgar enerjisi değerlendirme amaçlı olarak ölçülen özetlenmiş rüzgar verileridir. Rüzgar verileri değişik formatlarda olabilir. Bazı yerlerde sadece ortalama rüzgar hızı verileri, diğerlerinde ise ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu verileri olabilir. Rüzgar gücü yoğunluğu tahminleri genellikle saatlik veri ortalamalarına dayanır veya saatlik rüzgar hızının frekans dağılımından hesaplanır. Bununla beraber, bazı yerler için, rüzgar gücü yoğunluğu değerleri, Rayleigh dağılımı gibi rüzgar hızının varsayılan bir frekans dağılımı kullanılarak hesaplanır. Anemometre yüksekliği ölçüm noktasına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bazı ölçüm noktalarında iki veya daha fazla seviyede ölçümler olabilir. Tekli veya çoklu seviyeli ölçüm noktalarında en düşük sensör seviyesi tipik olarak yer seviyesinden itibaren 9 ile 15 m'dir fakat yerden itibaren 4 ile 30 m arasında değişebilir. Bazı ölçüm noktalarındaki ölçümler genel ölçüm yüksekliği seviyesine uyarlanmış olabilir.

5.2. Veri Eleme ve Analizi

Veri bir kere elde edildikten sonra, analiz işleminden önce, gereksiz bilgileri veya yetersiz kayıt periyotlu verileri atmak üzere bir elemeyden geçirilir. Ayrıca, değişik veri formatları olması nedeni ile, ön veri değerlendirme ve analizi gereklidir. Bölgesel atlaslardan bulunan rüzgar bilgileri ile karşılaştırmada hangi verilerin kullanılacağını belirlemek üzere veri elemesi yapılır.

Veri Eleme

Veri eleme işlemine bazı örnek durumlar:

- bölgesel rüzgar enerjisi atlaslarında aynı verilerin olduğu gibi kullanılmış olması
- kayıt periyodunun 10 aydan daha az olması
- çok sayıda temsili kayıp veri olması
- çevre istasyonlara göre zayıf rüzgar esmesi (anormal derecede düşük rüzgar hızı gibi)

- yerel özellikler yok (enlem, boylam, yerel harita vb yok)
- kişisel veriler.

5.3. Veri Analizi ve Değerlendirme

Başlangıç elemesinden sonra, veri bir standart formata kodlanır. Kodlanan bilgiler şunlardır: kaynak kimliği, ölçüm noktası numarası, ölçüm noktası adı, il, ölçüm noktası koordinatları, ölçüm noktasının deniz seviyesinden yüksekliği, anemometrenin yer seviyesi üzerinde yüksekliği, kayıt periyodu, ortalama rüzgar hızı, ortalama rüzgar gücü yoğunluğu (eğer varsa) ve ölçüm yükseklikleri.

Veri setleri değişik formatlarda olduğundan tüm verilerin aynı birimde olması için ilk önce kodlanmış veriler işleme tabi tutulur ve veri yer seviyesi üzerinde genel bir yüksekliğe uyarlanır. Ölçüm noktası seviyesi üzerinde 10 m ve 50 m yüksekliklerdeki ortalama rüzgar hızını ve olası gücü elde etmek için uygun extrapolasyon tekniklerinin kullanılması gerekir. Ortalama rüzgar hızı ve gücünün extrapolasyonu (anemometre seviyesindeki değerlerin yer seviyesi üzerinde 10 m ve 50 m seviyelerine uyarlanması) 1/7 güç kanunu kullanılarak yapılır. Sadece rüzgar hızı verileri olan istasyonlarda olası güç, rüzgar hızının Rayleigh dağılımı ile bulunur.

Analiz işlemleri yapıldıktan sonra, rüzgar gücü sınıfları belirlenir. Bir grid hücresi içinde birden fazla ölçüm noktası olup olmadığı incelenmelidir, eğer var ise bu durumda hücre içindeki bir diğer ölçüm noktası ortalama değerleri daha iyi temsil etmediği sürece (daha uzun süreli kayıt gibi) en büyük güç sınıfı dikkate alınır.

Aynı grid hücresi içindeki diğer ölçüm noktalarının bu son eleme işlemi de yapıldıktan sonra, bölgesel atlaslarda yer alacak rüzgar enerjisi kaynağının belirlenmesinde kullanılan daha ileri değerlendirme ve karşılaştırmalarda işleme alınacak olan ölçüm noktaları belirlenmiş olur.

5.4. Hesaplanan ve Ölçülen Kaynak Karşılaştırması

Bölgesel atlaslardan bulunan rüzgar kaynağı ile ölçülen rüzgar kaynağı karşılaştırıldığında bazı ölçüm noktalarında ölçülen rüzgar verileri genel alanı temsil etmeyebilir ve hatalı bir hedefe yönlendirebilir, bu nedenle bu karşılaştırma işlemi ölçüm noktası bazında değil bölgesel bazda yapılır. Genel olarak, çevre araziye göre göreceli olarak daha düşük sevi-

yeli yerlerdeki ölçüm noktalarında, ölçülen rüzgar kaynağı rüzgar atlasından bulunan rüzgar kaynağından daha düşüktür. Bir havaalanı yakınındaki ölçüm noktasında rüzgar hızı havaalanındakine göre karşılaştırmalı olarak daha düşüktür, bu anemometrenin iyi esinti almadığını gösterir. Rüzgar atlasında geniş alanlarda, ölçülen ve hesaplanan rüzgar gücü sınıfları aynı veya hafif farklı ise bu durum bölgesel atlaslarda o alanlardaki hesaplamaların tipik yerel rüzgarları iyi temsil ettiğini gösterir. Çevresine göre daha yüksek seviyeli ölçüm noktalarında ölçülen rüzgar kaynağı hesaplanan kaynağa göre daha büyüktür. Bölgesel rüzgar atlaslarında önemli dağ sıraları ve sırtlar gösterilir fakat tepe gibi daha düşük yükseltiler yoktur. Bazı yerlerde (havaalanı gibi) hatalı veri nedeni ile (örneğin yüksek seviyelerde) iki ölçüm noktası arasındaki karşılaştırmada, 10 m deki ortalama yıllık rüzgar hızı farkı sadece 1 m/s iken rüzgar gücü yoğunluğunda büyük farklılık (100 W/m^2 üzeri) olabilir. Böyle durumlarda daha güvenilir rüzgar kaynağı tahminleri yapmak için daha fazla veri gerekir. Dağlık bölgelerde, eğer grid hücresinden hesaplanan değerlerin temsil ettiği noktadaki arazi özellikleri ile ölçüm noktasındaki arazi özellikleri aynı değil ise ölçülen ve hesaplanan rüzgar gücü sınıflarının karşılaştırması doğru bir karşılaştırma olmayabilir. Örneğin, grid hücresinden hesaplanan değer bir sırtı veya dağ zirvesini temsil ederken ölçüm noktası bir vadide olabilir. Bu durumun tersi de olabilir, ölçüm noktası iyi rüzgar alan bir sırtta iken hesaplamalar bir ovayı veya vadiyi temsil edebilir. Karmaşık arazilerde, hesaplanan ve ölçülen kaynaklardaki büyük farkların bir çoğu, aynı grid hücresindeki aynı arazi özelliklerinde kaynağın yerel değişimlerine bağlanabilir. Örneğin, bir sırt boyunca 10 m seviyesindeki rüzgar kaynağı, sırtın bir tarafından diğer tarafına, birden fazla rüzgar gücü sınıfında olabilir.

5.5. Rayleigh ve Aktüel Rüzgar Gücünün Karşılaştırması

Sadece ortalama rüzgar verileri bulunan ölçüm noktalarında, rüzgar gücü rüzgar hızının Rayleigh dağılımı ile hesaplanır. Rüzgar hızının aktüel dağılımından bulunan rüzgar gücü durumunda, bir Rayleigh hız dağılımına dayanan rüzgar gücü de hesaplanır ve aktüel rüzgar gücü ile karşılaştırılır. Genel olarak, yüksek rüzgar enerjisi potansiyeli olan alanlarda, Rayleigh dağılımı ile bulunan güç çoğunlukla daha düşük fakat çok az durumda yüksektir.

5.6. 50 m Seviyesinde Aktüel ve Extrapole Gücün Karşılaştırması

50 m seviyesinde rüzgar verileri genellikle az bulunur, daha çok 10 m civarında ölçümler yapılır. Bu nedenle 50 m seviyesinde rüzgar gücü $1/7$ güç kanunu eşitliği ile bulunur. Rüzgar atlasında, 10 m seviyesinde ölçülen rüzgar gücü $1/7$ güç kanunu ile 50 m seviyesine extrapole edilerek bulunan rüzgar gücü ile 50 m seviyesinde ölçülen aktüel rüzgar gücü karşılaştırılabilir. 50 m seviyesinde aktüel ve extrapole edilen güç sınıfları arasında en büyük farklar çevresi ağaçlarla kaplı alanlardaki ölçüm noktalarında olur. Ovalarda 50 m seviyesinde aktüel ve extrapole edilen güç sınıfları arasında küçük farklar olur. Bu nedenle ovalarda $1/7$ güç kanununun kullanılması daha uygun sonuçlar verir. Arazi özelliklerinin rüzgara yerel bir hız kazandırdığı sırtlar, tepe üstleri ve diğer yükseltili arazilerin çoğunda 50 m seviyesindeki aktüel güç 50 m seviyesine extraopole edilen güçten daha düşük olur.

Sonuç

Rüzgar atlasında, potansiyel olarak rüzgar enerjisi uygulamalarına uygun alanlar gösterilir. Bu tür alanlar rüzgar gücü 3 ve üzeri sınıftadır. Rüzgar atlası yıllık ve mevsimsel ortalama rüzgar kaynaklarının güncel haritalarını, kesinlik oranlarını ve alansal dağılımları içerir. Rüzgar atlasında, rüzgar gücü hesabında yerel rüzgar engelleri dikkate alınmaz. Rüzgar kaynak haritalarında tahmini yüksek rüzgarlı alanlar gösterilmesine rağmen, bu haritalar yerel arazi özelliklerinin neden olduğu değişkenliği vermezler.

Rüzgar atlası hazırlamada kullanılan birincil enerji verileri, rüzgar enerjisi amaçlı rüzgar ölçüm verileridir. Diğer kaynaklardan alınan rüzgar verileri bir takım eleme ve doğrulama işlemlerinden sonra kullanılabilir. Kaynak değerlendirmelerinde temel alınan yüzey rüzgar verileri değişik kaynaklardan elde edilebilir: Enerji Bakanlığı, Orman Bakanlığı, DMİ, üniversite araştırma projeleri, enerji santralleri ve diğer değişik kaynaklar. Rüzgar verileri; yüzey verileri, seviye verileri, deniz verileri, yukarı seviye atmosfer verileri gibi farklı türlerde olabilir.

Rüzgar kaynağı değerlendirme işleminde rüzgar gücü hesaplaması, dikey rüzgar verisi uyarlaması ve coğrafik ve topoğrafik arazi özelliklerine göre rüzgar veri uyarlaması yapılır. Özellikle rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılmak üzere bir rüzgar veri tabanı

geliştirilmelidir. Rüzgarlı taraflardaki rüzgar gücünü hesaplamak üzere belirli istasyonlardan alınan rüzgar hız ve yön verileri değişik tekniklerle analiz edilmelidir. Veri tabanı, rüzgar gücü istatistiklerini ve yön, hız, frekans dağılımları gibi diğer rüzgar özetlerini içermelidir. Rüzgar kaynağı değerlendirmelerinde kullanılacak olan, birincil rüzgar veri kaynaklarından alınan kodlanmış veri setleri uygun rüzgar enerjisi istatistikleri için analiz edilmelidir.

Ulusal rüzgar veri indeksi hazırlanarak rüzgar verilerinin kayıt esasları belirlenmelidir. Rüzgar atlasının doğruluk oranını belirlemek için, daha sonradan yapılan rüzgar enerjisi uygulama amaçlı rüzgar ölçümleri, atlardan alınan tahmini rüzgar kaynağı ile karşılaştırılır. Bölgesel atlardan bulunan rüzgar kaynağı ile ölçülen rüzgar kaynağı karşılaştırıldığında bazı ölçüm noktalarında ölçülen rüzgar verileri genel alanı temsil etmeyebilir ve hatalı bir hedefe yönlendirebilir, bu nedenle bu karşılaştırma işlemi ölçüm noktası bazında değil bölgesel bazda yapılır. Bu karşılaştırma sürekli yapılarak rüzgar atlasının güncellemesi sağlanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] "Hiester, T. R., and W. T. Pennell. 1981. *The Meteorological Aspects of Siting Large Wind Turbines*. PNL-2522, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington".
- [2] "Elliott, D. L., and W. R. Barchet. 1980. *Wind Energy Resource Atlas: Volume 1 - The Northwest Region*. PNL-3195, WERA-1, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington."
- [3] "Changery, M. J. 1978. *National Wind Data Index*. HCO/T1041-01, DOE/NOAA, F(49-26)-1041, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina".
"Changery, M. J., W. T. Hodge and J. V. Ramsdell. 197 *Index-Summarized Wind Data*. BNWL-2220 WIND-1 I NOAA/Pacific Northwest Laboratory, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina."
- [4] "National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 1976. *U. S. Standard Atmosphere*. NOAA- S/T76-1562, Washington, DC".
- [5] "Cliff, W. C. 1977. *The Effect of Generalized Wind Characteristics on Annual Power Production Estimates From Wind Turbine Generators*. PNL-2436, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington"
- [6] "Elliott, D. L. 1979a. "Adjustment and Analysis of Data for Regional Wind Energy Assessments." Paper presented at the Workshop on Wind Climate, Asheville, North Carolina, November 12-13, 1979".
- [7] "Wegley, H. L., et al. 1980. *A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems*. PN L-252 I Rev. 1, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington."
- [8] "Wahl, E. W. 1966. *Windspeed on Mountains*. No. AF19(628)-3873, USAF-CAL, Bedford, Massachusetts."
- [9] "Hammond, E. H. 1964. "Analysis of Properties in Landform Geography: An Application to Broad-scale Landform Mapping," *Annals*, Association of American Geographers, 54:11-19, Map Supplement Number 4."
- [10] "Crutcher, H. L. 1959. *Upper Wind Statistics of the Northern Hemisphere*, Vol. 1. NAVAER 50-IC-535, Washington, DC."
- [11] "Elliott, D. L. 1979a. "Adjustment and Analysis of Data for Regional Wind Energy Assessments." Paper presented at the Workshop on Wind Climate, Asheville, North Carolina, November 12-13, 1979."
- [12] "Putnam, P. C. 1948. *Power From the Wind*. Van Nostrand, New York, New York."
- [13] "Hewson, E. W., et al. 1979. *A Handbook on the Use of Trees as an Indicator of Wind Power Potential*. RLO/2227-79/3. Available from National Technical Information Service, Springfield, Virginia." ve "Wade, J. E. and E. W. Hewson. 1980. *A Guide to Biological Wind Prospecting*. DOE/ET/20316-80-2. Available from National Technical Information Service, Springfield, Virginia."
- [14] "Marrs, R. W., and D. R. Gaylord. 1979. *A Guide to Interpretation of Windflow Characteristics From Eolian Landforms*. RLO/2343-79/2. Available from National Technical Information Service Springfield, Virginia."
- [15] "Hammond, E. H. 1964. "Analysis of Properties in Landform Geography: An Application to Broad-scale Landform Mapping," *Annals*, Association of American Geographers, 54:11-19, Map Supplement Number 4."
- [16] "Voelker, A. H., et al. 1979. *A Systematic Method for Resource Rating With Two Applications to Potential Wilderness Areas*. ORNL/TM-6759, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee."
- [17] "Changery, M. J. 1978. *National Wind Data Index*. HCO/T1041-01, DOE/NOAA, E(49-26)-1041, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina." ■

RÜZGAR ÖLÇÜMLERİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Murat DURAK
Meteoroloji Mühendisi,
TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Enerji
Komisyonu Üyesi

1. Giriş

Rüzgar ölçümleri iklim, tarım, endüstriyel uygulamalar, şehirleşme ve bilimsel araştırmalar için yapılmaktadır. Sayılan alanlara ilişkin ölçümler uygulamanın ihtiyaçlarına ve standartlara göre yapılmaktadır. Ancak rüzgar enerjisi üretimi amacı için yapılan ölçümler diğer amaçlı ölçümlerden daha fazla has-

sasiyet ve dikkat gerektirmektedir. Ölçümlerdeki çok ufak gibi görünen bir fark bile yatırımın ekonomikliğini etkileyebilmektedir ve planlanan yatırım için risk getirebilmektedir. Ölçümlerin en az 12 ay boyunca ve sürekli olarak yapılması gerektiği dikkate alınır, çok küçük veri kaybı dahi büyük problemlere yol açabilmektedir. En önemli parametre ise, yapılan ölçümlerin yapılacağı sensörlerin doğru bir şekilde seçilerek ölçüm direğine yerleştirilmesidir. Bu gibi sebeplerden meydana gelebilecek hatalar, verilerin doğru bir şekilde değerlendirilememesine neden olmaktadır.

Prpjenin finansman aşamasında, ölçümler bağımsız bir kuruluş tarafından istendiğinde, uluslararası standartlara uygun ve doğru bir şekilde yapılmış rüzgar ölçümleri sunulmalıdır.

Aşağıdaki Tablo 1, çok küçük bir ölçüm hatasının enerji tahmininde meydana gelecek etkilerini göstermektedir. Görüldüğü gibi, ölçümlerde küçük gibi görünen bir hata bile enerji üretiminde büyük farklılıklara yol açmaktadır.

Yukarıdaki tablo yatırımcının yanlış ölçümler yüzünden ne kadar büyük riskler aldığını göstermektedir. Ortalama enerji tarifesinin 8 € cent/kWh olduğu bir piyasa yapısında 600 kWh kurulu gücündeki bir rüzgar türbininden yıllık 20000 € kayıp anlamına

Tablo 1. Hatalı ölçümlerin enerji üretimine etkisi.

Doğru Ölçüm 10 m = 4.4 m/s 30 m = 5.3 m/s	Sonuç olarak pürüzlülük uzunluğu 0.047 m veya 78 m'de 6.08 m/s rüzgar hızı	600 kW kurulu gücünde bir rüzgar türbini için yıllık üretim: 1210 MWh
Olası sapmalar 10 m = 4.2 m/s 30 m = 5.5 m/s * Kalibrasyonsuz * Yanlış montaj	Sonuç olarak pürüzlülük uzunluğu 0.288 m veya 78 m'de 6.63 m/s rüzgar hızı	Bu küçük ölçüm hatasında 600 kW kurulu gücünde aynı rüzgar türbini için yıllık üretim: 1462 MWh
10 m'deki ölçüm hatası: -0.2 m/s (-%4.5) 30 m'deki ölçüm hatası: 0.2 m/s (%3.8)		Enerji üretimindeki fark: = %21

gelmektedir. Bütün bunlar sadece yanlış ölçümlerin bir neticesidir. Orta büyüklükteki bir rüzgar elektrik santralından işletme dönemi boyunca bu rakam bir kaç milyonu bile bulabilmektedir. Buna kıyasla, en gelişmiş bir ölçüm sisteminin kullanılması bile pahalı değildir. Güvenli bir hesaplama için tahmin yapılan değerlerden daha düşük bir değer alınmalıdır. Çünkü matematiksel eşitlikler ideal koşullar için geliştirilmiştir ve ortaya çıkabilecek belirsiz durumlar dikkate alınmamaktadır. Uzun yıllara dayanan tecrübeler göstermiştir ki, rüzgar ölçüm tekniklerinin doğru yapılabilmesi, başlangıçta alınması gereken önlemler yoluyla olabilmektedir. Sonuçlar daha yüksek yatırım gerektiren (kalibre edilmiş anemometreler) teçhizatlarla yapılırsa daha pahalı olur. Fakat birçok hatadan da para harcamadan da kaçınılabılır. Burada gerekli olan rüzgar meteorolojisi uzmanlık (wind meteorology expertise) bilgisidir. Rüzgar ölçümleri yapılırken, uzmanlık bilgisi eksikliğinden muhtemel hata oranları ve bu hata oranlarının üretime etkisi Tablo 2 ile verilmiştir. Ölçümlerdeki hata oran %2.6 ile %20 arasında değişirken; enerji üretimi de buna paralel olarak %3 ile %25 arasında değişmektedir.

Tablo 2. Rüzgar ölçümlerindeki muhtemel hata oranları ve üretime etkisi.

Hata Kaynağı	Hata oranı (%)
Anemometre kalibrasyonu	0.5 – 3
Anemometre seçimi	0.5 – 4
Anemometre montajı	0.2 – 3
Arazideki direk ölçüm yeri	0.5 – 5
Ölçüm periyodu	0.3 – 3
Veri değerlendirme	0.1 – 0.5
Korelasyon	0.5 – 5
Toplam Hata	2.6 – 20
Enerji üretimi	3 - 25

Tablo 2'den de görüldüğü gibi, rüzgar ölçümleri üzerinde birçok parametrenin etkisi bulunmaktadır. Ancak rüzgar meteorolojisi bilgisi yardımıyla bu hataları en aza indirebilmek mümkün olmaktadır.

2. Rüzgar Ölçümleri

Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için ölçüm direğinin aşağıdaki meteorolojik değişkenlerin ölçülmesi gerekmektedir:

- Rüzgar hızı,
- Rüzgar yönü,
- Sıcaklık,
- Nem,
- Basınç.

Ölçüm yapılacak lokasyonun topoğrafik ve orografik koşullarına göre ölçüm yüksekliği belirlenmelidir. Uluslararası kurallar ve EPDK ölçüm tebliği de yapılacak ölçümlerin en az 30 m yüksekliğinde olması gerektiğini belirtmektedir. Eğer arazi eğimi 12° den büyük ise, 40 m ve üzerinde yüksekliklere sahip rüzgar ölçüm direği kullanılmalıdır. Topoğrafya olarak kompleks arazilerde de ölçüm yüksekliği mümkün mertebe yüksek olmalıdır.

Rüzgar ölçümlerinde kullanılan en önemli sensörler olan anemometre ve yön sensörünün seçiminde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Bu noktalar aşağıda sıralanmıştır:

- Anemometrenin gövdesi keskin hatlara sahip olmamalı; küçük ve simetrik hatlara sahip olmalıdır. Aksi takdirde anemometre gövdesine gelen rüzgar türbülans yaratarak ölçüm sonuçları üzerinde menfi etkiler yaratacaktır.
- Rüzgarın değdiği kepeçeler (cup) önemlidir. Kötü dizayn edilmiş cup yapısı, dinamik etkileri gerekli hassasiyette dikkate almayabilir.
- Cup anemometreyi ana gövdeye bağlayan bilyalı yataklar mekanik sürtünmeyi en aza indirmek için yüksek kalitede olmalıdır.
- Ölçümlerde kullanılan anemometreler muhakkak kalibrasyon sertifikasına haiz olmalıdır.
- Ölçüm bittikten sonra anemometreler tekrar kalibre edilmelidir.

3. Kaçınılabilecek Hatalar

Daha önce de belirtildiği gibi direk montajı sırasında dikkat edilecek bazı önemli hususlar bulunmaktadır. Anemometre seçiminde ve montajında yaygın olarak yapılan hatalar bulunmaktadır. Ölçüm sistemi seçerken ve montajını yaparken bunlardan kaçınmak gerekmektedir. Öncelikle, ölçüm amacı için uygun ve kalibrasyon sertifikasına haiz anemometreler seçilmelidir. Enerji üretimindeki önemi nedeni ile, rüzgarın yatay bileşeni ölçülür. Küçük cup (kepeçeye) yapısına sahip ve keskin gövdeli anemometreler üzerinde direk ve yankol (travers) kullanımı

sebebi ile türbülans etkilerine maruz kalmaktadırlar. Bu gibi durumlarda kalibrasyon bile bir anlam ifade etmemektedir. Yüksek teknoloji kullanılarak imal edilmiş anemometrelerde bile doğru ölçüm yapılacağı garanti edilemeyebilir. Firma tarafından tanınan tolerans aralığı hesaplamalarda yanlışlıklara yol açabilmektedir. Ancak bağımsız ve akredite olmuş bir kuruluş tarafından rüzgar tüneline yapılan kalibrasyon sertifikasına sahip anemometreler kullanılmalıdır (Şekil 1).

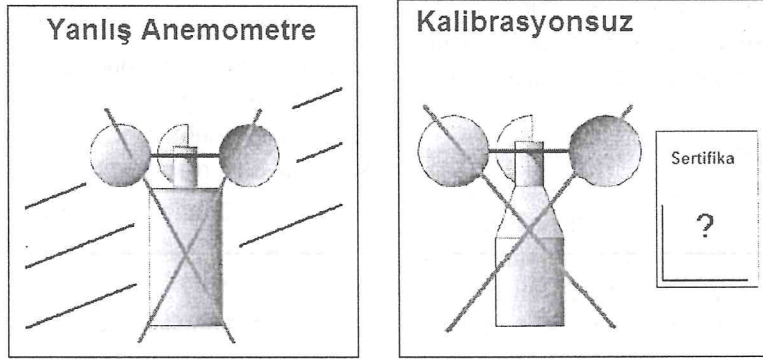
Ölçüm direğine yakın olan yankollar sürekli türbülans ve gölgeleme meydana getirirler. Bu durum rüzgar ölçümleri üzerinde olumsuz etki yaratır. Ölçüm direğinin boru çapına bağlı olarak yankollar minimum durmaları gereken uzunlukta olmalıdır. Aynı zamanda yankol sıkı bir şekilde sabitlenerek hareket veya sallantı meydana gelmemesi sağlanmalıdır. Anemometre, bütün yönlerdeki engellerden arınmış bir şekilde monte edilmelidir. En tepede

bulunan anemometre ideal pozisyonunda monte edilmelidir. En yüksekte bulunması sonucunda elde edilen bu avantaj, rüzgar yön sensörünün yanlış monte edilmesi yüzünden tehlikeye düşmektedir (Şekil 2). Ölçüm direği ister boru veya kafes konstrüksiyon olsun yankollar muhakkak kullanılacaktır. Yankolların hatalı montajı da ölçümlerde türbülans ve sallantıdan doğabilecek etkilerin yansımına sebebiyet verecektir.

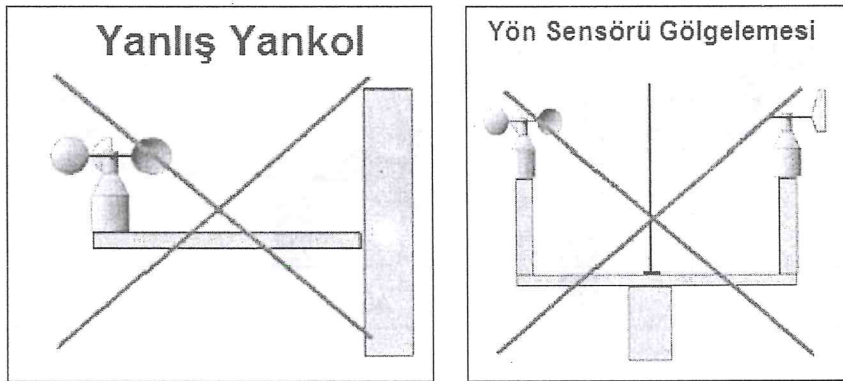
3. Sensörlerin Seçimi

Cup anemometre rüzgar enerji amaçlı çalışmaları rında rüzgar hızını ölçmek için kullanılan ölçüm sistemidir.

Bu sensörler kullanılırken bazı hatalar (cup ataleti gibi) meydana gelebilmektedir. Fakat bunlar önemsizdir. Cup anemometrelerin en önemli özellikleri, elektronik sinyallerdeki lineerlikleri ile türbülans ve skew wind'e karşı daha az hassas olmalarıdır. Şaft



Şekil 1. Doğru anemometre seçimi ve kalibrasyon.



Şekil 3. Yan kol ve yön sensör gölgelemesi.

özellikleri olarak, büyük cup'a sahip anemometreler, küçük cup'a sahip anemometrelerden daha fazla dayanıklıdır.

Rüzgar yönünü belirlemek için, potansiyometrik (yönden bağımsız) sensörler kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Çünkü çözünürlük 1° dir ve çok az güç kullanılmaktadır. Ayrıca gönderilen sinyallerin 360 derece boşluksuz olarak gönderilmesi gerektiği de akıldan çıkarılmamalıdır.

Çok basit yapıda bir potansiyometreye sahip olduklarından, ucuz rüzgar yön sensörleri, çalışırken yüksek bir kuzey boşluğu bırakırlar. Bu tip ucuz sensörler, sınırlı bir çalışma ömrüne sahiptirler, çünkü imal edildikleri elektro-mekanik materyal dayanıklı değildir.

Rüzgar enerji tahminleri için kesinlikle hız ve yönün aynı düzende olduğu kombine sistemler kullanılmamalıdır. Diğer rüzgar ölçüm amaçlı olarak rahatlıkla kullanılabilir. Fakat daha önce de belirtildiği gibi, çok küçük ölçüm hatalarının bile önemli olduğu rüzgar enerji uygulamalarında kombine sistemler kullanılmaktan kaçınmak gerekir. Kombine sistem de rüzgar hızı gölgenebilmektedir. Yön sensörünün anemometreye yakın olması ölçüm kalitesini bozmaktadır (Şekil 4a).

Ultrasonic anemometreler de kombine sensörlerdir ve diğer amaçlar için artan bir şekilde kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi çalışmalarında yeterince hassas değildir ve kalibre edilmeleri daha zordur, çünkü yöne bağımlı olarak yapılmalıdır. Zaten bir çok durumda da bunları kullanmak mümkün değildir, çünkü çok güç harcarlar. Pil, akü veya solar panel-

lerle çalışan ölçüm istasyonlarında güç tedariki çok zordur (Şekil 4b).

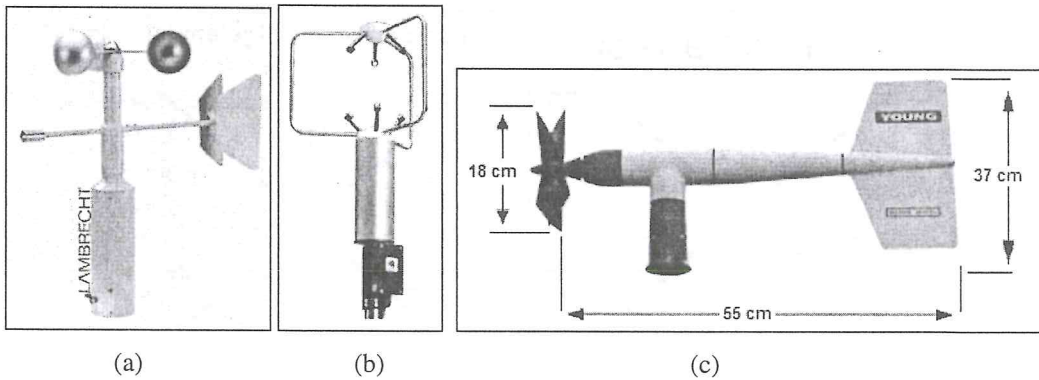
Propeller anemometreler, rüzgar enerji belirleme amaçlı ölçümlerde çok seyrek olarak kullanılırlar. Propeller, anemometreden çok rotora benzemektedir, fakat aynı prensiple çalışmamaktadır. Temel problem, sürekli sarkaç şeklindeki hareketin rüzgar hız ölçümünü hassasiyetten uzaklaştırmasıdır (Şekil 4c).

4. Ölçüm Boyutları ve Yüksekliği

İdeal yaklaşım, kullanılan rüzgar türbininin hub yüksekliğinde ölçüm yapılmasıdır. Buna karşı geliştirilen 2 argüman vardır. Birincisi, kullanılacak rüzgar türbininin modelinin başta bilinmediğinden hub yüksekliği de bilinmemektedir ve ikinci olarak da yüksek ölçüm direkleri hem pahalı hem de kurulumu zordur. Bunun alternatifi daha düşük en az 2 seviyede ölçüm yapmaktır ve genellikle 10 ve 30 m yükseklikleri seçilmektedir. Yükseklik profili (pürüzlülük uzunluğu, z_0) belirlenerek ölçümü yapılan lokasyon için bulunarak diğer yüksekliklerdeki hızların bulunabilmesi için kullanılır (Şekil 5).

Logaritmik formül ile bulunan hesaplamalar ideal koşullardaki rüzgar hızlarını vereceğinden ayrıca farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızları arasındaki fark küçüktür. Bunun anlamı;

- En düşük seviyedeki anemometre engellerin (çalılık, evler, ağaçlar vb) etkisinden yükseltilecek kurtarılmalıdır,
- İki anemometre arasındaki yükseklik farkı en az 15 – 20 m olmalıdır.



Şekil 4. Kombine rüzgar ölçüm sistemleri.

İdeal bir lokasyonda (düz ve engelsiz arazi) 10 m ve 30 m yüksekliklerde 2 anemometrenin kullanılması yeterlidir. Daha kompleks arazilerdeki anemometre daha yükseğe monte edilmelidir. Minimum yükseklik mesafesinin bırakılabilmesi için ölçüm direği de, daha yüksek olmalıdır. Böyle bir lokasyonda 20, 30 veya 40 hatta 50 m yüksekliğindeki ölçüm direkleri gerekebilir hatta arazinin iyi temsil edilebilmesi için ikinci bir ölçüm direği de gerekebilir.

Rüzgar yönü, lokasyonda tek sensörle yapılabilir. Yön sensörü ölçüm direğinin en üstünde bulunan anemometreden 1.5 m aşağıya monte edilerek anemometrenin etkilenmemesi sağlanmış olur. Atmosferik basınç ölçümü de uygun bir yükseklikte yapılmalıdır. Kullanılan teçhizat için ek bir koruma gerektirdiğinden veri toplayıcının da içinde bulunduğu muhafaza kutusuna konulmalıdır.

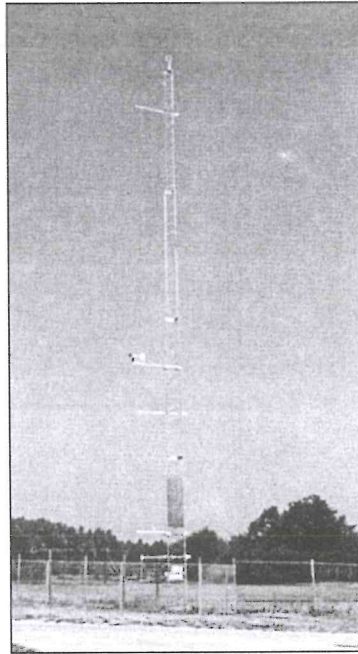
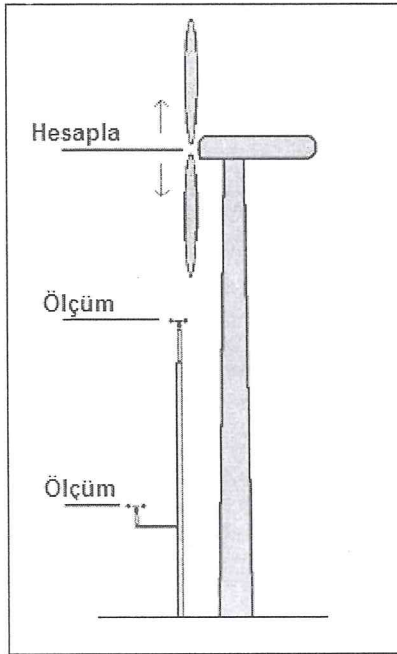
Sıcaklık sensörü de, güneş radyasyonundan doğrudan etkilenmeyecek bir şekilde en az 3 m yüksekliğe monte edilerek yer radyasyonunun etkilerinden de korunmuş olur.

5. Direğin Dikilmesi

Rüzgar ölçüm direği dikilirken dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır ve bu noktalar direk diki-

minden önce hesaplanarak gerekli düzenleme ve ayarlamalar yapılarak ölçümlere başlanmalıdır.

- Rüzgar hız ve yön ölçümünde kullanılan bütün sensörler yatay olarak yerleştirilmelidir. Çok küçük gibi görünen bir eğrilik dahi ölçümlerin hassasiyetini zedeler.
- Minimum ölçüm yüksekliği 30 m olmalıdır. Bununla beraber, arazinin topoğrafik yapısına göre bu yükseklik artabilir.
- En az 2 adet anemometre kullanılmalıdır. Eğer 30 m yüksekliğinde direk kullanılıyorsa, 10 m ve 30 m de monte edilecek 2 adet anemometre yeterlidir. Tecrübeler göstermiştir ki, direğin en üst noktasında 2. bir yedek anemometre kullanımında büyük yarar vardır. Bunun nedenleri ise, yıldırım çarpması, kuş çarpması ve diğer nedenlerden dolayı 30 m de bulunan anemometrenin kolayca bozularak devre dışı kalabilmesidir. Veri kaybının önlenmesi açısından 28. metreye bir anemometre daha monte etmek ölçümlerin sürekliliği açısından önemlidir. Böylelikle 30 m de bulunan anemometre devre dışı kaldığında, yedek olan anemometre ile devam edilir ve direk indirilerek 30 m deki anemometre onarılırken bu süre zarfında veri kaybedilmemiş olunur.

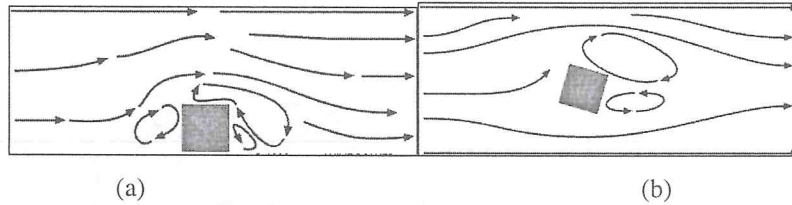


Şekil 5. Ölçüm yükseklikleri.

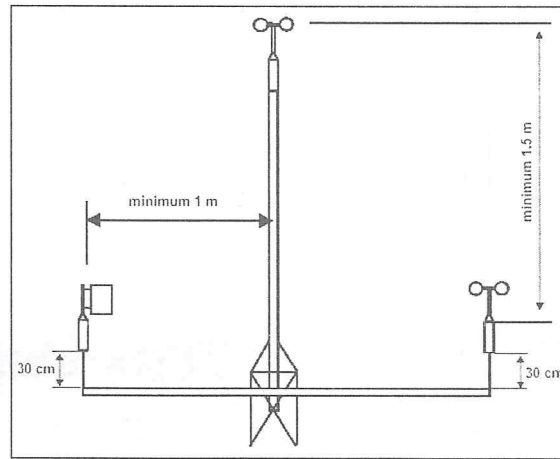
- Sensörlerin monte edildiği yan kollar, türbülans etkilerinin meydana gelebileceği alanlardan mümkün mertebe uzakta olmalıdır. Bununla beraber, yan kol sıkı bir şekilde tutturulmalıdır. Aksi takdirde ölçümler doğru olmaz.
- En üstte bulunan anemometre direk ekseninde monte edilmelidir. Uygulamada bazen yan kol üzerine de monte edildiği görülmektedir. Bu yanlış bir uygulamadır. Fakat 10 m veya 28 m'deki anemometreler, uzunluğu en az 1 m olan yankollar üzerinde bulunabilir. Yankollar, hakim rüzgar yönüne doğru monte edilir.
- Sensörler, yankol üzerinde ölçüm direğine paralel olarak uzanan en az 30 cm uzunluğundaki bir çubuğun üzerine monte edilmelidir.
- En yüksekte bulunan anemometre, bütün yönlerde engellerden arındırılmış olarak monte edilmelidir. Anemometrenin yanında sadece ince yıldırım çubuğu bulunmalıdır.
- Yön sensörü, 30 m de ve yankol üzerinde monte edilmelidir. Direğin en üst noktasındaki anemometreden en az 1.5 metre aşağıda; eğer

aynı seviyede monte edilecekse de anemometre ile aralarında en az 2 metre bulunmalıdır. Bunun nedeni ise, anemometrenin yön sensörünün gölgeleme ve türbülans etkilerinden uzak kalmasını sağlamaktır. Bilindiği gibi, rüzgar akışı herhangi bir cisme çarptığında cismin arkasında cismin boyunun 10 ila 15 katı mesafede türbülans meydana getirir. Dolayısıyla yön sensörüne çarpan rüzgar akışı, anemometre çok yakın ise, ölçüm kalitesini bozabilmektedir (Şekil 6 ve 7).

- Boru konstrüksiyon ölçüm direklerinde, yankol uzunluğu direk çapının en az 7 katı olmalıdır. Uygulama da genellikle 1 m olarak alınmaktadır.
- Yıldırım çubuğu (kalınlığı 2 cm) anemometreden en az 50 cm mesafede olmalıdır ve vibrasyondan etkilenmemelidir. Anemometrenin üzerinde bir yüksekliğe sahip olmalıdır ve direk düşey eksenine ile 60° açı yapmalıdır (Şekil 8).
- Sıcaklık, basınç ve nem sensörü 3 m civarında monte edilmelidir

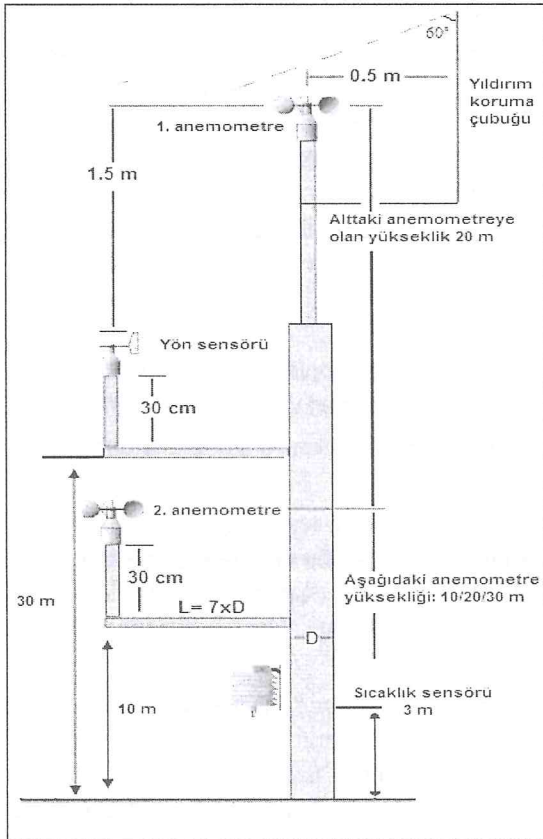


Şekil 6. Engelin rüzgar akışına etkisi.



Şekil 7. Ölçüm direğinde yankol mesafeleri.

- Veri toplayıcı (data logger), çok alçak seviyede değil, bununla beraber çalışılabilecek bir seviyeye monte edilmelidir.
- Kablolar içi en güvenli olanı direğin içinden geçirilerek bağlanmasıdır. 50 m'deki kabloların oluşturacağı ağırlık nedeni ile güvenlik için bir ip ile beraber indirilerek sarılmalıdır. Eğer kablolar kulenin içerisinden geçirilemiyor ise, o takdirde 1'er metre ara ile kelepçe veya bant sarılarak aşağıya doğru indirilmelidir. Kablonun gevşeyerek rüzgara maruz kalmadığından ve keskin yüzeylere temas etmediğinden emin olunmalıdır. Kablo üzerinde meydana gelebilecek her türlü baskı uzun dönemli ölçümlerde problem yaratmaktadır.
- Montaj bittikten sonra, ölçüm direğinin tam dikey olarak durması sağlanmalıdır. Eğer kuleye tırmanılıyorsa sensörlerin ve kulenin dikeyliği gerekli ölçüm aletleri (örn. inklinometre) ile kontrol edilmelidir. İnsan gözü de küçük sapmaları rahatlıkla tespit edebilir.



Şekil 8. Standartlara uygun bir rüzgar ölçüm direği.

Yukarıda anlatılanlar, 30m ölçüm yüksekliği farz edilen aşağıdaki Şekil 8 ile verilmiştir.

Ölçüm direğinin diğer teçhizatları (muhafaza kutusu, veri toplayıcı, güç sağlayıcı) mümkün mertebe yükseğe kurulmakla beraber, ulaşılabilir olmalıdır. Tecrübeler göstermiştir ki, solar panel ve GSM antenleri özellikle hırsızlık ve vandalizme maruz kalmaktadır. Ölçüm sistemini fazla çekici yapmamak lazım gelmektedir.

6. Sonuç

Rüzgar ölçüm direği için kullanılan standartlar diğer rüzgar ölçüm sistemlerinden çok daha farklı ve dikkat gerektirmektedir. Bazı standartların tutturulabilmesi için belki biraz daha masraf gerekebilir, bununla beraber birçok nokta da, daha başlangıçta alınabilecek bazı basit önlemler ile ölçümlerin hassas bir şekilde yapılabilmesini sağlayabilmektedir. Montajı bitmiş bir rüzgar ölçüm direğinin bu makalede anlatılan standartlara uygun olması gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Wind Measurement for accurate energy predictions, Michail Köhler, 2004. Amment GmbH, Almanya
2. Windtest GmbH, Windmessungen Information Catalogue, 2004. Günter Warmbier.
3. Helmut Klug, Windmessungen, 2004. DEWI, Alman Rüzgar Enerjisi Enstitüsü. ■

AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI AÇISINDAN KÜÇÜK HES'LER ve RÜZGAR ENERJİSİ YATIRIMLARINA VERİLEN TEŞVİKLER

Murat DURAK
Meteoroloji Mühendisi,
TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası
Enerji Komisyonu Üyesi

1. Giriş

Bu çalışmada ülkemizde de son yıllarda önem kazanmaya başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarının Avrupa Birliği içindeki yeri ve küçük güçlü hidro elektrik santraller ile rüzgar elektrik santralleri yatırımlarına verilen teşvikler ele alınmıştır.

Bu amaçla her ülkenin enerji mevzuatı içerisinde yenilenebilir enerjinin tanımı araştırılmış ve buradan hareketle Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynakları açısından hidro elektrik santral (HES) politikası ve rüzgar elektrik santral (RES) projelerine verilen teşvikler irdelenmiştir. AB Ülkeleri, dünyada yenilenebilir enerji tüketiminde başı çekmektedir. Bunun temel üç nedeni bulunmaktadır:

1. Enerji kaynaklarının sınırlı olması ve buna paralel olarak enerji kaynak çeşitliğinin artırılması,
2. Yerli kaynakların geliştirilmesi,
3. Çevre bilinci,

sayılmaktadır [1]. Özellikle 2010 yılına kadar konulan hedef dolayısı ile bu politikaların artarak devam edeceği açıktır. Her ülke kendi konumu, ülkesel önceliklerine ve kaynak potansiyelini dikkate alarak bu politikaları geliştirmektedir. Rüzgar ve hidro enerji hemen hemen bütün ülkelerde net bir politika çerçevesine oturtulmuştur.

2. Teşvikler

Teşvikleri 3 sınıfta toplamak mümkündür. Bunlar, mali, vergi muafiyetleri ve üretim teşvikleridir.

Mali teşvikler, genellikle iki alt başlıkta toplanmaktadır.

Yatırım Teşvikleri: Bu teşvik türünde devlet toplam yatırım tutarına belli bir oranda katkı da bulunmaktadır. Bu oran %20 - %40 arasında değişmektedir. Bazı devletler belli kaynaklar için bu teşviği vermektedirler.

Hükümet Destekli Kredi: Devlet veya uluslararası kuruluşlar, yatırımların finanse edilmesi için bu tip projelere normal ticari kredilerden daha cazip krediler vermektedir. Almanya'da Deutsche Ausgleichsbank ve Commerzbank kredileri bu duruma örnek olarak verilebilir.

Vergi teşviklerini iki alt başlıkta toplamak mümkündür.

Vergi Muafiyetleri: Bazı devletler 1-5 yıl arasında santralden elde edilen gelirden kurumlar ve/veya gelir vergisi almamaktadır. Hollanda'da uygulanmaktadır.

Gümrük Muafiyetleri: Devletler, rüzgar türbini, solar paneli gibi ekipman ithalat ve ihracatından düşük oranda veya bütünü ile gümrük vergi muafiyeti getirmektedir. Danimarka'da uygulanmaktadır.

Üretim teşviklerini ise üç alt başlıkta toplanmaktadır.

Yenilenebilir Portföy Standardı (Renewable Portfolio Energy Standard): Bu teşvik türünde elektrik dağıtım şirketleri, dağıtımını yaptıkları elektriğin belli bir yüzdesini belirli bir zaman aralığında yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak zorundadır.

Üretilen Elektriğe Teşvik: Yenilenebilir kaynaklara verilen bir diğer teşvik türü de, üretilen elektriğin birim fiyatına verilen teşvik türüdür.

Sabit Tarife Uygulaması: Üretilen elektrik için belli bir zaman aralığında belli bir fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Örneğin, ilk 10 yıl ve ikinci 10 yıl olmak üzere 2 farklı periyotta sabit fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Santral kredi borcu ve faizlerini geri ödemediğinden ilk 10 yıl daha yüksek tarife uygulanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir teşvik türüdür.

Avrupa Birliği'nin (AB) en büyük teşviği de, 27.10.2001 tarih 2001/77/EC sayılı Yönergesi'ne göre, Birliğe üye ülkelerin 2010 yılında tüketecekleri enerjinin ortalama olarak %22'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayacaklarını taahhüt etmiş olmalarıdır (Tablo 1). Her ülkenin hedefi başkadır. Ülke bazında % olarak hedefleri gösteren rakamlar Tablo 1'de verilmiştir [2].

Böyle bir Yönerge çıkarılmasının temel nedenleri ise;

1. Kyoto Anlaşması uyarınca çevresel sürdürülebilirlik,
2. Yerel iş imkanları yaratma,
3. Orta vadede yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji piyasasında yer edinmesi,
4. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen destekle beraber, bu kaynaklardan üretilen elektriğin ölçek ekonomisi teorisine göre düşmesi.

Tablo 1. Avrupa Birliği ülkelerinin 2010 yılı hedefi.

Ülke	1997 (%)	2010 Hedefi (%)
Almanya	4.5	12.5
Avusturya	70.0	78.1
Belçika	1.1	6.0
Danimarka	8.7	29.0
Finlandiya	24.7	31.5
Fransa	15.0	21.0
Hollanda	3.5	9.0
İngiltere	1.7	10.0
İrlanda	3.6	13.2
İspanya	19.9	29.4
İsveç	49.1	60.0
İtalya	16.0	25.0
Luxembourg	2.1	5.7
Portekiz	38.5	39.0
Yunanistan	8.6	20.1
ORTALAMA	13.9 %	22.0 %

Tablo 1'den de görüleceği gibi, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde 2010 yılı hedefleri %5.7 - %70 arasında değişmekle beraber, ortalaması %22'dir.

3. Ülkeler

Her ülkenin yenilenebilir enerji tanımı ve rüzgar enerjisine verdiği teşvik türü değişmektedir. Tanıma göre, projeler ve ülkelerin politikaları da değişmektedir. Örneğin Almanya'da 5 MW'a kadar kurulu güce sahip hidro elektrik santralleri yenilenebilir enerji sınıfına girerken; İspanya ve İngiltere'de bu rakam 10 MW'tır (Reiche, 2002). Yunanistan ve Almanya katı atık santrallerini yenilenebilir enerji sınıfına koymazken, diğer birçok ülkede yenilenebilir enerji sınıfındadır. Bütün AB Ülkeleri'ndeki ortak nokta ise, rüzgar, hidro, güneş, biomass ve jeotermal enerjinin yenilenebilir enerji sınıfında olmasıdır. Ayrıca HES'ler açısından da bütün ülkeler nehir tipi (channel type) HES'leri yenilenebilir enerji kaynağı sınıfına koymaktadırlar ve kurulu gücü 10 MW ve altındaki HES'ler bu sınıfa dahil edilmektedir. İzleyen sayfalarda 15 AB Ülkesi alfabetik sıra ile incelenmiştir.

Almanya

Yenilenebilir Enerji Tanımı: 1991 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanununa göre; hidro (5 MW'tan küçük), dalga, rüzgar, güneş, biomass,

biogas, jeotermal ve katı atık yenilenebilir enerji sınıfında değerlendirilmektedir [3].

1997 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu (Erneuerbare Energien Gesetz, EEG) yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Almanya'da yürürlükte olan teşvikler:

- Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin fiyatı 9 € c/kWh,
- Deutsche Ausgleichsbank ve Kreditanstalt für Wiederaufbau bankalarının rüzgar elektrik santrallerine normal ticari kredilerden daha cazip imkanlarda finans temin etmesi,
- 5 yıl öncesine kadar toplam yatırım tutarının %25'ini geçmeyecek şekilde devlet sübvansesi.

Alman Hükümeti 1995-1997 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 343.2 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır [4].

Avusturya

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Ökostromgesetz Kanunu'nda, yenilenebilir enerji için genel bir tanım yapılmamıştır. Bununla beraber, Federal Elektrik Kanunu'nun 40. maddesi sıvı biomass, biogas, jeotermal, rüzgar, güneş, hidro (10 MW'tan küçük) santralleri yenilenebilir enerji sınıfına koymuştur.

Biomass ve küçük güçlü hidroelektrik santralleri ile ilgili bazı teşvikler verilmektedir. Bu teşvikler genellikle yerel ve merkezi idarelerin sübvansesi şeklinde olmaktadır [5]. Rüzgar enerjisinden kaynaklarından üretilen enerjiye 7.3 – 10.9 € c/kWh arasında değişen tarife uygulanmaktadır [6]. 1997 yılında kurulan yatırım fonu, yılda 6 milyon EURO yenilenebilir enerji kaynaklarına sübvansesi ayırmıştır.

Avusturya Hükümeti 1995-1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 36 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Belçika

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Belçika'da yenilenebilir enerji kaynaklarını; tanımı çok geniş ve yoruma açık bir şekilde, nükleer enerji ve fosil yakıtlar dışındaki her türlü enerji kaynağı yenilenebilir olarak kabul edilmektedir. Biomass en yaygın olarak kullanılan kaynaklardan birisidir. Federal ve Bölgesel Hükümetler Avrupa'nın da gördüğünü örnek olarak rüzgar enerjisi ile ilgili programlar başlatmıştır. 10 MW'tan

küçük HES'ler yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

3 federal bölgeye ayrılan (Flanders, Wallonia ve Brussels) Belçika'da bütün yenilenebilir enerji yatırımlarında %15'e kadar devlet yardımı yapılmaktadır. Rüzgar enerjisi projeleri için ise, 7.68 € c/kWh tarif uygulanmaktadır [7].

Belçika Hükümeti 1995-1997 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 10.5 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Danimarka

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Rüzgar Gülü Kanunu'na göre, yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar, güneş, dalga, jeotermal, hidro (10 MW'tan küçük) ve biomass kabul edilmektedir.

Özellikle rüzgar türbini üretim piyasasına hakim olan Danimarkalı türbin üreticileri, dünya türbin üretiminin %60'ını gerçekleştirmektedirler. Rüzgar Gülü `Windmill Law` yasasına göre [7],

- Elektrik dağıtım şirketleri yenilenebilir enerji kullandıkları takdirde 1.5 \$c/kWh teşvik almaktadır,
- Dağıtım şirketleri kullandıkları yenilenebilir enerji birim kWh için 0.18 € c/kWh genel karbon vergisi iadesi almaktadır,
- Ulusal şebeke bağlantısı, rüzgar santrali sahibi ile dağıtım şirketi tarafından ortak olarak inşa edilmektedir,
- Rüzgar türbini ihraç kolaylıkları,
- Bazı vergi muafiyetleri.

yatırımcılara sağlanmaktadır.

Danimarka hükümeti ayrıca 2005 yılına kadar tüketilen enerjinin %10`luk kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanacağını planladığından her yıl 100 MW`lik bir kapasite artırımını yapmaktadır.

Danimarka Enerji Ajansı 1995-1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 36 milyon EURO'luk yatırım sübvansesi ayırmıştır.

Rüzgar enerjisi projeleri için ise, 5.76 € c/kWh tarif uygulanmaktadır.

Finlandiya

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Hidro, rüzgar, güneş, biogas, hidro (10 MW'tan küçük) ısı pompaları yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir.

Yenilenebilir enerji yatırımlarında %30'a kadar devlet yardımı yapılmaktadır. 1998 yılında bu amaçla 22 milyon EURO sübvansede edilmistir.

Finlandiya Hükümeti, 1995-1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 18 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır [5].

Fransa

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Hidro (10 MW'tan küçük), rüzgar, güneş, biogas, jeotermal, biyoyakıtlar (ethanol ve metil ester), yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmıştır [8].

Eole 2005 programına çerçevesinde, rüzgar enerjisi kurulu gücü 2005 yılı hedefi 500 MW, 2010 yılı hedefi ise 10,000 MW olarak planlanmaktadır. Santralin işletildiği ilk 5 yıl elektrik satış fiyatı 8.38 € c/kWh olarak belirlenmektedir [8]. Bu rakamlar, kurulu gücü 12 MW'ı geçmeyen santralleri için geçerlidir. Ortalama tarife ise, 6 € c/kWh'tır. Yenilenebilir enerji santral ekipmanlarından toplam vergi tutarının %25'i alınmamaktadır.

Fransa Hükümeti, 1995-1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 30.5 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Hollanda

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Yenilenebilir enerji tanımı 1990'ların sonuna kadar sadece rüzgar ve güneş enerjisi olarak gören Hollanda Hükümeti; 2001 yılında güneş, rüzgar, biomass, çöp olarak tanımlanmaktadır. Küçük HES'ler yenilenebilir enerji sınıfında değildir.

1996 yılında çıkarılan bir kanunla bazı vergi teşvikleri ve Yatırım İndirimi verilmektedir. Yenilenebilir enerji, Enerji Vergisi'nden muaf tutulmaktadır.

Rüzgar enerjisi projeleri için 7.71 € c/kWh tarife uygulanmaktadır.

İngiltere

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Tanım olarak kara tipi rüzgar santralleri, katı atık, enerji bitkileri, biomass, belediye ve endüstriyel çöp ile hidro (10 MW'tan küçük) kaynaklar yenilenebilir sınıfındadır.

Yenilenebilir enerji üretimi, Non Fossil Fuel Obligation (NFFO) isimli devlet programı çerçevesinde yürütülmektedir. Buna göre, elektrik dağıtımını yapan şirketler, tüketicilere tedarik ettikleri elektriğin belirli bir miktarını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamakla yükümlüdürler.

İngiliz Hükümeti, 1995-1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 40.4 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Rüzgar enerjisi projeleri için, 4 - 7 € c/kWh tarife uygulanmaktadır [9].

İrlanda

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Tanım olarak, çevresel etki yaratmayan bütün enerji kaynaklarını yenilenebilir sınıfta gören İrlanda mevzuatına istinaden otoriteler rüzgar, dalga, hidro (5 MW'tan küçük), biomass, ve güneş enerjisini yenilenebilir sınıfta değerlendirmektedir.

Rüzgar enerjisi ve biomass projelerine toplam yatırım tutarının %50'ye kadarı devlet tarafından sübvansede edilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 4.70 € c/kWh tarife uygulanmaktadır [8].

İspanya

Yenilenebilir Enerji Tanımı: 1980 yılında çıkarılan Energy Conservation Law yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleyici birkaç madde bulundurmasına karşın, tanımı yapılmamıştı. Sektörün yeniden yapılandırılması amacı ile 1994 yılında çıkarılan Elektrik Yasası, yenilenebilir enerji kaynaklarını rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, biomass ve hidro (10 MW'tan küçük) olarak tanımlamıştır [4].

Rüzgar santrallerinden 5 yıllık alım garantisi verilmekte ve 6.28 € c/kWh fiyat tarifesi veya alternatif olarak, havuz tarifesi + 0.029 € c/kWh olarak uygulanmaktadır [11].

İspanya Hükümeti, 1994-1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 60 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. 2010 yılı kurulu rüzgar santral kapasite hedefi 9000 MW'tır.

İsveç

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili İsveç mevzuatı herhangi bir tanım yapmamıştır. Ulusal Enerji İdaresi, yenilenebilir enerjiyi rüzgar, hidro (1.5 MW'tan küçük), güneş, jeotermal ile organik ve inorganik atıklar olarak görmektedir. Coğrafik konumu nedeni ile özellikle hidroelektrik santraller yaygın olarak kullanılmaktadır. İsveç'in orman kaynaklarının zenginliği, bioenerji kullanımını da giderek yaygınlaştırmıştır.

İtalya

Yenilenebilir Enerji Tanımı: 11 Kasım 1999'da yayınlanan Bakanlık tebliğine göre, rüzgar, güneş, hidro (10

MW'tan küçük), jeotermal, dalga, gel-git, biomass ile organik ve inorganik atıklar yenilenebilir enerji sınıfında yer almaktadır.

Uzun dönem enerji satış anlaşması yapılarak enerji alım garantisi verilmektedir. İlk 8 yıl 0.01 € c/kWh, geri kalan ömürde de 0.05 € c/kWh devlet sübvansesi enerji satış anlaşmalarında yer almaktadır. İtalya'da ayrıca 488/92 sayılı yasa ile yatırımların %40'a kadar olan kısmı devlet veya yerel otoriteler tarafından sübvansede edilebilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 7.37 € c/kWh tarife uygulanmaktadır. İtalya Hükümeti, 1995-1998 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 160 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır. 2010 yılı kurulu rüzgar santral kapasite hedefi 3000 MW'tır.

Luxembourg

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımının açık bir şekilde ilk yapıldığı ülke olan Luxembourg, güneş, rüzgar, jeotermal, biomass ve hidro enerji kaynaklarını (10 MW'tan küçük) yenilenebilir olarak değerlendirmektedir.

Portekiz

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Rüzgar, hidro (10 MW'tan küçük), güneş, biomass, jeotermal enerji kaynakları yenilenebilir sınıfındadır.

Portekiz'de 1995-1999 yılları arasında 159 milyon EURO'luk kamu fonu sübvansede için ayrılmıştır. Yenilenebilir enerji ekipmanlarından %5 daha az KDV alınmaktadır.

Portekiz Hükümeti, 1995-1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 5.3 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Rüzgar enerjisi projeleri için tarife üç farklı aşamada uygulanmaktadır [4]:

- Tam kapasite 2000 saate kadar 9.00 € c/kWh,
- 2000 – 2600 saate kadar 2 € c/kWh'e kadar düşen tarife,
- 2600 tan kapasite saatten sonrası için 2 € c/kWh sabit tarife.

Yunanistan

Yenilenebilir Enerji Tanımı: 1999 yılında çıkarılan 2773 sayılı yasaya göre, rüzgar, güneş, biomass, biogas, jeotermal, dalga ve hidro (10 MW'tan küçük) enerji kaynakları yenilenebilir olarak değerlendirilmektedir.

Rüzgar santrallerinin toplam yatırım tutarının %30'a kadarı devlet tarafından sübvansede edilmektedir. Rüzgar enerjisi projeleri için, 6.10 € c/kWh tarife uygulanmaktadır.

Yunanistan Hükümeti, 1994-1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 20 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır [4].

Türkiye

Yenilenebilir Enerji Tanımı: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun 04/08/2002 tarih ve 24836 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğü giren Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'ne göre; rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, gel-git, biyokütle, biyogaz ve hidrojen enerjisine dayalı üretim tesisleri ile rezervuarsız nehir ve kanal tipi hidroelektrik üretim tesisleri ve kurulu gücü 20 megavat (MW) ve altında olan rezervuarlı hidroelektrik üretim tesisleri, yenilenebilir enerji sınıfında değerlendirilmektedir.

Ülkemizdeki tanımdan da anlaşılacağı üzere, yenilenebilir enerji tanımı açısından HES'ler yoruma açık bir şekilde tanımlanmıştır. Rezervuarsız nehir ve kanal tipi herhangi bir kurulu güç belirtilmeden yenilenebilir enerji sınıfına konmuştur. Rezervuarlı olabilecek HES'ler için de AB Ülkelerinin tanımladıkları kurulu gücün 2 katı olan 20 MW ve altındaki HES'lerin de yenilenebilir enerji sınıfında değerlendirileceği belirtilmiştir.

Ülkemiz enerji piyasası ve mevzuatı şu anda bir geçiş dönemi içerisinde. Halihazırda, enerji sektörüne reel sektör yatırımlarında teşvik aracı olan Yatırım İndirimi teşvik uygulanmaktadır.

Eylül 2002'de yayınlanması beklenen Lisans Yönetmelikleri'nde yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvik ile ilgili bazı beklentiler vardır. Sektörün oluşabilmesi için bu yasal düzenlemeleri beklemek gerekmektedir. Bunlar:

- Mevcut teşviklerden olan Yatırım İndirimi'ne Katma Deger Vergisi Muafiyeti'nin de eklenmesi,
- Yenilenebilir enerji ile çalışan elektrik santrallerinde kullanılan ekipmanlara Gümrük Muafiyetleri,

olarak sayılabilir.

Ülkemiz, 1995-1999 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları için 0.15 milyon EURO'luk Ar-Ge harcamaları yapmıştır.

Rüzgar enerjisi projeleri için tarife iki farklı aşamada uygulanmaktadır (YID projelerinde):

- İlk 10 yıl 6 – 7 € c/kWh;
- Son 10 yıl 3 – 5 € c/kWh.

Yukarıda anlatılanların daha açık bir şekilde görülebilmesi için Tablo 1 verilmiştir. Görüldüğü gibi, Almanya ve İrlanda 5 MW'a kadar, İsveç 1.5 MW'a kadar, diğer bir çok ülkede 10 MW'a kadar HES'leri yenilenebilir enerji sınıfında dahil etmiştir. En yüksek kurulu güç ise 20 MW ve altı ile ülkemizde tanımlanmıştır.

Tablo 1. Ülkelerin yenilenebilir enerji kaynağı açısından HES tanımı.

Ülke	Küçük HES (<MW)
Almanya	5
Avusturya	10
Belçika	10
Danimarka	10
Finlandiya	10
Fransa	10
Hollanda	-
İngiltere	10
İrlanda	5
İspanya	10
İsveç	1.5
İtalya	10
Luxembourg	10
Portekiz	10
Yunanistan	10
TÜRKİYE	20

Tükettiği enerji kaynaklarının büyük bir çoğunluğu dış kaynaklardan ve mevcut nükleer santrallerini belli bir program çerçevesinde kapatmak isteyen AB Ülkeleri için hedef bir politika ve bu politikalara istinaden hangi kaynağa yenilenebilir enerji denmesinin tanımlanması da kaçınılmaz olmuştur.

4. Sonuç

AB Ülkelerinin 2001\77\EC nolu direktifine göre, 2010 yılında tükettikleri enerjinin ortalama %22'sini

yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacaklarını taahhüdüne paralel olarak, hedeflerini tutturabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına önem vermek zorundadırlar. Bu kaynaklar arasında hidro ve rüzgar genellikle bütün AB Ülkelerinin üzerinde en fazla yoğunlaştığı kaynaklardır. Ülkemizde ise, teknik ve kullanılabilir potansiyeli yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik henüz net bir politika bulunmamaktadır. Bununla beraber, makale hazırlanırken "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu" çıkarılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Kaynaklar

1. Durak, M., 2002. Avrupa Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Projelerine Verilen Teşvikler ve Türkiye için Öneriler, Yenilenebilir Enerjiler ve Rasyonel Enerji Kullanımı, 10-11 Eylül, İstanbul, Sf. 81-87.
2. European Parliament and of the Council Directive 2001\77\EC `On the Promotion of Electricity Produced from Renewable Energy Sources in the Internal Electricity Market`, Official Journal of the European Communities, s. 33-40. Brussel, 2001.
3. Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, Erneuerbare Energien Gesetz, EEG, Almanya Federal Cumhuriyeti Resmi Gazetesi, 1991.
4. Reiche, D., 2002. Handbook of Renewable Energies in the European Union: Case Studies of All Member States, Peter Lang GmbH Press, Almanya.
5. IEA (1998a): Renewable Energy Policies in IEA Countries. Volume II: Country Reports. OECD, Paris.
6. Holzinger, U., Officer in Austrian Wind Energy Association, Via e-mail, 2002.
7. Guylee, L., Wind Energy Developments: Incentives in Selected Countries, Energy Information Administration, 1997, USA.
8. Reiche, D. and Bechberger, M., 2004. Policy Differences in the Promotion of Renewable Energies in the EU Member States, *Energy Policy*,32, 843-849.
9. Alison, H., Officer in British Wind Energy Association, Via e-mail, 2002. ■

RÜZGAR ENERJİ SANTRALLARI İÇİN ÖN ETÜT ve KAYNAK BELİRLEME ÇALIŞMALARI

Mustafa ÇALIŞKAN
Makina Yüksek Mühendisi
Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü

Özet

Başarılı bir rüzgar enerjisi santral yatırımının temelinde çok detaylı yapılmış ön etüt ve rüzgar kaynak belirleme analizleri ile birlikte hazırlanmış fizibilite çalışmaları yatmaktadır. Bu çalışmada, rüzgar enerjisi santralının kurulacağı aday yerin belirlenmesinden itibaren yeterli rüzgar kaynağının tespitine kadar geçen sürede teknik olarak yapılması gereken çalışmalar anlatılacaktır.

Abstract

A successful wind power plant investment is based on detailed preliminary surveys and wind resource assessment analyses together with feasibility studies. In this study, the procedures starting with the beginning of the candidate site selection to wind resource assessment will be explained.

1. Giriş

Rüzgar enerjisi santrallerinin ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle yatırımcının yüksek bir oranda kredi temin etmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bulunacak olan kredinin geri ödenmesi ve yatırımın karlı olabilmesinin temelinde ise sağlıklı yapılmış ön etütler ve rüzgar kaynak değerlendirmesi yatmaktadır.

2. Rüzgar Kaynak Tespitinde Ön Etüt Süreci

Rüzgar enerjisi santralından üretilen enerji miktarı rüzgar hızlarının kübüyle orantılıdır. Bu nedenle, rüzgar santrali kurulacak en uygun yerin belirlenmesi ve belirlenen yerde yapılacak enerji amaçlı rüzgar ölçümleri büyük önem taşımaktadır.

2.1. Rüzgar Potansiyeli Yüksek Yerlerin Belirlenmesi

Rüzgar enerjisi santrali yatırımı için ilk yapılması gereken rüzgar potansiyeli yüksek yerlerin tespit edilmesidir. Bu aşamada belirlenmesi gereken, rüzgar hızlarının yaklaşık tahmini değerleridir. Tahmini rüzgar hızlarının bulunacağı ilk başvuru kaynağı ise rüzgar atlaslarıdır. Rüzgar atlası, yer seviyesinden 10 metre yükseklikte gerçekleştirilen rüzgar ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen, rüzgar potansiyeli ve kapsadığı alanlar hakkında bilgi veren rüzgar istatistikleridir. Rüzgar atlaslarının yanısıra düşünülen yerlere yakın meteoroloji ve konu ile ilgili kurumlarının yapmış olduğu rüzgar ölçümleri de bir fikir verebilir.

Bunların yanısıra, rüzgar enerjisi santrali kurulacak yerin tespitinde doğanın kendisi gerçek bir yol göstericidir. Ağaçlar,

çalılıklar gibi biyolojik göstergeler, rüzgarın oluşturduğu jeolojik belirtiler (aşınmalar, erozyon) önemli ip

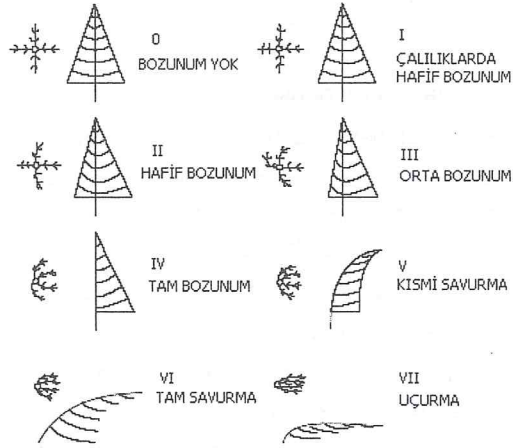
uçları vermektedir. Ayrıca; yöre halkının gözlemleri, eski yel değirmen kalıntıları ve rüzgarı çağrıştıracak yerel, sosyal ve kültürel belirtiler (tepe isimleri, maniler vb) rüzgar varlığını işaret ederler.

Rüzgarın fiziksel nesnelere üzerinde oluşturduğu etkilere göre hazırlanmış ve arazi incelemesinde rüzgar hızlarının kabaca tahmininde kullanılan bir takım standart çizelgeler de mevcuttur. Bu çizelgelerin başında Beaufort ve Griggs-Putnam skalaları gelmektedir. Beaufort Skalası Tablo 1'de, Griggs-Putnam Skalası ise Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1. Beaufort Skalası

Beaufort No	Rüzgar Hızı (m/s)	Açıklama
0	0,0-0,2	Duman Dikey Olarak Yükselir.
1	0,3-1,5	Duman hafif esinti ile yükselir.
2	1,6-3,3	Yapraklar kıpırdar. Esinti insan yüzünde hissedilir.
3	3,4-5,4	Yapraklar ve ince dallar hareket eder.
4	5,5-7,9	İnce dallar hareket eder. Kağıt ve tozlar yükselir.
5	8,0-10,7	Ağaçlar sallanmaya başlar.
6	10,8-13,8	Büyük ağaç dalları hareket eder. Şemsiyenin kontrolü zorlaşır.
7	13,9-17,1	Büyük ağaçlar sallanır, yürüme zorluğu farkedilir.
8	17,2-20,7	Ağaçlardaki ince dal ve çöpler kırılır. Yürümek iyice zorlaşır.
9	20,8-24,4	Binalarda hafif hasar oluşur. Çatı kiremitleri sökülmeğe başlar.
10	24,5-28,4	Binalar hasar görür. Büyük ağaçlar kökünden sökülür.
11	28,5-32,6	Geniş ölçekli hasar olur.
12	>32,7	Aşırı derecede hasarlar meydana gelir.

Tablo 2. Griggs-Putnam Skalası



	I	II	III	IV	V	VI	VII
RÜZ. HIZI (mph)	7-9	9-11	11-13	13-16	15-18	16-21	22+

Duyumlar, gözlemler ve kuruluşların yapmış olduğu ölçüm kayıtları ile kabaca belirlenen yerde bizzat arazi çalışması yapılarak yukarıdaki gibi örneği verilen çizelgeler yardımıyla tahmini rüzgar hızları belirlenir. Ayrıca, el anemometresi ile belli bir sıklıkta ve sürede anlık rüzgar hızlarının tespit edilmesi de yararlı olacaktır. Yapılan ön çalışmalar sonucu belirlenen tahmini ortalama rüzgar hızları 5-7 m/s civarında ise rüzgar kaynağın ekonomik olarak değerlendirilebileceği düşünülmelidir.

2.2. Rüzgar Enerji Santrali Kurmak İçin Uygun Arazi Seçimi

Ortalama rüzgar hızlarının yüksek olacağı düşünülen sahaya rüzgar enerji santrali kurmak fiziksel, çevresel, teknik ve yasal açılarından mümkün olmayabilir. Rüzgar enerji santrali kurmaya aday sahalarda aşağıda sıralanan bazı kriterler dikkate alınmalıdır.

- Sahaya ulaşım kolaylığı
- Bölgenin elektrik enerjisi talebi
- Üretilecek enerjiyi pazarlama imkanları
- Enerji nakil hatlarının ve trafo merkezlerinin güç kapasitesi
- Üretilecek enerjinin nakli için trafo merkezlerine olan uzaklık
- Sahanın yol ve diğer çalışmalar için işlenme kolaylığı

- Arazinin eğimi
- Sahanın büyüklüğü
- Arazinin kullanım şekli
- Sahanın bitki örtüsü
- Arazinin hakim rüzgar yönüne göre durumu

Yatırımcı, bu ve buna benzer kriterleri değerlendirdikten sonra araştırma alanını biraz daha genişleterek aşağıda belirtilen sorulara da cevap aramalıdır.

- Sahanın yerleşim birimlerine olan uzaklığı
- Sahanın imar durumu
- Sahanın askeri, sivil radar ve buna benzer tesislere olan yakınlığı
- Sahanın sit, milli park, orman arazisi veya diğer kapsamda olup olmadığı
- Sahanın doğal yaşam etkinlikleri ve ekolojik açıdan önemi
- Sahanın mülkiyeti ve kullanım biçimi
- Sahanın jeolojik yapısı
- Yeraltı su kaynaklarının analizi
- Yakın civarda yaşayanların rüzgar santrallerine bakış açısı
- Sahanın sivil ve askeri havacılık amaçlı kullanım şekli
- Sahanın buzlanma, yağmur, yıldırım ve atmosferik kararlılık durumları
- GSM kapsama alanının tespiti
- Yasal yükümlülükler
- Yerel elektrik dağıtım şirketi ile yapılacak görüşmelerin sonuçları

Araştırma sahasında rüzgar varlığının tahmini değeri ve yukarıda sıralanan kriterlere bulunulan cevaplar dikkate alınarak yatırımın teknik, ticari ve sosyo-kültürel olarak verimli olabileceği sonucuna varıldığında ilgili sahada rüzgar potansiyelinin belirlenmesine yönelik gerekli çalışmalara başlanmalıdır.

3. Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Bir sahanın rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle bölgenin alansal rüzgar atlası elde edilmelidir. Rüzgar atlasının temelini ise sağlıklı ve güvenilir enerji amaçlı rüzgar ölçümleri oluşturmaktadır. Yeterli sürede (en az bir yıl) rüzgar verileri elde edildikten sonra bu verilerin istatistiksel analizleri

yapılmalıdır. Elde edilen istatistiksel sonuçlar umut verici bulunursa bölgenin alansal rüzgar atlasının hazırlanmasına başlanmalıdır. Rüzgar atlasının hazırlanması için yapılması gereken çalışmalar aşağıda izah edilmektedir.

3.1. Enerji Amaçlı Rüzgar Ölçümleri

Bir bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi için rüzgar varlığının ispatlandığı yerde gerçekçi rüzgar hız ve yön bilgilerine ihtiyaç duyulur. Bu amaçla, arazinin topoğrafik yapısı, düşünülen santralin büyüklüğü gibi unsurlar dikkate alınarak belirlenen sahaya bir ve/veya birden fazla rüzgar enerjisi gözlem istasyonu (RGİ) kurulmalıdır. Rüzgar enerjisi gözlem istasyonları; genellikle 30 metre ve tercihen rüzgar türbini hub yüksekliğinde olan, gergi halatları ile zemine sabitlendirilmiş bir direk üzerine monte edilen belli sayılardaki ölçüm sensörleri ve ölçüm verilerinin kayıt edildiği sistemden (Data Logger) oluşmaktadır. RGİ'ndeki ölçüm direğinde teorik olarak Tablo 3' de verilen yüksekliklerde ilgili parametreler ölçülmektedir.

Tablo 3. Ölçüm Yüksekliği ve Ölçülen Parametreler

ÖLÇÜM YÜKSEKLİĞİ (m)	ÖLÇÜLEN PARAMETRELER
2	Işınım, Sıcaklık, Basınç
10	Rüzgar Hızı
20	Rüzgar Hızı
30	Rüzgar Hızı, Rüzgar Yönü

Piyasada ticari ortama girmiş birçok modelde ölçüm sensörleri ve data logger bulunmaktadır. Kullanılacak sensörlerin seçimi yapılırken sensörlerin kalibrasyonlu, çevresel etkilere karşı dayanıklı ve rüzgar enerjisi sektöründe kabul görmüş modelde olması dikkate alınmalıdır. Data loggerlar RGİ'unun kurulacağı bölgeye ulaşım imkanlarına bağlı olarak data çipli veya GSM modemli olarak tercih edilmelidir. Ayrıca, sistem elemanlarına sürekli enerji sağlayacak sabit akımlı lityum pillerin yanısıra güneş enerjisi panelleri de kullanılabilir.

Rüzgar enerji santral planlaması yapılan sahada en az bir yıl süreyle sürekli olacak şekilde 10'ar dakikalık bazda enerji amaçlı rüzgar ölçümleri yapılmalı, elde edilen ölçüm değerleri varsa yakın civardaki başka ölçüm kayıtları ile karşılaştırılıp değerlendirilmelidir. Ölçüm periyodunun uzatılması ve mümkünse türbin

hub yüksekliğinde yapılabilecek rüzgar ölçümleri rüzgar potansiyelinin daha sağlıklı belirlenmesini sağlayacaktır. Bu arada, rüzgar gözlem istasyonlarının kurulduğu noktalara ait 1/25 000 ölçekli harita üzerindeki UTM (Universal Transver Mercator) ve derece-dakika cinsinden koordinatları ile birlikte deniz seviyesinden olan yüksekleri de tespit edilmelidir.

Rüzgar ölçüm aletleri tamamen doğal ortamlarda hizmete alındığından kapalı alanlarda çalışan diğer benzer sistemlere göre daha çabuk yıpranır ve kısa zamanda kullanılamaz hale gelir. Bu nedenle, paslanma, korozyon, çürüme, aşınma, buzlanma gibi etkenler yüzünden rüzgar ölçüm aletlerinin ölçüm değerleri normalden hızla uzaklaşır. Bu olumsuzluğu önleyebilmek için rüzgar ölçüm aletleri sık sık kontrol edilmeli ve bakımları cihazların teknik el kitaplarında ön görülen zamanlarda mutlaka yapılmalıdır.

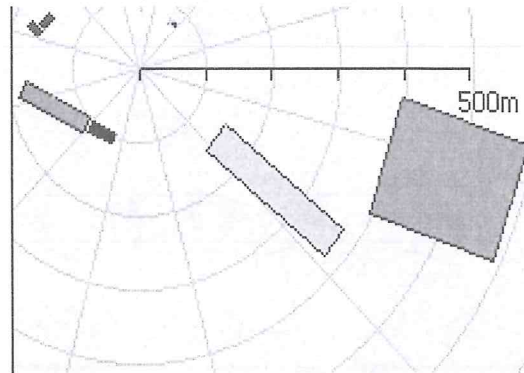
Rüzgar gözlem istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi hayati öneme sahiptir. Rüzgar gözlem istasyonunun kurulacağı nokta veya noktalar her şeyden önce o alanı temsil edebilecek bir yer olmalıdır. WMO (Dünya Meteoroloji Örgütü) standartlarına göre temsil mesafesi arazinin topografik yapısına bağlı olarak 500 m ile 100 km arasında değişmektedir. Ayrıca seçim yapılan nokta, topoğrafik açıdan son derece uygun olmakla birlikte bu alanda engel sınıfına giren nesnelere bulunabilir. Bu şekilde seçilmiş yerler amaca uygun olmamaktadır. Hakim rüzgar yönüne göre tepe arkalarında kalan yerlerin seçimi tercih edilmemelidir. Bu durumda rüzgar hızı gerçek değerinden türbülanslar nedeniyle çok fazla uzaklaşabilir. Yapılan gözlemlerde, bu tip yanlış uygulamalar durumunda rüzgar hızının gerçek değerinden %50 ile +%100 değerleri arasında, rüzgar yönünün de 150° (derece) kadar saptığı tespit edilmiştir. Ayrıca, rüzgar gözlem istasyonunun kurulacağı noktadaki rüzgar akışları daima birbirine paralel (laminer) olmalı, bozulmuş rüzgar akışları ve türbülanslar bulunmamalıdır. Rüzgar verilerinden yola çıkarak hesaplanacak türbülans yoğunluğu değeri de %10-15'den büyük olmamalıdır. Enerji amaçlı rüzgar hız ve yön ölçümlerinde hassasiyetin %1'in altında olması istenmektedir. Zira, ölçümlerde yapılabilecek %10 oranında bir hata, enerji üretimine yaklaşık %30'luk bir hata ve belirsizlik olarak yansır. Bu yüzden yer seçimi mutlaka bu konularda son derece deneyimli uzman personel tarafından yapılmalıdır.

3.2. RGi'larına Yakın Çevresel Engeller

Rüzgar gözlem istasyonuna yakın çevresel engeller, ölçülen rüzgar hız ve yön değerlerini etkilemektedir. Binalar, ağaçlar gibi yakın çevresel engeller rüzgar hızını ve yönünü kayda değer ölçüde değiştirmekte, engel etrafında türbülansa neden olmakta ve rüzgar ölçüm verilerinin sağlıklı olmasını engellemektedir. Bu nedenle rüzgar gözlem istasyonlarının yeri, civarda fazla engel olmayacak şekilde seçilmelidir. Engel sınıfına giren herbir nesneyi tanımlayabilmek için ilgili parametreler arazi çalışması yapılarak belirlenmeli ve "Engel Tanımlama Formu" düzenlenmelidir. Örnek bir engel tanımlama formu Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Örnek Bir Engel Tanımlama Formu

NO	α_1	R_1	α_2	R_2	H	D	P
1	35	76	43	78	8	6	0.0
2	96	400	120	400	10	200	0.4
3	120	150	136	150	10	230	0.8
4	203	98	225	104	15	13	0.0
5	230	100	264	175	10	25	0.4
6	286	161	289	158	7	20	0.2
7	290	156	297	148	7	9	0.2



Burada;

α_1 : Engelin ilk köşesinin kuzey doğrultuyla yaptığı açı (derece)

R_1 : Engelin ilk köşesinin RGi'ye olan uzaklığı (m)

α_2 : Engelin ikinci köşesinin kuzey doğrultuyla yaptığı açı (deg)

R_2 : Engelin ikinci köşesinin RGi'ye olan uzaklığı (m)

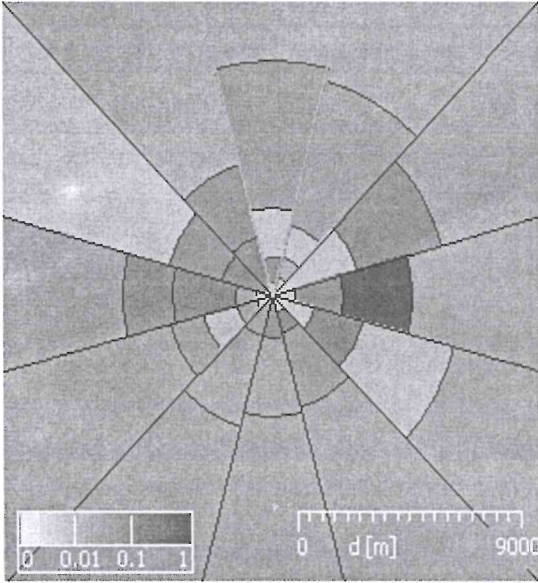
H: Engelin yüksekliği (m)

D: Engelin derinliği (m)

P: Engelin tahmini geçirgenliğidir.

3.3. Arazi YüzeY Pürüzlülük Bilgileri

Arazi yüzeY pürüzlülüğünün değişmesi yüzeY sür-tünme karakteristiklerini ve dolayısıyla hız profilini değiştirmektedir. Arazi üzerinde esen serbest rüz-garı tespit edebilmek için santral sahası ve çevresi üzerinde bulunan bitki örtüsü, küçük yükseklikler vb. için uygun pürüzlülük katsayıları belirlenerek sınıflandırılmalı ve sayısallaştırılmış harita üzerine işlenmelidir. Bir alanın yüzeY pürüzlülüğü, bu alan üzerindeki pürüzlülük elemanlarının boyutları ve alan içindeki dağılımına bağlı olmaktadır. Karasal alanlar için bitki örtüleri, göller, yerleşim yerleri, doğal arazi yapıları tipik pürüzlülük elemanlarıdır. Bu pürüzlülük elemanları, rüzgar enerjisi potansiyel belirleme çalış-malarında 4 değişik pürüzlülük sınıfıyla tanımlanır. Bir arazinin yüzeY pürüzlülüğü Z_0 (m) pürüzlülük uzunluğu parametresi ile belirtilir. Z_0 pürüzlülük uzunluğu 0.0001 ile 1.0 arasında değişmekte olup yoğun yerleşim birimleri için 1.0 ve su yüzeYleri için 0.0001 olarak alınır.



Şekil 1. Pürüzlülük tanımlama gülü

Pürüzlülüğü modellemek için sektörel (yönlere göre) pürüzlülük değişimi dikkate alınır. Genelde 12 sektör kullanılır ve merkezi RGi olmak üzere

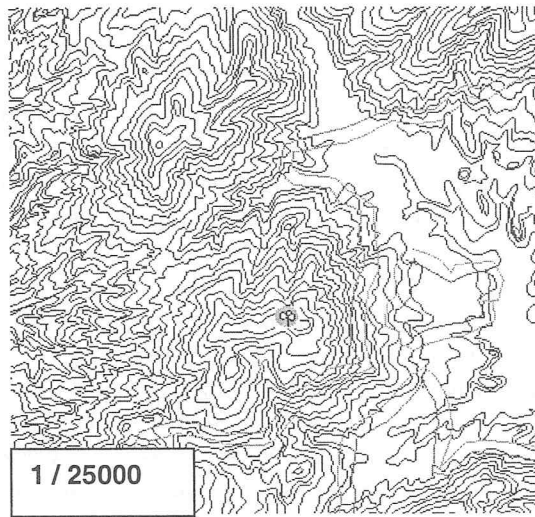
345°-15° arası 0° (N), 15°- 45° arası 30° (NNE) olacak şekilde düzenlenir. Pürüzlülük değerlerinin kullanılabilmesi için 1/25 000 ölçekli harita üzerinde toplam 12 sektör için ayrı ayrı pürüzlülük uzunlukları belirlenmeli veya sayısal harita üzerine arazi pürüzlülük bilgileri işlenmelidir. Bu çalışmanın sadece 1/25 000 ölçekli harita üzerinde yapılması uygun değildir. İlgili santral sahasına bizzat gidilip arazi yüzeY yapısı yerinde incelenmelidir. Şekil 1'de örnek bir pürüzlülük tanımlama gülü gösterilmektedir.

3.4. Topoğrafya Bilgileri

Topoğrafya rüzgarın yönü, hızı ve dağılımında önemli bir rol oynar. Dağ silsileleri, tepeler ve kayalıklar rüzgar profilini büyük ölçüde etkiler. Dağ silsilelerinin denize paralel, hakim rüzgar yönüne dik, orta eğimli (10°-22°) ve özellikle çıplak olduğu sahalarda enerji üretimi için uygun sahalardır.

Zirvede rüzgar hızı, eğim ve dağ grubunun büyüklüğüne bağlı olarak artar. Bu nedenle, tepelerin hakim rüzgar yönüne göre üst-ön kısmı tesis için uygundur. Fakat tepenin üst-arka kısmı türbülans nedeniyle göz önüne alınmamalıdır.

Rüzgar enerjisi uygulamaları için seçilen santral sahasını temsil edecek 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar temin edilmeli ve sayısallaştırılmalıdır. Şekil 2'de örnek bir sayısallaştırılmış topoğrafik harita verilmektedir.



Şekil 2. Sayısallaştırılmış topoğrafik harita

3.5. Alansal Rüzgar Atlas İstatistiklerinin Hesaplanması

RGİ'nden elde edilen noktasal rüzgar hız ve yön verileri, istasyon etrafındaki yakın çevresel engeller, arazi yüzey pürüzlülüğü ve topoğrafya bilgilerinin birlikte değerlendirilmesiyle çalışma alanının rüzgar atlası elde edilir. Rüzgar atlas bilgileri; yakın çevresel engeller, arazi yüzey pürüzlülüğü ve topoğrafyanın noktasal bazda ölçülen rüzgar verilerine olan etkilerinin dikkate alındığı ve standart 5 ayrı yükseklik ile 4 ayrı pürüzlülük sınıfı için alansal istatistiksel rüzgar bilgi dosyasıdır. Bu bilgi dosyası, ölçüm noktası için yakın çevresel engeller, arazi pürüzlülüğü ve topoğrafik yapı etkilerinden arındırılmış gerçek rüzgar hız ve yön bilgilerini içerir. Rüzgar atlası istatistiksel bilgileri ile ölçüm seviyesinden daha yüksekteki seviyeler için enerji yoğunlukları hesaplanabilmekte ve teknik özellikleri belirlenen rüzgar türbinleri için enerji üretim miktarları hesaplanabilmektedir. Ayrıca, yakın çevresel engellerin, arazi yüzey pürüzlülüğünün ve topoğrafyanın rüzgar enerjisi gözlem istasyonlarında ölçülen rüzgar hız ve yön değerleri üzerindeki sektörel etkilerinden yola çıkarak optimum türbin hub yüksekliği tespit edilebilmekte ve ortalama rüzgar hızları ile ortalama enerji yoğunluklarının yükseklikle değişim miktarı hesaplanabilmektedir. Ölçülen rüzgar verilerine orografyanın etkisi ve ortalama rüzgar hızları ile ortalama enerji yoğunluklarının yükseklikle değişimi örnek olarak Tablo 5'de verilmektedir. Burada, RGİ civarında engel sınıfına giren herhangi bir fiziksel nesnenin olmadığı kabul edilmiştir.

Tablo 5'den görüleceği üzere 10 metre yükseklik için ortalama rüzgar hızı (U) ve ortalama enerji yoğunluğu (E) sırasıyla 5.5 m/s ve 230 W/m² iken bu değer 50 metre yükseklikte 7.1 m/s ve 443 W/m² değerine çıkmaktadır. Ayrıca, 10 metre ölçüm yüksekliği ve 30° sektöründe orografyanın rüzgar hızlarına olan etkisi %5.1 ve rüzgar yönüne olan saptırıcı etkisi -3° mertebesindeyken 50 metrede bu etkiler sırasıyla %3.2 ve -1° değerine düşmektedir. Bu etkilerin minimum olduğu yükseklikler türbin hub yüksekliği için ideal yüksekliklerdir.

Tablo 5. Ölçülen rüzgar verileri üzerine orografyanın etkileri, rüzgar hızı ve enerji yoğunluğunun yükseklikle değişimi

10.0 m a.g.l.

Sect	Orografi	A	k	%	E%	
0	9.3%	-1°	6.0	1.85	13.2	10.8
30	5.1%	-3°	7.9	1.94	25.8	46.4
60	-0.5%	-2°	7.4	2.19	18.3	23.9
90	-1.2%	1°	4.5	1.21	5.0	3.8
120	3.4%	3°	2.9	1.16	2.8	0.7
150	8.8%	2°	3.8	1.80	5.0	1.1
180	11.8%	-1°	4.8	1.83	9.3	3.9
210	5.9%	-3°	5.6	2.36	10.9	5.7
240	-0.8%	-2°	5.0	1.79	4.8	2.4
270	-1.7%	1°	3.3	1.40	1.3	0.3
300	3.2%	3°	3.2	1.38	1.2	0.2
330	8.4%	2°	4.2	1.71	2.5	0.8

$$U = 5.5 \text{ m/s} \quad 6.1 \quad 1.70$$

$$E = 230 \text{ W/m}^2$$

50.0 m a.g.l.

Sect	Orografi	A	k	%	E%	
0	4.3%	0°	7.4	2.29	11.8	7.7
30	3.2%	-1°	10.1	2.16	26.3	45.8
60	0.9%	-1°	9.7	2.48	19.3	27.0
90	-0.1%	0°	5.8	1.35	5.3	3.5
120	1.0%	1°	3.7	1.42	2.6	0.4
150	3.3%	1°	4.8	2.05	4.8	0.9
180	4.6%	0°	6.5	2.02	8.6	4.4
210	3.3%	-1°	7.7	2.71	11.3	7.5
240	0.8%	-1°	5.7	1.90	5.1	1.8
270	-0.3%	0°	3.5	1.47	1.3	0.2
300	0.8%	1°	3.8	1.47	1.2	0.2
330	2.9%	1°	4.8	1.83	2.4	0.5

$$U = 7.1 \text{ m/s} \quad 8.0 \quad 1.87$$

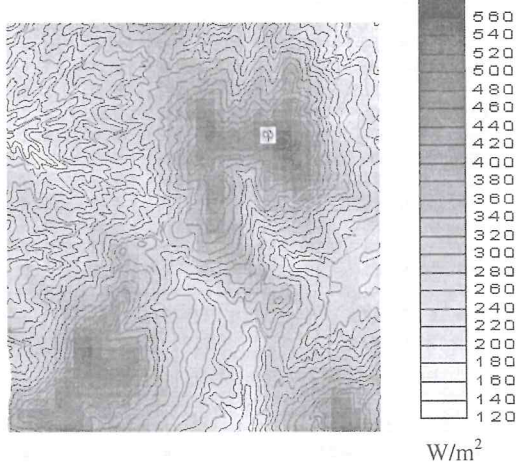
$$E = 443 \text{ W/m}^2$$

4. Alansal Enerji Yoğunluk Dağılımı

Bir rüzgar enerji santralının enerji üretim miktarının tespiti amacıyla, hesaplanan bölgesel rüzgar atlas bilgilerinden yola çıkarak, belirlenen bir yükseklik için alansal enerji yoğunluklarının verildiği renk dağılımlı harita elde edilir. Renk dağılımlı haritanın elde edilmesi amacıyla ilgili sahanın sınırları tespit edilir ve belli bir çözünürlükte, koordinat bazında istenilen yüksekliklerde enerji yoğunlukları hesaplanır. Yer seviyesinden 50 metre yükseklik için örnek bir renk dağılımlı alansal enerji yoğunluk haritası Şekil 3'de verilmiştir.

Rüzgar türbini kurulabilecek koordinatlar (noktalar) alansal enerji yoğunluk dağılımının verildiği haritalar yardımıyla kabaca tespit edilir. Bu tespitten sonra bizzat santral kurulması düşünülen sahaya gidile-

rek belirlenen yerlerin fiziksel ve teknik açılarından uygunluğuna bakılır. Koordinat tespitinde, santral sahasında birden fazla rüzgar türbini kurulacaksa türbinlerin birbirleri ile olacak etkileşimi (wake effect) de dikkate alınır.



Şekil 3. Alansal enerji yoğunluğu dağılımı

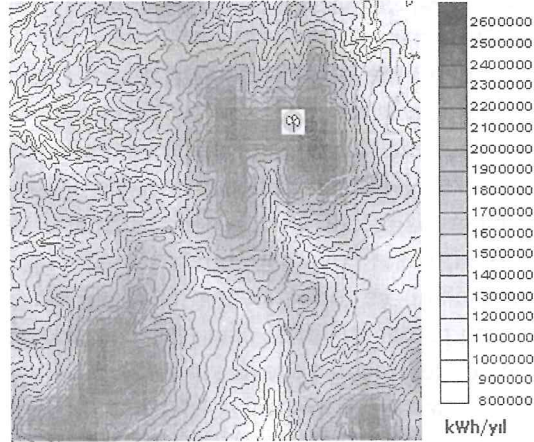
5. Rüzgar Türbini Seçimi

Rüzgar kaynağından elektrik enerjisi üretim miktarının belirlenmesi için ölçülen rüzgar verileri dikkate alınarak bölgenin rüzgar rejimi (rüzgar esme sıklığı, weibull parametreleri vb) belirlenir ve belirlenen rüzgar rejimi için en uygun rüzgar türbin güç kapasitesi tespit edilir. Seçilen rüzgar türbin modeline ait teknik değerler ve güç eğrisi imalatçı firmadan sağlanır.

Rüzgar enerjisi sektöründe ticari ortama girmiş birçok model ve kapasitede rüzgar türbinleri bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi yatırımcısı satış fiyatı, teknik özellikler, verim, garanti, türbin referansları ve özellikle bölgenin rüzgar rejimi gibi kriterleri dikkate alarak en uygun rüzgar türbinini seçmelidir.

6. Alansal Enerji Üretim Miktarının Tespiti

Alansal enerji yoğunluk dağılımının elde edilmesinde izlenen yolun aynısı izlenerek ve seçilen rüzgar türbini güç eğrisi kullanılarak santral sahası içinde seçilen grid noktalarında üretilecek brüt yıllık enerji miktarı hesaplanır ve alansal enerji üretim miktarının verildiği renk dağılımlı harita elde edilir. Hub yüksekliği 50 metre olan 750 kW anma gücündeki bir adet rüzgar türbini için alansal enerji üretim miktarına ait örnek renk dağılımlı harita Şekil 4'de verilmektedir.

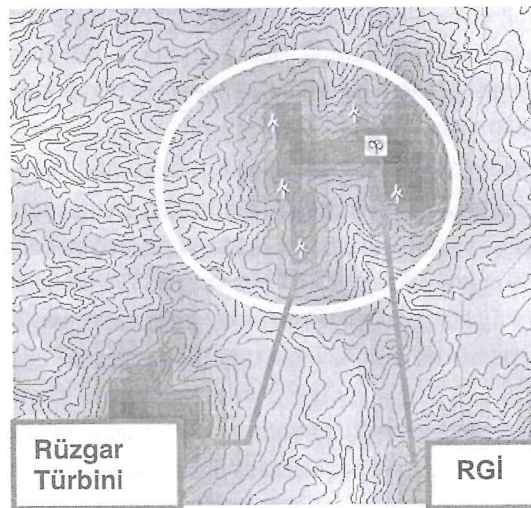


Şekil 4. Alansal yıllık brüt enerji üretimi dağılımı

Alansal yıllık brüt enerji üretim miktarları noktasal bazda da tablo halinde elde edilebilir.

7. Rüzgar Enerji Santralının Tasarımı ve Enerji Üretim Miktarının Hesaplanması

Rüzgar türbinlerinin kurulacağı noktalar (koordinatlar), alansal enerji yoğunluğu ve yıllık brüt enerji üretiminin verildiği renk dağılımlı haritalar yardımıyla kabaca tespit edildikten sonra santral sahasına gidilip belirlenen noktalara rüzgar türbini kurmak için fiziksel engellerin olup olmadığı olmadığı araştırılmalıdır. Bu arada, birden fazla rüzgar türbininin kurulması düşünülüyorsa bu türbinlerin birbirleriyle olan etkileşimi de dikkate alınmalı ve



Şekil 5. Örnek bir rüzgar enerji santrali

nihai noktalar (koordinatlar) belirlenmelidir. Rüzgar türbinlerinin kurulacağı kesin noktalar, rüzgar atlas bilgileri, rüzgar türbini güç eğrisi ve türbin hub yüksekliği verileri birlikte kullanılarak herbir türbinin ve santralin üreteceği enerji miktarları hesap edilir. Tasarımı yapılmış örnek bir rüzgar santrali Şekil 5'de gösterilmektedir.

Rüzgar enerji santrali tasarlandıktan sonra herbir rüzgar türbininin ve rüzgar santralının toplam enerji üretim miktarları hesaplanır (Tablo 6).

Tablo 6. Rüzgar türbinlerinin ve santralin toplam enerji üretim miktarları

Türbin No	Brüt Üretim	Net Üretim	Kayıp (%)	R.Hızı (50 m) (m/s)
1	1.723	1.720	0.2	6.64
2	1.787	1.780	0.4	6.77
3	1.695	1.688	0.4	6.58
4	1.763	1.757	0.4	6.73
ORT.	6.968 MWh/Yıl	6.945 MWh/Yıl		

Rüzgar türbinlerinin kurulduğu yerleri (koordinatları) üzerinde yapılacak küçük oynamalarla enerji üretim miktarları optimize edililerek maksimum enerji eldesi sağlanabilir.

8. Sonuç

Bir rüzgar santralının ekonomik ve teknik açılardan başarıya ulaşmasının temelinde sağlıklı verilere dayalı olarak hesaplanan enerji üretim miktarları gelmektedir. Bir alandaki rüzgar enerji potansiyelini maksimum düzeyde değerlendirmek için kısa zamana sıkıştırılmamış, detaylı fizibilite çalışmaları yapılmış rüzgar enerjisi santral projeleri üretilmelidir. Bu durum hem yatırımcının önünü görmesine hem de ülke kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanılmasına yardımcı olacaktır.

9. Kaynaklar

1. "Wind Resource Assessment Handbook", AWS Scientific, Inc., April 1997.
2. "Wind Energy Project", RetScreen Co.
3. <http://www.aresenerji.com>
4. <http://www.youthforhab.org.tr>
5. NEG-MICON Türbin kataloğu
6. WAsP Kullanım Kitapçığı
7. ÇALIŞKAN, M. "Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve sergisi, 12-13 Ekim 2001, Kayseri
8. "Rüzgar Enerjisi", EİE Yayını, 1992, Ankara
9. AKKAŞ, A. "Rüzgar Çiftlikleri Planlama Esnasında Önemli Kriterler ve Aşamalar", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 18-20 Ocak 2001, İzmir
10. <http://www.emsolar.ee.tu-berlin.de> ■

MEASNET STANDARTLARINA GÖRE YAPILAN CUP ANEMOMETRE KALİBRASYON YÖNTEMİ

Murat DURAK
Meteoroloji Mühendisi,
TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası
Enerji Komisyonu Üyesi

Özet

Rüzgar santral projesi planlamasında bütün riskler minimuma indirilmeye çalışılmaktadır. Bunun için birçok yatırımcı MEASNET kalibrasyonlu anemometreleri kullanmaktadır. Rüzgar ölçümü ve güç eğrisi ölçümünün doğruluğu anemometre kalibrasyon belgesinin kalitesine bağlıdır. 1990'lı yıllarda yapılan round robin testleri ± 3 hata payına sahipken; MEASNET standartlarında bu değer ± 0.5 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda aynı rüzgar hızında farklı anemometre markalarıyla değişik sonuçlar bulunmuştur. Rüzgar hızında %4'e civarındaki değişimler sonucunda enerji üretiminde %10'a varan sonuçlar bulunmuştur. Bu çalışmada MEASNET standartları ve cup anemometre kalibrasyon prosedürü anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: MEASNET, kalibrasyon, cup anemometre

Abstract

In the planning stage of wind power project a risk assessment is required minimizing all risk related to the wind farm financing. The accuracy of a wind measurement depends largely on the quality of the anemometer calibration. A round robin test in the nineties has shown deviations up to ± 3 in wind speed. The MEASNET accepted calibration institutes were in the range of ± 0.5 . This paper describes MEASNET and its cup anemometer calibration procedure.

Key Words: MEASNET, calibration, cup anemometer

1. Giriş

MEASNET (MEASuring NETwork Institutes of European) 7 Kasım 1996 tarihinde 3 üye ile kurulan ve Avrupa'daki rüzgar ölçüm ve diğer teknik konularda danışmanlık yapan enstitüleri kapsayan bir akreditasyon kuruluşudur [1]. Rüzgar enerjisi projeleri ölçüm sistemi tamamlandıktan ve gerekli izinler alındıktan sonra finansman aşamasına gelmektedir. Avrupa'da bulunan bir çok finans kuruluşu, yapılan ölçümün güvenilir olduğundan emin olmak için MEASNET standartlarını aramaktadır [2]. Yapılan çalışmalarda, aynı rüzgar hızında farklı anemometre markalarıyla değişik sonuçlar bulunmuştur [3]. Rüzgar hızında %4'e civarındaki değişimler sonucunda enerji üretiminde %10'a varan sonuçlar bulunmuştur [1 ve 3]. İzleyen sayfalarda MEASNET standartları ve kalibrasyon prosedürü anlatılacaktır.

2. Measnet

MEASNET, şu anda 8 üyeye sahiptir. Rüzgar enerjisi pazarında bankalar, kreditorler ve proje geliştiricile-

rin ihtiyaç duydukları akredite işlemleri ve teknik danışmanlık üzere kurulmuştur [4]. Uluslararası banka ve kreditorler tarafından MEASNET standartlarına göre yapılan kalibrasyon ve diğer mühendislik hizmetleri kabul görmektedir. Tablo 1, şu anki MEASNET üyeleri ile akredite edebilecekleri işlemleri göstermektedir

Tablo 1'den de görüleceği gibi, Yunanistan'da bulunan CRES ve Almanya'da bulunan DEWI rüzgar ölçümleri ile ilgili olarak bütün işlemleri akredite edebilmektedir.

3. Anemometre Kalibrasyonu

Kalibrasyon, referans şartlarına göre herhangi bir ölçüm cihaz veya sisteminin doğruluğunun test edilmesi, doğrulanması; eğer doğru çalışmıyor ise hata payının belirlenerek yüzde oranı olarak ifade edilmesi işlemidir. Anemometre kalibrasyon sertifikaları, Avrupa rüzgar türbinleri standart raporuna göre verilmektedir [5]. Kalibrasyon prosedürünün 3 temel bileşenleri:

- Farklı rüzgar türbinleri,
- Belirsizlik hesaplamalarında kullanılan ISO rehberi,
- Kullanılan enstrümanların güvenilirliği

olarak sayılmaktadır.

3.1. Anemometre Kalibrasyonu İçin Gerekli Şartlar

Anemometre kalibrasyonu için aşağıdaki malzemelerin kullanılması zorunludur:

1. Rüzgar tüneli,
2. Kullanılan bütün ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarının olması,
3. ISO 3966 standartlarına uygun Pitot tüpleri [6],
4. Her kalibrasyon öncesi kullanılan bütün cihazların hazırlanarak bunun için ilgili enstitüde kullanılan referans anemometre ile test edilmesi,
5. Akış kalite ölçümünün yapılması,
6. Kalibrasyonun birkaç kez denemesi.

Rüzgar tüneli yukarıda sayılan maddeler arasında en önemli olanıdır. Şekil 1, temsili ve basitçe bir rüzgar tünelinin resmini göstermektedir. Anemometre şekilde görülen test kısmına konarak testi yapılır. Doğru bir anemometre kalibrasyonu yapabilmek için rüzgar tünelinde aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır:

1. Anemometre rüzgar tüneli içindeki akış alanından fazla etkilenmemelidir,
2. Ölçümler boyunca anemometre rüzgar tüneli blokajı veya sınır etkilerine maruz kalacaktır. Blokaj oranı, anemometre rüzgar cephe alanının

Tablo 1. MEASNET'e üye olan kuruluşlar ve akredite özellikleri (*: yapmaktadır, -: yapmamaktadır).

Enstitü/Kuruluş Adı	Anemometre Kalibrasyon	Güç Performansı	Gürültü Emisyonu	Güç Kalitesi
CRES	*	*	*	*
DEWI GmbH	*	*	*	*
ECN	-	*	*	başvuru aşamasında
RISØ	-	*	başvuru aşamasında	başvuru aşamasında
WINDTEST Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH	*	*	*	*
WINDTEST Grevenbroich GmbH	-	*	*	-
WIND-consult GmbH (*)	*	*	-	-
IDR/UPM (*)	*	-	-	-

toplam test alanına oranı olarak tanımlanır. Açık test alanında 0.1, kapalı test alanında da 0.05'i geçmemesi gerekir.

3. Anemometre önündeki akış uniform olmalıdır. Akış uniformluğu anemometre kalibrasyona başlamadan önce sağlanmalıdır.

Akışın uniformluğu hız duyarlı sensörler olan pitot tüpleri, Laser Doppler hızmetre ve hız profillerinin yatay ve dikey yönlerinden bulunabilir. Cup anemometreler (Şekil 2), yatay rüzgar gradyanlarına karşı çok hassastır. Bu yüzden yatay rüzgar gradyanı iki adet Pitot tüpü ile test edilmelidir. Uniform akış değeri %0.2 olmalıdır.

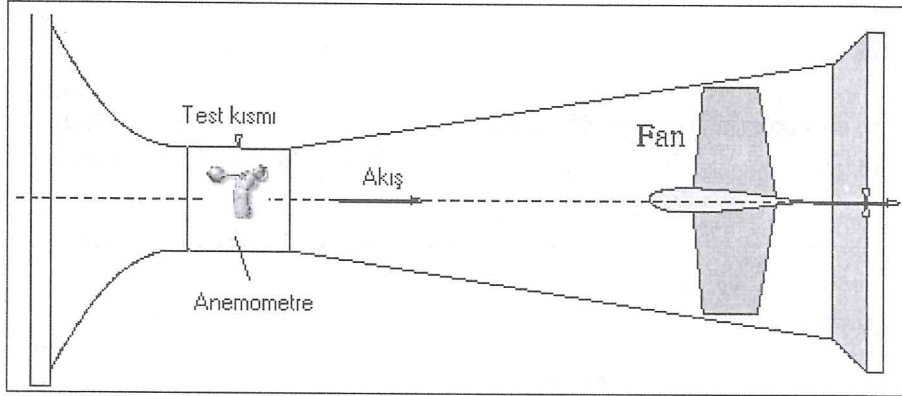
Anemometrenin aksial türbülans yoğunluğu %2'den aşağı olmalıdır. Rüzgar tüneline test her bir anemometre için 5 kez yapılmalıdır. Kalibrasyon ortalama olarak 10 m/s'de %1 lik hatayı geçmemelidir.

3.2 Enstrümantasyon Başlama (Set-Up) Prosedürü

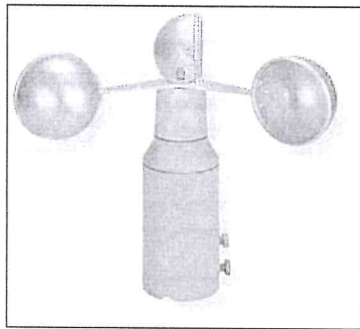
Veri toplama sistemi 10 m/s aralıklarla ve 50 bitlik bir sistemden oluşmalıdır. Kalibrasyon boyunca anemometre akış bozulmalarından (flow distortion) etkilenmemesi için tüpün en üst kısmına monte edilir. Pitot tüpü, rüzgar tüneline test kesitine dik olarak yerleştirilir ve sapma 1°'yi geçmemelidir. Anemometre test kesitine mümkün olabilecek en dik şekilde yerleştirilmelidir. Şekil 3, bütün enstrümantasyonu tamamlanmış ve kalibre edilmeye hazır olan kalibrasyon sistemi görülmektedir.

4. Kalibrasyon Prosedürü

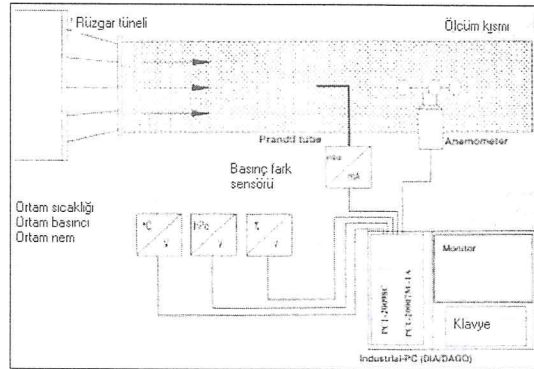
Anemometre kalibrasyonuna başlamadan 5 dakika önce çalıştırılmaya başlanmalıdır. Kalibrasyon 4 - 16 m/s arasında 1 m/s aralıklarla kalibre edilmelidir. Örnekleme frekansı, en az 30 sn arasında ve 1 Hz frekansında olmalıdır. Zaman aralığı düşük çözünürlükte olmalıdır.



Şekil 1. Basit olarak rüzgar tüneli.



Şekil 2. Cup anemometre.



Şekil 3. Kalibrasyona hazır sistem.

lüklü anemometrelerde artırılabilir. Ortalama hava yoğunluğu ρ , aşağıdaki formülle bulunur:

$$\rho = \frac{1}{T} \left[\frac{B}{R_0} + \phi P_w \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \right]$$

Formülde kullanılan;

B: barometrik basınç (Pa),

T: mutlak sıcaklık (°K),

R_0 : kuru havanın gaz sabiti (287.05. J/kgK),

R_w : su buharının gaz sabiti (461.5 J/kgK),

P_w : buhar basıncı,

$$P_w = 0.000205 \exp(0.0631846 T)$$

Anemometredeki ortalama akış hızı, ortalama basınç diferansiyeli ΔP_{ref} hesaplanarak aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\bar{v} = k_b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{2k_c}{c_h} - \frac{\Delta P_{ref,i}}{\rho}}$$

formülde kullanılan;

c_h : Pitot tüpü düşü katsayısı (head coefficient),

k_c : rüzgar tüneli kalibrasyon faktörü,

k_b : blokaj düzeltme faktörü,

n: örnekleme aralığındaki veri sayısı,

R_A : kuru havanın bağımsız (individual) gaz sabiti (287.05 J/kgK),

Blokaj düzeltme faktörü, genellikle Maskell teoremi [7], kullanılarak bulunur. Bununla beraber, genellikle kapalı rüzgar tünellerinde 1/4, açık rüzgar tünellerinde ise, 1/6 olarak alınmaktadır.

4.1. Kalibrasyon Rapor Formatı

Kalibrasyon testi yapıldıktan sonra iki türlü doküman hazırlanması gerekmektedir: Test raporu ve kalibrasyon raporu. Test raporunda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- Rüzgar tünelinin kısa tanıtımı,

- Rüzgar tüneli içinde bulunan Pitot tüpü ve anemometrenin tam pozisyonunu gösteren düşey kesit şekiller,

- Akış kalite ölçümleri,

- Blokaj düzeltme faktörü,

- Enstrümantasyon sertifikaları,

- Ölçüm prosedürünün kısaca tanıtımı,

- Veri değerlendirme prosedürünün kısaca tanıtımı,

- Belirsizlik analizinin nasıl yapıldığı,

gibi konuların bulunması gerekmektedir.

Kalibrasyon raporunda ise,

- Kalibre yapan enstitünün adı ve adresi,

- Kalibre işlemi yapan kişilerin isim ve imzaları,

- Kalibrasyonu yaptıran şirket adı ve adresi,

- Anemometre tipi ve seri numarası,

- Tüp çapı ve montaj sistemi,

- Rüzgar tünelinin adı,

- Kalibrasyon boyunca çevre şartları (hava sıcaklığı, hava yoğunluğu, basınç ve nem),

- Regresyon parametreleri,

- Kalibrasyon sistemini gösteren temsili bir fotoğraf,

bilgilerinin bulunması gerekmektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Rüzgar enerjisi yatırımlarında rüzgar hızının doğru bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde ölçüm noktalarında kullanılan anemometrelerin büyük bir çoğunluğu kalibre edilmiştir. Proje finansman aşamasına gelindiğinde yatırımcılar bu sorunla yüz yüze gelecekler ve kreditorler tarafından projenin değerlendirilmesi istenen bağımsız müşavir kuruluşlar da kalibrasyonlu anemometre ile ölçümlerin tekrarını isteyecektir. Bu durum, yatırımcılara en az 1-1.5 yıl arasında bir kayba mal olacaktır. Bu yüzden, ölçümlere başlanırken kalibrasyonlu cihazlarla başlamak gerekmektedir. Rüzgar elektrik santrallerinin ekonomisini yıllık üretim miktarı belirlemektedir. Doğru bir yıllık üretim tahmininin yapılması ise, ancak uluslararası akredite edilmiş bir kuruluşun kalibre ettiği cup anemometreler kullanılmalıdır.

6. Kaynaklar

1. Klug, H., Busche, R., Meillinghoff, H., Varlik, M., "Kalibration und Klassifizierung von Anemometern: Was ist ein Klasse1- Anemometer", DEWI Magazin, Şubat 2003.
2. Lockhart, D., "Uncertainties in Anemometer Calibration Methods", Proceedings of the European Wind Energy Conference, Dublin, 1997.
3. Albers, A., "Open Field Cup Anemometry", Proceedings of the European Wind Energy Conference, Copenhagen, 2001.
4. Cup Anemometer Calibration Procedure, Version 1, Almanya 1997.
5. European Wind Turbine Standards, European Commission, Report EUR 16898 EN, 1996.
6. ISO 3966, Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits, Velocity Area Methods Using Pitot Static Tubes.
7. Maskell, E.C., A Theory of the Blockage Effects on Bluff Bodies and Stalled Wings in an Enclosed Win Tunnel, 1965. ■

İLERİ HİDROLOJİK TAHMİN YÖNTEMLERİ

Hamza ÖZGÜLER

Meteoroloji Y. Müh.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

Giriş

Taşkın ve kuraklık olayları günümüzde daha sıklıkla meydana gelmekte, yerleşim alanlarının taşkına maruz olma durumları da giderek artmaktadır. Bu durum, meteoroloji bilimini daha önemli hale getirmektedir.

Diğer yandan başta seller olmak üzere meteorolojik afetlerden meydana gelen zararların miktarı her geçen gün katlanarak çoğalmaktadır. Söz konusu artışın nedenleri arasında aşağıdaki hususlar sayılabilir:

- Taşkın alanlarında artan nüfus,
- Şehirleşme,
- Arazi kullanımında ortaya çıkan değişiklikler,
- Aşırı (*extrem*) yağışlar olaylarındaki artışlar,

Dünya nüfusunun %25'i halen doğal afet riski yüksek olan alanlarda yaşamaktadır. Dolayısıyla meteorolojik kaynaklı doğal afetlerin, şiddet ve frekanslarını daha da artırmış olarak gelecekte daha fazla sayıda insanı etkilemeleri beklenmektedir. Bu nedenle taşkın tahmin sistemlerine daha çok ağırlık verilmesi gereği kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Taşkın tahmin ve uyarı sistemleri

Güvenilir bir taşkın tahmin ve uyarı sistemini toplumun hizmetine sunabilmek için hidrolojik ve meteorolojik veriler, yazılım ve donanımlar ile eğitilmiş tahmin uzmanlarına ihtiyaç vardır.

Bir taşkın tahmin sistemi, sistemin kurulduğu bölgede yaşayan toplumun uyarı sonrasında hazırlıklarını yapabilmelerine yetecek ölçüde zaman aralığına sahip olmalıdır. Taşkın zaman aralığı (*lead-time*) süresi büyüdükçe, mal ve can kaybı o ölçüde azalmaktadır.

Tahminlerin, halkın güvenini bozmayacak ölçüde doğru yapılması önemlidir. Doğru çıkmayan tahminler, halkın gözünde güvenilirliğini kaybedeceğinden, gerekli hazırlıkların uygun bir şekilde yapılmasını da zorlaştırabilmektedir.

Bugüne kadar ki edinilen deneyimler ışığında, taşkın tahmini, uyarı ve eylem aşamalarının uyumlu bir birlikteliğinin sağlanması suretiyle, taşkın tahmin sistemleri aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır:

- Verinin toplanması ve iletimi,
- Hidrolojik tahmin,
- Tahminlerin kullanıcıya aktarılması,
- Karar verme ve karar destek aşaması,
- Karşı eylemler,

Geçen 10 yıllık süre zarfında taşkın tahminleri açısından çok önemli teknolojik ilerlemeler olmuştur. Ancak, tahmin ve uyarı çalışmalarında yeterli başarıyı sağlayabilmek için, geliştirilen söz konusu veri sistemleri ve modellerin belirli bir sistem dahilinde birleştirilmesine ihtiyaç vardır.

Hidro-meteorolojik verilerin toplanması ve iletilmesi

Hidro-meteorolojik verilerin toplanmasında günümüzde en çok yararlanılan teknolojiler otomatik

veri sistemleridir. Taşkın tahminlerinde, günümüz ihtiyaçlarına cevap verebilmek için, klasik gözlem ağı yerine anlık gözlem yapabilen gözlem ağına ihtiyaç vardır. Bu niteliğe sahip otomatik gözlem istasyonları ve algılayıcılar giderek artan bir hızla çoğalmaktadır.

Otomatik veri sistemleri şu elemanlardan oluşur:

- Meteorolojik ve hidrolojik algılayıcılar,
- Radyo ileticisi,
- Bilgisayar (veri depolama),
- Alıcı istasyonu (verilerin alınması ve işlenmesi),

Hidro-meteorolojik verilerin geniş bir ölçekte gözlenmesi ve sağlanan bilgilerin en hızlı yoldan iletilmesi hidrolojik tahmin yapanlar kadar, su kullanıcıları için de büyük önem arz etmektedir. Aşağıda, bu alanda günümüzde kullanılan teknolojiler hakkında kısa bilgiler verilmektedir:

- Radarlar oldukça etkili ve yaygın, ancak bir o kadar da pahalı gereçlerdir. Radar, geniş bir alan üzerinde gerçekleşmesi beklenen yağışın hesabında kullanılmaktadır. Radar gözlemine dayalı yağış tahmini uygulamaları, taşkınların, özellikle ani taşkınların tahmininde önemli bir araç oluşturur. Radarın yağış ölçerlerle birlikte kullanılması, yüksek çözünürlüğe sahip yağış tahminlerinin yapılmasına imkan sağlar. Yapılan yağış tahminleriyle daha sağlıklı taşkın tahminlerinde bulunmak mümkün olmaktadır.
- Hidrolojik ve meteorolojik tahminlerde uyduların kullanımı giderek artmaktadır. Uydu yardımıyla uzaktan veri temin edilmesi ve bu verilerin kullanılmasıyla hidrolojik tahminlerde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Diğer yandan, uydu teknolojisi yardımıyla, yağış, kar örtüsü, bitki tipi, arazi kullanımı, buharlaşma, toprak nemi ve taşkın sırasında su altında kalan alanların belirlenmesinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Uzaktan temin edilen bu tür bilgilere, özellikle, yer gözlem ağılarının çok kısıtlı olduğu ancak su temini ve taşkın tahmininin önem arz ettiği alanlarda daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Uydu ile yağış tahminleri Dünyanın bir çok ülkesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olup, veri temininin çok zor olduğu alanlar için oldukça düşük maliyette taşkın tahmininin yapılması mümkün olmaktadır.

Sellerin tahmini

Taşkın tahmininde kullanılmak üzere çok sayıda model mevcuttur. Bazı modeller sadece yağış akış ilişkisini kullanarak ve bir öteleme eşitliğinden yararlanarak tahmini akış değerleri verirken; bazı modeller ise çok daha karmaşık yapıya sahiptirler. Nehir havzasının hidrolojik, iklimsel ve jeomorfolojik koşulları ile havza içinde taşkına maruz alanlarda yerleşik halkın gereksinimleri model çözümünün gelişmişlik seviyesini belirlemektedir.

Bir nehir havzasında suyun akış miktarını ve seviyesini tahmin edebilmek için hidrologistler yağış-akış modelleriyle birlikte öteleme modellerini de kullanırlar. Söz konusu modeller için ihtiyaç duyulan veriler en basit haliyle su seviyesi değerleridir. Ancak, gelişmiş modeller çok daha fazla sayıda veriye ihtiyaç duyarlar. Anlık (gerçek zamanlı) yağış bilgileri en başta gelen model girdisidir. Diğer parametreler arasında toprağın nem içeriği, sıcaklık, akım, havadaki nem oranı, buharlaşma, göllerde ve depolama yapı su seviyesi değerleri sayılabilir. Yağışın kar şeklinde düşmesi durumunda kar erime modelleri kullanılmaktadır. Genel olarak ifade etmek gerekirse, yağış akış modelleri, tek parametrelili olabileceği gibi çok parametrelili olarak da kullanılmaktadırlar. Taşkın tahmininde yapay sınır ağlarının kullanımı ise günümüzde başarıyla uygulanan diğer bir modelleme yaklaşımıdır.

Son 20 yıl içinde, model teorilerinin geliştirilmesi ve model performansının artırılması konusunda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Model performansı aşağıdaki durumlara göre değişiklik göstermektedir:

- Modellenen nehir havzasının özellikleri,
- Modeli kalibre edebilmek için yeterli verilerin bulunup bulunmadığı,
- Modeli uygulayan hidrologistin modelleme deneyimi,

Model tekniklerinin uygulanmasında, veri temini genelde sınırlayıcı bir faktör olarak kabul edilmektedir. Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO)'nın HOMS istemi, bu gereksinimlere uygun modellerin temini konusunda kolaylıklar sunmaktadır.

Verilerdeki belirsizliği göz önünde bulunduran olasılık modelleri, su kaynakları yöneticilerinin su kullanımları konusunda daha objektif kriterler aramalarından dolayı, günümüzde daha fazla önem arz etmektedir. Olasılık modelleri geleceğe yönelik belirsizlikleri tayin ederek, gelecekte gerçekleşmesi

beklenen akış ve su seviyelerinin, hidro-klimatik koşullar hakkında temin edilen tarihi bilgiler yardımıyla, stokastik anlamda bir belirsizlik zarfı kapsamında ifade edilmesini sağlarlar.

Günümüzde, hidrolojik modellerin kalibre edilmesi ve model parametrelerinin belirlenmesi, daha hızlı ve daha objektif koşullarda gerçekleşmektedir. Ayrıca, bilgisayar ve yazılım teknolojisindeki ilerlemeler, model parametrelerinin daha hızlı ve daha doğru tayin edilmesi konusunda hidrolojistlerin daha etkili olmalarını sağlamış bulunmaktadır. Diğer yandan, GIS verilerini kullanarak, model parametrelerinin belirlenmesine ilişkin teknikler konusunda sürekli ilerleyen araştırmalar da hidrolojik modellerin günümüzde ölçüm yapılamayan havzalarda bile oldukça etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

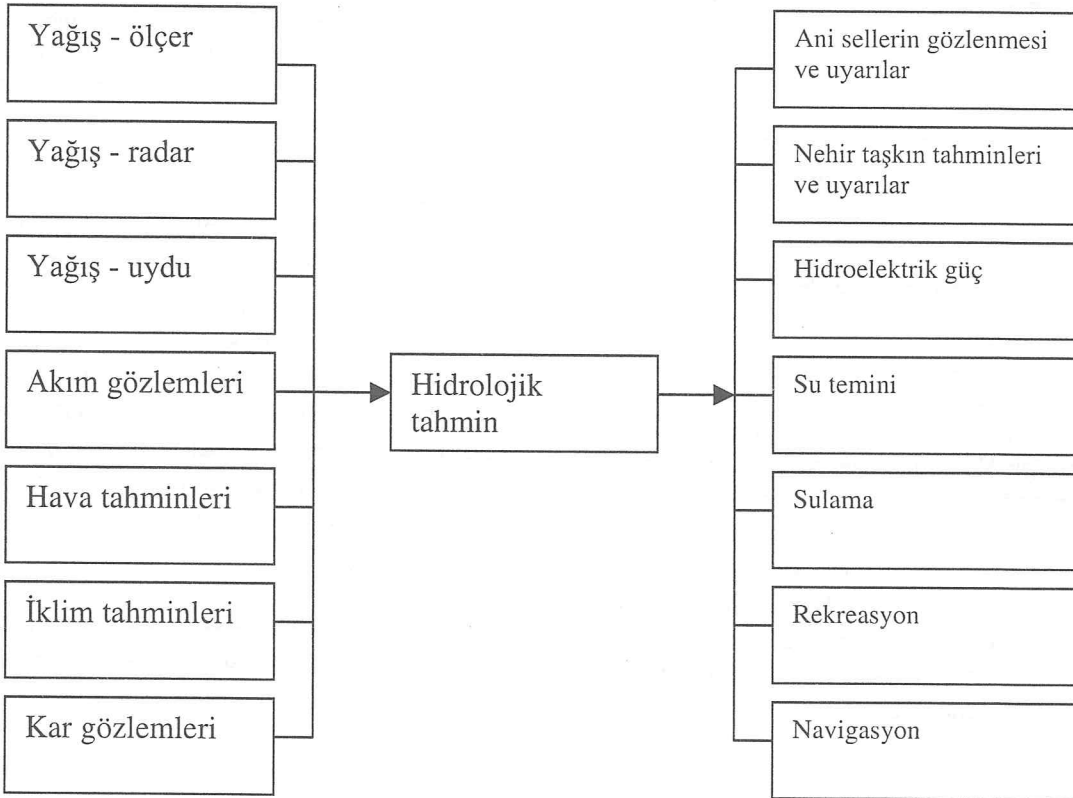
Hidrolojik tahmin sistemleri

Son 10 yıl içinde, veri tabanı programlarının hidrolojik modellerle birleştirilmesi yönünde önemli gelişmeler

sağlanmıştır. Hidrolojik tahmin sistemleri, hidrolojik ve meteorolojik veriye ihtiyaç duyar ve bu verileri hidrolojik modellerde kullanılmak üzere hazır hale getirir. Şekil 1'de, birleştirilmiş hidrolojik tahmin sistemlerinde kullanılan veriler ile bu verilerden yararlanarak hazırlanan çıktıların şematik olarak gösterimi verilmektedir.

Meteorolojik, iklimsel ve hidrolojik modeller son 10 yıl içinde önemli gelişmeler göstermiştir. Küresel ölçekte tahmin yapmak amacıyla geliştirilen sayısal hava tahmin modellerindeki gelişmeler daha yüksek çözünürlükte ve daha yüksek doğrulukta yağış tahminlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Dünyada giderek yaygınlaşan bu tür büyük ölçekli modeller hidrolojik tahmin sistemlerine girdi bilgilerini de hazırlamaktadırlar. Ancak, burada vurgulanması gereken bir husus, yağış tahminlerindeki doğruluk derecesinin, hidrolojik modellerin kısa vadeli tahmin yapabilmeleri bakımından çok önemli olduğu hususudur.

Şekil 1. Meteorolojik ve iklimsel sistemlerin taşkın tahmini amaçlı olarak hidrolojik sistemlerle birleştirilmesi (Barrett, C. "Flood forecasting and response", 2003, NWS, USA)



Verilerin ve tahminlerin kullanıcılara ulaştırılması

Veriler ve tahminler kullanıcılara ne kadar hızlı dağıtılsa, afete karşı eylemler o kadar hızlı yapılabilir. Böylece daha fazla hayat kurtarılmakta, can ve mal kaybı önenebilmektedir.

Önceleri, iletişim genellikle telefon hatlarına bağlı olduğundan, taşkın anında bu telefon hatları kopması nedeniyle, haberleşmeye en çok ihtiyacın olduğu bir zamanda iletişim sorunu yaşanabilmektedir. Bugün ise, veriler iletimi, tahminler ve uyarılar uydu aracılığıyla dağıtılmaktadır. Bilindiği üzere İnternet in keşfi ile Dünya'da bir iletişim devrimi yaşanmaktadır. Halen kullanımda olan bir çok hidrolojik sistemde, veriler ve tahminler otomatik olarak İnternet sitelerine gönderilmekte ve burada toplanan bilgiler çok sayıda kullanıcıya ve kuruluşun bilgisine aktarılmaktadır.

Hidro-meteorolojik tahminlerin geleceği

Hidrometeorolojik tahmin tekniklerinde sağlanan gelişmelerle daha hassas, daha küçük ölçekli ve daha spesifik tahminlerin toplum katmanlarına iletilmesi mümkün olabilmektedir. Bundan böyle, özellikle veri temininde, modeller yardımıyla tahminlerin yapılmasında ve tahminlerin kullanıcılara aktarılmasında önemli gelişmelerin sağlanması beklenmektedir.

Otomatik veri sistemleri yaygınlaştıkça, önümüzdeki yıllarda verilerin niteliği ve niceliğinde önemli ilerlemelerin sağlanması beklenmektedir. Sevindirici bir gelişme olarak, günümüzde giderek daha fazla radara dayalı gözlem sistemleri nehirler üzerlerinde yerleştirilmektedir.

Hidrolojik modellerle ilgili olarak artan araştırma ve uygulamalar başta ani seller olmak üzere suya dayalı afetlerin tahmininde önemli gelişmelere imkan verecektir. Hem zaman ve hem de uzay ölçeğinde artan doğruluk derecesi ani sellerin tahmininde gelişmelere imkan oluşturmuştur. Ayrıca, hidrolojik model parametrelerinin belirlenmesinde GIS'in kullanılmasıyla model performanslarının gelişmesi sağlanmıştır. Diğer yandan, GIS teknikleri yardımıyla taşkına uğramış alanların daha sağlıklı olarak tespit edilmesi kolaylaşmıştır.

Sonuç

Sonuç olarak denilebilir ki, küresel ölçekte faaliyete konulan sayısal hava tahmin modellerinin yaygınlaşması ile küçük ölçekte daha iyi yağış tahminleri yapılabilmektedir. Hava tahmin modelleriyle hidrolojik modellerin bir arada kullanılmasıyla büyük nehirler için kısa süreli akım tahminleri mümkün olmaktadır.

Taşkın ve kuraklık afetleri nedeniyle giderek artan ekonomik kayıplar bir yandan şehirleşme ve bu sorunla birlikte gelişen taşkın alanlarında nüfus çoğalması, hidrolojik ekstrem olayların sayısındaki artmanın etkisiyle gelişmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde afetin etkilerinin azaltılması uluslararası topluluğun en önemli önceliği haline gelmiştir.

Günümüzde hidrolojik tahminlerde kullanılan verilerin niteliği ve niceliği olumlu yönde gelişmiştir. Uydu kullanımı ile birlikte gelişen otomatik veri sistemleri tahmin model ve sistemleri için taşkın öngörülerinin daha koşullarda yapılabilmesine imkan vermektedir.

İletişim teknolojileri geliştikçe, bir yandan verilerin güvenilirliği ve hızı artarken; diğer yandan tahmin bilgilerinin daha hızlı yoldan kullanıcılara ulaşması mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda, nehir havzasında yaşayan halkın taşkın öncesinde gerekli önlemleri alabilmeleri açısından gerekli zaman aralığı giderek uzamaktadır. Diğer yandan, GIS verilerinin temininde yaşanan önemli gelişmeler ile sayısal yükselti haritaları taşkın alanlarının haritalanması açısından da önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

Sonuç olarak, giderek artan sel olayları karşısında hidrolojik tahminlerin daha etkin ve yararlı olabilmesi için, meteoroloji bilimi eğitimi alan uzmanların katılımıyla, hidrolojik tahmin ve uyarı alanında ulusal hidroloji ve meteoroloji servislerinin ortak çalışma anlayışı içinde faaliyet göstermelerine her geçen gün daha fazla ihtiyaç bulunmaktadır.

Kaynak

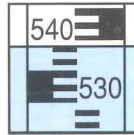
Bu makale, ABD Ulusal Meteorolojik Servisi tarafından hidrolojik tahmin konulu olarak hazırlanan dokümanlarından yararlanılarak derlenmiştir.

Water Level Recorder

OEL-104



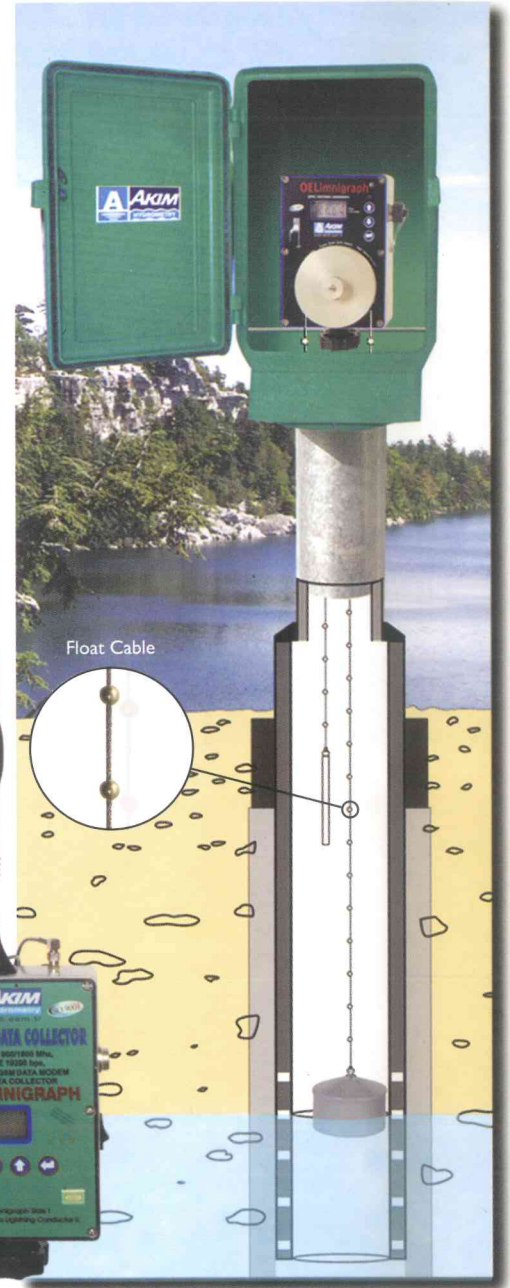
Display



Staff Gauge

OUR PRODUCTS

- Data Loggers
- Water Level Recorders
- Water Level Indicators
- Electronic Rain Gauges
- Remote Data Transmissions
- Water Quality Measurement
- Current Meters
- Staff Gauges
- Evaporation Pans
- Auto. Meteorological Stations



Float Cable

- 3 Yıl garanti
- ISO 9001 ve CE Kalite Belgesi
- İmalattan satış



AKIM ELEKTRONİK LTD. ŞTİ
K. Evren Bulvarı 73 Sk. Baysal Apt
16/1 Seyhan/ADANA/TURKEY
Tel: +90.322.234 88 88 / 234 10 1
Fax: +90.322.234 54 44
E-mail: akim@akim.com.tr
www.akim.com.tr