

RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK ANALİZİ: VAKA ÇALIŞMASI

Serkan Korkmaz¹, Fırat Salmanoğlu²

İzmir Büyükşehir Belediyesi, İtfaiye Dairesi Başkanlığı, Eğitim Şube Müdürlüğü¹
Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü²
serkan.korkmaz@izmir.bel.tr¹, firat.salmanoğlu@ege.edu.tr²

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, rüzgar santrallerinde yangın risk etmenleri değerlendirilmiş ve önlemler sıralanmıştır. Ayrıca hâlihazırda işletmede olan bir rüzgâr santralinde incelemeler gerçekleştirilmiş ve örnek olay olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, Aydın bölgesinde bir Rüzgar Enerji Santrali sahasına ziyaret gerçekleştirilmiş ve mevcut durum gözlemi yapılarak, sahada türbin bazlı ölçülen 1 senelik rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede yangın mevsimindeki (Mayıs-Ekim) ilgili parametrelerin pik değerleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak, santral genelinde rüzgâr türbinleri bazlı yangın risk durumu ve önleyici tedbir önerilerini ortaya koyulmuştur.

1. GİRİŞ

Sanayi devriminin yaygın olarak hissedildiği 1900'lü yılların ortalarında Dünya genelinde enerji talebinin artması paralelinde fosil yakıt kullanımı da ivmeli olarak artış göstermiştir. Bu durum, yıllar geçtikçe olumsuz çevresel etkisi ve çevresel sorunlar olarak yüzünü göstermiştir. Günümüzde, Dünyanın geleceği için gerçekleştirilen hemen her bilimsel toplantıda “fosil yakıt” kelimesi telaffuz edilmekte ve artık herkes için aşikar bir tanım olarak karşımıza çıkmaktadır. “Fosil Yakıt” dendiğinde şüphesiz aklımıza ilk gelen kavramlar hava kirliliği ve iklim değişikliği olmaktadır. Dünya genelinde fosil yakıt rezervlerinin azalmakta olması ve önlenemeyerek artan enerji ihtiyacı, geleneksel enerji üretim yöntemlerine alternatif olabilecek kaynak arayışlarını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını giderek hızlandırmıştır [1,3].

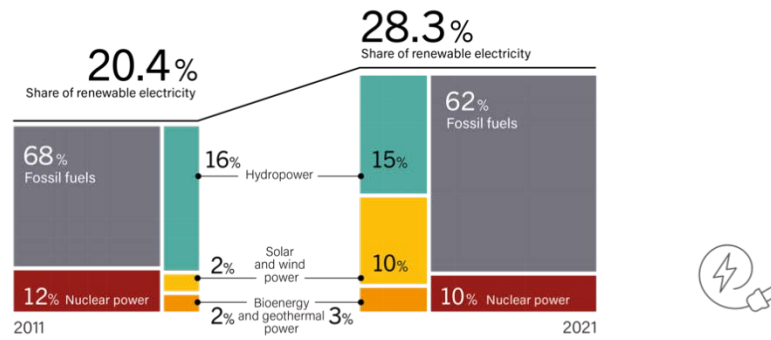
Rüzgar, güneş, biyokütle en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları olarak sayılabilir. Bilindiği üzere yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimleri sırasında sera gazı salmazlar. Buna ek olarak, Dünya var oldukça devam edecek bir kaynak potansiyeline sahiptirler. Günümüz koşulları, artan enerji fiyatları ve gelişen teknolojiler göz önüne alındığında, ilk yatırım maliyetlerini geri ödeme süreleri de oldukça kısalmıştır. Bu durum da, yenilenebilir enerji kullanımını cazip kılan bir diğer nokta olarak göze çarpmaktadır. Dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar ve güneş enerjisi, bölgesel istihdamı tetiklemek açısından da önemli rol oynamaktadır.

2020 yılındaki pandemi dönemiyle başlayan ve günümüzde etkisini tüm Dünya ve özellikle Avrupa üzerinde gösteren enerji açığı konusu halen çözüme ulaşmamış ve ciddi sıkıntılara gebe bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji arzındaki bu açık, ülkelerin enerji alanında dışa bağımlılığını azaltmaya ve arz güvenliğini oluşturmaya itmektedir. Bu kapsamda, özellikle Avrupa ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması adına yatırımlar yapmakta ve yatırım yapan kullanıcıları da desteklemektedir [2].

Rüzgar, çok eski zamanlardan beri aktif olarak kullanılan bir enerji kaynağıdır. Çok eski çağlarda ulaşımda yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi, tane öğütme ve su pompalama amacıyla rüzgar enerjisinden etkin bir şekilde faydalanmışlardır. İnsanlar 20. yüzyılın başlarında, ilk rüzgar türbinleri kurulmaya başlanmış ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi başlamıştır.

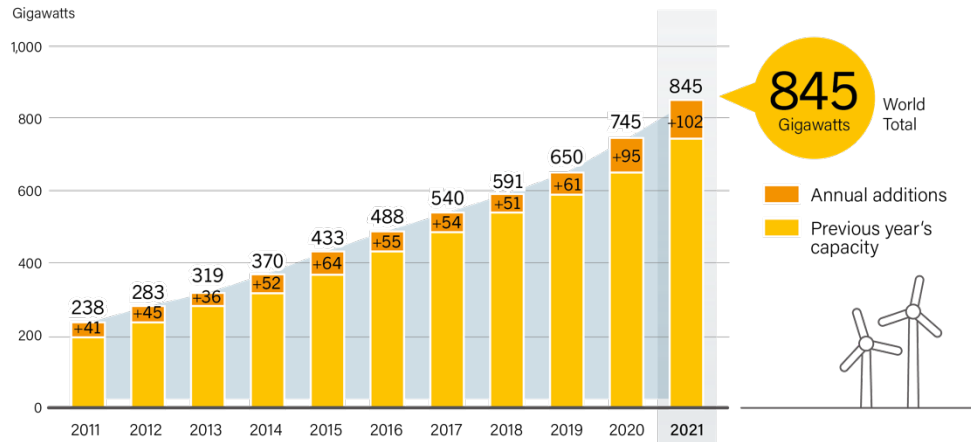
Rüzgar türbini teknolojilerinde yapılan Ar-Ge çalışmaları sonucu, türbin teknolojileri gün geçtikçe ilerlemekte ve tek üniteye 10-15MW gücünde rüzgar türbinleri üretimi yapılabilmektedir.

Dünya genelinde 2021 yılı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payı, %28,3 mertebelerine ulaşmıştır. Rüzgar ve güneş ise toplamda %10 seviyesine ulaşmıştır (Şekil 1) [2].



Şekil 1. 2011 ve 2021 Yılı Sonu İtibariyle Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı

2021 yılı sonu itibariyle global rüzgar kurulu gücü, 2020 yılına oranla %13,5 artış göstermiş ve 845 GW değerine ulaşmıştır (Şekil 2) [2].

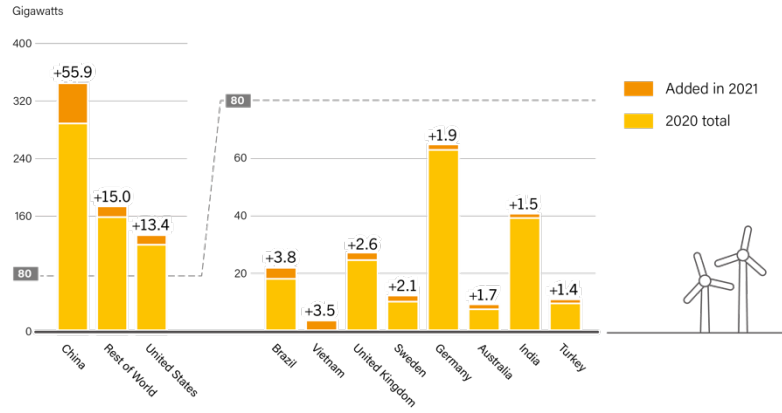


Source: Based on GWEC.

Note: Totals may not add up due to rounding. Additions in 2021 are gross, but bar heights and numbers above bars reflect year-end totals.

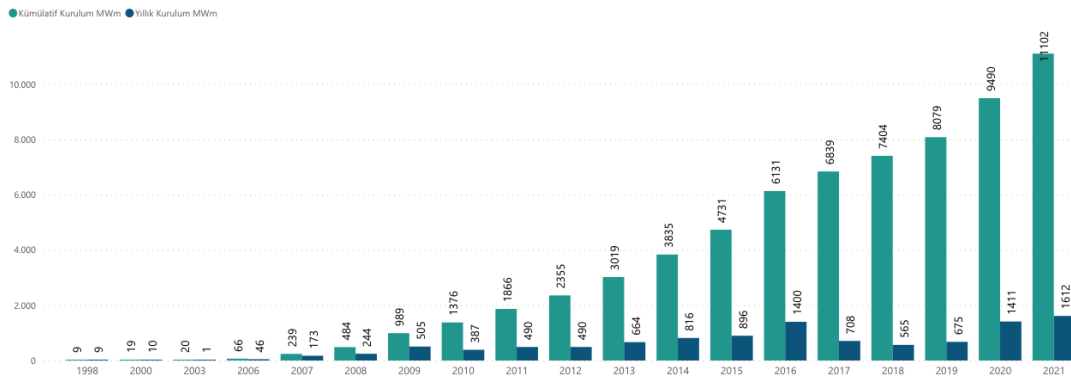
Şekil 2. 2021 Yılı Sonu İtibariyle Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücünün Kümülatif Gelişimi

Ülkeler bazlı tabloya bakılacak olursa, karşımıza Şekil 3'teki durum çıkmaktadır [2].



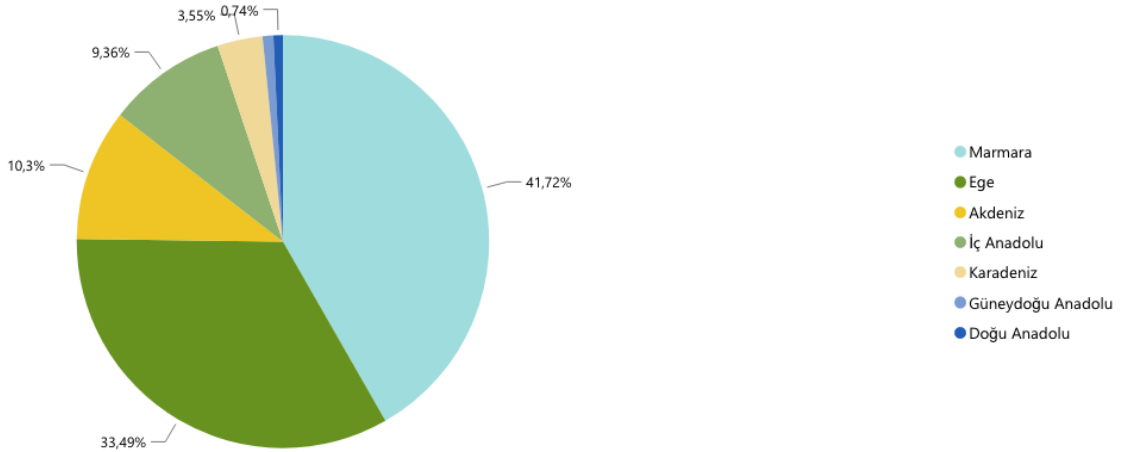
Şekil 3. 2021 Yılı Sonu İtibariyle Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücünün Ülkeler Bazındaki Görünümü

Grafikten de anlaşılacağı üzere, Çin 346,7 GW kümülatif kurulu güçle ilk sırada yer almakta ve sırasıyla ABD, Almanya ve Hindistan kurulu güç olarak Çin'in arkasından gelmektedir [2, 3]. Yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli açısından oldukça zengin olan Türkiye, kurulu güç olarak da yükseliştir. Yapılan çalışmalar sonrası, ülkemizde 101,5 GW civarında rüzgar gücü potansiyeli olduğu ortaya koyulmuştur. Türkiye'de 1998 yılında başlayan rüzgar enerjisi kurulumları, her yıl ivmeli olarak artarak 2022 yılı itibariyle 11,10 GW seviyesine ulaşmıştır. Bu değer, 101,5 GW olan Türkiye toplam elektrik kurulu gücünün yaklaşık % 10'unu oluşturmaktadır. Yıllar bazında Türkiye rüzgar kurulu gücündeki değişim Şekil 4'te gösterilmiştir [4].



Şekil 4. Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücünün Yıllar Bazında Gelişimi

Bilindiği üzere coğrafik ve meteorolojik özellikleri itibariyle İzmir, rüzgar enerjisinden elektrik üretimi konusunda avantajlı ve öncü konumdadır. Türkiye İşletmede Olan RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi, Türkiye rüzgar kurulu gücünün %33,49'u Ege Bölgesinde ve bunun da %50'si İzmir'de kuruludur. İzmir'de işletmede olan kurulu rüzgar gücü yaklaşık 17,24 GW olup, bu kurulu güç yılda 35 milyon kWh elektrik enerjisi üretimi anlamına gelmektedir [4].



Şekil 5. Türkiye İşletmede Olan RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı

2. RÜZGAR ENERJISINDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

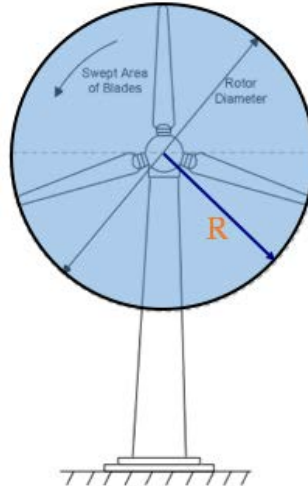
Çok eski zamanlardan beri insanlar tarafından kullanılan rüzgar gücü, ancak 20. yüzyılın başında elektrik üretimi için kullanılmaya başlanmıştır.

Bütün enerji kaynaklarında olduğu gibi, rüzgarın oluşumu da güneşin bir sonucudur. Bilindiği üzere güneş, yeryüzündeki noktaları farklı derecelerde ısıtır. Bu derece farkları, yeryüzündeki noktalar arasında ısı potansiyel fark oluşturur ve bu da hava akımı oluşmasına sebebiyet verir. Bu hava hareketini rüzgâr olarak adlandırırız.

Rüzgar, kütlesi ve hızı olan bir madde olarak düşünülebilir. Rüzgar hızını V , hareket eden cismin kütlesini de m ile ifade edecek olursak, rüzgardaki kinetik enerjiyi denklem (1) ile açıklamak mümkündür [5];

$$E = \frac{1}{2} . m . V^2 \quad (\text{N.m}) \quad (1)$$

Şekil 6'da bir rüzgar türbininin süpürme alanını görebiliriz.



Şekil 6. Rüzgâr türbinine doğru hareket eden hava alanı ve türbinin süpürdüğü alan

Kinetik enerji denkleminde havanın kütlesi m , hızı V ve kanatların süpürme alanı A yerine koyulursa; rüzgardan elde edilen güç denklem (2) ile ifade edilir [6,7].

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2)$$

Denklem 2'den de anlaşıldığı üzere rüzgârdan elde edilen gücü etkileyen en önemli değişken rüzgar hızıdır. Bir rüzgar türbininden elde edilecek güç, havanın yoğunluğu, kanat uzunluğu ve en önemlisi rüzgâr hızının kübüyle doğru orantılıdır.

3. RÜZGAR TÜRBİNİ YANGINLARINDA TEHLİKELER VE RİSK FAKTÖRLERİ

Geleneksel yangın söndürme yöntemlerini kullanarak bir rüzgar türbini yangınına söndürmek neredeyse imkansızdır. Türbinlerin yüksekliği, yangın esnasında hala dönmekte olan türbin kanadının alevi artırma potansiyeli ve birçok rüzgar çiftliğinin merkezi yerleşim birimlerine olan uzaklığı, bölgedeki yerel itfaiye birimlerinin yangına acil müdahalesini zorlaştırır. Ayrıca, rüzgar türbini içindeki ve ham maddelerindeki yanıcı unsurlar da önemli yangın risk faktörlerindedir. Türbin kanatlarını oluşturan kompozit malzemeler, generatör içinde tutulan makine yağı ve türbin içindeki alev alma potansiyeli yüksek yanıcı sıvılar da yangın riski oluşturan başlıca malzemelerdir. Bu yağ ve sıvılar; şanzıman, türbin yönü değiştirme mekanizması, hidrolik sistem, kanat mekanizması, yağ pompaları, mekanik fren ve transformatörde kullanılır. Böyle bir ortamda, yangının başlaması için gereken tek şey ufak bir ateşleme kaynağıdır. Bu da yangın riskini gözler önüne sermektedir.

Farklı sahalar, boyutlar ve operasyon türleri nedeniyle rüzgar türbinlerinde oluşabilecek yangın risk faktörleri de farklılık gösterir. Prensip olarak, karadaki ve deniz üstündeki rüzgar türbinlerinin güç, rotor yüksekliği ve kanat uzunlukları farklılık gösterdiği için farklı sistemler olarak ele alınması gerekir. Ayrıca, senaryolar insanlı ve insansız operasyonlar olmak üzere iki türlü dikkate alınmalıdır.

Rüzgar çiftlikleri genellikle gürültü ve gölgeleme etkisi nedeniyle yerleşim yerlerinden uzağa kurulur. Deniz üstü çiftlikleri de çoğunlukla plaj ve nakliye yollarından uzak noktalarda konumlandırılır. Dolayısıyla rüzgar türbini çalışması sırasında olası bir yangın durumu, insanlar için yüksek risk teşkil etmez.

Bir rüzgar türbininde nasel ve kanatlar yanıyor, yanan ve muhtemelen zararlı döküntüler rüzgar tarafından sürüklenebilir. Kara tipi rüzgar türbinlerinde, eğer ki rüzgar türbini çevresinde kuru otlar ya da ağaçlık alan var ise, özellikle sıcak mevsimlerde bu maddelerin tutuşma riski olduğu için türbinde olası bir yangın riski kaçınılmazdır. Benzer şekilde deniz üstü rüzgar türbinlerinde meydana gelebilecek olası bir yangında, nasel ve kanatlar yanıyor, yanan ve döküntüler rüzgar tarafından sürüklenebilir ve denizin kirlenmesine yol açabilir [8].

Bilindiği üzere rüzgar türbinleri genellikle yüksek yapılardır. Türbinin önemli bir parçası olan ve yangın tehlikesi bulunan nasel, normal olarak boru şeklindeki bir çelik veya beton kuleye dayanır. Bu durum da kule, nasel üzerinde baca etkisi yaratabilir. Yapıların yüksekliği nedeniyle zemine dayalı yangın söndürme işlemi mümkün değildir. Bu nedenle zemine dayalı bir önlem almak yerine, yangından korunma üzerine önlemler alınması kesinlikle daha doğru ve gereklidir [9].

Günümüzde rüzgar türbinlerinin yaklaşık olarak %97'si kara üstünde konumlandırılmıştır. Bilindiği üzere rüzgar çiftlikleri uzaktan denetim ile izlenmektedir ve çoğu zaman insan müdahalesi olmadan çalışırlar. İnsan faktörü sadece; montaj, devreye alma ve bakım-onarım

sırasındaki operasyonlarda ortaya çıkar. İnsanlı operasyonlarda, yüksekten kurtarma senaryosu her zaman göz önünde bulundurulmalı ve olası bir ihtiyaç anında mutlaka garanti edilmelidir. Türbin içinde bunu sağlayacak ortam hazır olmalı ve uygun kaçış yolları tanımlanmalıdır. Generatör bölgesinden aşağı ile inmek mümkündür, ancak bu işlem için zamana ihtiyaç duyulduğu göz ardı edilmemelidir. Türbin normal koşullar altında değilse; örn. arıza durumunda veya elektrik sisteminin montajı ve devreye alınması sırasında, yangın riski yüksektir.

İnsanlı operasyonlarda, personel için temel gereksinimler aşağıdaki şekilde listelenebilir [9].

- Yeterli kişisel koruyucu donanım (KKD)
- Motor kaportasında, göbekte, rotor ve kanadında sınırlı sayıda kişi
- Türbin içinde ve sahada yeterli kaçış yolu
- Güvenlik ekipmanları
- Personel arası acil durum ve iletişim sistemleri
- Ana dili dışında en az bir yabancı dil
- Genel saha eğitimi
- Tekrarlanan yangın güvenlik talimatı ve eğitimleri

Yangını başlatabilecek olası riskli ateşleme kaynakları genelde türbinin motor bölümünde yer alır. Bunlar, elektrik arızası, yüzey ısınması ya da yıldırım çarpmaları sebebiyle aktive olabilir. Yıldırımdan korunma sistemleri kurulmadığında veya düzenli bakımı yapılmadığında, rüzgar türbinini her geçen zaman diliminde daha yüksek bir yangın riskine sokar. Şanzıman, jeneratör, fren sistemi, pompalar ve trafodaki sıcak yüzeyler yangını ateşleyebilecek faktörler iken, motor bölgesi içinde bulunan bileşenlerde elektrik arızaları ve arklar meydana gelebilir. Rüzgar türbinlerinde çok sayıda yangın vakasının yıldırım çarpması sonucu gerçekleştiği literatürde olan bir bilgidir. Türbinlerin yüksek yapılar olması ve genellikle yerleşim yerlerinden oldukça yüksek alanlara kurulması, rüzgar türbini yangınlarında yıldırım çarpması durumunu özel bir risk sınıfı olarak tanımlamaktadır. Özellikle yıldırımdan korunma sisteminin uygun şekilde uygulanmadığı ve bakımının yapılmadığı durumlarda yangın riski oldukça artar. Yıldırım düşmesidurumunda türbinde termal yangın hasarı neredeyse kaçınılmazdır [10].

Yıldırım çarpmalarının yanı sıra, rüzgar türbinlerinin elektrik tesisatlarındaki arızalar da en sık görülen yangın nedenleri arasındadır. Elektrik tesisatındaki arızaların sebebiyet verdiği yangınlar genellikle aşırı elektriksel yüklenmeyi takiben olağan dışı ısınma, toprak arızası, kısa devre ve arklardan kaynaklanabilir.

Elektrik tesisatı kaynaklı yangınlara sebebiyet veren bazı durumlar aşağıdaki şekilde listelenebilir.

- Güç elektroniğindeki (örn. şalt panosu, inverter, transformatör) yanlış boyutlandırmadan kaynaklı teknik kusurlar
- Anahtarlama arızası
- Kontrol elektroniği arızası
- Yetersiz elektriksel koruma

Bununla birlikte ısınan yüzeyler de yangın riski oluşturan durumlar arasındadır. Örneğin, tüm aerodinamik frenler arızalanırsa, rotoru yavaşlatan mekanik frenler yanıcı malzemenin tutuşmasına neden olan sıcaklıklara ulaşabilir. Böyle bir acil frenleme durumunda, uçuşan kıvılcımlar yüksek risk oluşturur, çünkü uçuşan kıvılcımlar uzaktaki yanıcı maddeleri de tutuşturabilir [10]. Türbinlerdeki veya parçalarındaki kusurlar, örneğin yağ sistemlerindeki sızıntılar ve kirler de yangın riskini artırır. Jeneratör ve dişli kutusu bağlantılarının aşırı yüklenmesi ve yetersiz yağlanması durumunda başka riskler de oluşabilir. Yanıcı maddeler ve yağlı yüzeyler, sıcak yüzeylerle temas ettiğinde tutuşabilir.

Ayrıca türbinin rutin çalışması dışında, kaynak, taşlama, kesme, lehimleme ve alevle kesme gibi onarım, montaj ve sökme işleri ile ilgili yangın tehlikeleri içeren işler de sık görülen yangın nedenlerindedir. Bu faaliyetler sırasında meydana gelen yüksek sıcaklıklar nedeniyle, çalışma sahasının yakın veya uzağında bulunan yanıcı maddeler tutuşabilir. Kaynak, kesme ve taşlama kıvılcımları, çalışma sahasından 10m ve daha fazla mesafedeki yanıcı malzemeleri tutuşturabileceğinden oldukça tehlikelidir ve özel risk taşır. Bu tür durumlar, çalışma sırasında saha çalışanları tarafından ilk anda fark edilmez ve bu tarz durumlardan kaynaklı yangınlar genellikle yangın tehlikesi içeren işlerin tamamlanmasından birkaç saat sonra çıkar.

Bir yangının çıkmasına ve yangının hızla yayılmasına neden olabilecek birçok yanıcı malzeme, rüzgar türbinlerinin motor bölümünde mevcuttur. Bu malzemelere bazı örnekler aşağıda sıralanmıştır.

- Nasel içindeki dahili köpük ses yalıtımı malzemesi
- Naselin plastik muhafazası
- Hidrolik sistemlerdeki yağ,
- Şanzıman yağı,
- Trafo yağı,
- Elektrik tesisatları, kablolar vb.

4. RÜZGAR TÜRBİNİ YANGINLARINA MÜDAHALE

Rüzgar türbini generatörü ya da rotorunda meydana gelebilecek olası bir yangına, halihazırda mevcut olan araçlarla itfaiye ekiplerinin müdahale etme şansı yoktur. Günümüzde kullanılan itfaiye araçlarının merdivenleri, türbine müdahale edebilecek gerekli yüksekliğe ulaşamamaktadır. Bu nedenle, yanan bir türbinin nasel bölümüne dışarıdan ulaşılamaz. Yanan bir türbinin merdiveni veya asansörü ile motor bölmesine giden yol da itfaiyeciler için tehlikelidir ve bu nedenle bu da bir seçenek değildir [11].

İtfaiyeciler, yangın esnasında türbin çevresinde yere düşen yanan parçalar nedeniyle yaralanma riskine maruz kalabilmektedir. Günümüzde rüzgar türbini transformatörlerini nasele entegre etme eğiliminin artması nedeniyle, itfaiyeciler de yüksek voltajlı elektrik hatlarına dikkat etmek zorundadır. Şimdiye kadar meydana gelen yangınlarla ilgili olarak, itfaiyecilerin işi, yangının mahallinin korunması ve yerde veya bitişik tesislerde ikincil yangınların önlenmesi ile sınırlandırılmıştır.

Bugün itibariyle, rüzgar türbinleri için yangından korunma konusunda zorunlu bir uluslararası standart yoktur. En yaygın olarak kabul edilen öneri, elektrik üretim tesisleri ve yüksek voltajlı doğru akım dönüştürücü istasyonları için yangından korunma uygulamasını tavsiye eden NFPA 850 “Elektrik Üretim Tesisleri ve Yüksek Gerilim Doğru Akım Dönüştürücü İstasyonları için Yangından Korunma için Önerilen Uygulama”dır. Bu dokümanın 10. Bölümü, rüzgar enerjisi tesisleri için tehlikeleri ve korumaları tanımlar.

Avrupa Yangından Korunma Dernekleri Konfederasyonu (CFPA Europe) tarafından yayınlanan, “Rüzgar Türbinleri Yangından Korunma Kılavuzu” rüzgar türbinlerinin planlanması ve işletilmesi ile ilgilidir. Kılavuz, rüzgar türbinlerindeki yangından korunma için gereklilikleri, tüm sisteme atıfta bulunarak dikkate alır. Riskin türüne bağlı olarak, farklı yangından korunma önlemleriyle ilgili önerilerde bulunur. Doküman, temel olarak yeni inşa edilecek türbinler için geçerlidir. Mevcut işletme halindeki türbinler ise mümkün olduğu kadar, bu kılavuzda belirtilen yangından korunma önlemlerine göre modifiye edilmelidir [11].

5. YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİ ÇEŞİTLERİ

Bir rüzgar türbinine, yangın söndürme sistemi eklemek yangından korunmak için kesinlikle ekstra bir katmanı sağlayacaktır. Rüzgar türbinlerine eklenebilecek yangın söndürme sistemleri için farklı düzeylerde başarı sağlamış çeşitli seçenekler mevcuttur.

Su bazlı

Su bazlı yangın söndürme sistemleri, sprinkler, su sisi ve köpük suyu içerir. Bu tür sistemler belirli uygulamalar için ideal olsa da rüzgar türbinleri bunlardan biri değildir. İlk zorluk, bir su kaynağına duyulan ihtiyaçtır. Uzak konumlar nedeniyle, sahada su yaygın olarak mevcut değildir ve türbinlerin yüksekliğine pompalanması zordur. Su sisi sistemi ve köpük su sistemleri kullanılıyorsa, naselde su depolamak mümkündür, ancak alan gereksinimi hala bir handikaptır ve sistemler daha yoğun bakım gerektirir. Son olarak, tüm su bazlı sistemler, özellikle yanlış bir deşarj meydana gelirse, nasel içindeki kritik bileşenlerde bir miktar hasara sahip olacaktır.

Karbon Dioksit (CO₂)

CO₂ sistemlerinin kullanılmasındaki zorluk, karadaki rüzgar türbinleri için mümkün olmayan hava geçirmez bir nasel ihtiyacıdır. Hava geçirmez bir ortamda CO₂ içerikli yangın söndürme sistemi etkinleştirildiğinde, saniyeler içinde yangını bastırır ancak kapalı ortam gerektirdiği için, kara tipi türbinlerin naseli içinde kullanılması pek mümkün olamamaktadır. Gaz bazlı sistemlerin bakımı oldukça düşüktür ve sızıntı olmadığından emin olmak için CO₂ seviyesi kontrol edilmeli veya izlenmelidir. CO₂ boşaldığında kalıntı bırakmaz ve elektrikli bileşenleri olumsuz etkilemez; bununla birlikte, CO₂ deşarjı sırasında ortamda bulunan insanlar için önemli riskler oluşturur ve alana erişim sırasında insanların güvenliğini sağlamak için kapsamlı kilitleme etiketleme önlemleri gerektirir.

Aerosol bazlı

Aerosol bazlı yangın söndürme, çok ince katı parçacıklardan ve gaz halindeki maddeden oluşur ve tam bir su baskını koruması sağlar. Sistemler nispeten küçük olsa da motor bölmesi içindeki bileşenlere yakınlık açısından tasarım sırasında özel bir değerlendirme yapılması gerekir. Aerosol bazlı sistemler çevre açısından güvenli kabul edilir; ancak, kritik bileşenlere zarar veren bir kalıntı bırakabilirler ve CO₂ gibi, kullanılan alanlarda güvenli değildirler. Bu sistemlerin bakımı kolaydır çünkü minimum bakım gerektirir.

Temiz Ajan

Chemours FM-200 ve 3M Novec 1230 gibi temiz maddeler kullanan otomatik yangın söndürme sistemleri, rüzgar türbinlerini korumak için ideal bir seçenektir. Temiz madde içeren ve silindirik yapıdaki bu tür yangın tüpleri için çok az alan gereklidir. Sistemdeki algılama boruları, korumaya çalıştığınız rüzgar türbini içindeki belirli alanların etrafına kolayca yönlendirilir ve sistemlerin çalışması için elektrik gerekmez. Sistemler yanlış aktivasyona daha az eğilimlidir ve temiz maddeler, insanların etrafındaki dolu/kapalı alanlarda güvenlidir ve ekipmana zarar vermez. Temiz maddelerin deşarjından sonra hiçbir kalıntı kalmaz; bu nedenle, temizlik gerekli değildir. Yıllık rutin denetimlerin tamamlanması, bu tür sistemlerin düzgün çalışır durumda olmasını sağlayacaktır.

Uluslararası Yangın Güvenliği Bilimi Derneği, 2014 yılında, rüzgâr türbini yangınlarının %90'ından fazlasının türbinin tamamen kaybıyla sonuçlandığını veya türbinin ana bileşenlerinde ciddi yapısal arızalar olduğunu açıklamıştır. Yangınlar nedeniyle rüzgâr türbini değiştirme maliyetlerinin artmasıyla, türbinleri yangın risklerine karşı korumak her zamankinden

daha önemli bir hal almıştır. Türbinlerin korunması, yangını başlar başlamaz algılamak ve daha sonra yangının yayılmasını önlemek için bastırmak için yangın söndürme sistemleri kurularak yapılabilir.

Rüzgâr enerjisi sektörü nispeten genç ama hızlı büyüyen bir alandır. Standartların geliştirilmesi, rüzgâr türbini teknolojilerindeki gelişiminin çok gerisindedir. Günümüzde rüzgâr türbini kullanımı çok hızlı bir şekilde artmıştır.

Sigortacıların deneyimine göre, rüzgâr türbinlerindeki yangınlar, diğer yangınlardan farklı olarak rüzgâr türbininin arıza süresi ve sorumluluk gerekleri vb. nedeniyle, maddi hasara ve çok yüksek takip maliyetlerine neden olabilir.

- Rüzgâr türbinlerinde yangın nedeniyle; motor bölmesinde, kulede, rüzgâr türbininin veya rüzgâr çiftliğinin elektrik santralinde ciddi kayıplar meydana gelebilir.
- Bugün, çoğu yeni rüzgâr türbininde, şalt, invertör, kontrol kabinleri ve transformatör nasele içine yerleştirilir. Böylece, yangın riski naselde önemli ölçüde artar. Motor bölmesindeki yüksek teknik ekipman ve yanıcı malzeme yoğunluğu nedeniyle yangın hızla yayılabilir. Ayrıca, ek olarak üst kule segmentinin de hasar görme tehlikesi vardır. Motor bölmesinin tamamen yanması durumunda, restorasyon maliyetleri rüzgâr türbininin orijinal değerine bile ulaşabilir. Açık deniz rüzgâr türbinlerine yangın müdahalesi ya da yangın sonrası hasarların giderilmesi için gerekli maliyetler, kara tipi rüzgâr türbinlerine oranla önemli ölçüde daha yüksek olacaktır.
- Deneyimler, rüzgâr türbinlerinin hasar gördüğü yerlerde hizmet kesintilerinin genellikle biraz zaman aldığı göstermiştir. Birkaç aylık kesintiler olağandışı değildir. Motor bölmesinin tamamen hasar görmesi durumunda, hizmet kesintisi 9 ila 12 ay sürebilir. En uzun teslimat süresine sahip bileşenler, dişli kutusu, jeneratörler ve transformatörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Açık deniz rüzgâr türbinlerinin zarar görmesi durumunda, türbinlere ulaşmaya çalışırken hava şartlarına ve vincin/servis gemisinin mevcudiyetine bağlılık ek zorluklara neden olacaktır.
- Bir rüzgâr çiftliğinin trafo merkezi yangın nedeniyle hasar görürse, bağlı tüm türbinlerin aynı anda şehir şebeke sisteminden bağlantısı kesilir. Kar kaybı, bağlantısı kesilen rüzgâr türbinlerinin sayısı ile orantılı olarak artacaktır. Açık deniz rüzgâr çiftliklerinin trafo merkezleri, özellikle yüksek hizmet kesintisi riski teşkil eder, çünkü
- Çok sayıda ayrı türbin içerir,
- Değiştirme gerektiğinde genellikle daha uzun teslimat süreleri ile karşı karşıya kalınır
- Bazı zamanlarda ulaşılması zor veya imkansız olabilir
- Müdahale vinç/servis gemilerinin mevcudiyetine bağlıdır.

Bir rüzgâr türbininde meydana gelen yangın, yere düşen yanan bileşenlerin yerde ikincil bir yangına sebebiyet vermesine neden olabilir. Bu koşullar, bazı durumlarda söndürülmesi zor olan bir orman yangınına neden olabilir. Rüzgâr enerjisi santrali ile itfaiye istasyonu arasındaki çok sık uzun mesafeler ve bu yerlerde hakim olan kuvvetli rüzgâr, orman yangınlarının hızla yayılmasına zemin hazırlayabilecek faktörlerdir. Bu durumlarda kayıplar sadece yanmış ormanın doğrudan maliyetini değil, çevreye verilen geri dönüşü olmayan zararı da ilgilendirmektedir.

6. HASAR ÖRNEKLERİ

Yıldırım Çarpmasının Neden Olduğu Yangın Hasarı

Yoğun bir yaz fırtınası sırasında, 2 MW'lık bir rüzgâr türbininin kanadına yıldırım çarpması sonucu, türbin otomatik olarak kendini kapatmış ve kanatlar yangın ve rüzgârın şiddetinden bağlantı noktalarından koparak aşağı doğru düşmüştür.



Şekil 7. 2004 yılında 2 MW'lık bir rüzgar türbinine yıldırım düşmesi sonrası çıkan yangın (Resim kaynağı: HDI/Gerling)

Yanan kanat dik konumda durdurulmuş ve yavaş yavaş tamamen yanmıştır. Düşen kanatların yanan kısımları, motor bölümünde ikincil bir yangına neden olmuştur.

Kaybın nedeninin araştırılması, kanattaki yangının, yıldırımdan korunma sisteminin doğru şekilde sabitlenmemiş cıvatalı bir bağlantısından kaynaklandığını göstermiştir. Parafudr kablosu ile bağlantı noktası arasındaki elektrik arki, kablo pabucunda füzyona ve rotor kanatlarındaki hidrolik yağ kalıntılarının tutuşmasına neden olmuş, kanatları da dahil olmak üzere nasele, toplam kayıplar kayıtlara geçmiştir. Kulenin üst kısmı da yüksek sıcaklıktan dolayı hasar görmüş ve kule yıkılmıştır. Operasyonlara yaklaşık 150 gün ara verilmiş ve toplam kayıp yaklaşık 2.000.000.-€'ya ulaşmıştır.

Makine Arızasından Kaynaklanan Yangın Hasarı

1,5 MW'lık bir rüzgar türbininin motoru, jeneratörün kayma halkası fanı kırıldıktan sonra tamamen yanmıştır. Dönen fan çarkından çıkan kıvılcıklar, önce filtre kabini içindeki filtre pedini, ardından davlumbaz izolasyonunu ateşe vermiş ve türbine verilen zarar yaklaşık 800.000.-€ olarak kayıtlara geçmiştir.



Şekil 8. 1,5 MW'lık bir rüzgar türbininin yanmış motor bölümü (Resim kaynağı: Allianz)

Elektrik Tesisatlarındaki Arızalardan Kaynaklanan Yangın Hasarları

1 MW'lık bir rüzgar türbininin naseline alçak gerilim şalt sistemi tesis edilmiş ve alçak gerilim güç anahtarının giriş kontaklarından birindeki cıvatalı bağlantının yeterince sıkılmamış olmasından kaynaklı yüksek temas direnci, bağlantıda önemli bir sıcaklık artışına ve şalt panosuna bitişik yanıcı malzemenin tutuşmasına neden olmuştur. Önde bulunan sigortalar, yangının termal hasarı çok şiddetli olana kadar tepki vermemiş ve bunun sonucunda yan yana dizilen kontrol, inverter ve şalt dolapları tamamen zarar görmüştür. Motor bölmesinin içi is ve kurumla dolu halde bulunmuştur. Yangın mahallindeki muazzam ısıya rağmen yangın, metal nasele muhafazasına sığmamış. Bu durumda bile türbine verilen hasar yaklaşık 500.000.-€ olarak kayıtlara geçmiştir.



Şekil 9. 1 MW'lık bir rüzgar türbininin güç anahtarı (yangın sonunda kullanılmaz hale gelmiştir)

7. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

Aydın bölgesinde bulunan RES sahası, **04.09.2021** tarihinde keşif ve inceleme amaçlı ziyaret gerçekleştirilmiştir. Yapılan keşif ve incelemede; sahada 20 adet Rüzgar Türbini ve Kumanda Merkezi yangın riski açısından tek tek inceleme yapılmış ve her bir rüzgar türbini için bir senelik rüzgar hızı ve yön verileri analiz edilmiş, yangın mevsimindeki maksimum rüzgar hızı ve hakim rüzgar yönleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlarla yangın riski tespiti yapılmıştır.

Yangın mevsimi, literatürde 01 Mayıs ile 30 Ekim tarihlerini kapsayan dönemi ifade etmektedir. Orman yangınlarına karşı en hassas mevsimsel dönem olan bu zaman dilimi için her bir türbin konumu için yapılan analiz neticesinde ortaya çıkan sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Her bir rüzgar türbini için Yıllık ve Yangın mevsimi dönemlerinde maksimum rüzgar hızı ve hakim rüzgar yönü değerleri

	Yıllık V_{max}	Gerçekleştiği Tarih	Yangın Mevsimi V_{max}	Gerçekleştiği Tarih	Yıllık Hakim Rüzgar Yönü	Yangın Mevsimi Hakim Rüzgar Yönü	V_{max} Rüzgar Yönü
T1	26,50	18.04.2021 05:10	19,88	26.09.2020 16:00	KKB	KKB	GB
T2	22,02	18.04.2021 05:30	18,68	9.08.2020 19:10	K	KKB	KKB
T3	26,73	18.04.2021 05:10	19,08	8.10.2020 08:50	KKB	KKB	GB
T4	26,18	18.04.2021 05:30	18,60	8.10.2020 08:50	KDD	KB	GB
T5	25,57	8.02.2021 14:30	18,74	26.09.2020 16:10	KDD	KKB	KDD
T6	24,37	18.04.2021 05:30	17,47	26.09.2020 16:00	KDD	GB	GB
T7	26,11	18.04.2021 05:30	17,85	26.09.2020 16:00	D	KB	D
T8	24,65	18.04.2021 05:10	16,72	26.09.2020 16:00	D	BKB	BKB
T9	25,98	18.04.2021 05:00	18,23	8.10.2020 08:50	D	D	GB
T10	22,36	18.04.2021 05:30	17,62	26.09.2020 15:50	KDD	KDD	KDD
T11	24,54	18.04.2021 05:00	18,05	8.10.2020 08:50	D	B	GB
T12	25,77	18.04.2021 05:00	18,13	26.09.2020 16:00	KDD	KDD	KDD
T13	21,52	18.04.2021 05:10	18,21	26.09.2020 16:00	KDD	KDD	KDD
T14	20,28	18.04.2021 05:20	17,37	8.10.2020 08:40	KD	KD	GB
T15	21,41	18.04.2021 05:40	18,05	8.10.2020 08:50	KKD	KKD	GGB
T16	23,76	18.04.2021 05:00	18,96	8.10.2020 08:30	KDD	KDD	GB
T17	24,12	18.04.2021 05:00	17,69	8.10.2020 08:50	D	D	BGB
T18	24,10	18.04.2021 05:00	18,15	26.09.2020 15:50	KDD	KB	KDD
T19	22,58	18.04.2021 05:30	17,51	26.09.2020 16:00	KB	KB	KB
T20	20,34	18.04.2021 02:40	16,86	8.10.2020 08:30	KDD	KB	KB

SONUÇ

İncelenen santralde bulunan 20 adet Rüzgar Türbini ve Kumanda Merkezi yangın riski açısından tek tek inceleme yapılmış ve her bir rüzgar türbini ve kumanda merkezi için yangın riski tespiti yapılmıştır.

Rüzgar türbinleri yangın mevsimi rüzgar hızlarının maksimumuna ulaştığı aylar incelendiğinde Ekim ve Eylül ayları olduğu bu durumun olası gerçekleşecek bir yangında hava sıcaklığının yaz aylarına göre daha düşük olduğu olası bir yangın durumunda hava sıcaklık etkisinin daha az olacağı yapılan veri analizi sonrası belirlenmiştir.

Her bir rüzgar türbin sahası ve kumanda merkezi için düzenlenen Yangın Riski Gözlemi Aksiyonlarının ivedilikle yapılması olası bir yangın çıkmasını en aza indirecek önlemlerin başında gelmektedir.

Rüzgar türbin sahasında meydana gelebilecek bir yangında, hızlı müdahale etmek için bir adet itfaiye arazözünü bulundurulması ve arazözünü kullanacak personele kullanım ve yangın eğitimlerinin aldırılması ve yıllık tatbikatların yapılması gerekmektedir.

Her bir rüzgar türbini için acil durum planları oluşturulmalı ve tüm personel ile bu planlar paylaşılmalıdır. Olası bir yangın durumunda tüm personel santral sahasında bulunmalı ve tüm personeli kapsayacak şekilde görev dağılımı yapılmalıdır.

Yüksekte çalışan tüm personele, yüksekte çalışma ve GWO Eğitimleri aldırılmalı ve tekrarlanmalıdır.

Rüzgar türbin sahasında bakım çalışmalarına yapan personellere acil durum planları ile ilgili eğitimler verilmeli ve acil durum planları hakkında bilgilendirme yapılmalıdır.

Her yıl yangın mevsimi öncesinde her türbin sahası ve kumanda merkezi etrafı kuru ot ve benzeri bitki örtüsünden arındırılmalıdır.

Acil durum ekipleri oluşturularak ekiplere gerekli eğitimler aldırılmalı ve santral sahası olası yangın durumunda acil durum şartlarına geçerek, yangının yönü ve hızı değerlendirilmeli ve bu değerlendirme neticesinde acil durum ekipleri göreve başlamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] IRENA-International Renewable Energy Agency. "Planning for the Renewable Future: Long-Term Modelling and Tools to Expand Variable Renewable Power in Emerging Economies". Abu Dhabi, ISBN 978-92-95111-06-6, 2017
- [2] IRENA-International Renewable Energy Agency. "Renewable Energy Statistics 2021". Abu Dhabi, ISBN: 978-92-9260-356-4, 2021
- [3] IRENA-International Renewable Energy Agency. "Country Rankings". <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings> (23.12.2021)
- [4] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği TÜREB, <https://www.tureb.com.tr/> , 2022.
- [5] Salmanoğlu F, Çetin NS. "The Software Package for Design Optimization of the Wind/Photovoltaic Autonomous Hybrid Power System: A Case Study for Ankara City", *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35:20, 1946-1955, 2013.
- [6] Serban A, Paraschiv LS, Paraschiv S. "Assessment of wind energy potential based on Weibull and Rayleigh distribution models", *Energy Reports*, 6 (6), 250-267, 2020.
- [7] Bidaoui H, El Abbassi I, El Bouardi A, Darcherif A. "Wind Speed Data Analysis Using Weibull and Rayleigh Distribution Functions, Case Study: Five Cities Northern Morocco", *Procedia Manufacturing*, 32, 786-793, 2019.
- [8] TÜYAK, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Yangın Güvenliği", İstanbul, 2022.
- [9] TÜYAK, "Acil Durum Tatbikat Planlama Adımları: Yüksek Yapılarda, Acil Durum Tatbikat ve Tahliye Senaryolarının Oluşturulması ve Acil Durum Ekiplerinin Eğitimi", İstanbul, 2022.
- [10] Rüzgâr Türbinleri Yangınları- <https://demofire.com.tr/> Wind Turbines Fire Protection Guideline, CFP-A-E Guideline No 22:2022 F, 2022.