

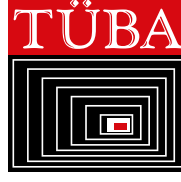


TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

TÜBA-RÜZGÂR ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

Ankara - 2019

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

TÜBA-RÜZGÂR ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

TÜBA-ENERJİ ÇALIŞMA GRUBU

Prof. Dr. İbrahim DİNÇER (Yürütücü)

Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA

Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU

Prof. Dr. Yıldız BAYAZITOĞLU

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Prof. Dr. Sadık KAKAÇ

Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Prof. Dr. Ali SARI

Prof. Dr. Niyazi Serdar SARIÇİFTÇİ

Prof. Dr. Bahri ŞAHİN

Prof. Dr. Raşit TURAN

Haziran 2019

Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 28
ISBN: 978-605-2249-29-1

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

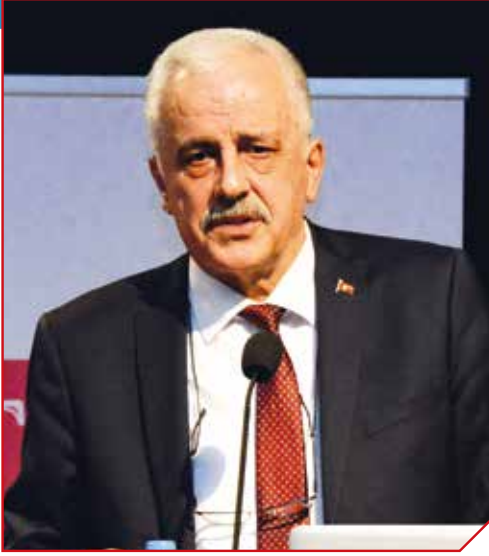
Program Sorumlusu: Dr. Zeynep BİRER

Grafik Tasarım: Ece YAVUZ

Baskı: Tek Ses Ofset Matbaacılık, ANKARA
Haziran 2019, 3000 Adet

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	4
ÖNSÖZ	5
1. GİRİŞ	11
1.1 Amaç	12
2. RÜZGÂR ENERJİSİ VE ÖNEMİ	13
3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ DURUMU VE RÜZGÂR ENERJİSİ GEREKSİNİMİ	17
4. TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİNİN DURUMU	19
4.1 Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinin Kullanımı	21
4.2 YEKA Modeli ve Projesi	25
4.3 Rüzgâr Enerjisi ile İlgili Milli Projeler	25
4.3.1 RİTM Projesi	25
4.3.2 Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi Projesi (MİLRES)	26
5. TÜRKİYE’NİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ	28
5.1. Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Atlası	28
5.2. Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) Rüzgâr Ölçümleri	29
5.3. Özel Sektör Rüzgâr Ölçümleri	30
5.4. Rüzgâr Enerjisi Tahmini	31
5.5 Rüzgâr Ölçüm Sistemleri ve Başvuruları	31
5.5.1 Rüzgâr Ölçüm Sistemleri	31
5.5.2 Rüzgâr Başvuruları	33
5.6 Rüzgâr Enerjisinin Eğitim Boyutu	34
6. TÜRKİYE İÇİN RÜZGÂR ENERJİSİNİN AKILLI ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU	38
6.1. Üretim Entegrasyonları Sonucu Oluşabilecek Zorluklar	38
6.2. Düzenleyici “AKILLI” Yapılar ve Akıllı Şebekelerin Rolü	41
6.3 Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Dağıtım Şirketleri Açısından Değerlendirilmesi	42
6.3.1 Yenilenebilir Enerji ile Ortaya Çıkan Konular ve Piyasada Yeni Müşteriler	42
6.3.2 Şebekedeki Değişimler	42
6.3.3 Geleceğin Elektrik Sistemi Unsurları	44
6.3.4 Paradigma Değişimini Destekleyen Etmenler	44
7. YOL HARİTASI VE YAPILMASI GEREKENLER	46
7.1 Büyük Data ve Veri Analitiği	46
7.2 Nesnelerin İnterneti	46
7.3 Varlık Yönetimi	47
7.4 Rüzgâr Enerjisinde Teknolojik Boyutlar ve Açılımlar	47
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
8.1. Panel 1: Türkiye’nin Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri, Kabiliyetleri, Potansiyelleri ve Finansman Mekanizmaları	52
8.1.1. Ana İçerik	52
8.1.2. Değerlendirme	52
8.2. Panel 2: Türkiye’nin Rüzgâr Enerjisi Mevzuatı, Problemler ve Çözümler	53
8.2.1. Mevzuat	53
8.2.2. Sorunlar	53
8.2.3. Çözüm Önerileri	54
8.3 Sonuçlar	56
9. TEŞEKKÜR	58
KAYNAKLAR	59
TÜBARÜZGÂR ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ ÇALIŞTAYI VE PANELİ PROGRAMI	63



Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA); önemli, öncelikli ve güncel konularda bilim temelli danışmanlık ve rehberlik işlevi ile toplumda bilimsel yaklaşım ve düşüncenin yayılmasını sağlama amacı çerçevesinde, üyelerimiz ve çalışma gruplarımız marifetiyle kongre, sempozyum, konferans, çalıştay gibi bilimsel toplantılar ile yayınlar gerçekleştirmektedir. Bu çerçevede, TÜBA Enerji Çalışma Grubu tarafından kamu, üniversite ve sanayi kesiminden paydaşların katılımıyla 8 Mart 2018’de Ankara’da Hacettepe Üniversitesi’nde “TÜBA Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli” düzenlenmiş ve etkinlikte ele alınan konuları içeren bu Rapor hazırlanmıştır.

Diğer enerji kaynaklarının kısıt ve maliyetlerinin arttığı bir süreçte, temiz ve yenilebilir enerji kaynakları ve bunlar arasında yer alan rüzgâr enerjisi önemi ve kullanımı artan bir enerji türüdür. Türkiye’de de bu enerji türüne yönelik ilgi ve yatırımlarda da son yıllarda bir artış gözlenmektedir. Ülkemizde ve dünyada her geçen gün rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi artarken 2017 yılında ülkemizde rüzgâr enerjisi alım fiyatında 3.48 cent/kWh ile bir dünya rekoru kırılmıştır. Rekorun kırılmasında Türkiye’nin rüzgâr potansiyeli ve bu alandaki kararlılığı etkili olmuştur. İlgili paydaşların katıldığı TÜBA-

Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay’ında Türkiye’nin rüzgâr enerjisi alanındaki bilimsel çalışmaları ve öncelikleri, sektörel hedefleri, projeleri, problemleri ve mevzuatı tartışılmış, değerlendirilmiş ve çözüm önerileri ortaya konulmuştur. Çalıştay’da ele alınan konulara ve sunumlara dayalı olarak, TÜBA Enerji Çalışma Grubu’nca bu Rapor hazırlanmıştır. Rapor’un politika yapımcılar, araştırmacılar ve ilgili tüm paydaşlar için faydalı bir kaynak olacağına inanıyoruz.

Çalıştay ve Panel’in gerçekleştirilmesi ile Rapor’un hazırlanması ve yayımında emeği geçen Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü Prof. Dr. İbrahim Dinçer ve çalışma grubu üyelerine, Rapor’un hazırlanmasına katkı sunan bilim insanlarımıza, Rektör Prof. Dr. Haluk Özen’in şahsında Çalıştay ve Panel’e ev sahipliği yapan Hacettepe Üniversitesi’ne, Akademi üyelerimize, ilgili kurum, kuruluş yönetici ve uzmanlarına, katılımcılara ve emeği geçen tüm paydaşlarımıza teşekkürlerimi, en iyi dileklerle saygılarımı sunuyorum, Rapor’un ilgili karar alıcı ve uygulayıcılar için yararlı olmasını diliyorum.

Prof. Dr. Ahmet Cevat ACAR
TÜBA Başkanı



Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan “Enerji Çalışma Grubu” tarafından düzenlenen, çeşitli kamu kurum ve kuruluşları, sanayi ve sivil toplum örgütlerinin katıldığı “Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri ve Çalıştayı Paneli”, 8 Mart 2018 tarihinde, Hacettepe Üniversitesi Kültür Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir. Açılış konuşmaları bölümünde, TÜBA Başkanı Prof. Dr. Ahmet Cevat Acar, TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yöneticisi Prof. Dr. İbrahim Dinçer ve Hacettepe Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Haluk Özen önemli mesajlar vermişlerdir. TÜBA’nın bilim temelli “rehberlik ve danışmanlık” görevi kapsamında gerçekleştirilen etkinliğin amacı; güneş enerjisi teknolojileri konusunda paydaşları bir araya getirerek bilgi paylaşım platformu oluşturmak, öncelikli teknolojilerin, yeniliklerin, kaynakların, mevzuatın sorunlarını ve problemlerini tartışmak, rüzgâr enerjisine ilişkin durum tespiti yapmak, öneri ve çözümleri ortaya koymaktır.

Etkinlik kapsamında, üç oturum ve iki panel yapılmıştır. Oturumlarda, 11 konuşmacı, panellerde ise 11 panelist görüş ve önerilerini dile getirmişlerdir. Birinci oturumda, Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli ve yatırımları, ulusal ve uluslararası uygulamalar, YEKA projesi, rüzgâr enerjisinin akıllı

şebekeye entegrasyonu ile problemleri ve çözümleriyle rüzgâr enerjisi projeleri ele alınmıştır. İkinci oturumda, rüzgâr enerjisinin teknolojik boyutları ve açılımları, rüzgâr enerjisi uygulamalarının ülkemizdeki yatırımcı boyutları ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin, dağıtım şirketleri açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Üçüncü oturumda ise rüzgâr ölçüm sistemleri ile süreçleri, rüzgâr türbinleri ve aksamalarının standartlara uygunluk değerlendirmesi ile MİLRES tecrübeleri ve önerileri dile getirilmiştir. Birinci panelde, ülkemizin rüzgâr enerjisi teknolojileri, kabiliyetleri, potansiyelleri ve finansman mekanizmaları tartışılırken, ikinci panelde ülkemizdeki rüzgâr enerjisi mevzuatı, problemler ve çözümleri birçok yönüyle ele alınmıştır.

Bu rapor, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan “Enerji Çalışma Grubu” tarafından düzenlenen “Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri ve Çalıştayı Paneli”nde sunulan bildiriler esas olmak üzere güncel literatürden taranan bilimsel çalışmaların derlenmesiyle hazırlanmıştır.

Etkinlik Komitesi Adına
Prof. Dr. İbrahim DİNÇER
 TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü









TÜBA-RÜZGÂR ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, enerji yetersizliği, fosil yakıtların hızla tükenmesi ve gelişmekte olan bazı ülkelerde enerji talebindeki hızlı artışa karşılık Yenilenebilir Enerji teknolojileri, büyük kapasiteli elektrik üretimi için çok iyi bir fırsat oluşturmuştur. Bu çerçevede rüzgâr enerjisi, en hızlı gelişen yenilenebilir enerji teknolojilerden birisidir [1].

Rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları da yerli olup fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmada yardımcı olacak en önemli temiz ve tükenmez enerji kaynaklarıdır. Dolayısıyla fosil yakıtlardan elde edilen ve önemli ölçüde çevre kirliliğine sebep olan elektrik üretimine alternatif olarak hem temiz ve hem de yerli yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen temiz elektrik sayesinde yeşil bir doğa ve yaşam kalitesine ulaşılabilecektir. Rüzgâr, güneş enerjisinin dolaylı şeklidir ve sürekli olarak güneş tarafından yenilenir. Rüzgâr, yer yüzeyinin güneş tarafından diferansiyel olarak ısıtılmasından kaynaklanır. Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtların küresel rezervlerinin azalmasının, küresel ekonominin uzun vadeli sürdürülebilirliğini tehdit ettiği durumlarda çevre dostu bir seçenek ve ulusal enerji güvenliğini sağlayabilecek temiz enerji kaynaklarından biridir [2].

Rüzgâr enerjisinin avantaj ve dezavantajları kaynaklara göre farklılık göstermekle birlikte aşağıda özetlenmiştir [3]:

Rüzgâr enerjisinin faydaları:

- Temiz bir enerji kaynağıdır, emisyonu yoktur.
- Yerel bir enerji kaynağıdır, dışa bağımlı değildir.
- Yatırım alanının %1'ini kullanır, bu alanlarda tarım ve hayvancılık faaliyetleri yapılabilir.
- Ucuz bir enerji kaynağıdır.
- Türbin kurulumunda atıl alanlar kullanılabilir.
- Yüksek istihdam yaratır.

Rüzgâr enerjisinin sakıncaları:

- Görüntü kirliliği yaratabilir.
- Gürültü kirliliği yaratabilir.
- Radyo ve TV sinyallerini bozabilir.
- Kuş göç yollarında, kuşlara zarar verebilir.

Rüzgâr enerjisi üzerine literatürde çeşitli derleme çalışmaları yapılmıştır. Bu bağlamda, son yıllarda yapılan bazı çalışmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

Tummala ve Diğ. [4], yatay eksenli rüzgâr türbinlerin performansı, kanat tasarımı, kontrolü ve imalatını incelediler. Düşey eksenli rüzgâr türbinlerini deneysel ve sayısal çalışmalara göre sınıflandırdılar. Küçük rüzgâr türbinlerinin gerçek kurulumunda değişik çalışmalardan elde ettikleri sonuçları sundular. Gonzalez-Rodriguez [5], rüzgâr türbinlerinin ve temellerinin kurulumu, elektrik donanımı, tasarım ve proje yönetimi, işletme/bakım dâhil olmak üzere, deniz üstü (offshore) bir rüzgâr çiftliğindeki en önemli ekonomik faktörleri ele aldı. Çiftliğin boyutunun bir fonksiyonu olarak, farklı maliyet tahminlerini sundular. Zemamou ve Diğ. [6], Savonius rüzgâr türbinin yeni tasarımlarının performansı üzerinde yayınlanmış bazı sonuçları kıyasladılar. Murthy ve Rahi [7], rüzgâr kaynak değerlendirmesini incelediler. Yaptıkları bu derleme çalışmasında, rüzgâr güç projelerinin oluşturulmasında kullanılan değişik teknikleri/yöntemleri ve rüzgâr kaynak değerlendirmesiyle ilgili belirsizlikler ile ön değerlendirme yöntemlerini detaylı olarak konu ile ilgilenenlerin kullanımına sundular. Liu [8] rüzgâr türbini aerodinamik gürültüsünü ve mekanik gürültü mekanizmasını ele aldı. Menezes ve Diğ. [9], rüzgâr türbini kontrolüyle ilgili yapılan çalışmaları ve bu alandaki en son gelişmeleri açıkladılar. Kumara ve Diğ. [1], kentsel altyapıyla entegrasyona odaklanarak düşey eksenli rüzgâr türbinlerindeki ana gelişmelerin bazılarını incelediler. Kentsel alanlarda rüzgâr türbinlerinin kabulüne ve geleceğe yönelik çalışmalar için bazı önerilerde bulundular. Wang ve Diğ. [10], değişik tipteki deniz üstü rüzgâr altyapılarını, örnek projelerin ışığı altında, geniş kapsamlı olarak sundular. Özgün bir temeli ve bununla ilgili ana teknolojik konuları ele aldılar. Thomas ve Ramachandra [11], rüzgâr türbini kanat uygulamaları için, istenilen belli özellikteki (örneğin, yerçekimi kuvvetlerini azaltmak için ağırlığı az, rüzgâr kuvvetine ve kanadın yerçekimi kuvvetine dayanıklı mukavemeti yüksek) değişik malzemeleri inceleyerek sektör kullanıcılarının istifadesine sundular. Salameh ve Diğ. [12], rüzgâr türbinlerindeki dişli kutusu koşulunun izlenmesi için değişik yöntemleri ve modelleri açıkladılar. Alhmouda ve Wa [13], rüzgâr türbinlerinin güvenilirlik analizi konusunda yapılan araştırmaları özetlediler ve değişik güvenilirlik modellerini sundular. Oh ve Diğ. [14], değişik tipteki deniz üstü rüzgâr enerjisi temellerini inceleyip uygulamanın mevcut durumunu tartıştılar ve bununla ilgili geleceğe yönelik önerilerde bulundular.

Bu raporda ise rüzgâr enerjisi teknolojileri önce sınıflandırılmış, tarihsel ve teknolojik gelişim süreçleri incelenmiş, ülkemizdeki ve dünyadaki kullanım alanları ele alınmış ve ülkemizdeki rüzgâr enerjisi potansiyeli üzerinden yeni açılımların değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Ayrıca rüzgâr enerjisinde eğitimin boyutu ve bu bunun için gerekli olan önerilere de yer verilmiştir.

1.1 Amaç

Akademimizin ülkenin bilgi, bilim ve teknoloji ihtiyaçlarına cevap vermek üzere enerji alanında kurmuş olduğu Enerji Çalışma Grubu'nun misyonu, enerji alanında Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu bilimsel ve teknolojik konularda çalışmalar yaparak, bilgi üretmeyi, bilimi ve teknolojiyi geliştirmeyi, strateji ve politika geliştirmede yardımcı olmayı, yol haritaları çıkarıp sorunlara çözümler önermeyi hedefleyen bir çalışma grubudur.

Vizyonu ise enerji konusunda ülkenin enerji bağımsızlığına, bilimsel ve teknolojik gelişimine ve stratejik enerji önceliklerinin belirlenmesine katkı sağlayan etkin ve sözü dinlenen bir kurumsal yapıya ulaşmaktır.

Yukarıdaki misyon çerçevesinde amaçlanan vizyona ulaşmak için belirlenen ana hedefler aşağıda listelenmektedir:

- Çevre dostu ve sürdürülebilir enerji çözümleri geliştirme,
- Enerji konularında bilgi geliştirme ve bilgi toplumu oluşturma,
- Enerji konusunda çalışan kaliteli bilim insanları yetiştirme,
- Enerji teknolojileri gelişimi için gerekli insan kaynağı ve altyapı imkânlarını geliştirme,
- Ülkenin bilimsel seviyesini yükseltme,
- Ülkenin araştırma, inovasyon ve teknoloji geliştirme kabiliyetlerini geliştirme
- Ülkenin enerji bağımsızlığına katkı sağlama,
- Sürdürülebilir bir enerji ekonomisi oluşturulmasına katkı yapma,
- Ülkemizin enerji sürdürülebilirliğine ve kalkınmasına katkı yapma,
- Stratejik enerji etkinlikleri ve beyin jimnastiği toplantıları düzenleme,
- Stratejik enerji politikaları geliştirme ve raporlar hazırlama,
- Enerji yol haritaları çıkarma,

Bu hedeflerden yola çıkarak, akademimizin bu raporu hazırlama gerekçelerini aşağıdaki gibi kısaca sıralamak mümkündür:

- Rüzgâr alanında ülkemizin ihtiyaç duyduğu

- sürdürülebilir ve inovatif bilgileri üretmek,
- Rüzgâr alanında ülkemizin ihtiyaç duyabileceği sürdürülebilir enerji çözümlerini geliştirmek,
- Rüzgâr alanında teknoloji, insan kaynağı ve altyapı imkânlarını tespit ederek geliştirmek için stratejiler ortaya koymak,
- Rüzgâr alanında ülkemizde kurumsal sinerji oluşturarak sektörel ve akademik bilgi seviyesinin geliştirilmesine katkı sağlamak,
- Ülkemizin rüzgâr alanında araştırma, inovasyon ve teknoloji geliştirme kabiliyetlerinin gelişimine katkıda bulunmak,
- Rüzgâr alanında ülkemizin sürdürülebilir bir enerji ekonomisi oluşumuna katkı yapacak stratejileri ortaya koymak,
- Rüzgâr alanında ülkemiz için gerekli olan yol haritalarını geliştirmek.

Çalıştayla, ülkemizin enerji bağımsızlığının sağlanması için rüzgâr alanında gerekli teknolojik, insan kaynağı ve altyapı imkânlarının gelişimi konusunda devletimize bilgi, çözüm önerileri ve yol haritaları sağlamayı hedefliyoruz.

2. RÜZGÂR ENERJİSİ VE ÖNEMİ

Enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmasının itici gücü olup ekonomik büyümenin vazgeçilmez bir unsurudur [2]. Geleneksel enerji üretim ve tüketim sistemleri yerel, bölgesel ve küresel ölçekte hava, su ve toprak kirlenmesine yol açmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan kirleticiler (sera gazları) küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak da iklim değişikliğine neden olmaktadır. Kirleticiler azaltımının en önemli yöntemi; çevreye karşı duyarlı, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji sistemlerinin tercih edilmesidir.

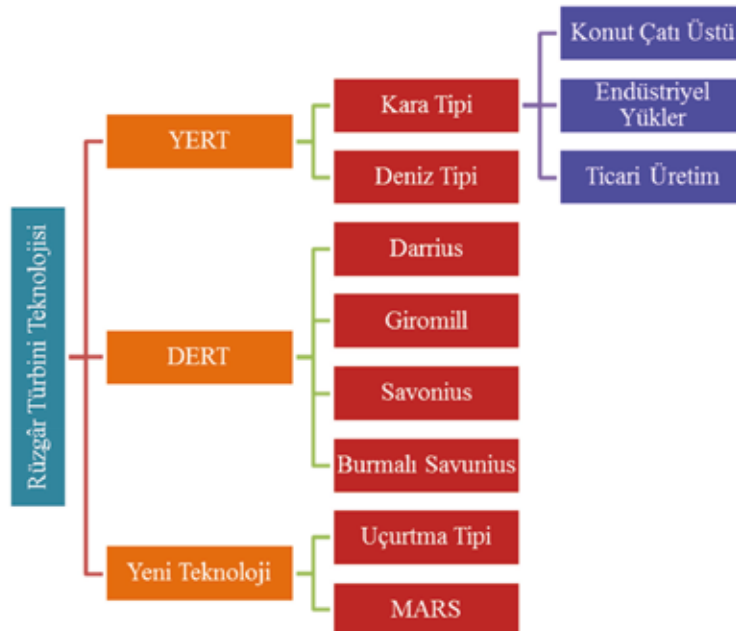
1973 dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların ekonomik ömürlerinin kısıtlı olması, çevreye yaydıkları kirlilik ile gelecek nesillerin de enerji ihtiyacı dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. İlk etapta göz önünde bulundurulması gereken alternatif enerji kaynaklarından birisi rüzgâr enerjisidir [3].

Rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları yerli olup fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmada yardımcı olacak yegâne alternatiftir. Rüzgâr, güneş enerjisinin dolaylı şeklidir ve sürekli olarak güneş tarafından yenilenir. Rüzgâr, yer yüzeyinin güneş tarafından diferansiyel olarak ısıtılmasından kaynaklanır. Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtların küresel rezervlerinin azalmasının, küresel ekonominin uzun

vadeli sürdürülebilirliğini tehdit ettiği durumlarda değişken ve çevre dostu bir seçenek olması yanında ulusal enerji güvenliğini sağlayabilecek alternatif enerji çeşitlerinden biridir [2]. Bu sebeplerden ötürü, rüzgâr enerjisi teknolojilerine yönelinmesi önem arz etmektedir.

Rüzgâr enerjisi teknolojilerinde ilk akla gelen rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Bir rüzgâr türbini, genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi, aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır [15].

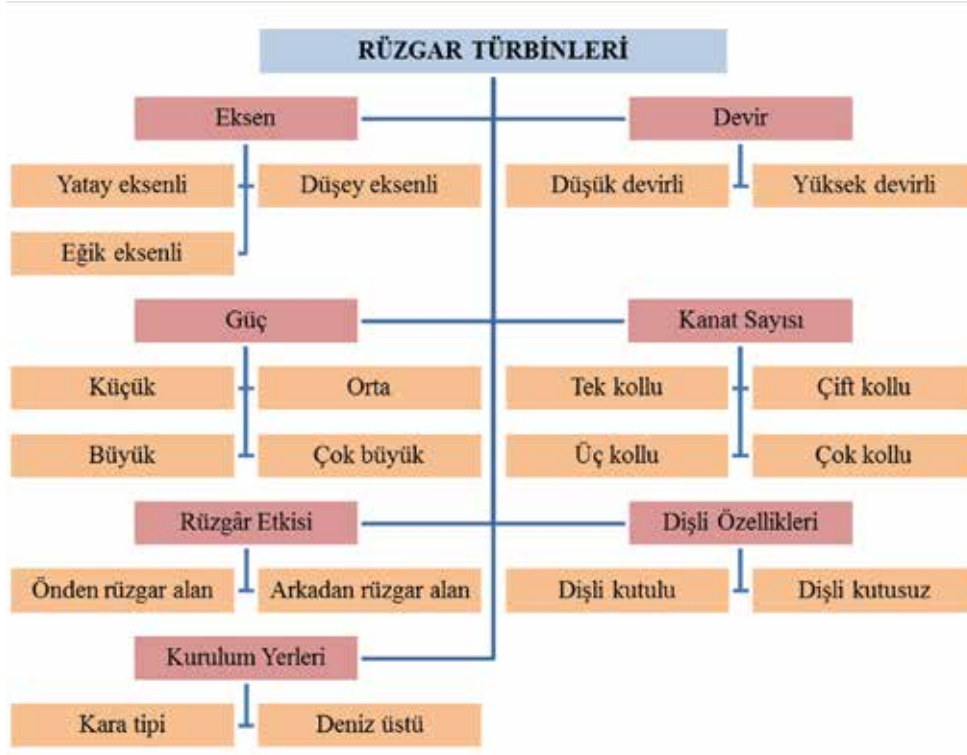
Günümüzde rüzgâr, esas itibarıyla rüzgâr türbinlerinin yardımıyla güç üretiminde kullanılır. Yaygın olarak kullanılan rüzgâr türbin teknolojilerinin sınıflandırılması Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu rüzgâr türbinleri, eksen yerleşimi bakımından, yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT'leri) ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT'leri) olmak üzere iki kısma ayrılır. Uçurtma tipi (Kite) üretim türbinleri ve kısa adı MARS (Magenn Air Rotor Systems) olan uçan rüzgâr türbinleri gibi yeni nesil rüzgâr türbinleri sırasıyla 800-1000 metre ve 183-305 metre aralığındaki yüksekliklerde işlevlerini sürdürmektedir.



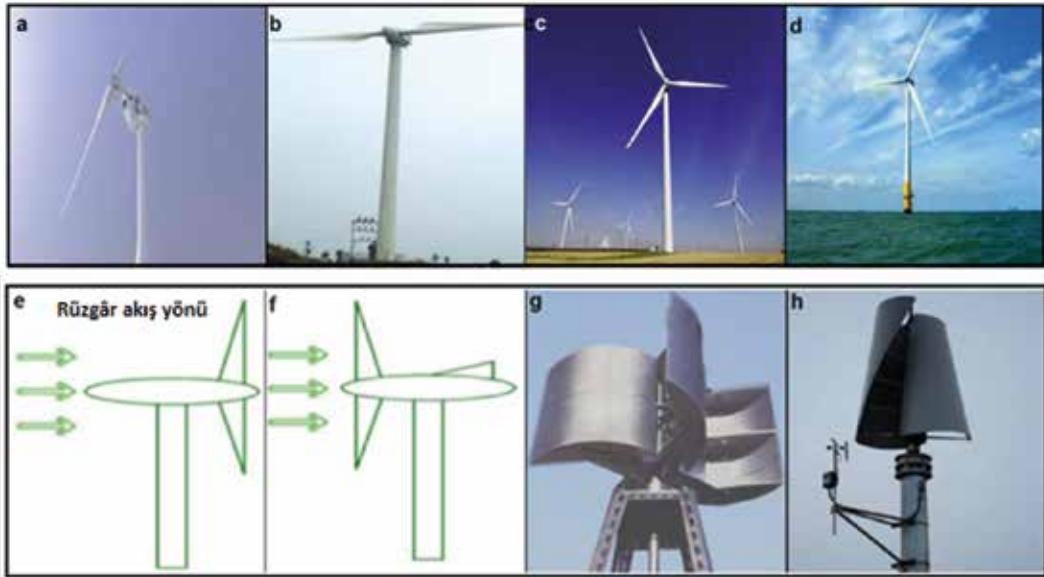
Şekil 1: Yaygın olarak kullanılan rüzgâr türbin teknolojilerinin sınıflandırılması [7, 16, 17].

Rüzgâr türbinleri; Şekil 2’de gösterildiği gibi, dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılırlar. Bu şekilde yer alan her bir sınıflandırma için detaylı bilgi [15] no’lu kaynaktan edinilebilir.

Teknolojideki ana gelişmeler son yıllarda; rüzgâr türbini rotor boyutu, kule yükseklikleri, rüzgâr türbinlerindeki güvenliğin ve verimliliğin artırılması, rüzgâr türbinlerinin etkin bir maliyetle yerleştirilmesi gibi konularda olmuştur. Tüm bu teknolojik modeller, Şekil 3’ten 5’e kadar grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2: Rüzgâr türbinlerinin genel sınıflandırılması (Kaynak [15]’ten uyarlanmıştır).



Şekil 3: Büyük ölçekli YERT ve küçük ölçekli Savonius DERT’lerindeki değişik teknolojiler (Kaynak [7]’den uyarlanmıştır). (a) Tek kanatlı YERT, (b) İki kanatlı, (c) Üç kanatlı, (d) Deniz üstü tipi, (e) Arkadan rüzgâr alan, (f) Önden rüzgâr alan, (g) Savonius DERT ve (h) Burgulu Savonius DERT.



Şekil 4: Küçük ölçekli YERT'lerindeki değişik teknolojiler [7, 18, 19].

(a) Swift rüzgâr türbini, (b) Elektrik rüzgâr türbini, (c) Fortis Montana rüzgâr türbini, (d) Scirocco rüzgâr türbini, (e) Tulipo rüzgâr türbini, f(i) Savonius enerji duvarı rüzgâr türbini, f(ii) Savonius enerji duvarı rüzgâr türbini, (g) Difizörlü rüzgâr türbini ve (h) Çok kanatlı rüzgâr değışmeni.



Şekil 5: Küçük ölçekli Darrius DERT'lerindeki değişik teknolojiler [7, 18, 20].

Bugüne kadar kullanılan gelişen rüzgâr teknolojileri; *Tablo 1*'de gösterildiği gibi, değişik tasarım şekilleri, işletme mekanizmaları ve eksenin biçimi, aerodinamik kuvvetler, rotorun konumu, rüzgâr türbini hızı, kanatların sayısı, dişli kutusu, güç kontrolü, yön (yaw) yerleşimi, pervane göbeği (hub) tipi ve yeri gibi fiziksel yapı bakımından görünüşüne göre sınıflandırılmıştır.

Tipik YERT'ler yaygın bir şekilde ticari olarak büyük ve küçük ölçekli elektrik üretiminde kullanılır. Rotor çapına bağlı olarak bu rüzgâr türbinleri, *Tablo 2*'de gösterildiği gibi büyük, orta, küçük, evsel, mini ve küçük ölçekli rüzgâr

türbinleri olarak da sınıflandırılabilirler. DERT'ler, çoğunlukla, küçük ölçekli güç üretimi (100 kW'tan küçük) için dikkate alınırlar. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) Standart 61400-2'de, küçük rüzgâr türbinleri için teknik standart tanımlanmıştır ve bu standarda göre, rotor süpürme alanları 200 m²'den daha az olan türbinlerle, 1000 Watt alternatif akım veya 1500 Watt doğru akımdan daha az voltaj düzeyinde yaklaşık 50 kW'lık güç değeri söz konusudur. Bu standartlardan farklı olarak birçok ülke 10-100 kW güç aralığında bu türbinler için kendi ulusal standartlarını tanımlamıştır [7].

Tablo 1: Rüzgâr türbini tasarımlarının değişik biçimleri [7,21,22].

Sıra no	Tasarım biçimi/Rüzgâr karakteristiği	Rüzgâr teknolojisinin tipi
1	Eksen biçimi	Yatay, düşey eksenli rüzgâr türbinleri
2	Aerodinamik kuvvetler	Kaldırma tipi (YERT ve Darrius DERT) Çekme tipi (Savonius YERT ve DERT)
3	Rotorun konumu	Önden ve arkadan rüzgâr alan türbinler
4	Rotorun hızı	Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinleri
5	Kanatların sayısı	Tek, iki, üç ve çok kanatlı YERT'leri
6	Dişli kutusu sistemi	Dişli kutlu ve kutusuz rüzgâr türbinleri
7	Güç kontrolü	Durma, değişken ve açı (pitch) ayarlı rüzgâr türbinleri
8	Rotor çapı	Büyük, orta, küçük, mini, mikro ve nano ölçekli rüzgâr türbinleri
9	Yön (yaw) yerleşimi	Sürücülü yön/serbest yön/sabit yön
10	Göbek (flanş, hub) tipi	Rijit/dişli/açılır kapanır kanatlar/mafsallı
11	Yeri	Kara tipi ve deniz üstü rüzgâr türbinleri
12	Türbülans	Uluslararası Elektroteknik Komisyona (International Electrotechnical Commission: IEC) göre A ve B Sınıfı rüzgâr türbinleri
13	Rüzgâr hızı	IEC'ye göre Sınıf I, II, III ve IV

Tablo 2: Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması [7, 23].

Sıra no	Teknoloji tipi	Rotor çapı aralığı (m)	Rotor süpürme alanı aralığı (m ²)	Standart nominal güç aralığı (kW)	Rüzgâr hızı bölgeleri	Uygun uygulamalar
1	Büyük ölçekli	50-100	1963-7854	1000-3000	Çok yüksek	Büyük ölçekli şebeke güç üretimi (Kara tipi ve deniz üstü rüzgâr çiftlikleri)
2	Orta ölçekli	20-50	314-1963	100-1000	Yüksek	Mini rüzgâr çiftlikleri (Uzak alanlarda akıllı/mikro şebeke uygulaması, köy gücü)
3	Küçük ölçekli	10-20	79-314	25-100	İyi	Konuta özgü amaçlar, kırsal elektrikleştirme, su pompalama ve telekomünikasyon yerleri)
4	Evsel ölçekli	3-10	7-79	1,4-16	Orta	Hibrit sistemler
5	Mini ölçekli	1,25-3	1,2-7,1	0,25-1,4	Düşük	Binaya entegre çatı üstü uygulamaları
6	Mikro ölçekli	0,5-1,25	0,2-1,2	0,004-0,25	Çok düşük	Düşük güç uygulamaları
7	Nano ölçekli	0,25 kW'ın altında olabilir (Standart bir tanımlama henüz yapılmamış)				

3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ DURUMU VE RÜZGÂR ENERJİSİ GEREKSİNİMİ

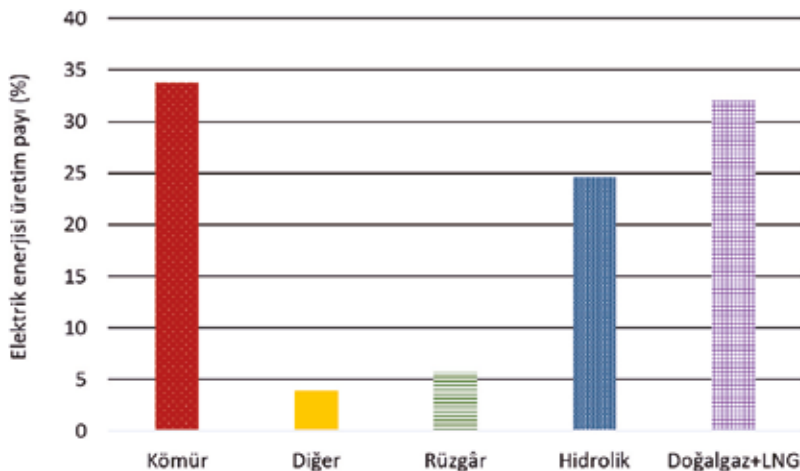
Ülkemizde elektrik enerjisi üretim verilerine bakıldığı zaman 2016 yılı sonu itibarıyla üretimimizin 273,4 milyar kWh, tüketimimizin ise 278,3 milyar kWh olduğu gözlenmektedir. T. C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın verilerine göre, son on beş yılın ortalamasına bakıldığı zaman Türkiye’nin yıllık elektrik enerjisi tüketim artış hızının %5,4 seviyelerinde gerçekleşmiş olduğu görülecektir. 2002 yılında 132,6 milyar kWh olan yıllık elektrik tüketim değerleri 2016 yılında yaklaşık iki katına çıkarak 278,3 milyar kWh’e ulaşmıştır. Elektrik enerjisi talebindeki yükselme 2014 yılında %4,4, 2015 yılında %3,3 iken, 2016 yılında %4,7 olarak gerçekleşmiştir [24]. Karşılanan bu enerji talebinin üretilme yöntemlerine bakılacak olursa Türkiye’nin hatırı sayılır bir çeşitliliğe sahip olduğuna tanıklık edilecektir. Enerji üretimimizin büyük bir çoğunluğu doğalgaz olması ülkemiz açısından bir sorun olarak görülse de son zamanlarda temiz enerji kaynaklarına da yönelim dikkat çekmektedir.

Ülkemizde elektrik santrallerinin toplamı 81.647 MWe’lik bir kapasiteyi oluşturmaktadır. Şekil 6’da da görüleceği üzere üretimin yarıdan fazlası termik santraller tarafından gerçekleşmektedir. Termik santrallerin elektrik üretimindeki payı 46.356 MWe olup bu santrallerde kullanılan yakıtın doğalgaz ve kömür olduğu gözükmemektedir. Hidroelektrik santrallerin toplam kapasite üzerindeki payı doğalgaz ve kömür santralleri ile birlikte en yüksek seviyede olduğu dikkatlerden kaçmamaktadır. Türkiye’de hidrolik güce yakından bakılacak olursa Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nün

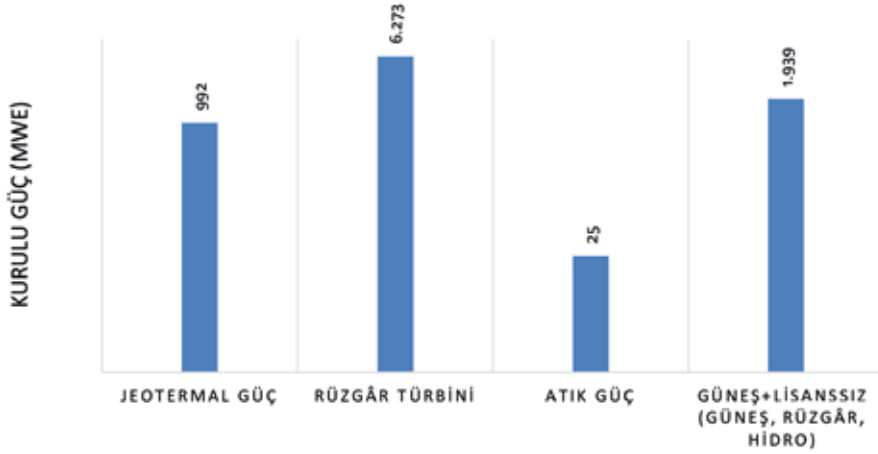
(DSİ) elektrik enerjisi üretimi planına [26] göre potansiyel güç 46.000 MWe (1.644 HES), işletme dâhilinde olan kapasite 27.087,4 MWe (364 HES), inşaat halinde olan birimlerin toplam kapasitesi 9.805 MWe (216 HES) ve inşa edilmesi planlanan kapasitenin ise 19.375,5 MWe (1.066 HES) olduğu gözükmemektedir. Ülkemizde hidrolik potansiyelin %41’i geliştirilmiştir. Türkiye, 2023 hedefleri doğrultusunda kurulu gücünü 34.000 MWe çıkartmaya çalışmaktadır.

Şekil 7’de ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının durumuna bakıldığında rüzgâr enerjisinin 6,273 MWe’lik kapasite ile başı çektiği görülmektedir. Bu değer güneş enerji sistemleri ve lisanssız enerji santralleri tarafından takip edilmektedir (1,939 MWe) [27]. Büyük hidroelektrik santrallerinin tam anlamıyla yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülmemesi nedeniyle Şekil 7’deki değerlendirmeye sadece küçük ölçekli lisanssız hidroelektrik güç santralleri dâhil edilmiştir.

Şekil 7’de görüldüğü üzere, yenilenebilir enerji kaynakları ülkemizde 2017’deki toplam kurulu güce (83.000 MWe) kıyasla çok düşük değerlerdir. Hidrolik enerji kaynakları hariç, diğer yenilenebilir enerji kaynakları, bir ülkenin elektrik enerjisi problemini yalnız başına çözemez; fakat enerji gereksiniminin karşılanmasına, çevre sorunlarının azaltılmasına ve sürdürülebilir enerji sorununa katkıları önemlidir. Enerji sorununu çok doğru stratejiler kullanarak çözmüş ve endüstride hızlı gelişme sağlamış ülkeler, fosil yakıt (kömüre dayalı) santralleri, hidrolik santraller, Kyoto Protokolü’ne çok uygun olan nükleer santraller ve alternatif enerji kaynaklarını beraberce kullanan ülkelerdir [28-29]. Ülkemizde 2016 yılında kişi başına elektrik



Şekil 6: Kaynak bazında ülkemizin elektrik enerjisi üretim payları
(Değerler Kaynak [24]’ten alınmıştır).



Şekil 7: Ülkemizdeki kurulu yenilenebilir enerji kaynakları (Kaynak [25]’ten uyarlanmıştır).

enerjisi tüketimi 3.425 kWh olmuştur. Diğer Avrupa ülkelerinde ise bu değerler Almanya 7.191, Fransa 6.986, Bulgaristan 4.398, Yunanistan 5.230 kWh/insan [30] olarak gözükmemektedir. Bu ise bizim henüz gelişmekte olduğumuzun bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Bu noktada ülkelerin kıyaslanmasında iki rakam önem arz etmektedir. Birincisi, kişi başına harcanan elektrik, diğeri ise milli gelir artışına karşılık kullanılan enerji miktarıdır. Elektrik harcamasının gelişmiş ülke olmayla orantılı artışı beklenen bir şeydir. Ancak asıl istenen ise milli gelirin artışıyla beraber enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bu da aynı işi yapan verimli cihazların kullanılması ile sağlanabilir.

Ülkemizde 1980’de elektrik üretimi 23 milyar kWh, 2005 yılında 150 milyar kWh iken, 2010’da 194 milyar kWh, 2016 yılında ise 274 milyar kWh ve 2017 yılında da 281,5 milyar kWh olmuştur. Elektrik üretiminde yerli kaynağın payı ise %47,60 olarak görülmektedir. Ülkemizin enerji politikaları arasında üretimde yerli kaynak payının artmasının önemi çok büyüktür.

Yukarıda da anlatıldığı üzere ülkemiz enerji üretiminde çeşitliliğe sahiptir. Bu nedenle en iyi ve emin yol, çeşitli enerji kaynaklarını beraberce kullanmak ve rüzgâr gücü santrallerini, çok hızlı bir şekilde devreye sokmak, doğalgazın elektrik enerjisi üretimine katkısını azaltmaktır. Her şeyden önce yeni bir teknolojinin kullanıma girmesi önem arz etmektedir.

Bunun için öncelikle çevremizdeki ülkelere bakıp, başka ülkeler ne yapıyor ve neden yapıyor diye incelemelerde bulunmak gerekir. Rüzgâr enerji teknolojisinde gelişmiş ülkelerin bulundukları noktaya nasıl geldikleri iyi tetkik edilmelidir. Dünyada rüzgâr enerjisinden ilk olarak yaklaşık

500 yıl önce Mısır’da kayıkların bir sahilden diğerine yüzdürülmesi için faydalanılmıştır. M.Ö. 200 yılında ilk olarak bir eksene tutturulmuş pervaneler ile dönüş hareketi üreten bir makine şeklinde çalışan yel değirmenlerinin yapıldığı da bildirilmektedir. M.S. 10. yüzyıla kadar, İran ve Afganistan’da, yel değirmenlerinden tahıl öğütme amacıyla yararlanılmıştır. Yel değirmenleri konusundaki ilk yazılı belgelere, 12. yüzyılda rastlanmaktadır. ABD’de 1889 yılında yel değirmeni üretimi yapan fabrikalar kurulmuş olup, çok kanatlı yel değirmenleri 19. yüzyılın ikinci yarısında yapılmaya başlanmıştır [31, 32].

Çok kanatlı yel değirmenlerinin yapılmasını izleyen süreçte yel değirmenleri geliştirilmiş ve rüzgâr enerjisi su pompalama işlerinde kullanılmıştır. ABD’deki büyük demiryolları, dizel motorlar icat edilinceye kadar çok pervaneli rüzgâr sistemlerine bağlı kalmıştır. Başka bir deyişle buhar lokomotiflerinin su ihtiyacı için su pompalama, yel değirmenlerinin pervaneleri sayesinde gerçekleştirilmiştir. 1930 ve 1940’lı yıllarda yel değirmenlerinin pervaneleri daha da geliştirilerek, ABD’de yüz binlerce elektrik üreten rüzgâr türbini imal edilmiştir. Bunlar da yüksek hızda dönen ve elektrik jeneratörünü çalıştıran iki veya üç kanatlı pervaneler şeklinde dizayn edilmiştir. 1980’li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı öncülüğünde yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmaları, rüzgâr enerjisinin gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Çok kanatlı eski tip rüzgâr türbinleri yerine daha modern ve çağdaş olan rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri kurulmuştur. Rüzgâr enerjisi ile çalışan bu türbinlerden, çiftliklere elektrik üretmede, depolama pillerini doldurmada, pilleri şarj etme, su depolama, taşımacılık, su pompalama, tahılların öğütülmesi ve soğutma işlerinde yararlanılmıştır [31-34].

4. TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİNİN DURUMU

Rüzgâr enerjisi, Türkiye’nin tarihi ve ekonomik gelişimde her zaman önemli bir rol oynamıştır. Bununla ilgili en eski dokümanate edilmiş kanıt, antik şehir Troya’ya uzanır. İlk rüzgâr değirmenlerinin Anadolu’da ne zaman kurulduğu bilinmemektedir. Bununla birlikte, 14. yüzyılı işaret eden kanıtlar vardır. M.S. 1389 tarihli bir deniz haritasında, rüzgâr değirmenleri, İzmir körfezindeki sığ yerler ve doğal kum setleri boyunca işaretlenmiş olarak görülüyor [35, 36]. 1940’lı yıllarda rüzgâr değirmenleri mısırı öğütmek, tarlalara suyu pompalamak ve hatta Anadolu’nun kırsal yerlerindeki ilk telsizleri enerjilendirmek için kullanıldı. 1960 ve 1961 yılları arasında Türkiye Tarım Bakanlığı tarafından yapılan bir incelemeye göre, 749 adet rüzgâr değirmeni vardı. Bunların 718’i, suyun pompalanması için ve geri kalanı elektrik üretimi için kullanıldı. 1966-1967 ve 1978-1979 yıllarındaki iki araştırma, 309 ve 894 ünitenin varlığını, bunların sırasıyla 2 ve 23 adedinin kapasiteleri 1,0 kW’tan daha az olan elektrik üreten türbinler olduğunu ortaya koydu.

1960’lı yıllardan beri bazı üniversitelerde rüzgâr enerjisi üzerine çalışmalar yürütülmektedir [37]. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 1980’li yıllardan beri bir rüzgâr atlasının oluşturulmasına yönelik çalışmalara başlamıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE, günümüzde YEGM), bazı rüzgâr ölçümleri yaptı [36]. Türkiye’de genel kullanım için rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi, ilk defa 1986 yılında İzmir’in Çeşme ilçesi Altın Yunus Tesisleri’nde kurulan 55 kW elektrik üreten rüzgâr türbininden elde edildi [38]. 1000 yataklı otelin yıllık elektrik enerjisi tüketimi 3 milyon kWh iken rüzgâr türbiniyle yılda yaklaşık 130.000 kWh’lik elektrik enerjisi üretiliyordu [39]. Bu yıllarda zaten dünya genelinde de rüzgâr enerjisi teknolojileri henüz gelişmekte olup büyük ticari ölçekli rüzgâr çiftliklerinin kurulumu başlamamıştı [40].

Ülkemizde; 1986-1996 yılları arasında rüzgârdan elektrik üretmek için bazı girişimlerde bulunuldu ancak hiçbirisi başarıyla sonuçlanmadı [41]. 1994 yılında Türkiye’de bir rüzgâr enerjisi projesi için ilk Yap-İşlet-Devret fizibilite çalışması Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na (ETKB) sunuldu [42]. Rüzgâr enerjisinin kullanılmasındaki ilk yatırımın yüksek olmasından başka, Türkiye’deki rüzgâr hızı karakteristikleri üzerine yeterli bilginin olmaması, rüzgâr enerjisinden yararlanmadaki yetersizliğin ana nedeni oluşturunuyordu.

Bu bağlamda, Türkiye’de rüzgâr enerjisinin asıl başlangıcı yine Çeşme’de 1998 yılının Şubat ayında kurulumu tamamlanan Germiyan Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) ile başlamıştır. Bu santralde her biri 500 kW gücünde olan üç türbin vardır. O yılların kanun ve düzenlemesine göre bir fabrikanın enerji tüketimini karşılamak amaçlı otoprodüktör tesisi olarak kurulmuş ve sonrasında lisanslı projeye çevrilmiştir. 1998 yılının Ağustos ayında yine Çeşme’de ARES RES (her biri 600 kW gücünde 12 adet türbinden oluşan) işletmeye başlamıştır. Üçüncü adım ise 2000 yılında Bozcaada’da her biri 600 kW gücünde 17 adet türbinden oluşan Bozcaada RES’in kurulmasıyla atılmıştır. ARES RES ve Bozcaada RES santralleri Yap-İşlet-Devret modeliyle yapılmıştır ve bunlar 20 yıllık işletme döneminden sonra devlete devir edilecektir. 2003 yılında İstanbul Hadımköy’de Germiyan RES gibi kendi enerjisini üretme amacıyla otoprodüktör lisansı ile kurulmuş her biri 600 kW gücünde 2 adet türbinden oluşan Sunjüt Rüzgâr Santrali kurulmuştur ve halen işletmededir. 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kanunu’nun çıkmasından sonra, rüzgâr enerji santralinden üretilen elektriğe alım garantisi getirilmiş ve teknolojik ilerlemelerle beraber sektöre ilgi artmaya başlamıştır [5]. EİE tarafından 2006 yılında Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA) hazırlamıştır. Ayrıca 21 Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi’nde rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2023 yılına kadar 20 GW’a çıkarılmasının hedeflendiği belirtilmektedir [43].

Türkiye’nin ilk rüzgâr santrali işletmede 20 yılını doldurdu. İlk yıllarda otoprodüktör ve Yap-İşlet-Devret modeliyle hayat bulan rüzgâr yatırımları, bu mevzuatın sona erdirilmesiyle duraklamaya girdi. Ancak 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması’nın (YEKDEM) devreye girmesiyle yine hızlı bir gelişme yaşandı [44]. Bu tarihsel gelişim sürecinde rüzgâr enerjisiyle ilgili Türkiye’de aşağıdaki strateji ve planlama çalışmaları yapılmıştır [3]:

Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi

Mayıs 2009 tarihli “Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi”nde Türkiye Cumhuriyeti’nin 100. kuruluş yıldönümünün kutlanacağı 2023 yılında yenilenebilir enerjiye dayalı olarak üretilen elektriğin tüm elektrik üretim çeşitliliğindeki ağırlığının %30 düzeyine gelmesi ve rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücün en az 20.000 MW olması hedeflenmiştir.

Yine Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan “Enerji Sektörü ve Emisyonlar” isimli sunumunda 2020 yılı hedefi olarak, 20.000 MW rüzgâr kurulu gücü belirlendiği belirtilmektedir. Ayrıca Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca TBMM’ye sunulan Bakanlık Raporunda, 2020 yılı için RES enerji üretim projeksiyonu olarak 4195 GWh (2010 yılına göre 3 kat) enerji üretimi belirlenmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı

“Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı” kapsamında; ülkemizin sahip olduğu hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmasının kaynak çeşitliliğinin sağlanabilmesi açısından stratejik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle Stratejik Plan kapsamında yenilenebilir enerjinin elektrik enerjisi üretimindeki payının artırılması ve ayrıca ısı enerjisi kaynağı olarak da kullanımının sağlanabilmesi hedeflenmiştir. 2015-2019 Stratejik Planı’nda, toplam rüzgâr kurulu gücünün 2017 yılında 9.500 MW, 2019 yılında ise 10.000 MW olması hedeflenmiştir.

Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018)

2 Temmuz 2013 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından kabul edilen “Onuncu Kalkınma Planı’nda (2014-2018)”, Türkiye’nin toplam rüzgâr potansiyeli 48.000 MW olarak belirtilmiştir.

Onuncu Kalkınma Planı’nın uzun vadeli hedefleri arasında, “yıllık enerji ihtiyacının %20’sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması” yer almaktadır. Planın 113 numaralı paragrafında; “Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli, teorik olarak, 2030 yılına kadar elektrik enerjisi talebini karşılayacak düzeydedir. Belirli bir teknoloji edinimi ve sanayi altyapısının kurulması hedefini de gözeterek şekilde önceliğin, yenilenebilir enerji kaynaklarına verildiği entegre bir sistem planlaması yapılmalı ve uygulanmalıdır. Böylelikle 2030 yılı perspektifinde yenilenebilir enerji kaynaklarının gerek birincil enerji arzı gerekse elektrik enerjisi üretimindeki payının önemli ölçüde artırılması sağlanabilir” ifadelerine yer verilmiştir. Bu çerçevede Onuncu Plan dönemi hedefleri altında; “Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesine ilişkin sektör ve tüketiciler üzerinde ilave yükler oluşturmeyen yeni bir teşvik sisteminin hayata geçirilmesi” belirlenmiştir.

Planın 162. paragrafında “Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, enerji politikasının bir unsuru olduğu kadar bilhassa ülkemiz açısından bilim, sanayi ve teknoloji ile kırsal kalkınma boyutlarıyla ele alınması gereken bir alandır” değerlendirilmesinde bulunulmuştur.

Planın 168. paragrafında; “Geçen Plan döneminde üzerinde en fazla tartışma yapılan yenilenebilir enerji kaynağı rüzgârdır. Türkiye, ETKB’nin resmi verilerine göre 48 GW üretim tesisini işletebilecek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel ülke sathında üç bölgede yoğunlaşmıştır: Çanakkale- Balıkesir Bölgesi, İzmir-Manisa Bölgesi ve Hatay Bölgesi. 2005 yılında çıkarılan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’un sağlamış olduğu öngörülebilirlik fırsatının da değerlendirilmesi suretiyle 2007 yılından bu yana RES kurulu gücü hızlı bir artış göstermiş ve 2012 yılı sonu itibarıyla 2 GW düzeyinin üzerine çıkmıştır. Bu haliyle bile ülkemiz kurulu güç büyüklüğü olarak dünyadaki ilk 20 ülke içindedir. 2023’e yönelik 20 GW hedefinin gerçekleştirilmesi halinde ülkemiz en büyük beşinci RES pazarı haline gelecektir. Bu hedefin tutturulabilmesi için RES yatırımlarının sağlıklı bir zeminde yürütülebilmesine yönelik gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Bu kapsamda, en çok para verenin RES yapma hakkını elde ettiği sıradan bir yarışma yöntemi yerine santral verimliliğinin, arazi kullanım koşullarının, dışsal maliyetler ile sağlanacak dışsal faydaların birlikte değerlendirildiği yeni bir seçme-eleme kriterinin belirlenmesi öncelikle düşünülmelidir” tespiti yapılmıştır.

2013-2023 Dönemi Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (YEEP)

2009/28/EC sayılı Yenilenebilir Enerji Direktifi, her üye devletin direktifte belirtilen bağlayıcı hedeflere uyum amacıyla 30 Haziran 2010 tarihine kadar Avrupa Komisyonu’na (EC) sunulmak üzere bir Ulusal YEEP hazırlamasını öngörmektedir.

2013-2023 dönemi YEEP, YEGM tarafından hazırlanarak yayınlanmıştır. Bu planda Türkiye; hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin yüksekliğinden hareketle 2023 yılı için bu kaynaklara dayalı elektrik üretimine ilişkin oldukça iddialı hedefler belirlemiştir. Bu kaynakların daha fazla kullanımı ile birlikte 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının en az %30’a yükseleceği belirtilmiştir.

YEEP'nın amacı bölümünde; iklim değişikliği etkileri ve ekosistemin sürdürülebilirliği dikkate alınarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının planlanması ve planların iklim değişikliğinin azaltılması doğrultusunda yönlendirilmesi amacıyla yenilenebilir enerjinin gelişimi önündeki engellerin ortadan kaldırılması için aşağıdaki tespitler yapılmıştır:

- Projelere yönelik finansal desteğin artırılması,
- İdari süreçlere ilişkin engellerin kaldırılması,
- Yeni çözümlerin uygulanmasına yönelik yasal çerçevenin geliştirilmesi,
- Elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarına güvenli erişimin sağlanması,
- İlgili altyapı kullanımının optimize edilmesi ve
- Destek paket programlarının geliştirilmesi.

Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimi ve kurulu güç kapasitesi tablosu hazırlanmış, 2013 yılında 2.759 MW olan kurulu rüzgâr gücünün, 2023 yılında %625 artışla 20.000 MW'a (tamamen karasal RES teknolojisi) ulaşması öngörülmüştür.

4.1 Dünyada ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Kullanımı

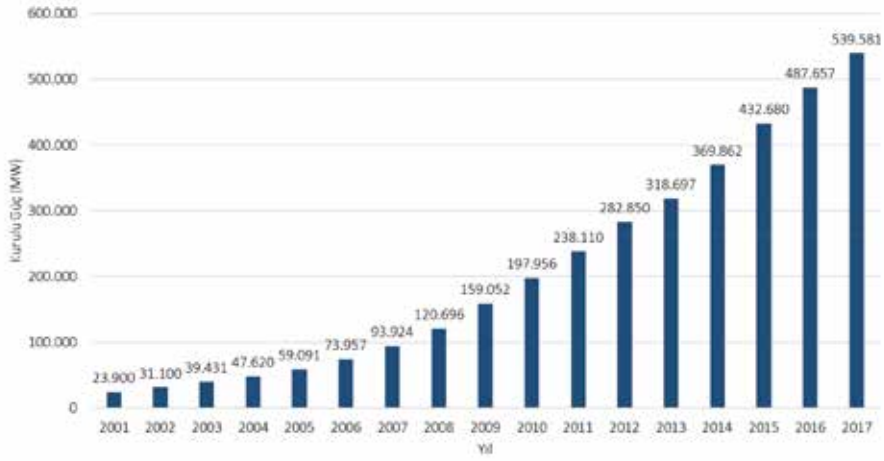
Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi istatistiklerine göre, 2017 yılı sonu itibarıyla dünyadaki toplam rüzgâr kurulu gücü yaklaşık olarak 540.000 MW'a ulaşmıştır. Avrupa'nın 2017 sonu toplam kurulu gücü ise 178.000 MW olmuştur. Almanya, rüzgâr enerjisi açısından lokomotif ülke konumunu sürekli olarak korurken, onu İspanya, İngiltere ve Fransa izlemektedir. 2001 yılından günümüze dünya üzerindeki toplam kurulu güç *Şekil 8*'de ve yıllık kurulan miktar ise *Şekil 9*'da verilmiştir. Özellikle son 10 yılda, yıllık rüzgâr santrali kurulumu önceki yıllara göre 2-5 kat arasında artış göstermiştir.

Ülkemizden Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin (TÜREB) de üyesi olduğu Wind Europe Business

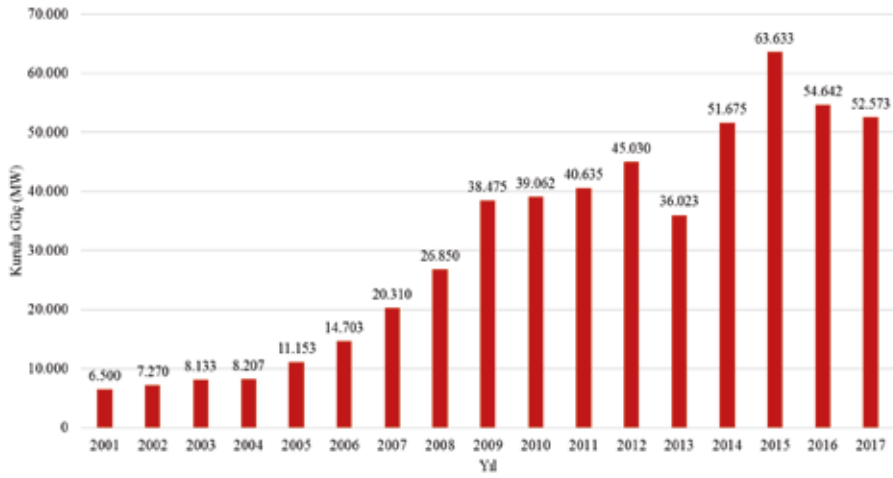
Intelligence verisine göre, 2000-2017 yıllarında elektrik üretimi için Avrupa'da en fazla yatırım yapılan alan rüzgâr enerjisi olmuştur. *Şekil 10*'dan görüleceği üzere, bu dönemde rüzgâr enerjisinde 158.300 MW, güneş enerjisinde 107.300 MW ve doğalgazda 96.700 MW yeni kurulu güç ilavesi olurken, fueloil (-41.200 MW), kömür (-40.400 MW) ve nükleer (-17.200 MW) kurulu güçte azalma olmuştur.

1990'lı yılların sonunda yapılan araştırmalara göre; yürütülmekte olan mevcut politikaların devam etmesi durumunda dünya üzerinde, 2010 yılında 60.000 MW, 2020 yılında ise 180.000 MW'lık toplam rüzgâr kurulu gücünün olacağı, eğer çevresel kaygılar önemini artırarak enerji politikalarını yönlendirirse toplam kurulu gücün 2010 yılında 100.000 MW'a, 2020 yılında ise 470.000 MW'a ulaşacağı tahmin edilmekteydi. 2001 yılında küresel olarak sadece 23.900 MW kurulu rüzgâr gücü mevcutken, tüm tahminlerin üzerinde gerçekleşen artışlarla 2010 yılında 198.000 MW, 2017 yılında ise 540.000 MW kurulu güce ulaşılmıştır [3].

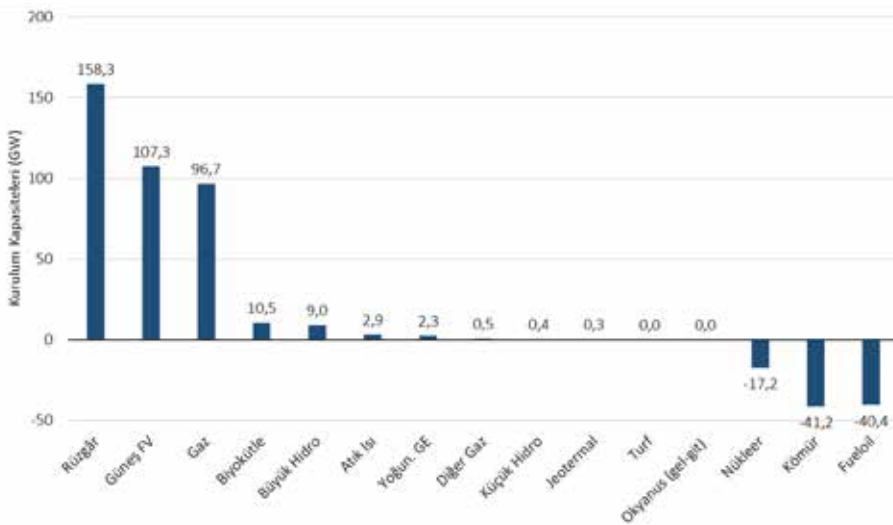
Avrupa Birliği (AB) Bakanlar Konseyi ile Avrupa Parlamentosu tarafından kabul edilen uygulama ile yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin desteklenmesi sağlanmıştır. yenilenebilir enerji kaynakları olarak; rüzgâr, güneş, jeotermal, dalga, gel-git, hidrolik, biokütle ile biyogaz tanımlanmıştır. AB tarafından 2010 yılında toplam elektrik üretiminin %12,1'inin, 2020 yılında ise toplam enerji tüketiminin, %20'sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması hedeflenmiştir. Geline aşamada, Eurostat verisine göre AB üye ülkelerinin bazılarının 2016 sonu itibarıyla 2020 hedeflerine ulaştığı, ancak AB'nin tüm üyeleri dikkate alındığında, 2016 yılı sonu itibarıyla toplam enerji tüketiminin %17'sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasıyla birlikte 2020 hedefine büyük ölçüde yaklaşıldığı görülmektedir [3].



Şekil 8: Küresel toplam rüzgâr kurulu gücü (Değerler Kaynak [3] ve [46]'dan alınmıştır).



Şekil 9: Küresel yıllık toplam rüzgâr kurulu gücü (Değerler Kaynak [3] ve [46]'dan alınmıştır).



Şekil 10: Avrupa Birliği'nde 2000-2017 yılları arasında net elektrik kurulum kapasiteleri (Değerler Kaynak [3] ve [46]'dan alınmıştır).

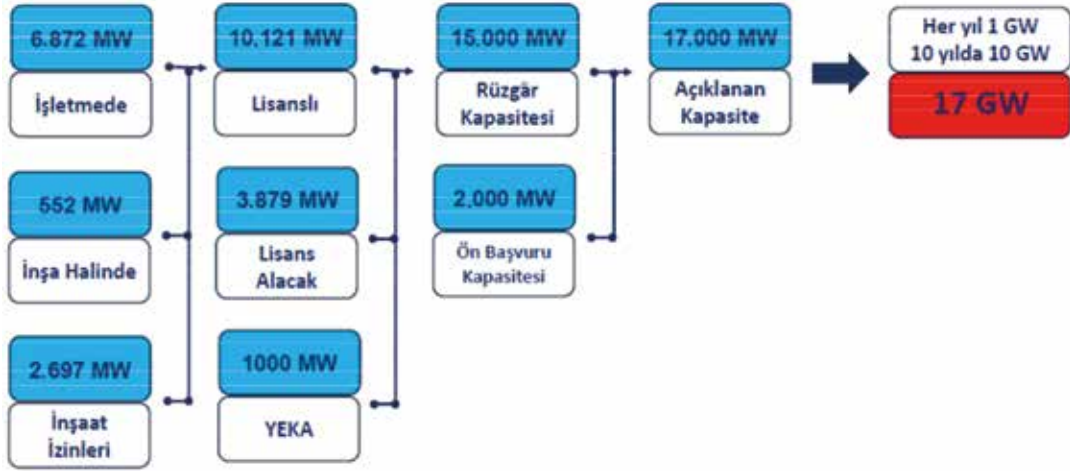
Şekil 11’de Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum gösterilmiştir. Ülkemizde 2017 yılında rüzgâr enerjine yaklaşık olarak, 4.000 MW bağlantı kapasitesi tahsis edilerek 5 milyar dolarlık rüzgâr yatırımına başlandı. Böylece Türkiye’de gerek rüzgâr santrali yatırımlarında ve gerekse de yerli rüzgâr santrali yapımında çok önemli gelişmeler sağlandı [47].

Sayısal değerler ile rüzgâr sektörü Şekil 12’de ve inşa halindeki RES’leri Şekil 13’te gösterilmiştir

[47]. Türkiye’de 2017 yılında 766 MW RES işletmeye alınmıştır. Türkiye bir yıl için işletmeye giren RES açısından Avrupa’da 4. sırada ve dünyada ise 8. sırada yer almaktadır. 2017 yılı sonu itibari ile lisans verilmiş 10.121 MW’ı aşan kurulu güçte rüzgâr enerji santral projesi bulunmaktadır. Bunlardan; 6 872 MW kurulu güce sahip 164 adet rüzgâr enerji santrali işletmede, 552 MW kurulu güce sahip 26 adet rüzgâr enerji santrali inşa halinde ve geriye kalan rüzgâr santral projeleri ise inşaat izinleri aşamasındadır [48, 49].



Şekil 11: Türkiye’deki RES’ler için kümülatif kurulum değerleri (Kaynak [47]’den uyarlanmıştır).

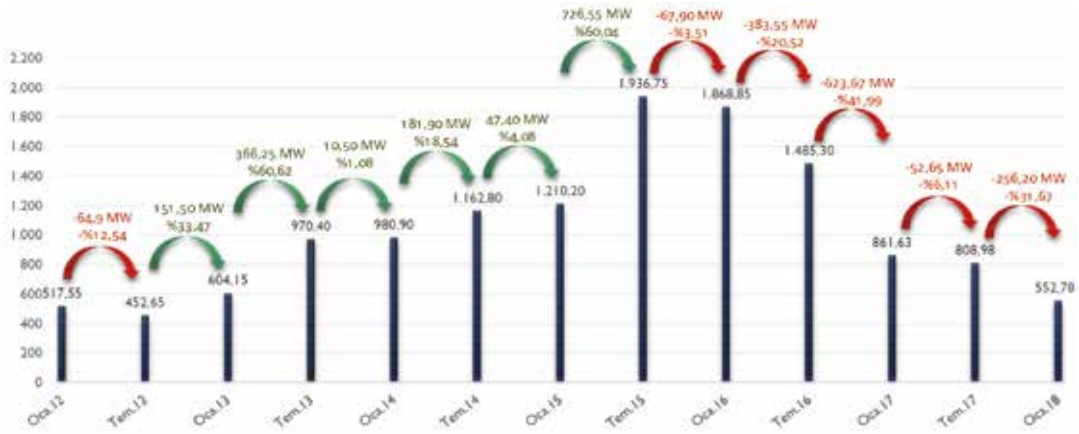


Şekil 12: Sayısal değerler ile rüzgâr sektörü (Kaynak [47]’den uyarlanmıştır).

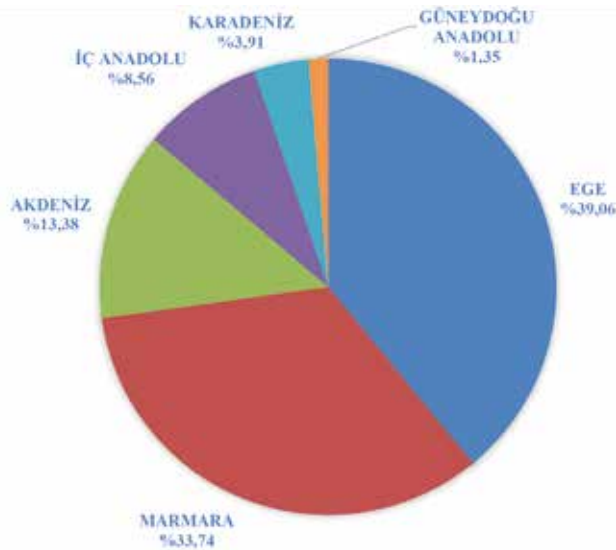
Ülkemizde; 3.000 MW kapasite için 2015 yılının Nisan ayında EPDK tarafından başvurular alınmış olup, on bir coğrafi bölge ve 710 MW'lık kapasite için 21-23 Haziran 2017 tarihlerinde kapasite tahsis yarışmalarının ilk bölümü, geri kalan 2.130 MW'lık kapasite için Aralık ayının son haftasında kapasite tahsis yarışmaları TEİAŞ tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında YEKA (Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları) mevzuatı kapsamında 1.000 MW'lık RES kapasitesi için ETKB tarafından 3 Ağustos 2017 tarihinde YEKA RES yarışması yapılmış, 3,48 cent/kWh teklif ile Siemens-Türkerler-Kalyon ortak girişimi yerli üretim şartı ile RES bağlantı kapasitesini almaya hak kazanmıştır. Ayrıca TEİAŞ tarafından 2015 yılının Mayıs ayında 2.000 MW kapasite açıklanmış, EPDK tarafından Ekim 2016'da alınması gereken

RES başvuruları iki kez ertelenerek 2018 yılı Nisan ayında alınmasına karar verilmiştir [48]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ve Kalyon-Türkerler-Siemens Konsorsiyumu arasındaki YEKA Sözleşmesi 26.02.2018 tarihinde imzalanmıştır. Konsorsiyum olarak asgari %65 yerlilik oranı ile türbin üretecek fabrika kurulumu üstlenilmiş olup, AR-GE faaliyetleri yürütülecektir. Fabrikada %90, AR-GE faaliyetlerinde %80 yerli istihdam sağlanacaktır.

İşletmedeki RES'lerin bölgelere göre dağılımı Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ilk sırayı %39,06 ile Ege Bölgesi almakta olup, bunu %33,74 ile Marmara Bölgesi ve geri kalanını diğer bölgeler izlemektedir.



Şekil 13: İnşa halindeki RES'ler (Kaynak [47]'den uyarlanmıştır).



Şekil 14: İşletmedeki RES'lerin bölgelere göre dağılımı (Kaynak [49]'dan uyarlanmıştır).

4.2 YEKA Modeli ve Projesi

YEKA, yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklemek ve yenilenebilir üretim ekipmanlarının yerli imalatını teşvik etmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları için getirilmiş bir yatırım modelidir. Bu modelde aşağıdaki maddeler söz konusudur [50]:

- Türbin ekipmanının %65'i yerli olmak zorundadır.
- Teknoloji sağlayıcısı fabrika kuracaktır.
- Alım garantisi sözleşme imzalandıktan sonra 15 yıl olacaktır.
- Üretim kapasitesi tek vardiyalı fabrikada 150 ünite/yıl olmaktadır.
- Teknoloji tedarikçisi 45 milyon ABD Dolarlık bütçe ile 10 yıl AR-GE yapmak zorundadır.
- AR-GE çalışmaları en az 50 personel çalışmak zorundadır ve bu personelin %80'i Türk vatandaşı olmalıdır.
- Katılım için kesin teminat 10 milyon ABD Doları'dır.
- Kazananın teminatı 50 milyon ABD Doları'dır.

Yenilenebilir enerji açısından en büyük entegrasyonun YEKA projeleri ile gerçekleşeceği öngörülmektedir. 1.000 MW ölçeğinde planlanan ilk entegrasyon için oldukça uygun bir fiyat oluşmuştur (3,48 sent/kWh). Bu fiyatın oluşabilmesinde, türbinlere ait güç eğrilerinin oldukça iyi ve projelerin kapasite faktörlerinin yüksek olmasının, birçok noktadan ölçüm alınarak, modelleme, simülasyon ve analizlerin yapıp tüm olasılıkların değerlendirilerek ana resmin netleştirilmesinin payı çok büyüktür. İlgili konsorsiyumun bilgi, tecrübe ve ekipmanları ile çok verimli bir birliktelik oluşturmasının da etkisi yüksektir [51].

İlgili entegrasyonun büyük bir kısmının Trakya Bölgesi'nden gerçekleşmesi planlanmaktadır (Kırklareli ve Edirne bölgesi, yaklaşık 700 MW). Diğer entegrasyonların ise Sivas (250 MW) ve Eskişehir (50 MW) bölgesinden gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. YEKA projesi, 2018 Mart ayı başında resmi olarak imzalanmış ve minimum %65'i yerli olan rüzgâr türbini üreten fabrika (kuleler, kanatlar, nachelle) ile 50 kişilik AR-GE (minimum 40 Türk) kurulumu süreçlerinin tamamlanması için yaklaşık 21 aylık süreç başlamıştır. 2020 yılında ilk türbinin dönmesi, yaklaşık 250 adet türbin kurulumu gerçekleştirilecek olup 2022 yılı sonunda 1.000 MW'ın tamamlanması hedeflenmektedir. Türbinlerin kule yüksekliğinin yaklaşık 130 m, kanat çapının ise yaklaşık 140 metre olacağı

öngörülmektedir. Diğer bir deyişle rüzgâr 200 metre yüksekten süpürülebilecektir. İlgili şebeke bağlantı noktasını ve gerilim seviyesini TEİAŞ belirleyecektir [51].

4.3 Rüzgâr Enerjisi ile İlgili Milli Projeler

Bu bölümde rüzgâr enerjisi üzerine ülkemizde yürütülmekte olan milli projeler incelenmiştir. İlk kısımda tüm rüzgâr enerjisi santrallerinin tek bir merkezden izlenmesine ve oluşturulan rüzgâr enerjisi tahminlerinin piyasa katılımcıları ve sistem işletmecisiyle paylaşılmasına olanak sağlayan RİTM (Rüzgâr Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi) projesi, ikinci kısımda ise 2,5 MW'lık endüstriyel ölçekte elektrik üretimi yapan rüzgâr türbinlerinin tamamen özgün ve yerli teknoloji ile geliştirilmesini hedefleyen MİLRRES projesi anlatılmıştır.

4.3.1 RİTM Projesi

Milli tabanlı RİTM projesine T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, YEGM, TÜBİTAK ve MGM işbirliğinde Temmuz 2010 tarihinde başlanmıştır. Nisan 2014 tarihinde ise proje tamamlanmıştır. Bu projenin amacı Türkiye'deki tüm rüzgâr enerji santrallerinin tek bir merkezden izlenmesi ve oluşturulan rüzgâr enerjisi tahminlerinin piyasa katılımcıları ve sistem işletmecisiyle paylaşılmasıdır. Böylelikle rüzgâr gücü tahmini, sistem işletmecisinin ve piyasa katılımcısının gün öncesi planlamasını daha sağlıklı yapmasına imkân tanıyacaktır [43, 52].

Projede 0-48 (kısa süreli tahmin) ve 0-6 (çok kısa süreli tahmin) saatler arası tahminler üretilmektedir. Tahmin algoritmasında kullanılan teknikler fiziksel ve istatistiksel yöntemlerin kombine edilmiş halidir. İstatistiksel yöntemde öğrenme yöntemleri olarak doğrusal regresyon, destek vektör makineleri ve yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Tüm santral sahaları hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak modellenerek tahmin algoritmasında kullanılmaktadır. Proje kapsamında MGM Hava Tahmini, Avrupa Ölçekli Orta Ölçekli Hava Tahmini (ECMWF), Global Tahmin Sistemi (GFS) ve santral güç verileri girdi olarak kullanılmaktadır [43]. 25.2.2015 tarihinde rüzgâr enerjisi santrallerinin RİTM'e bağlanması hakkında bir yönetmelik yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin amacı, rüzgâr enerjisi santrallerinin RİTM'e bağlanmalarına ve bağlantı şartlarına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Bu yönetmelik, RES'lerin RİTM'e bağlanmaları, lisans sahibinin bağlantı için yerine getirmesi gereken yükümlülükler,

merkezde üretilecek rüzgâr gücü tahminlerinden yararlanma usulleri ile tahminlerden yararlanma için fiyatlandırmada uygulanacak usul ve esasları kapsar. Buna göre 10 MW ve üzeri üretim lisanslı bütün RES'lerin RİTM'e bağlanması zorunludur. 10 MW altı üretim lisanslı tesislerin RİTM'e bağlanması zorunlu değildir. Talep etmeleri halinde bu yönetmelik hükümleri kapsamında RİTM'e bağlantıları yapılır tanıyacaktır [43, 53].

4.3.2 Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi Projesi (MİLRES)

MİLRES projesi, müşteri kurumu Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı olan ve TÜBİTAK Kamu Araştırmaları Destek Grubu (KAMAG) tarafından desteklenmekte olan bir kamu AR-GE projesidir [43]. Bu projede, 2,5 MW'lık endüstriyel ölçekte elektrik üretimi yapan rüzgâr türbinlerinin tamamen özgün ve yerli teknoloji ile geliştirilmesi ve prototipinin üretilmesi hedeflenmiştir. TÜBİTAK hakem sürecinde proje iki aşamaya bölünmüştür. İlk etapta 500 kW'lık rüzgâr türbinleri geliştirilecek, bu prototipler deneme amaçlı kullanılarak tasarım olgunlaştırıldıktan sonra 2,5 MW'lık türbin prototipi geliştirilecektir. 500 kW prototip denemelerinde belirlenen tasarımlar, 2,5 MW'lık türbin sistemlerine de uygulanacaktır [54]:

Projenin temel amacı, tasarımı ve teknolojisini Türkiye'ye ait, özgün ve dünya standartlarında rekabetçi bir rüzgâr sanayinin kurulması için gereken altyapıyı oluşturmaktır. Bu çerçevede, aşağıdaki hedefler amaçlanmaktadır [54]:

- Ulusal içerikli enerji AR-GE konularına sanayimizin daha fazla ilgisini çekmek ve rüzgâr türbini teknolojisinin yerleştirilmesini sağlamak,
- Uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirmek, uluslararası enerji yatırımlarında öncü rol almak,
- Rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teknolojileri geliştirmek,
- Bu alanda işgücünün de yetiştirilmesiyle yerli üretimin canlandırılması ve benzer pazarlara ihracat potansiyelini değerlendirmek ve
- Rüzgâr türbini endüstrisi için kule, kanat, jeneratör ve ilgili güç elektroniği sistemlerini geliştirmek.

Dokuz kurumdan toplam 98 araştırmacı ve 29 lisansüstü öğrenciden oluşan proje ekibince yürütülen projenin gelişimi aşağıda gösterilmiştir [54]:

Hazırlık Safhası

- 2007 Kasım: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde yerli rüzgâr türbini çalışmaları için bir ekip kuruldu.
- 2009 Ocak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanımıza oluşturulan proje stratejisi ve proje ekibi hazırlıklarının sunumu
- 2009 Ekim: TÜBİTAK çağrıları ve resmi işlemler tamamlandıktan sonra TÜBİTAK'ta ilk panel sunumu
- 2010 Nisan: İlk başvuru değerlendirmesinde talep edilen revize ikinci proje başvurusu kapsamında TÜBİTAK'ta panel sunumu

Proje Safhaları – 500 kW Prototip

- 2011 Temmuz: Hakem talepleri doğrultusunda uzun proje revizyon iterasyonlarından sonra projenin resmen başlaması
- 2012 Aralık: Ana sistemlerin tasarımının tamamlanması
- 2013 Temmuz: Alt sistemlerin tasarımının tamamlanması
- 2014 Mayıs: İmalattaki altyapı eksikliklerinin kurulmasını izleyen imalatın tamamlanması ve ana sistemlerin montajının başlaması
- 2014 Kasım: Ana mekanik sistemlerin montajının tamamlanmasını izleyen türbinin İstanbul Ulaşım Sanayi ve Tic. A.Ş. (İUAŞ) Esenler hangarına elektrik sistemleri ve kalan montaj işlerinin yapılması için nakli
- 2015 Mayıs: Nasil genel montajının ve yer testlerinin başarı ile tamamlanmasını müteakip hem Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanımız Fikri Işık hem de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanımız Taner Yıldız'ın katılımı ile ilk basın tanıtımı
- 2015 Kasım: Türbinin saha montajının tamamlanması

MİLRES projesi kapsamında başarılan ilkler aşağıda listelenmiştir [54]:

- Tamamen özgün Milli Tasarım ve %90 üzerinde yerli ekipman ile üretim,
- Türkiye'nin ilk 500 kW'lık DFIG generatörü tasarım ve imalatı,
- Türkiye'nin ilk devir yükseltici 500 kW'lık rüzgâr türbini dişli kutusu tasarım ve imalatı,
- Dünyanın ilk kademe-kademe sökülüp servis edilebilen rüzgâr türbini dişli kutusu,
- Türkiye'nin ilk özgün kanadı,
- Özgün aerodinamik ve yapısal tasarım (lisanslı üretilen kanatlar mevcut idi),
- Özgün kalıp (daha önce kalıplar yurtdışından getiriliyordu),
- İlk defa yerli malzeme (elyaf dâhil) ile imalat,
- Türkiye'de ilk 900 mm çapta shaft dövme işlemi ve
- Türkiye'de ilk 3,5 metre çapında dikişsiz halka sıcak dövme parça imalatı.

Projenin yürütülmesinden elde edinilen deneyimler çerçevesinde aşağıdakiler önerilmiştir [54]:

- Kazanılan tecrübenin MİLRES 2,5 MW'lık türbin üretimine aktarılması. Bu çerçevede, MİLRES türbinlerinin farklı kapasitelere sahip versiyonlarının geliştirilmesi,
- Üniversite ve kurumların yanında üretimde görev alan ve tecrübe kazanmış sanayi kuruluşları arasında koordinasyon ve konsorsiyum oluşturularak şirketleşmeye gidilmesi,
- Bundan sonra hedeflenen üründe standardizasyonun üretimle birlikte yürütülmesi,
- Uzun süreli saha testlerinin yapılabileceği test sahası belirlenmesi,
- Üretilen bileşenlerin test edilebileceği, uzman yetiştirilebilecek ve aynı zamanda araştırma yapılabilen “Rüzgâr Enerjisi Araştırma ve Geliştirme Merkezleri/Laboratuvarları”nın kurulması ve sayısının artırılması.
- Teknisyen ve tekniker düzeyinde eleman yetiştirilmesine dair meslek okullarında bölümlerin açılması ve
- AR-GE kültürünün benimsenmesi, sabır ve kararlılıkla yola devam edilmesi.

5. TÜRKİYE’NİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ

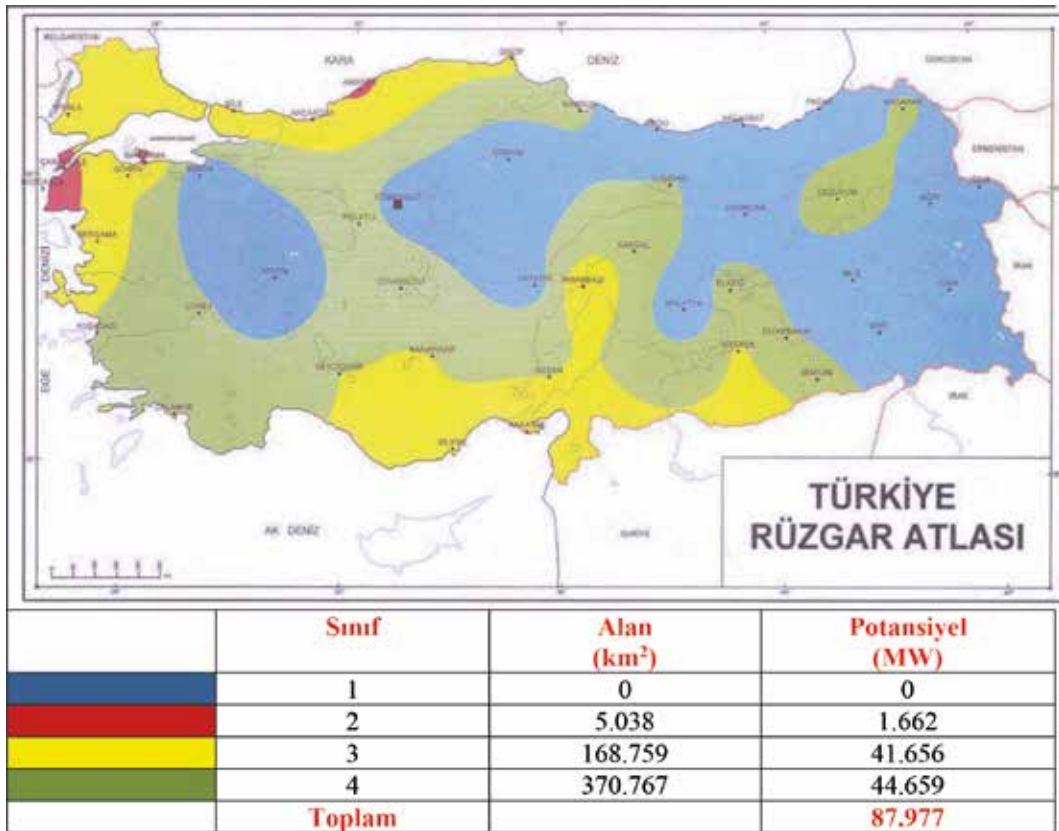
Bu bölümde Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli ayrıntılı olarak incelenmiştir. *Şekil 15*’te, Türkiye rüzgâr atlası, Danimarka Meteoroloji Teşkilatı’nın Riso Meteoroloji Laboratuvarı’nda hazırlanıp geliştirilmiş olan ve Avrupa rüzgâr atlasının (1989) hazırlanmasında da kullanılan Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) paket programı kullanılarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ile EİE tarafından ortaklaşa hazırlanmıştır [3].

2002 yılında yayınlanan bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından alınan saatlik ham rüzgâr verileri ile yakın çevre engel bilgileri, bölgenin topoğrafyası ve pürüzlülük bilgileri kullanılmıştır. EİE tarafından Türkiye rüzgâr atlası üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

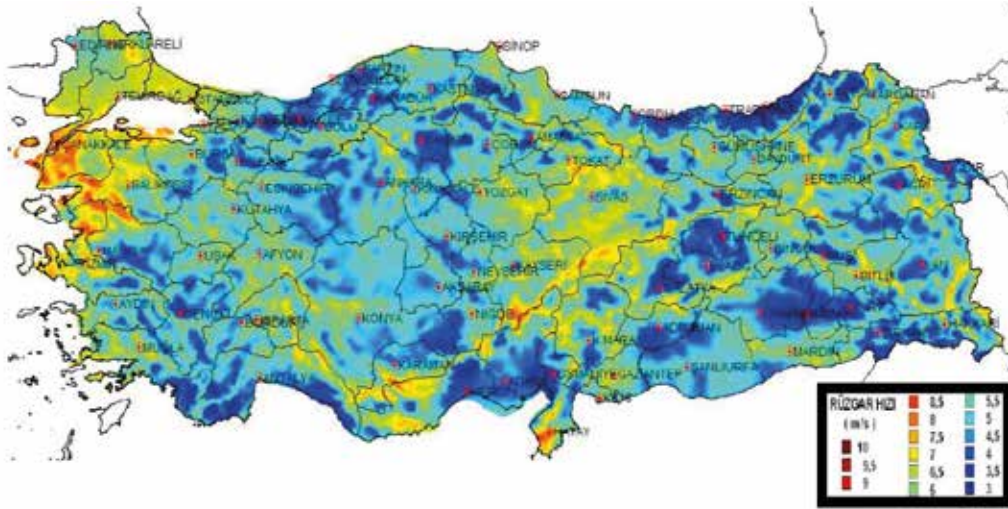
Türkiye’nin Teknik Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin yaklaşık olarak 88.000 MW olduğu bulunmuştur [3].

5.1. Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Atlası

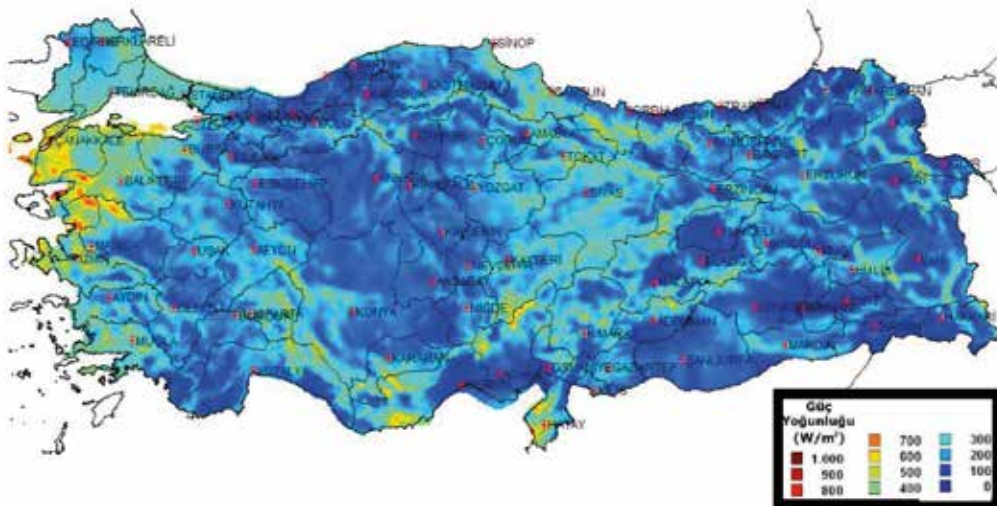
Türkiye rüzgâr potansiyeli atlası çalışması, *Şekil 16a* ve *16b*’de gösterildiği gibi, EİE tarafından Türkiye çapında 200 metre çözünürlükteki rüzgâr verisi ve bu veriden oluşturulmuş haritalar üzerinden yapılmıştır [3]. Rüzgâr potansiyeli hesaplamaları için türbinlerin kurulması mümkün olmayan alanlara yönelik çeşitli varsayımlar kullanılmıştır. Türkiye toplam yüzölçümünden bu alanlar çıkarıldıktan sonra rüzgâr potansiyeli bir senaryo kapsamında incelenmiştir. Yerden 50 metre yükseklikte rüzgâr hızının 7,0 m/s, rüzgâr güç yoğunluğunun 400 W/m²’den büyük alanlar için yapılan hesaplamalar sonucunda, karasal alanlar için 37.836 MW, deniz üstü alanlar için ise 10.013 MW potansiyel hesaplanmıştır.



Şekil 15: Türkiye rüzgâr atlası, 2002 (Kaynak [3]’ten uyarlanmıştır).



Şekil 16a: Türkiye yıllık ortalama rüzgâr hızı, 50 metre (Kaynak [3]'ten uyarlanmıştır).



Şekil 16b. Türkiye Yıllık Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunluğu, 50 metre (Kaynak [3]'ten uyarlanmıştır).

5.2. Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) Rüzgâr Ölçümleri

MGM bünyesinde yürütülen rüzgâr ölçümleri, tercihen yerleşim birimlerinin kenar bölgelerinde ve etrafı kapalı olmayan alanlarda yerden 10 metre yükseklikte yapılmaktadır. Ancak özellikle şehirlerin büyümesiyle birlikte, Meteoroloji İstasyonları çoğu zaman yerleşim bölgelerinin

içinde kalmaktadır. Önceki dönemlerde mekanik anemograflarla yapılan rüzgâr ölçümleri, 2000'li yıllardan itibaren Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (OMGİ) ile sürdürülmektedir. Kalite kontrol süreçlerinin tamamlanmaması nedeniyle MGM istasyonlarının isimleri *Tablo 3*'te gösterilmiştir.

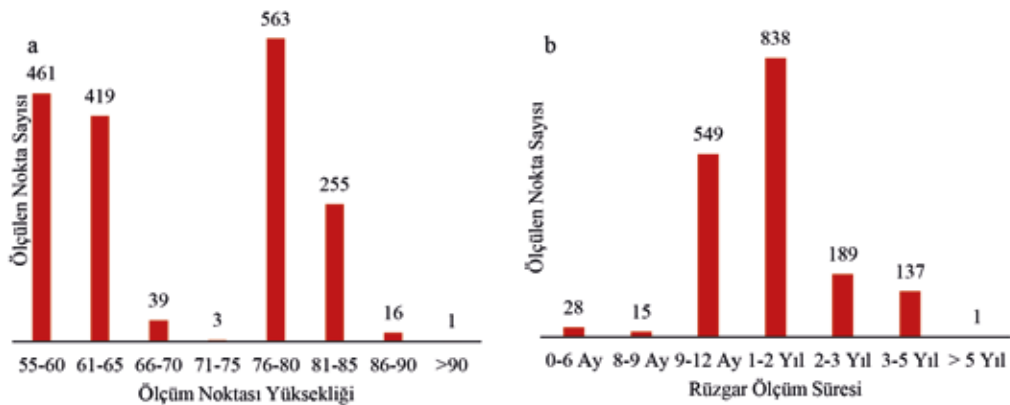
Tablo 3: MGM OMGİ yıllık ortalama rüzgâr hızları (m/s)[3].

İstasyon Adı	Rakım (m)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Ort.
İstasyon_01	381		7,5	7,0	7,2	7,1	7,1	7,1	7,2	6,5	6,6	7,0	7,1	4,3	6,8
İstasyon_02	2210								6,7	7,4	7,5	7,3	5,0	6,8	6,8
İstasyon_03	1991										6,2	6,4	6,7	6,4	6,4
İstasyon_04	2550										5,3	5,8	6,4	5,9	5,9
İstasyon_05	631	4,9	5,2	5,6	6,4	4,1	6,2	6,5	6,1	6,1	5,8	6,3	6,3	5,8	5,8
İstasyon_06	37				5,4	5,9	5,9	6,2	5,9	5,5	5,4	6,0	5,8	5,6	5,8
İstasyon_07	30	6,3	6,1	4,9	5,8	5,7	5,6	6,2	6,0	5,4	5,3	6,0	5,6	3,7	5,6
İstasyon_08	1305										5,4	5,1	5,5	5,2	5,3
İstasyon_09	2615					5,4	6,7	5,2	5,1	5,1	4,9		3,9	3,8	5,0
İstasyon_10	1807	4,6	3,9	5,0	5,4	4,8	5,4	4,9	5,1	5,1	5,4	5,0	5,2	5,2	5,0
İstasyon_11	965									5,2	4,8	5,1	4,9	4,7	5,0
İstasyon_12	60								5,0	5,1	4,5	4,9	5,2	4,6	4,9
İstasyon_13	1047	5,0	4,7	4,8	5,4	4,8	4,7	4,8	4,4	4,6	4,3	4,8	5,0	4,8	4,8
İstasyon_14	1450										4,6	4,6	4,8	4,7	4,7
İstasyon_15	58										4,7	4,8	5,0	4,1	4,6
İstasyon_16	2050					4,9	5,5	4,8	5,0	5,1	4,4	4,6	4,2	2,9	4,6
İstasyon_17	272										4,7	4,6	4,6	4,4	4,6
İstasyon_18	1456								4,0	4,9	4,5	4,5	4,7	4,6	4,5
İstasyon_19	1235										4,5	4,4	4,7	4,4	4,5

5.3. Özel Sektör Rüzgâr Ölçümleri

02.11.2013 tarih ve 28809 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “*Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği*” ve 17 Haziran 2014 tarih ve 29033 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “*Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ*” gereğince, özel sektör tarafından rüzgâr enerjisine

yönelik olarak yapılan “Rüzgâr Ölçümleri” için MGM’ye başvuru yapılması ve uygun görüş alınması gerekmektedir [3]. MGM veri tabanında kayıtlı, 2012-2017 dönemine ait 1.757 adet özel sektör ölçüm noktasına ait özet istatistikleri Şekil 17’de gösterilmiştir. 60-101 metre yükseklik arasında yapılan ölçümlerin ortalama süresi yaklaşık olarak 1,5 yıldır [3].



Şekil 17: Özel sektör rüzgâr ölçüm noktaları özet istatistikleri (Kaynak [3]’ten uyarlanmıştır).

(a) Rüzgâr ölçüm yükseklikleri ve (b) Rüzgâr ölçüm süreleri.

Yeni kurulan OMGI'ler, genellikle daha yüksek rakımlı ve nüfusu daha düşük yerleşim birimlerine kurulduğu için bu noktalarda yapılan rüzgâr ölçümlerine etki eden çevre engelleri nispeten daha az olmaktadır. Örnek olarak, OMGI'ler ile 10 metrede yapılan rüzgâr ölçümlerinde elde edilen en yüksek ortalama rüzgâr hızları Tablo 3'te verilmiştir.

5.4. Rüzgâr Enerjisi Tahmini

Rüzgâr şiddetinin alansal ve zamansal olarak kesikli olması nedeniyle rüzgâr güç üretiminin kısa süreli tahmini ve planlamasına ihtiyaç bulunmaktadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), elektrik şebekesinin Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi için rüzgâr santrallerinin elektrik üretim tahminini günlük olarak TEİAŞ'a vermeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, özellikle rüzgâr enerjisi üreticileri ve kamunun enerji yönetimi açısından, doğru ve güvenilir tahminler önem kazanmaktadır [3]. Rüzgâr Enerjisi Üreticileri, üretecekleri elektrik enerjisi miktarını hesaplayabilmek için 24 - 48 saatlik güvenilir rüzgâr tahminlerine ihtiyaç duymaktadır. Ancak bu şekilde, üretebilecekleri enerji miktarını ve birim fiyatını belirlemeleri mümkün olacaktır [3].

Güvenilir rüzgâr tahminlerinin üretilmesi, Bölgesel modellerin yüksek çözünürlükle çalıştırılmasına bağlıdır. Bölgesel modellerin yüksek çözünürlükte çalıştırılması ise ancak yüksek başarımlı (hızlı) bilgisayarlar üzerinde mümkün olmaktadır. MGM, hâlihazırda tüm Türkiye için 4 km çözünürlükte tahminler üretmektedir. Saniyede 167 trilyon işlem yapan 4032 çekirdekli yüksek başarımlı yeni bilgisayar ile daha yüksek çözünürlükte tahminlerin üretilmesi planlanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü ve güvenilir tahminler, hem firmaların ihtiyaç ve planlamalarını yapmaları hem de ilgili kamu kurumlarının ulusal ve uluslararası elektrik şebekesini daha verimli bir şekilde yönetebilmeleri için büyük önem taşımaktadır [3].

MGM bünyesinde başlatılan rüzgâr enerjisi tahminlerinin, 2 Kasım 2011 tarih ve 28103 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Hükmünde Kararname"nin 34. maddesi gereğince EİE tarafından yapılması emredildiği için Genel Müdürlüğümüzce durdurulmuştur. 657 sayılı KHK'nın ilgili maddesi aşağıda verilmiştir [3]:

KHK/657: Madde 34 – 14/6/1935 tarihli ve 2819 sayılı Elektrik İşleri Etüd İdaresi Teşkiline Dair Kanunun 2'nci maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir:

a) "Ülkemizin hidrolik hariç yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik olarak; enerji kaynakları ile ilgili ekonomik olabilecek potansiyelleri belirlemek, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerindeki yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin gelecek tahminleri üretmek, master plan, fizibilite ve örnek uygulama projeleri hazırlamak, pilot sistemler geliştirmek ve bunları kamu yararına işletmek, tanıtım faaliyetleri yürütmek, ülkemizin yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili durumunu değerlendirmek, mevzuat tasarımları hazırlamak, kamu kuruluşlarına ve yerel yönetimlere danışmanlık hizmetleri sunmak"

Bu kapsamda, rüzgâr enerjisi potansiyelimizden azami ölçüde yararlanmak ve daha fazla rüzgâr santralinin elektrik dağıtım/iletim sistemine entegrasyonunu sağlamak amacıyla EİE koordinatörlüğünde ve MGM katkılarıyla TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü öncülüğünde "Rüzgâr Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi Projesi" başlatılmıştır. Proje kapsamında EİE bünyesinde "Rüzgâr Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi"nin (RİTM) kurulması ve işletilmesi sağlanmıştır. Bu merkezin sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için MGM tarafından düzenli olarak orta ölçekli hava tahmin modeli çıktıları üretilerek merkeze aktarılmaktadır [3].

5.5 Rüzgâr Ölçüm Sistemleri ve Başvuruları

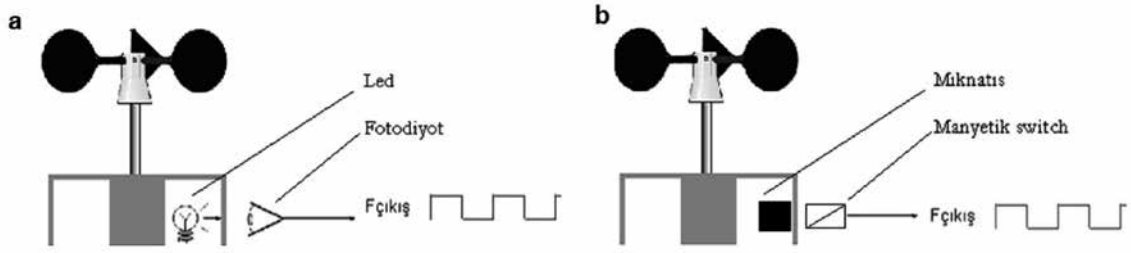
Rüzgâr yatay veya yataya yakın yönde yer değiştiren hava kütesinin hareketidir. Rüzgâr vektörel bir kuvvet olup, yön ve hız olmak üzere iki bileşeni ile ölçülür. Otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarında kullanılan doğrudan ölçüm yapan rüzgâr hız ve yön algılayıcıları çalışma prensipleri aşağıdaki gibi üç sınıflandırmada ele alınacaktır [55]:

5.5.1 Rüzgâr Ölçüm Sistemleri

Bu bölümde rüzgâr ölçüm sistemleri teknolojilerine göre mekanik, ultrasonik ve rüzgâr ölçüm profili olarak sınıflandırılmış ve bu sistemler alt başlıklarda incelenmiştir.

Mekanik Rüzgâr Ölçüm Sistemleri

Şekil 18'de, mekanik (kepçeli) rüzgâr algılayıcı gösterilmiştir. Rüzgâr hız ölçümünde kepçeli



Şekil 18: Mekanik (kepçeli) rüzgâr algılayıcısı (Kaynak [55]'ten uyarlanmıştır).
(a) Fotodiyotlu anemometre ve (b) Manyetik switch'li anemometre

anemometre kullanılır. Rüzgârın etkisiyle kepçe döner. Birim zamandaki dönüş sayısına göre hız tespit edilir. Dönüş sayısının tespiti için farklı metotlar vardır. Ancak en yaygın kullanılan sistem fotodiyot veya manyetik anahtar gibi yöntemlerdir.

Kepçe şaft ile bir diske bağlanmıştır. Diskteki yarığın bir tarafında LED veya mıknatıs diğer tarafta ise fotodiyot veya manyetik anahtar vardır. Disk döndükçe fotodiyot veya manyetik anahtar darbe (pulse) üretir. Üretilen darbe sayılarak devir sayısı ve rüzgâr hızı ölçülmüş olur.

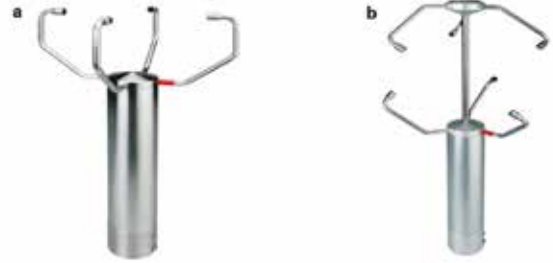
Rüzgâr yönü ise jüriyet yardımıyla ölçülür. Başlangıç konumunda jüriyet tam kuzeydedir (0°). Rüzgârın etkisiyle jüriyet döner. Jüriyetin başlangıç konumundan itibaren açısal konumu tespit edilerek yön bulunur. Açısal konum tespitinde kullanılan üç yaygın metot vardır:

- **Potansiyometre Yöntemi:** Potansiyometrenin hareketli kısmı, jüriyetin şaftına bağlanır. Potansiyometrenin direnci başlangıçta sıfırdır. Jüriyet döndükçe direnç değişir. Direnç ölçülerek yön bulunur.
- **Manyetik Switch Yöntemi:** Jüriyetin şaftına disk bağlanmıştır. Diskin etrafına 36 adet manyetik anahtar vardır. Mıknatısın karşısındaki anahtar sinyal üretir. O sinyale karşılık gelen açı ile yön tespit edilmiş olur.
- **Fotodiyot Yöntemi:** Jüriyetin şaftına disk bağlıdır. Diski üzerinde altı (8, 10, 12 olanları da mevcuttur) farklı seviyede yarıklar vardır. Diskin alt kısmında altı adet LED ve üst kısmında fotodiyotlar bulunmaktadır. Diskin konumuna göre fotodiyotlar gray kodlu pulse üretirler. Bu pulse'lar altı bit olarak rüzgâr yönünü kodlar.

Bu bitlerin 1 veya 0 durumuna göre rüzgâr yönü hesaplanır. Sürtünme olmadığından dolayı avantajı fazladır.

Ultrasonik Rüzgâr Ölçüm Sistemleri

Ultrasonik probalar, sonik impulse gönderirler (Şekil 19). Ultrasonik yol boyunca rüzgârın hızına bağlı olarak bir dönüştürücüden (transducer) diğerine giden sonik impulsın iletim zamanını ölçülür.



Şekil 19: Ultrasonik rüzgâr ölçüm sistemleri
(Kaynak [55]'ten uyarlanmıştır).

(a) 2 boyutlu ultrasonik ve (b) 3 boyutlu ultrasonik

Rüzgâr Profili Ölçümü (Wind Profiler)

Rüzgâr hızı ve yönünü, yerden 16.000 metre yüksekliğe kadar dikey profilini çıkaran sistemlerdir. Darbeli bir Doppler radar rüzgâr profili uzaktan algılayan bir araçtır. Atmosferdeki rüzgâr hızını ve yönünü ölçmek için radar darbeleri kullanılır. Darbeler birkaç yönde iletilir ve yansıtılan sinyaller, son derece hassas alıcıyla ölçülür.

Sodar

SODAR “Sonic/Sound Detection And Ranging” veya “Ses ile Tespit ve Mesafe” anlamına gelir. SODAR, ses dalgalarını kullanarak rüzgâr hızını ve yönünü ölçen bir araçtır. Rüzgâr hızı ve yönünü,

türbülansı yerden 1.000 metre yüksekliğe kadar ölçer. Ölçümler, belirli aralıklarla, genelde her 30 dakikada bir zaman içinde ortalınır (Şekil 20).



Şekil 20: SODAR ölçüm sisteminden bir görünüş
(Kaynak [55]’ten uyarlanmıştır).

Lidar

Doppler Rüzgâr LIDAR, Işık Algılama ve Aralığı tekniğine dayanan aktif bir uzaktan algılayıcıdır. Heterodin LIDAR prensibi, havadaki parçacıklar tarafından geri saçılan lazer ışınlarının (toz, su damlacıkları, aerosoller, vb.leri) Doppler

kaymasıdır. Atmosferde bir lazer darbe gönderilir. Geri saçılan ışık toplanır, bir elektronik sinyale dönüştürülür ve bir bilgisayara gönderilir. Belirli bir sinyal işleme algoritması dağılık sinyal Doppler kaymasını belirlemek için kullanılır ve yine de görüş hattı boyunca rüzgâr hızlanır. Işık için zaman hedefe ve LIDAR’a geri gitmesi için nabız böylece hedefe kadar olan aralığın belirlenmesinde kullanılır (Şekil 21).



Şekil 21: 3 boyutlu rüzgâr Doppler Lidar
(Kaynak [55]’ten uyarlanmıştır).

5.5.2 Rüzgâr Başvuruları

Bu başlık altında Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği’nden ilgili olan maddeler Tablo 4’te verilmiştir:

Tablo 4: Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nden bazı maddeler [55, 56]:

Yönetmeliğin ilgili bölümleri	
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	YEDİNCİ BÖLÜM
Önlisans işlemleri Önlisans başvuru usulü MADDE 12(7) Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak amacıyla yapılacak önlisans başvuruları aşağıdaki usule uygun olarak alınır; c) Başvuru ekinde bu Yönetmelik kapsamında son üç yıl içinde elde edilmiş en az bir yıl süreli standardına uygun rüzgâr veya güneş ölçümü bulunması zorunludur.	Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı önlisans başvurularına ilişkin Ölçüm Standardı Rüzgâr ve güneş ölçümlerine ilişkin yükümlülük MADDE 37... son üç yıl içinde elde edilmiş en az bir yıl süreli ölçüm yapılması zorunludur... (2) Ölçüm yapılacak sahada bu Bölümde belirtilen ölçüm istasyonunun kurulması için gerekli olan sahaya ilişkin izinlerin alınması ilgili tüzel kişinin sorumluluğundadır. Bu izinler, MGM'ye veya bir Akredite Kuruluşa başvuru yapılmadan önce ilgili tüzel kişi tarafından alınacak ve başvuru dosyasına eklenecektir.
	Rüzgâr ve güneş ölçümlerinin sahayı temsil etmesi MADDE 38 – (1) Ölçüm istasyonu, rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı üretim tesisinin kurulacağı önlisans başvurusu yapılan santral sahası alanında yer almalıdır. Aynı sahaya birden fazla ölçüm istasyonu kurulmasının talep edilmesi durumunda, ölçüm istasyonlarının birbirini etkilememesi yönündeki düzenleme MGM tarafından yapılır.
	Rüzgâr ve güneş ölçüm istasyonlarının yapısı MADDE 39 – (1) Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri ile ilgili olarak (2) Güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri ile ilgili olarak; Rüzgâr ve güneş ölçümlerine başlama MADDE 40 – (1) ... İstasyonu Kurulum Raporunu onaylama yetkisi yerinde inceleme yapılması kaydıyla MGM'de veya ilgili Akredite Kurulusta olup raporun onaylandığı tarih rüzgâr veya güneş ölçümüne başlama tarihi olarak kabul edilir.
	Rüzgâr ve güneş ölçüm süresi MADDE 41 – (1) Rüzgâr veya güneş ölçüm istasyonunda, 37'nci maddenin birinci fıkrası kapsamında en az bir yıllık ölçüm yapılması zorunludur. (2) Bir yıllık ölçüm süresi içerisinde, işletme ve/veya bakım veya sair nedenlerle ... veri kaybı %20'den daha fazla olamaz. ... olduğu durumlarda kayıp veriler, mevcut veriler veya faaliyet alanını temsil edebilecek ve MGM tarafından belirlenecek bir veya birkaç meteoroloji istasyonu verilerinden faydalanılarak istatistiksel veri tamamlama yöntemlerinden birisi (enterpolasyon ve benzeri) kullanılarak elde edilir.

5.6 Rüzgâr Enerjisinin Eğitim Boyutu

Rüzgâr enerji sektörü ticari olarak dünyada günden güne büyüyen önemli yeni bir pazar oluşturmıştır. Türbin elemanlarının tasarımı, imalatı, kurulması, test edilmesi ve taşınması gibi işler büyük istihdam imkânları sağlamaktadır. Ülkemizde, yerlilik mevzuatı ile rüzgâr endüstrisi gelişmeye başlamıştır. Başta kanat ve kule olmak üzere, türbini oluşturan

parçaların %50'si yerli olarak üretilmektedir. Günümüzde ise 7 kule üreticisi, 3 kanat üreticisi, 2 jeneratör üreticisi, 2 dişli kutusu üreticisi ile 1 ankaraj ve bağlantı elemanları olmak üzere, 10 yılda, toplam 15 rüzgâr endüstrisi oluşmuştur [48]. Bu çerçevede, bu sektörde yürütülecek çok yönlü eğitim ve sertifikalandırma çalışmaları büyük önem taşımaktadır.

Rüzgâr enerjisi; aerodinamik, meteoroloji, kontrol, inşaat ve ekonomi gibi farklı unsurları bünyesinde barındıran, disiplinler arası bir daldır. Lisans eğitiminde; makina, uçak/havacılık, çevre, fizik, meteoroloji, inşaat, elektrik ve malzeme dolaylı bölümleri oluştururken, enerji de bu endüstriyi doğrudan ilgilendiren bölümü oluşturur. Yüksek lisans eğitiminde, dolaylı bölümler olarak, makina, uçak, çevre, fizik ve meteoroloji iken, enerji ve rüzgâr enerjileri konuyla doğrudan ilgili olan bölümlerdir [57]. Rüzgâr sektöründe istihdamda öne çıkan bölümler aşağıdaki gibidir:

- Bilgisayar Mühendisliği
- Bilgisayar Programcılığı
- Çevre Mühendisliği
- Elektrik – Elektronik Mühendisliği
- Elektrik Mühendisliği
- Elektronik Mühendisliği
- Elektronik Teknolojisi
- Endüstri Mühendisliği
- Endüstriyel Kalıpcılık
- Endüstriyel Tasarım Mühendisliği
- Enerji Sistemleri Mühendisliği
- Halkla İlişkiler
- Harita Mühendisliği
- İktisat
- İmalat Mühendisliği
- İnşaat Mühendisliği
- İstatistik
- İşletme
- İşletme Mühendisliği
- Jeoloji Mühendisliği
- Kamu Yönetimi
- Kaynak Teknolojisi
- Kimya Mühendisliği
- Makine Mühendisliği
- Mekatronik Mühendisliği
- Meteoroloji Mühendisliği
- Metalürji ve Malzeme Mühendisliği
- Mimarlık
- Muhasebe
- Sigortacılık

- Şehir ve Bölge Planlama
- Tapu ve Kadastro
- Uluslararası Ticaret

Teknik eğitimler; ölçüm teknikerliği, inşaat teknikerliği ve işletme/bakım teknikerliği ana başlıklarında yürütülmektedir. Sürekli eğitimler de kısa süreli kurslar, dönemsel uzaktan eğitim ve şirket içi eğitim şeklinde yapılmaktadır. *Tablo 5*'te, rüzgâr enerjisi eğitim planlarının dünyada ve Türkiye'de kıyaslanması verilmiştir.

Bu bağlamda ülkemizde, rüzgâr enerjisi eğitimi, rüzgâr enerjisi sistemleri tesisat eğitimi, rüzgâr enerjisi uzmanlığı ve danışmanlığı eğitimi, rüzgâr enerjisi temel eğitimi sertifika programı, yenilenebilir enerji teknolojileri sertifika programı gibi çok yönlü eğitim faaliyetleri sürdürülürken, değişik rüzgâr enerjisi çalıştay, sempozyum ve kongreleri de yapılmaktadır.

Bunun yanı sıra Güney Marmara Kalkınma Ajansı tarafından “*Sektörel Yatırım Alanlarında Genç İstihdamının Desteklenmesi Hibe Programı*” kapsamında Mart 2016 tarihi itibarıyla Balıkesir Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi bünyesinde hizmet veren Türkiye’deki ilk “Rüzgâr Enerjisi Eğitim Merkezi” kurulmuştur. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığınca yayımlanan, Avrupa Birliği tarafından desteklenen “*Sektörel Yatırım Alanlarında Genç İstihdamının Desteklenmesi Hibe Programı*” kapsamında, Amasya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi’nin “Üretim İçin Enerji, İstihdam İçin Mesleki Eğitim Projesi” kabul edilmiştir [50]. Ayrıca TÜREB öncülüğünde, kamu ve özel sektörün işbirliğiyle İzmir’de bir rüzgâr enerjisi eğitim merkezinin kurulması gündemdedir [58].

Rüzgâr endüstrisi sektöründe nitelikli elemanın yetiştirilmesine yönelik, aşağıdaki çalışmaların yürütülmesi önerilmektedir [57]:

Tablo 5: Rüzgâr enerjisi eğitim planlarının dünyada ve Türkiye’de kıyaslanması [57].

Dünyada	Türkiye’de
Doktora ağırlıklı AR-GE mühendisi	Disiplinlerarası bölümlerin sağlamaştırılması
Doktora ağırlıklı rüzgâr enerjilerine yönelik temel bilimler eğitimi	Yüksek lisans ağırlıklı mühendis ve AR-GE uzmanı yetiştirilmesi
Teknik uzmanlık sertifika programları	Teknik uzmanlık sertifika programları
Sürekli eğitim gereçleri	Sürekli eğitim gereçleri

- “Bir Defa Eğitim” yerine, “Sürekli Eğitim” modeli benimsenmelidir.
- Üniversitelerde verilen temel rüzgâr enerjileri dersleri, sürekli eğitimin parçası yapılmalıdır.
- Yüksek lisans programıyla sektöre konuya hâkim mühendisler yetiştirilmelidir.
- Akademik doktora yanında, endüstriyel doktora için yasal zemin oluşturulmalıdır.
- H2020, ERANET, TÜBİTAK ve sanayi desteğiyle doktora eğitimlerini patent alabilir seviyeye çekmek ve buradan hareketle yerli üretimin desteklenmesi sağlanmalıdır.
- Teknisyen eğitimleri için rüzgâr enerjileri liseleri açmak ve başka dallardan geçiş için 2-3 aylık teknisyen eğitim kursları düzenlenmelidir.

Ülkemizde rüzgâr sektörün gelişmesinde, bu konuda çalışan araştırma merkezlerinin rolü de çok önemlidir. *Tablo 6*’da, Türkiye’de rüzgâr alanında çalışan araştırma merkezleri listesi sunulmuştur. T.C. Kalkınma Bakanlığı yapılan bir çalışmada [68], ülkemizdeki üniversite ve kamu kurumları araştırma altyapıları olarak verilmiştir. Buradan, *Tablo 6*’da yer alan bazı merkezler/enstitüler ile ilgili detaylı bilgilere ulaşılabilir. Bu tabloda sözü geçen merkezler, sadece rüzgâr enerjisi adıyla çalıştıkları gibi, yenilenebilir enerji merkezlerinin/enstitülerinin içinde de bütünleşik olarak hizmet etmektedirler. Burada söze geçen merkezlerin, birbirleriyle daha iyi bir etkileşim halinde çalışacak şekilde organize olmaları, rüzgâr sektörünün gelişmesine önemli katkı koyabilecektir.

Tablo 6: Türkiye’de rüzgâr enerjisi alanında çalışan merkez/enstitüleri [59-68].

Kurum	Çalışılan Konular	Notlar	Kaynak
Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Rüzgâr Enerjisi Araştırma Merkezi-RÜZGEM)	RÜZGEM bünyesinde gerçekleştirilecek araştırmalar temelde “Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Türbin Sistemleri” üzerine odaklanmaktadır. Çalışmalar, öncelikle teknolojik gelişme ve ayrıca sosyo-ekonomik ilerleme olmak üzere iki ana başlık altında ele alınmaktadır.	2547 sayılı Yükseköğretim Kanunu’na dayanılarak, 28 Şubat 2011 tarihli Resmi Gazete ilanı ve Devlet Planlama Teşkilatı’nın (Kalkınma Bakanlığı) üç senelik proje desteği ile kurulmuştur.	[59]
Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi-RİTM	RES’lerin Türkiye Elektrik Sistemi’ne geniş ölçekli entegrasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır.	T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, YEGM, TÜBİTAK ve MGM işbirliğinde Temmuz 2010 tarihinde başlanmıştır.	[52]
İstanbul Teknik Üniversitesi (Rüzgâr Araştırmaları Merkezi-ITUWIND)	• Yapı-rüzgâr etkileşimi, • Yaya seviyesi rüzgâr konforu analizleri, • Rüzgâr enerjisi analizleri, • Doğal havalandırma sistemleri tasarımı ve • Mevcut yapı formundan veya çevre yapılardan kaynaklı olumsuz rüzgâr etkilerinin kontrol edilmesine yönelik çalışmalar.	İTÜ Mimarlık Fakültesi bünyesinde kurulan ASCE 49-12 (Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures) standartlarına uygun atmosferik sınır tabaka rüzgâr tüneli bulunmaktadır. Bunun haricinde sayısal analizler için ANSYS Fluent, OpenFOAM ve FloEFD gibi lisanslı yazılımlar kullanılmaktadır. Merkez bünyesinde akademik araştırma çalışmalarının yanı sıra üniversite-sanayi işbirliği kapsamında AR-GE faaliyetleri de yürütülmektedir.	[60]
TÜBİTAK-MAM (Enerji Enstitüsü)	Rüzgâr enerjisi çalışmaları, “Güç Elektroniği ve Kontrol Teknolojileri Stratejik İş Birimi” bünyesinde yürütülmekte olduğundan, “Güç Elektroniği Çalışma Grubu”nun sahip olduğu uzmanlık alanları kapsamında çalışmalar yürütülmektedir.	Bu bağlamda ülkemizde rüzgâr enerji sistemleri alanında başlatılan geniş katılımlı ilk büyük proje olan MİLRES projesinde yer almıştır.	[61]

Kurum	Çalışılan Konular	Notlar	Kaynak
Ege Üniversitesi (Güneş Enerjisi Enstitüsü)	- Rüzgâr-fotovoltaik hibrit güç sistemleri, - Rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri (RWÇS), - REÇS'lerinde optimizasyon, - REÇS'lerinde kullanılan elektrik makinaları, - REÇS'lerinde kullanılan kontrol sistemleri, - REÇS'lerinde ölçüm alma ve izleme, - Rüzgâr enerjisinde potansiyel belirleme ve - REÇS'lerinde özgün teknolojiler.	Türkiye'nin güneş enerjisi alanında kurulan ilk enstitüsüdür. yenilenebilir enerji kaynaklarının değişik konularında araştırmalar yürütülmektedir.	[62]
Hacettepe Üniversitesi (Yeni ve Temiz Enerji Araştırma-Uygulama Merkezi-YETAM)	Rüzgâr enerjisi veri toplama sistemleri, rüzgâr türbini tasarımı ve kurulumu, rüzgâr enerji santrallerinin enerji depolama yönetim sistemi ve tasarımı ile rüzgâr/fotovoltaik/ yakıt hücreleri hibrit sisteminin optimum tasarımı üzerine çalışmalar yürütülmektedir.	1993 yılında kurulan merkezde, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine, araştırma-uygulama, eğitim, bilgilendirme ve tanıtma çalışmaları yürütülmektedir.	[63]
Afyon Kocatepe Üniversitesi (Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi)	Rüzgâr enerjisinin potansiyeli, kullanımı ve hibrit uygulamaları üzerine araştırmalarda bulunmaktadır.	Rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yöre ve bölge bazındaki potansiyelini belirlemek, kullanımı ve tasarrufu alanlarında araştırmalar yapılmaktadır.	[64]
Gebze Teknik Üniversitesi (Yenilenebilir Enerji Araştırma Merkezi)	Rüzgâr türbinleri projeleri üzerine çalışmalar yürütülmektedir.	Güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynaklarının ülkemizde etkin kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi amaçlı kurulan merkezde, ağırlıklı olarak güneş enerji sistemleri (solar toplayıcı ve fotovoltaik sistemler) ve rüzgâr türbinleri projeleri çalışmaktadır.	[65]
Ondokuz Mayıs Üniversitesi (Temiz Enerji Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi)	Rüzgâr enerjisiyle ilgili, araştırma, inceleme, ölçüm ve izleme çalışmaları yapılmaktadır.	Jeotermal, rüzgâr, güneş, dalga, hidrojen, biyokütle, hidrolik enerji gibi alternatif- yenilenebilir, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları ile ilgili araştırma, inceleme, ölçüm, izleme çalışmaları yapmak.	[66]
Harran Üniversitesi (GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi-GAPYENEV)	Rüzgâr enerjisiyle ilgili araştırma ve inceleme çalışmalarında bulunmaktadır.	Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi ve enerji verimliliği konularında çalışmalar yürütülmektedir.	[67,68]

6. TÜRKİYE İÇİN RÜZGÂR ENERJİSİNİN AKILLI ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU

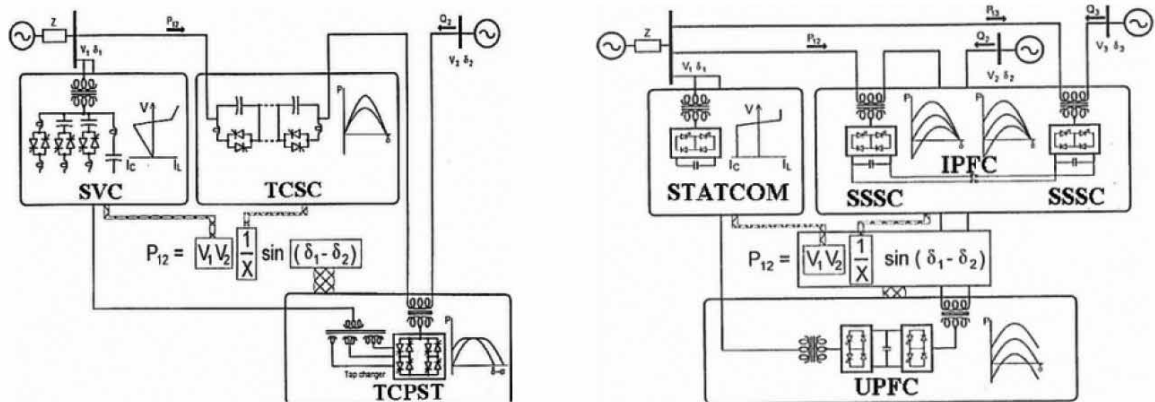
Dağıtım şebekelerinde özellikle lisanssız üretimlerin etkisi ile oldukça önemli miktarda yenilenebilir enerji sisteme entegre olacaktır. Kaynak yapısının değişken olması ve homojen dağılamaması, sistem güvenilirliğini ve sürekliliğini sağlamak adına, yenilenebilir kaynaklardan üretilecek gücün bazı durumlarda kontrol edilerek dengelenmesi gerektirebilecektir. Bu dengeleme Akıllı Şebeke bileşenleri ile yapılabilmekte ve gerçek zamanlı dinamik olarak kontrol edilebilmektedir [51, 69]. Üretim entegrasyonlarında bilinmesi gereken en önemli konu ise dağıtım şebekesinin üretim entegrasyonlarına göre dizayn edilememiş olması ve yanlış planlanacak üretim entegrasyonlarının, sağlanan enerjinin kalitesinde, güvenilirliğinde ve sürdürülebilirliğinde önemli problemler oluşturabileceğidir.

Teknik uygunluğa bakılmadan gerçekleşecek entegrasyonlarda, ciddi enerji kalite problemleriyle karşılaşılabilmekte ve bu problemler santral sahibini, şebeke işletmecisini ve kullanıcıları önemli oranda etkileyebilmektedir. Bununla birlikte üretim entegrasyonları doğru planlandığında ciddi avantajlar da oluşturmaktadır. Kayıpları azaltmakta, sistem yeterliliğini geliştirmektedirler. Dağıtım şebekesinde yeterli miktarda entegrasyon oluştuğunda ve depolama sistemleri geliştirildiğinde, iletim şebekesinde sorun yaşansa da kendi kendine çalışmayı sürdürebilecek enerji adacıkları (MicroGrid) oluşabilecektir. Bu avantajlar sonucu lokal gerilimleri desteklenebilmekte, aşırı yüklenmeler engellenebilmekte, sistem ekipmanlarının ömrü uzamakta ve kesintilerin önüne geçilebilmektedir [51].

6.1. Üretim Entegrasyonları Sonucu Oluşabilecek Zorluklar

Elektrik enerjisinin yaşamımızın her alanına girdiği bir dünyada, hiç kimse kesintilerin sıklığının artmasını, kesinti olmasa bile tükettiği enerjinin kalitesinin düşmesini istemeyecektir. Üretim entegrasyonlarında özellikle kaynak tipi ve üretim miktarının, ilgili lokasyondaki iletim ve/veya dağıtım sistemine uygun tasarlanması, gerekli koruma ve kontrol önlemlerinin alınması son derece kritiktir. Dağınık bir enerji üretim sisteminde enerji üretiminin optimizasyonu ve verimliliği de önem kazanacaktır. Türkiye’de iletim seviyesinden gerçekleşen önemli rüzgâr enerjisi entegrasyonları bulunmaktadır. İletim sistemi, yapısı gereği, gücün farklı noktalardan entegrasyonuna daha esnektir. İletim sisteminden gerçekleştirilen bu tür entegrasyonlarda daha çok frekans ve gerilim kararlılığı sorgulanmaktadır.

İletim seviyesindeki kararlılığı geliştirecek önemli bir uygulama, iletimin esnekleştirilmesidir. Esnek alternatif akım iletim sistemleri olarak bilinen FACTS sistemleri, hızlı anahtarlanabilen düzeltici yapıları barındırmaktadır. FACTS sistemleri gibi gelişmekte olan teknolojiler, geniş alanda yaşanabilen enerji kesintilerini engelleyebilecek bir yapıda ve hızlıdır. Sonuçta koruma sisteminin, oluşan ya da oluşabilecek olaydan daha hızlı yapıda olması beklenir. FACTS sistemleri yarı iletken tabanlı bir teknolojiye sahip olup, aşırı yüklenme olduğunda elektrik akışına farklı yönler oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Anahtarlama yapılarının düzenlenmesi ile bu sistemler gerilim desteği, salınım sönümlemesi ve kararlılığı geliştirme gibi farklı güç sistemi gereksinimlerini karşılamaktadır. İletim hatlarındaki aktif ve reaktif güç akışı, iletim gerilimi, empedans ve



Şekil 22: Tristör ve konverter bazlı FACTS kontrolörlerin yapısı, isimleri ve kontrol parametreleri [51, 70-71].

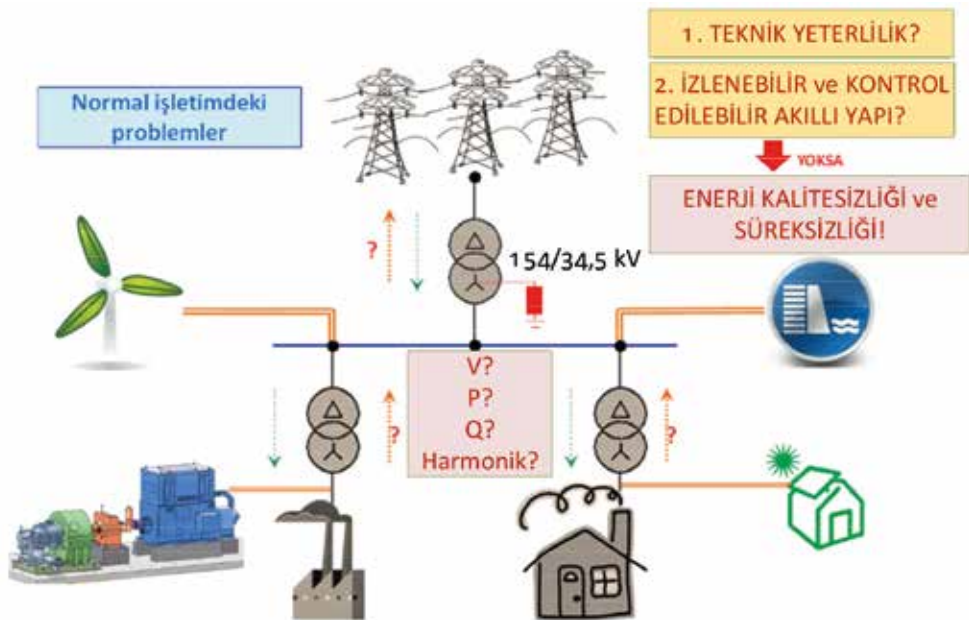
faz açısı farkı ile belirlenir. Bu parametrelerin dinamik kontrolü, iletim hatlarını pasif elemanlar olmaktan çıkararak aktifleştirir. Bu aktifleştirme, gerilim kalitesinde bir bozulma olmaksızın, aktif ve reaktif güç akışlarını önceden belirlenebilen şekilde düzenler. FACTS sistemlerinin kullandığı güç elektroniği bazlı kontrolörler iletim sistemine kontrollü akım ve gerilim bileşenleri ekler. Eklenen bu bileşenler iletim gerilimini ve iletim empedansını kontrol eder. Böylece aktif ve reaktif güç kontrolü yapılmış olur. Kontrol edilebilen güç bileşenleri de sistemdeki dar boğazların rahatlatılmasında kullanılabilir. FACTS sistemlerinden, Şekil 22’te gösterildiği gibi, özellikle gerilimi kontrol edebilen SVC ve STATCOM gibi yapılar, YEKA gibi bölgesel büyük projelerin enerji yollarında önemli iyileştirmeler oluşturabilir [51, 70-71].

Büyük çaplı YEO entegrasyonlarında, değişken kaynak yapısı (özellikle güneş ve rüzgâr için) aktif ve reaktif güç akışlarını önemli oranda etkileyebilir. Oluşacak frekans ve gerilim değişimleri önemli etkiler oluşturabilir. Bu nedenle enerji yollarında, hızlı aktive olabilen reaktif güç destekleri ile birlikte primer frekans kontrolüne ait ek rezervlerin oluşturulma durumu söz konusu olabilir. yenilenebilir enerji entegrasyonlarındaki önemli hususlardan biri de sistem ataletini düşürecek olmalarıdır. Bu sistemler konverter, inverter sistemlerini kullanmaktadır ve genelde şebeke ile herhangi bir mekanik etkileşimleri yoktur. Bu da

frekans değişiminin çok hızlı olmasını engelleyen atalet bileşeninin azalmasına yol açmaktadır. Bu problemin önüne geçmek için enerji depolama sistemleri kullanılabilir ve sanal atalet oluşturulabilmektedir [51].

Dağıtım şebekesinden gerçekleşecek üretim entegrasyonlarında durum iletim sisteminden farklı olacaktır. Bunun ana nedeni dağıtım şebekesinde kullanılan hatların daha düşük kesitli ve üretim entegrasyonları düşünülerek planlanmamış olmalarıdır. Dağıtım sisteminde, yenilenebilir enerji entegrasyonları sonucu değişen enerji yapısında, yük akışı, kısa devre ve koruma koordinasyonu yapısının da değişmesi söz konusudur. Bu değişim miktarının yüksek olması, enerji sisteminde ciddi gerilim ve güç dalgalanmaları ve enerji adalaşmalarında ise ciddi frekans ve gerilim dalgalanmaları oluşturabilecektir. Şekil 23 ve 24’te, üretim entegrasyonlarının gerçekleşmesi sonrası normal işletimde ve adalaşma durumlarında oluşabilecek zorluklar resmedilmeye çalışılmıştır.

Günümüzde enerji şebekeleri “alternatif akım” kullanmaktadır ve sistem ekipmanlarının yapısal özelliklerinden dolayı bu akımın bazı etkileri vardır. Sistemler bu etkiler göz önüne alınarak tasarlanmaktadır. Gerilim düşümlerinin, endüktif ve kapasitif etkilerinin, oluşabilecek kısa devre akımlarının çok dikkatli incelenmesi gerekmektedir. Gerçekleşmesi planlanan üretim



Şekil 23: Üretim entegrasyonları sonrasında, “normal işletimde” yaşanabilecek zorluklar (Kaynak [51]’den uyarlanmıştır).

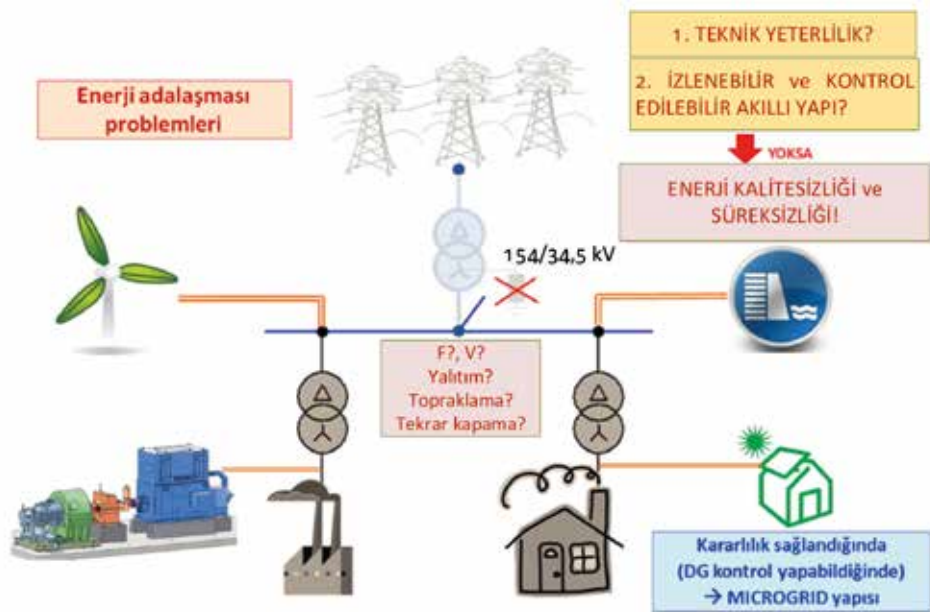
entegrasyonlarının bu başlıklar üzerinde çok ciddi etkileri olması beklenmektedir [52].

Üretim entegrasyonları sonucu sistemin “normal işletim” konumunda karşılaşılabilecek en önemli zorluğun gerilim değişimleri olacağı görülmektedir [51,72]. Bir dağıtım bölgesinden entegre olan bir üretim kaynağı, çok değişken bir aktif ve reaktif güç ve buna bağlı değişken bir gerilim profili oluşturacaktır. Bu değişimin büyüklüğü, üretim miktarının büyüklüğü ve gücün iletileceği mesafe ve kullanılacak iletkenin kesitine bağlı olmaktadır. Bu gerilim değişiminin hiç bir zaman dağıtım şebekesi gerilim değişim sınırları dışına çıkmaması gerekmektedir. Bununla birlikte, sınırlar içinde kalsa bile özellikle kısa devre gücü düşük olan barajlarda çok değişken kaynağa sahip üretimlerin yaratacağı gerilim dalgalanma sıklığının yüksek olacağı bilinmeli ve izlenebilir fliker etkileri oluşturabileceği öngörülebilmelidir. Bağlanacak üretim kaynaklarının bölgede yaratacağı etkiler analizler yolu ile önceden öngörülebilmekte, düzeltici ve düzenleyici önlemler alınabilmektedir.

Üretim sistemlerinin yer aldığı iletim bölgesinde enerjinin kaliteli üretilmesi açısından çok önemli kontrolörler bulunmaktadır. Değişen yüke ve anahtarlama durumlarına göre bu kontrolörler gerekli tepkileri vererek elektriğin en önemli iki parametresi olan frekans ve gerilimi sürekli kontrol altında tutarlar. Bu kaliteli enerji de dağıtım

şebekesi üzerinden kullanıcılara ulaşır. Dağıtım şebekesinde üretim entegrasyonlarının olmadığı mevcut durumda, fiderlerde yaşanabilecek bir açma, açmanın olduğu noktadan sonrasında enerjisiz bırakmaktadır. Üretim entegrasyonlarının olduğu durumda ise eğer açma sonrası elektriksel olarak ayrılan bir bölgede bir üretim birimi varsa enerjili adalaşma ile karşılaşılır. Dağıtım sisteminden bağlanacak lisansız üretimlerin frekans ve gerilimi kontrol etme zorunlulukları bulunmamaktadır. Özellikle yüksek miktarda gerçekleşecek olan entegrasyonlarda, adalaşma durumunda oluşabilecek kalitesiz enerji durumu, üretim tesisine, dağıtım sistemi ekipmanlarına ve tüketici ekipmanlarına zarar verebilecek boyuta çıkabilir [51].

Yukarıda tanımlanan sorunlar sadece tasarımsal sorunlar değildir. Aynı zamanda işletmede oluşabilecek değişiklikler sonucu da ortaya çıkabilmektedir. Üretim entegrasyonları arttıkça karşılaşılabilecek sorunların sıklığı da artacaktır. Bu nedenle şebekelerde yer alan üretim birimlerinin, dağıtım sistemi operatörü tarafından sadece izlenmesi değil, kontrol edilebilmesi de zorunlu olmalıdır. Enerjinin sürdürülebilirliği ve güvenilirliği açısından, gelişmiş izleme ve kontrol özelliklerine sahip kontrolörler ile birlikte enerji depolama sistemlerinin önemi çok büyüktür. Teknik yeterlilik sağlandığında ikinci konu maliyet optimizasyonu olacaktır. Avrupa ülkeleri teknik gereklilikleri



Şekil 24: Üretim entegrasyonları sonrasında, olası bir “adalaşma” durumunda yaşanabilecek zorluklar (Kaynak [51]’den uyarlanmıştır)

tamamlamış ve entegrasyonlarında maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmeye başlamışlardır. Bu noktada düzenleyici akıllı yapıların kullanımı gerekli olacaktır (Dağıntık üretim yönetim sistemi, mikro şebeke kontrolör vb.leri).

6.2. Düzenleyici “AKILLI” Yapılar ve Akıllı Şebekelerin Rolü

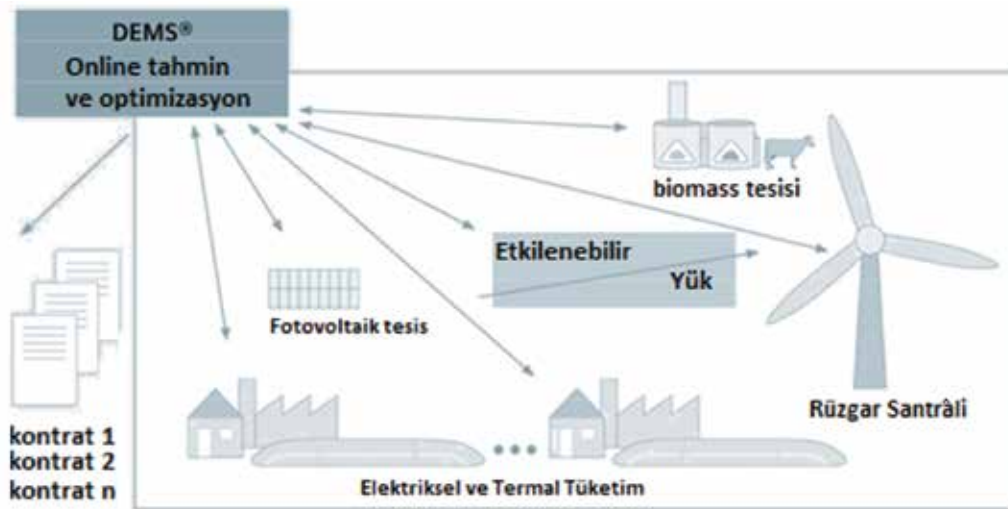
Yukarıdaki bölümde tanımlanan nedenlerden dolayı iletim ve dağıtım sisteminin uygun kontrol ve kumanda önlemleri alan akıllı bir yapı formatında olması gerekmektedir [51, 73]. Akıllı bir enerji yapısında, tüm sistemi izleyebilen, koşullara göre kendi kendine karar alabilen ve anahtarlama yapabilmek için çok hızlı iletişim kurabilen yapılar bulunmaktadır. Akıllı şalt merkezleri otomasyonu, enerji kesintisini önleme, arıza sonrası hızlı toparlanabilme, üretim entegrasyonlarına akıllı uyum, akıllı bir sistemin en büyük özelliklerindendir.

Dağıntık bir enerji üretim sisteminde sistem güvenilirliği en önemli konudur. Sistem güvenilirliği sağlandıktan sonra ise enerji üretiminin optimizasyonu ve verimliliği söz konusu olacaktır [51, 74]. Bu optimizasyonu ve verimliliği sağlayacak yapıların temelleri günümüzde atılmaktadır. Bu anlamda geleceğin enerji yapısında, sanal enerji santralleri olarak ifade edilen, aslında birçok küçük santrali tek bir santral gibi tanımlayan ve yöneten yapıların da bulunması beklenmektedir. Şekil 25’te, Dağıntık Üretim Yönetim Sistemi (DEMS-Distributed Energy Management System) gösterilmiştir. Bu sistemler enerji piyasası koşullarına ve sistem yapısında oluşabilecek olumsuz koşullarda kendine

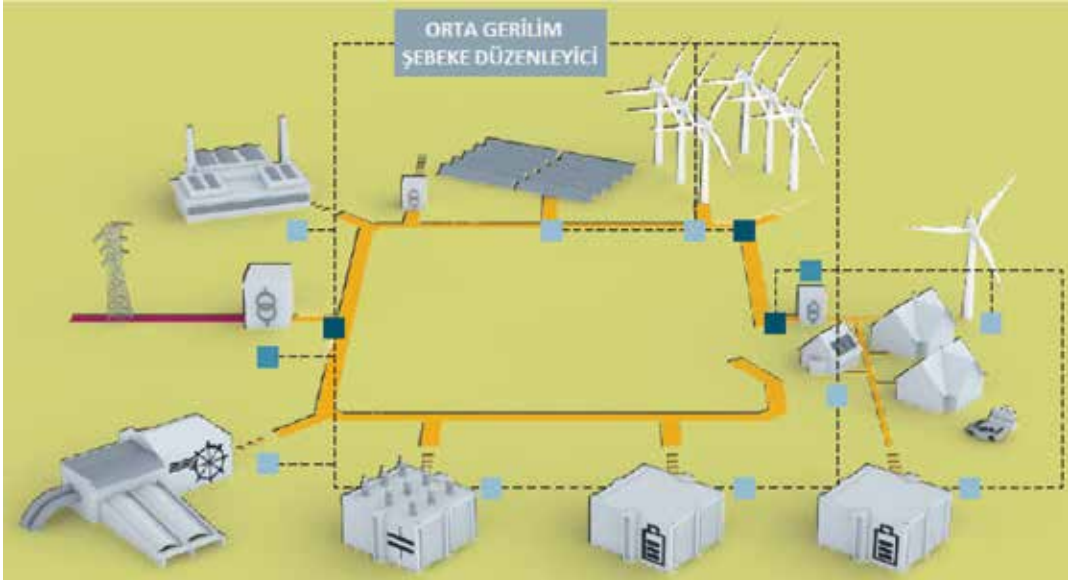
bağlı sistemleri düzenleyerek, enerjinin kesintisiz, kaliteli ve ekonomik olmasını sağlayabilecektir [51, 75].

Dağıtım şebekesinden gerçekleşen yenilenebilir enerji üretim entegrasyonlarının oluşturduğu yük akışı ve gerilim dalgalanmalarının kontrolü, üretim miktarı arttıkça zorlaşacaktır. Kontrol edilemeyen yapılarda da enerji kalitesindeki bu dalgalanma, sistemin kendisinde ve tüketici ürünlerinde zararlar oluşturabilecektir. Bu nedenle dağıtım şebekelerinin sürekli izlenmesi ve kritik durumların oluşma riski görüldüğünde gerekli kontrol ve kumanda önlemlerinin alınması gerekecektir. Bununla ilgili, “Orta Gerilim Şebeke Düzenleyici” yapıların da (Şekil 26) dağıtım şebekesinde kullanımı söz konusu olacaktır.

Bu düzenleyici yapılar şebekeyi izleyerek, manuel ya da otomatik olarak gerilimi, aktif gücü ve reaktif gücü kontrol edebilmektedir. Bu kontrolü sağlarken, üretim sistemlerini, transformatör yapılarını ve kapasitörleri kullanmaktadır. Bu tür yapılar ile güç akış miktarı ve yönleri izlenebilmekte, sınır aşımaları hızlı ve doğru olarak tespit edilebilmektedir. Bu tespitlerin yardımı ile şebeke kararlılığının korunması için gerekli önlemler alınabilmektedir. Ayrıca izlenen sonuçlar şebeke kayıpları açısından da değerlendirilmektedir. Dağıtım sisteminin, üretim entegrasyonlarına izin verecek, izleyecek ve karar alacak akıllı bir yapıda olması çok önemlidir. Günümüzde, kararlılığın geliştirilerek transfer kapasitelerinin artırılması ve dağıntık üretim yapısındaki enerji ticaretinin basitleştirilmesi için orta gerilim seviyesinde DC yapıların da oluştuğu görülmektedir [51, 76].



Şekil 25: Dağıntık Üretim Yönetim Sistemi [51, 75].



Şekil 26: Orta gerilim şebeke düzenleyicisi [51, 76]

6.3 Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Dağıtım Şirketleri Açısından Değerlendirilmesi

Türkiye Akıllı Şebekeler Projesi 2035 öngörülerine göre, 2035'te sadece yenilenebilir enerji kurulu gücümüz 172,5 GW, üretim ise 597,8 TWh olacaktır. Toplam talebin 750 TWh civarında olacağı ve yenilenebilir enerji üretimiyle tüketimin %80'inin yerli kaynaklar ile karşılanabileceği öngörülmektedir. yenilenebilir enerjinin toplam üretimde artmasının ve bundan böyle artmaya devam edecek olmasının sebepleri; esnek biçimde dağıtık hem de merkezi olarak kurulabilmesi ile birlikte teknoloji ve uygulama maliyetlerinin hızla düşmesidir [77].

6.3.1 Yenilenebilir Enerji ile Ortaya Çıkan Konular ve Piyasada Yeni Müşteriler

yenilenebilir enerji ile ortaya çıkan konular aşağıda listelenmektedir:

- Rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki paylarının artmasından ve stokastik özelliklerinden dolayı, gün içi piyasasındaki saatlik oynamalara karşın enerjide tedarik sürekliliğinin sağlanması için esnek üretim ve talep yönetiminin yapılabilmesi önem kazanmaktadır.
- Yeni esnek kaynakların değerlendirilmesi için depolama ve talep esnekliğinin yaratılması ve yönetilebilmesi gerekecektir.
- Maliyet etkin iletişim ve kontrol teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak,

küçük ölçekli dağıtık üretim tesislerinin sanal enerji üreticileri (VPP) tarafından kontrol edilmesi ve işletilmesi sayesinde yeni esneklik kaynakları gündeme gelecektir.

Piyasadaki yeni müşteriler aşağıda listelenmiştir:

- Serbest piyasa ortamına geçmiş ülkelerde müşteriler tüketimlerinin bir kısmını çatı tipi güneş panelleri, mikro rüzgâr türbinleri veya elektrikli araçlarında daha önce şarj ettikleri aküler sayesinde karşılayabilmektedirler.
- Sisteme çift yönlü bağlantısı olan bu yeni tip müşteri ("prosumer"), istediği tedarikçiden piyasadaki enerjisini alabilmekte, bir kesinti durumunda veya spot fiyata göre de sisteme kendi dağıtık üretim veya depolama tesisinden enerji verebilmektedir.

6.3.2 Şebekedeki Değişimler

Teknoloji ve şebekedeki değişimin neler getirdiği, aşağıda açıklanmıştır:

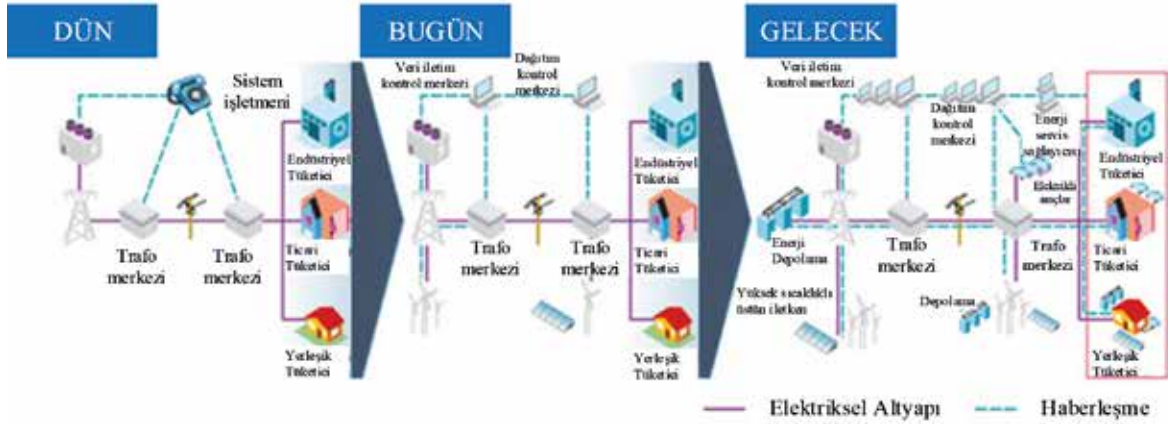
- Ulaşımında fosil yakıtlı araçların yerini akülü elektrik araçların alıyor olması ve araç sahiplerinin aynı zamanda şebekeye enerji veren satıcı konumuna gelmeleri,
- Büyük sayılara erişen çatı tipi güneş panellerin AG şebekesine bağlanması, çift yönlü elektrik bağlantılarının ortaya çıkması,
- Şebekenin gerilim dengesi ve kararlılığına destek olarak güneş santrallerinin kullanılmaya başlanması,

- Özellikle rüzgâr ve güneş gibi öngörümü güç kaynaklara bağlı elektrik üretiminin değişkenliğinin ayarlanabilme ihtiyacı,
- Talep yönetiminin gerçek zamanlı yapılabilmesi,
- Gün için azami yük saatlerinin tıraşlanarak daha düşük seviyelerde gerçekleşmesi sağlanıp enerji maliyetlerinin düşürülerek daha iyi bir işletme performansı, çevre dostu ve düşük maliyetli bir enerji politikasının oluşturulması,
- Sistem işleticileri (TSO-DSOs) arasında ve

bunlarla sistem kullanıcıları arasında veri paylaşımının/koordinasyonunun ihtiyacının artması ve karmaşık şebeke yapısının kontrol edilip yönetilmesi için bilişim teknolojilerinin yaygın kullanımı.

Bu bağlamda, elektrik şebekesinin **geçmişteki** ve gelecekteki hali, *Şekil 27*'de gösterilmiştir.

Gelecekteki şebeke yapısı ve bu alanda yapılan çalışmaların neler getirdiği *Şekil 28*'de gösterilmiştir.



Şekil 27: Elektrik şebekesinin geçmişteki ve gelecekteki hali (Kaynak [77]'den uyarlanmıştır).

Kendi kendini onaran şebeke (Self-healing grid)	Artan tedarik sürekliliği ve güç kalitesi
Şebeke dayanıklılığı (Grid resiliency)	Gelişmiş ve gerçek zamana yakın ölçüm altyapıları
Artan tüketici/talep tarafı katılımı ve yüksek verimlilik	Yenilenebilir üretim için bağlanabilir kapasitenin artırılması
Şebeke varlıklarının optimal kullanımı ve yönetimi	Statik şebeke altyapılarında dönüşüm
Dinamik, yaşayan altyapılar, proaktif şebeke ve müşteri yönetimi	AR-GE, yerli teknoloji ve pazar gelişiminin desteklenmesi

Şekil 28: Gelecekteki şebeke yapısı ve bu alanda yapılan çalışmaların getirdikleri (Kaynak [77]'den uyarlanmıştır).

Akıllı şebekeler, katılım ve çok amaçlı yapı bakımından aşağıdakileri getirmektedir [77]:

Katılım: Piyasa ve iş modellerinin sil baştan prosumer (binaların yarısının çatı tipi güneş panellerine sahip olması, milyonlarca elektrikli araçların şebekeye çift yönlü bağlantısının mümkün olması, diğer depolama olanakları) odaklı hale getirilmesi,

Çok amaçlı yapı:

- Dağıtık üretim için kapasite piyasasının oluşabilmesi,
- Ulaşım hizmeti sağlayan iş modellerine (kWh yerine km satan) imkân tanınması,
- Akıllı ev (güvenlik vs.) ile IoT teknolojileri ile çalışan enerji verimliliğine yönelik uygulamaları desteklemesi.

6.3.3 Geleceğin Elektrik Sistemi Unsurları

Bu unsurlar, aşağıda belirtilenler bakımından dört başlık altında kısaca ele alınacaktır [77].

Akıllı Sayaçlar

Akıllı sayaçların gerçek zamanlıya yakın bir veri alışverişi için kullanılması;

- Gün öncesi ve gün içi piyasalarının işlevsellik kazanmasına,
- Haberleşme teknolojisinin gelişmesine
- Fert başına gayri safi millî gelire paralel kişi başına düşen elektrik tüketiminin artmasına ve
- Dağıtık üretimle birlikte talep tarafı yönetimin önem kazanmasına bağlı olarak tüketim noktalarında hızlıca yaygınlaşacaktır.

Pek çok gelişmiş ülkede 2020-2025 aralığında tüm elektrik kullanıcılarının akıllı sayaçlar kullanması hedeflenmektedir. Bazı ülkelerde, akıllı ölçüm ve sayaç altyapılarının desteği ile şimdiden 15 dakikalık gün öncesi ve gün içi piyasası uygulamaları hayata geçirilmektedir.

Çatı Tipi Güneş Panelleri

Geleceğin enerji dünyasını elektrikli ulaşım araçları ile birlikte belki de en fazla değiştirecek, akıllı şebeke işlevselliklerine en çok gereksinim duyacak konsept, **çatı tipi güneş** panelleri olacaktır. G-20 ülkelerinin ilk altısında bu alandaki gelişmeler ileride şekillenecek enerji dünyasının nasıl evrileceğine dair önemli ipuçları vermektedir. Çatı tipi güneş panelleri açısından **Çin, Almanya, Japonya, ABD, İngiltere** ve Hindistan'ın gelişimi

ve orta vadeli hedefleri bu süreci açık biçimde gözler önüne sermektedir.

Elektrikli Araçlar

2009 Kopenhag ve 2016 Paris küresel ısınmayı kontrol anlaşmaları çerçevesinde 21. yüzyılın ikinci yarısında sera gazı salınımını sıfırlamak amacıyla şu anda toplam salınımın %23'ünü teşkil eden ulaşım araçlarının fosil yakıtlar yerine elektrik kullanmaları anlaşmalarda imzası bulunan imzacı tüm ülkelerce desteklenmektedir.

IEA bünyesindeki "Clean Energy Ministerial" grubuna üye ülkelerin 2030 yılında trafikteki toplam taşıtlarının %30'unun elektrikli olması hedeflenmiştir. Birçok gelişmiş ülkenin 2045 yılından itibaren içten yanmalı motor kullanılan araçları tamamen trafikten yasaklamaları beklenmektedir.

Depolama

İletim ve dağıtım şebekesi ile son kullanıcı seviyesindeki depolama olanaklarının gelişmesi; hem yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına hem de şebeke işletmecileri ile son kullanıcılara önemli oranda katma değer sağlayacaktır. Aynı zamanda arz-talep dengesi ile ilgili esneklik sağlanarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yoğun bir şekilde şebekeye bağlanabilmeleri mümkün olacaktır.

Depolama sistemleri frekans kontrolü, gerilim kontrolü, güç dengeleme, ticari amaçlı kullanım ve şebeke güç kalitesini iyileştirme gibi birçok fonksiyonu aynı zamanda gerçekleştirebilmektedir. Öte yandan bu durum depolama sistemlerinin güç sistemleri ve elektrik piyasası içerisinde nasıl tanımlanacağı sorusunun cevabını zorlaştırmaktadır.

6.3.4 Paradigma Değişimini Destekleyen

Etmenler

Bu unsurlar, aşağıda belirtilenler bakımından dört başlık altında kısaca ele alınacaktır.

a) Büyük Data ve Veri Analitiği

Dağıtım şebekesi işletmeciliğinde klasik yaklaşım; mümkün olduğunca saha faaliyet noktalarının **şebekeyi** yönetmesi, arıza ve kesinti bilgilerini olgu bazında kayda geçmeleri ve toplu istatistikî bilgileri merkez ofisle paylaşımlarına dayanmaktaydı. Artık SCADA, CBS tabanlı varlık ve bağlantısallık verisi, gelişmiş ERP sistemleri, kesinti yönetim sistemleri, **çağrı merkezi**, nitelikli müşteri verisi

ve iş gücü yönetim sistemleri konularında değişik seviyelerde yatırımlar yapılmaktadır.

Büyük verinin işlenmesi sonucunda **öngörülebilir** onarım faaliyetleri yapılabilecek, arızalar olmadan planlı bakımla ön alınacak ve kesinti sayıları büyük oranda azaltılabilecektir. Böylelikle dağıtım şirketleri insan gücü kaynaklarını çok daha verimli kullanarak işletme giderlerini optimize edebilecekler, tüketicilerin de daha makul tarifelerle enerjiye erişimleri sağlanmış olacaktır.

b) Nesnelerin İnterneti (IoT)

Endüstriyel gereksinimlerinin hızlı ve daha ekonomik olarak sağlanması için karşımıza Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) çıkmaktadır. IIoT'nin kullanım alanlarına göz attığımızda kestirimci bakım, fabrikalarda dijital üretim ve verimlilik, kargo ve lojistik, iş sağlığı ve güvenliği gibi alanlar sıralanabilir.

Elektrik dağıtım sektöründe IoT teknolojilerinin, akıllı sayaç altyapılarının geliştirilmesi, **şebeke** envanterlerinin gerçek zamanlı olarak izlenip kestirimci bakım faaliyetlerinin desteklenmesi, giyilebilir teknolojiler ile iş sağlığı ve güvenliğinin artırılması gibi birçok alanda kullanımına başlanılmıştır.

c) Varlık Yönetimi

Sürdürülebilir bir dağıtım hizmeti verebilmek için dağıtım şirketlerinin elektrik dağıtım tarife modelinin iki ana unsuru olan işletme gider tavanı ile yatırım tavanı arasında optimum dengeyi sağlamaları gerekmektedir. Gelir tavanı metodolojisini uygulayan ülkelerin bazılarında her iki bütçeyi birlikte düşünmeye zorlayan TOTEX (OPEX-CAPEX) kavramını kullanarak bu dengenin oluşması sağlanmaya çalışılmaktadır.

d) Endüstri 4.0 ve Yoğun Dijitalleşme

Dördüncü Endüstri Devrimi olarak da adlandırılan “Endüstri 4.0” kavramının “akıllı **şebeke**”ye uyarlaması tam olarak BT ve OT sistemlerinin entegrasyonudur. Farklı bir deyişle dağıtım şirketinin merkezi BT sistemleri (ERP, Faturalama gibi yazılımlar) ile OT [SCADA, CBS, WFM (iş gücü yönetim sistemi), çağrı merkezi, yük tevzi, OMS(kesinti yönetim sistemi), OSOS] sistemlerinin gelişmiş haberleşme altyapılarını kullanarak büyük veri bankaları üzerinden haberleşmeleri sonucunda hem saha çalışanlarının hem de müşterilerin kendileri için gerekli bilgi alışverişlerini doğrudan yapabilmeleri sağlanacaktır. Dijital ortamlar kullanılarak otomasyon çözümleri sunulabilecektir.

7. YOL HARİTASI VE YAPILMASI GEREKENLER

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde gelinen durumu dikkate alarak gelecekte yapılması gerekli hususlar aşağıdaki gibidir.

7.1 Büyük Data ve Veri Analitiği

Dağıtım şebekesi işletmeciliğinde klasik yaklaşım; mümkün olduğunca saha faaliyet noktalarının şebekeyi yönetmesi, arıza ve kesinti bilgilerini olgu bazında kayda geçmeleri ve toplu istatistik bilgileri merkez ofisle paylaşmalarına dayanmaktaydı. Şebeke hafızası büyük oranda kişilere bağlı bir sistem olarak sürdürülmekteydi. Merkezdeki veriler daha çok finans, İK ve işletme performansı açısından değerlendirildiğinden gerçek anlamda yük dağıtım, kesinti yönetimi, coğrafi temelli bakım/onarım ve varlık yönetiminin yapılabilmesi neredeyse imkânsızdı.

Son yıllarda Düzenleyici Kurumun yönlendirmesiyle dağıtım şirketleri SCADA, CBS tabanlı varlık ve bağlantısallık verisi, gelişmiş ERP sistemleri, kesinti yönetim sistemleri, çağrı merkezi, nitelikli müşteri verisi ve iş gücü yönetim sistemleri konularında değişik seviyelerde yatırımlar yapmaya başlamışlardır. Önümüzdeki yıllarda yenileme yatırımlarının optimum seviyede gerçekleştirilebilmesi ve şebeke unsurlarının ömürlerinin uzatılması için varlık yönetimine geçmeleri acilen yapılmalıdır. Akıllı şebeke sistemlerinin BT yazılım bileşenleri hem ciddi donanım altyapılarına ihtiyaç duymakta hem kurulumları için büyük yatırım bütçeleri ayrılmakta hem de geometrik bir şekilde artan muazzam hacimde veriler toplayarak dağıtım şirketlerini veri-yoğun şirketler haline getirmektedir. Gelişen teknoloji, değişen iş yapış şekilleri ve müşteri gereksinimleri nedeniyle şirketler kurumsal sistemleri ve sistemlerde tutulan verileri yalnızca temel raporlama amacıyla değil, farklı analitik teknikleri ve iş zekâsı altyapılarından yararlanarak yüksek değer oluşturma amacıyla kullanmaya başlamışlardır.

Her sektörde olduğu gibi enerji sektöründe de kurulmuş olan ve gelecekte kurulacak operasyonel sistemlerdeki veri büyüklüğü, büyük veri konseptine uygun olarak olağanüstü düzeyde artış göstermektedir. Özellikle dağıtım sektörü için şaşırtıcı olmayan bu artış, yenilenebilir enerji teknolojilerinin hızla yaygınlaşmasıyla dağıtım sektöründeki dönüşümü kaçınılmaz

hale getirmektedir. Bu dönüşüm, pek çok veri kaynağından terabaytlarca veri toplayan şirketleri; bilişim stratejilerini, operasyonel yapılarını, müşteriye karşı yükümlülüklerini ve diğer süreçlerini gözden geçirmeye ve revize etmeye zorlamaktadır. Bir zamanların yalnızca anlık verileri değerlendiren, eldeki mevcut yapılarla hareket etmeye ve her yapıyı tek başına (stand-alone) kullanmaya çalışan bakış açısı; artık daha açık ve kalıcı analizlerle iş yapan, karmaşık, geçmiş ve anlık verileri inceleyerek daha hızlı analiz eden yapılara dönüşmektedir. Böylece dağıtım şirketleri, eldeki geçmiş ve anlık verileri kullanarak potansiyel operasyonel problemleri öngörüp, bu problemler gerçekleşmeden proaktif aksiyonlar alarak değer yaratmaya ve geleceği kurgulamaya başlamışlardır.

Veri analitiği, dağıtım şirketlerine ayrıca veri-esaslı karar verme mekanizmalarında katkılar sunmaktadır. Tüketim değerlerine göre tüketici profillemesi yapmak, tüketici davranışlarını analiz etmek ve iletişim planlarını revize etmek müşteri memnuniyetini artırabilmekte, operasyonel güvenilirliklerini iyileştirebilmektedir. Büyük verinin işlenmesi sonucunda öngörülebilir onarım faaliyetleri yapılabilir, arızalar olmadan planlı bakımla ön alınacak ve kesinti sayıları büyük oranda azaltılabilecektir. Böylelikle dağıtım şirketleri insan gücü kaynaklarını çok daha verimli kullanarak işletme giderlerini optimize edebilecekler, tüketicilerin de daha makul tarifelerle enerjiye erişimleri sağlanmış olacaktır.

7.2 Nesnelerin İnterneti

İnternet üzerinden iletişime geçen ve veri transferi sağlayan ilk nesneler bilgisayarlar olarak söylenebilir. Ancak günümüzde İnternete bağlanan ve veri aktaran çok fazla çeşit nesne bulunmaktadır. Bunların arasında; cep telefonları, tabletler, bazı ev aletleri (çamaşır makinesi, buzdolabı, kombi, aydınlatma, vb.), arabalar, kol saatleri ve daha birçok nesne çeşitti sayılabilir.

Öncelikle bilişim sektöründe ve gündelik hayatımıza giren bu teknoloji, endüstriyel gereksinimlerinin hızlı ve daha ekonomik olarak sağlanması için bu kez karşımıza Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) olarak çıkmaktadır. IIoT'nin kullanım alanlarına göz attığımızda, kestirimci bakım, fabrikalarda dijital üretim ve verimlilik, kargo ve lojistik, iş güvenliği ve sağlığı gibi alanlar sıralanabilir. Elektrik dağıtım sektöründe IIoT teknolojilerinin, akıllı sayaç alt yapılarının geliştirilmesi, şebeke envanterlerinin

gerçek zamanlı olarak izlenip kestirimci bakım faaliyetlerinin desteklenmesi, giyilebilir teknolojiler ile iş sağlığı ve güvenliğinin artırılması, gibi birçok alanda kullanımına başlanılmıştır.

7.3 Varlık Yönetimi

Sürdürülebilir bir dağıtım hizmeti verebilmek için dağıtım şirketlerinin elektrik dağıtım tarife modelinin iki ana unsuru olan işletme gider tavanı ile yatırım tavanı arasında optimum dengeyi sağlamaları gerekmektedir. Gelir tavanı metodolojisini uygulayan ülkelerin bazılarında her iki bütçeyi birlikte düşünmeye zorlayan TOTEX11 (OPEX-CAPEX) kavramını kullanarak bu dengenin oluşması sağlanmaya çalışılmaktadır.

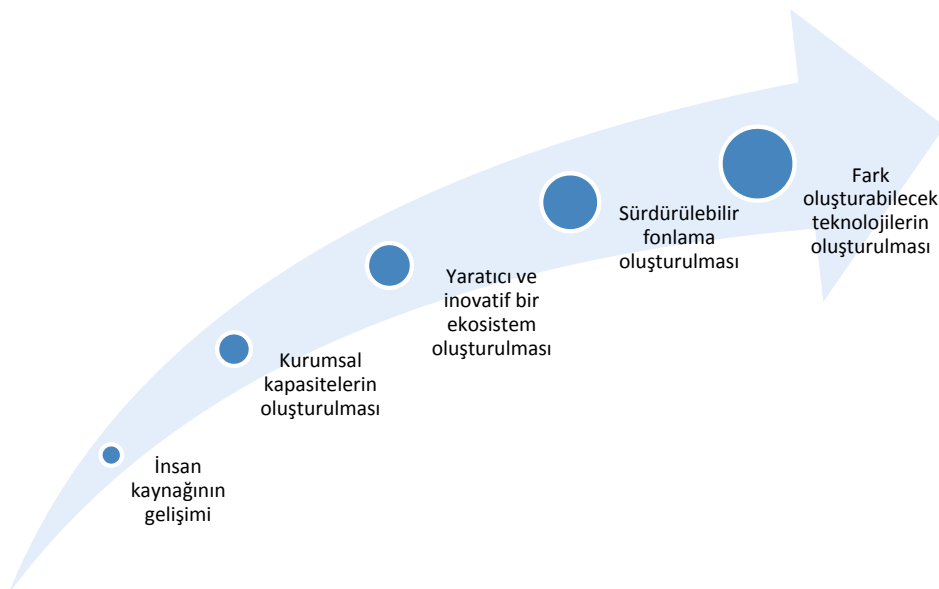
Kısıtlı yatırım bütçelerinin doğru şekilde kullanılabilmesi için dağıtım varlıklarının doğru yönetilerek varlıkların çalışma sürelerinin uzatılması gerekmektedir. İlk etapta toplanacak varlıkların durum verileri, sürekli sahadan uzaktan veya yerinde toplanacak verilerle güncellenerek ömürlerini tamamlamak üzere olanların veya bakıma ihtiyaç duyanlarının tespit edilip yerinde müdahalelerle bir varlığın çalışma süresini mümkün olduğunca uzatmak, arıza müdahalesi yerine planlı bakımla sorunları gidermek, TOTEX kavramı açısından en uygun denge noktası olacaktır.

7.4 Rüzgâr Enerjisinde Teknolojik Boyutlar ve Açılımlar

Yapılması gereken bir diğer önemli husus ise dünyadaki teknolojik açılımları yakından takip

etmek, yerli ve milli teknolojiler üretmek ve bu teknolojilerin ülkemize entegrasyonunu sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmektir.

Enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmasının itici gücü olup, ekonomik büyümenin vazgeçilmez bir bileşenidir. Günümüzde ise ekonomik bağımsızlık sadece ve sadece teknolojik başarıya bağlı hale gelmiştir. Enerji ise teknolojik başarının oluşabilmesi için gerekli olan en önemli ayaklardan biri olarak görülmektedir. İnovasyon ve ekonomi odaklı bir toplumun gereklilikleri Şekil 29’da verilmiştir. Bu gereklilikler genel olarak tüm sektörlerde arandığı gibi, rüzgâr enerjisi alanında da geçerliliğini korumaktadır. İnsan kaynağının geliştirilmesi teknolojik açılımın ilk basamağı olarak görülmektedir. Alanında uzman, teknolojik gelişmeleri yakından takip eden donanımlı insanların eğitimi, insan kaynağı gelişiminin en önemli ayağını oluşturmaktadır. Günümüzde artık tek boyutlu mühendislerin geçerliliği kalmamıştır. Gelişmiş ülkelerin müfredatlarında “Mühendislik İnovasyon ve Girişimcilik” dersleri okutulmaktadır. Bunun yanında sanayi, kamu ve üniversiteleri tamamlayacak şekilde geniş kapsamlı kurumsal kapasitelerin tanımlanması ve tamamlanması gerekmektedir. Aynı zamanda yaratıcı ve inovatif bir ekosistemi oluşturulması, milli ve özgün teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir fonlama ve finans mekanizmalarının oluşturulması, inovatif gelişim için büyük önem arz etmektedir. Atılacak bu adımlar günün sonunda elle tutulur fark yaratabilecek teknolojilerin geliştirilmesine ön ayak olacaktır.



Şekil 29: İnovasyon ve ekonomi odaklı bir toplumun gereklilikleri.

İnovasyonun gerekliliklerine bakıldığı zaman ise beş madde ile aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İnsan
- Tutku
- İş birlikteliği
- Politikalar ve mevzuat
- Proses, doğru mekanizmaların kurulması

Yukarıda da belirtildiği gibi yetişmiş insan gücü ilk olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanın sadece donanımsal olarak yetişmiş olması değil, onun yanında da tutkulu olması ve yapılan işe karşı heyecan duyması ve gönüllü olması gerekmektedir. Bunlar ile beraber kamu, sanayi ve üniversitelerin bir araya gelip birlikte çalışıp bir şeyler üretmesi gerekmekte ve bunlara yönelik politikalar, mevzuat ve teşvikler oluşturulmalıdır. Bu mekanizmaları geliştirilecek programlar, modeller doğru kurgulanarak inovasyona varmak gerekmektedir.

Günümüzde gelişmiş dünyanın farkını gösterdiği en önemli kulvar ise Araştırma, İnovasyon ve

Ticarileşme (AİT) olarak öne çıkmaktadır. Bu üç kademeli süreçte bilgi mutlaka günün sonunda teknolojik ürünlere dönüşmekte ve sosyo ekonomik çıktıları gündelik hayata yansıtmaktadır. Ülkemizde rüzgâr enerjisine yönelik çalışmalarda bulunan üniversiteler, endüstri ve kamu kuruluşları mevcuttur. Bu sebeple TÜBA'nın öncülüğünde oluşturulan çalışma grupları ile sadece bilgi üretmekle kalmayıp, bu üç sacayağını birleştirilerek teknolojik çıktıların da üretildiği ortak bir başarı modeli oluşturulmak istenmektedir.

Bir ülkenin refah çevrimi Şekil 30'da tanımlanmıştır. Araştırma inovasyon ticarileştirme (AİT) bu çevrimin ilk halkasını oluşturmaktadır ve bütün gelişmiş dünyanın başarı konsepti içerisinde yer almaktadır. Ülkece elle tutulur katma değeri olan teknolojilerimizin olması, yerli teknolojinin yanı sıra milliliğe de önem verilmesi gerekmektedir. Daha fazla ekonomik faaliyetler, onun yanında daha iyi bir refah kalitesini beraberinde getirecek ve sonuç olarak da ülke insanları için daha iyi bir hayata kapı açacaktır.



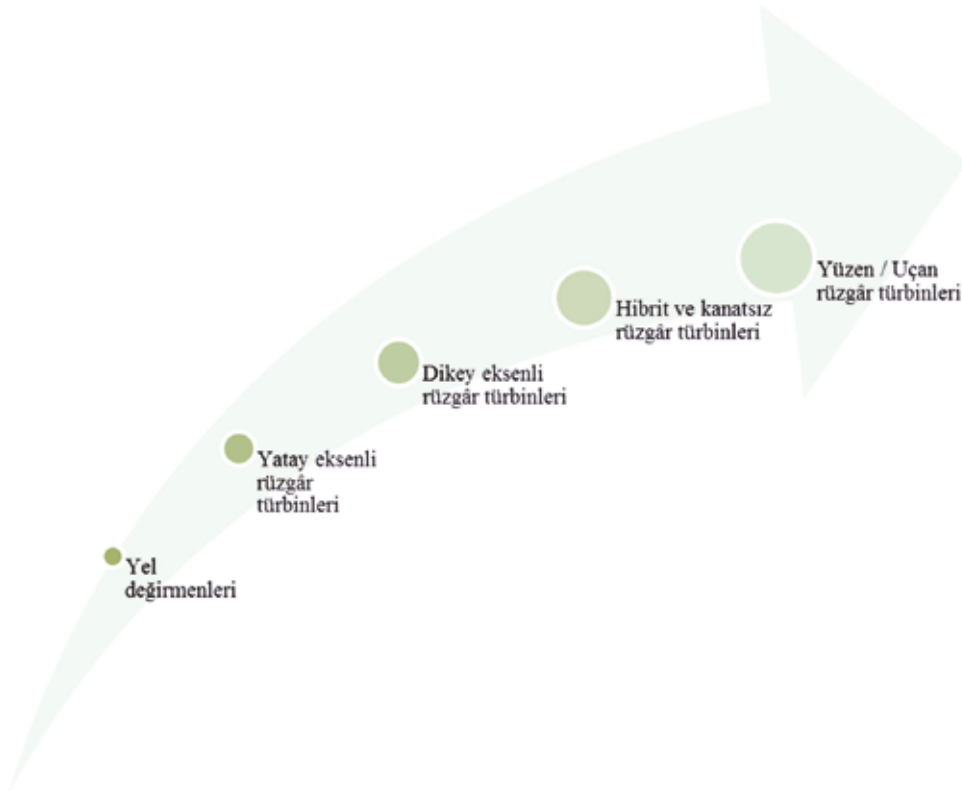
Şekil 30: Bir ülke için refah çevrimi.

Teknolojik boyutların enerji ayağına bakıldığında ise sürdürülebilir teknolojileri 3S ile açıklamak mümkündür. İlk olarak sürdürülebilir bir sistemin kaynağı olmak zorundadır. Rüzgâr enerjisi burada kaynak ayağını oluştururken diğer iki ayağı ise sistem ve servis oluşturmaktadır. Burada servisten kasıt, sistemden söz konusu olan faydalı çıktılardır (elektrik, ısıtma, soğutma, temiz su vb.).

Kaynaktan sisteme ve sistemden servise geçişlerde arz talep dengesizlikleri durumlarında devreye depolama sistemleri girmektedir. Dolayısıyla olaya bakıldığı zaman sürdürülebilir bir enerji ekonomisi oluşturmak isteniyorsa 3S + 2S'nin oluşturulması gerekmektedir. Rüzgâr enerjisi için de durum aynı şekilde geçerli olacaktır. Depolama sistemleri yenilenebilir enerjinin kesintili yapısından ötürü olmazsa olmazdır. Saatlik depolamadan sezonluğa varıncaya kadar farklı depolama seçenekleri incelenmelidir. Hidrojen karbonsuz yapısı, yüksek ısı değeri ve geniş kullanım seçenekleri (yakıt pilleri, içten yanmalı motorlar vb.) gibi nedenlerden önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında hidrojen depolama kolaylığı sağlaması açısından havadan azotun elde edilmesi ile amonyak şeklinde de değerlendirilebilir.

Amonyak da hidrojen gibi karbonsuz, çevre dostu bir çözüm sunacaktır. (hidrojen, amonyak vb.).

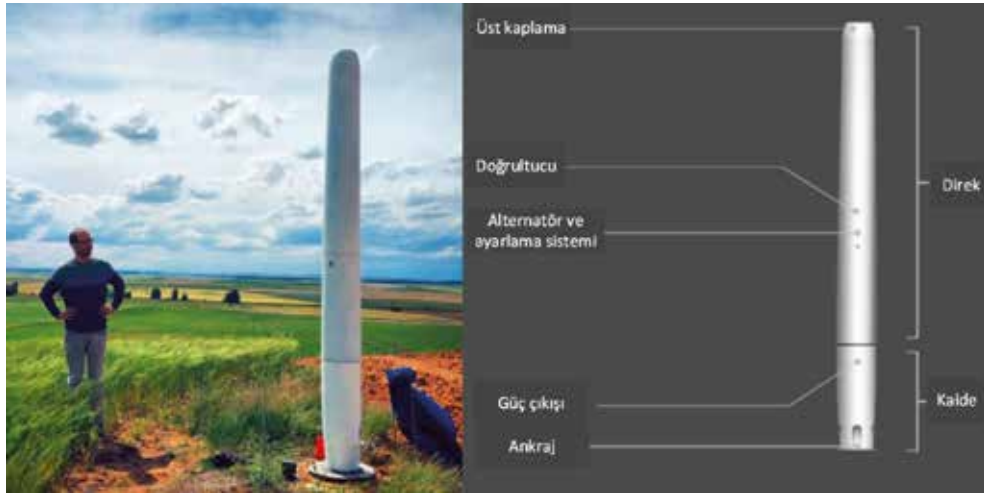
Rüzgâr enerji sistemlerinde bir diğer yönelim ise entegre, çoklu sistemler üzerinedir. Bugün gelişen dünyada artık akıllı telefonlardan akıllı kontrol sistemlerine veya akıllı şebekelere kadar her şey artık entegre formda olduğu gözükmemektedir. O halde tekli sistemlerin dezavantajını giderebilecek ya hibrit ya da entegre sistemler geliştirilmesi gerekmektedir. Rüzgâr enerjisi ile üretilen elektriği hidrojen üretiminde ve diğer söz konusu olan faydalı çıktılarda üretiminde kullanmak sistemlerin genel verimlerini yukarı taşıyacaktır. Bir diğer husus ise yenilenebilir enerjinin sadece tekil (rüzgâr, güneş, jeotermal, hidro) olarak değil, aynı zamanda çeşitli temiz enerji kombinasyonları üzerinde modellenmesi gerekmektedir. Örneğin, bir bölgeye kurulacak santral için sadece rüzgâra veya güneşe yönelik yatırım yapmak yerine artık önümüzdeki dönemde bölgeye yönelik hangi yenilenebilir enerji kaynakları söz konusu ise bunların nasıl ve ne şekilde modellenerek programlanıp toplu bir şekilde entegre durumda hayata geçirmek önemli olacaktır.



Şekil 31: Rüzgâr türbinlerinin tarihsel gelişimi.

Rüzgâr türbin teknolojilerinin geçmişten günümüze tarihsel gelişimleri *Şekil 31*'de gösterilmiştir. Yel değirmenleri ile başlayan süreç, günümüzde gelişerek, hibrit ve kanatsız rüzgâr türbinlerinden, uçan rüzgâr türbinlerine kadar varmıştır. Yeni nesil rüzgâr enerji sistemlerine bir örnek *Şekil 32*'de görülebilir. Şekildeki prototip kanatsız rüzgâr türbini Vortex Shedding (bir sıvının belirli bir hızda geçmesi sırasında gerçekleşen salınımlı akış) olarak adlandırılan etkiyi kullanarak güç üretmektedir. Temel olarak dikey konumlu kanatsız, elastik silindirik bir yapıdan oluşmaktadır. Yaptığı salınımlı hareketi bir alternatör yardımı ile elektrığe çevirmektedir. Diğer bir deyişle bu sistem bir türbin gibi çalışmamaktadır.

Bir diğer yeni nesil kanatsız türbin örneği *Şekil 33*'te görülebilir. Tunuslu girişimci küçük bir ekip tarafından dizayn edilen ve sonrasında Microsoft'un da desteğini alan bu projede, yelkenli teknelerin çalışma prensibinden esinlenilmiştir. Türbin kanatları, yüksek aerodinamik sürüklenme katsayısına (C_d) sahip yelken şeklindeki bir gövdeyle değiştirilerek aynı süpürme alanı için geleneksel kanatlı rüzgâr türbinine oranla iki kat daha fazla rüzgâr kinetik enerjisi yakalanabilmektedir. Kanatsız yapısı sürtünme kayıplarını azaltırken, sistemin maksimum teorik verimini de Betz limitinden bağımsız hale getirmiştir [80].



Şekil 32: Salınımlı kanatsız rüzgâr gülü (Kaynak [79]'dan uyarlanmıştır).



Şekil 33: Kanatsız rüzgâr türbini örneği (Kaynak [80]'den uyarlanmıştır).



Şekil 34: Tayfun rüzgâr türbini örneği
(Kaynak [81]'den uyarlanmıştır).

Rüzgâr enerjisi sektöründe bir başka yönelim ise tayfunlar neticesinde ortaya çıkan enerjinin kullanımıdır. Günümüzde Kuzey Amerika'daki kasırgalara ve Uzak Doğu'daki tayfunlara karşı koyabilecek dayanıklılıkta kanatlara sahip rüzgâr türbinleri test edilmektedir (bkz: Şekil 34). Atsushi Shimizu, tarafından yürütülen devlet bağışları ve krediler ile desteklenen bu türbin Japonya'da Okinawa Adası'nda kurulmuş olup test çalışmaları devam etmektedir. Atsushi Shimizu'ya göre, bir rüzgâr türbini dizisinin tayfun altında çalışmasından Japonya'ya 50 yıl kadar enerji sağlayabileceğini belirtmiştir. Ayrıca çok yönlü hava akımlarından faydalanma amaçlı çapraz eksenli rüzgâr türbinleri (cross-axis-wind-turbine) geliştirilmiştir. Yatay ve dikey eksenli türbinlerle kıyaslandığında çapraz eksenli rüzgâr türbinleri düşük rüzgâr hızlarında ve kompleks rüzgâr paternleri altında çalışabilme gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır.



Şekil 35: Uçan rüzgâr türbini örneği
(Kaynak [82]'den uyarlanmıştır).

Uçan rüzgâr türbinlerine bir örnek Şekil 35'te görülmektedir. Massachusetts Institute of Technology'de kurulan Altaeros Energies tarafından dizayn ve inşa edilen türbin helyum gazı ile havalanıp 18 ay boyunca 310 metre irtifada, karadaki rüzgârlara nazaran beş ila sekiz kat daha güçlü hava akımları yakalayacak. Helyumla dolu türbin, Alaska'da Fairbanks kentine kurulacak ve havadan yere uzanan kablolarla şebekeyi beslenecektir. Projeyi oluşturan ekip uçan rüzgâr türbinlerini uzak bölgelere, felaket bölgelerine ve askeri üslere enerji sağlayacak şekilde geliştirmek istemektedir [82].

Rüzgâr enerjisi konseptinde bir diğer açılım ise açık deniz uygulamalarında görülmektedir. Rüzgârların çok daha şiddetli olduğu sulara kurulan rüzgâr çiftlikleri ile yüksek kapasitelere ulaşmak mümkün gözükmemektedir. Dünya genelinde açık deniz santrallerinin kurulu gücü 2017 yılının sonu itibarıyla yaklaşık 19 GW'a ulaşmıştır. Ülkemizde de açık deniz rüzgâr türbinleri için fizibilite çalışmaları akademik seviyede başlamış olup ileride bu projelerin hayata geçmesi beklenmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde; ülkemizin rüzgâr enerjisi teknolojileri, kabiliyetleri, potansiyelleri ve finansman mekanizmaları ile ülkemizdeki rüzgâr enerjisi mevzuatı, problemler ve çözümleri üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi yer almaktadır.

8.1. Panel 1: Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri, Kabiliyetleri, Potansiyelleri ve Finansman Mekanizmaları

Söz konusu panele katılan Kökey [2] tarafından aşağıdaki hususlar dile getirilmiş ve yazılı olarak bildirilmiştir:

8.1.1. Ana İçerik

Türkiye'nin daha önceki bölümlerde açıklanan rüzgâr enerjisi potansiyelinde de görüleceği üzere ülkemizde yeterince kaynak bulunmaktadır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın 2016 yılı verilerine göre Türkiye'de, 53.000 kişi rüzgâr enerjisi sektöründe istihdam edilmektedir [2, 83]. Bu araştırma, sektördeki insan kaynağının yeterliliğini göstermektedir.

Rüzgâr türbinlerinin ana ekipmanlarından olan kanatlar ve kuleler, 2002 yılından beri Türkiye'de üretilmektedir. Yan ekipmanlar da son yıllarda artan bir oranda ülkemizde üretilmeye başlanmıştır. Bu tip üretimlerin ana bileşenleri olan cam elyafı, epoksi reçine gibi muhtelif kompozit hammaddeler ve her türlü demir çelik ürünü hâlihazırda başka sektörlerde de kullanıldığından ülkemizde üretilmektedir. Sektörlerin hammaddeleri veya yan ürünleri benzerlik taşıdığından, rüzgâr enerjisinin alt sektörleri üretime hazır durumdadır. Finansal olarak hammadde bağımlılığının olmaması ve elektrik üretim maliyetlerinin düşük olması sebebiyle hem komponent üretim tesislerinin hem de elektrik üreten santrallerin finanse edilmesi konusunda avantaj sağlamaktadır.

8.1.2. Değerlendirme

Ülkemizde rüzgâr enerjisi sektöründe güncel faiz oranlarının yüksek olması, finans konusunda bir engel teşkil etmektedir. 2017 sonu itibarı ile devreye alınan rüzgâr santrallerinin tümü ithal markalardır. Ülkemiz teknoloji geliştirmekten ziyade, üretim merkezi konumundadır. Son dönemdeki sektördeki rekabet ve elektrik fiyatlarındaki düşüş, türbin fiyatlarının ve kâr marjlarının da ciddi düşmesine neden olmaktadır. Son yıllardaki Nordex-Acciona, Siemens-Gamesa, General Electric-Alstom, Enercon-Lagerwey firmalarının birleşme/

satın almalarında da görüldüğü gibi, sektör artık konsolidasyona gitmektedir. Bu durum, sektördeki firmaların belirli bir hacmin üzerinde üretim ve satış kapasitesi olmadığında, dünya pazarında aktif olmasını ve ayakta kalmasını zorlaştırdığını göstermektedir. Türkiye'deki firmalar, sıfırdan bir tasarım yaparak sektöre girmek veya lisans alarak ilerlemek konusunda ise geç kalmış durumdadır. Türkiye'deki anlayışa göre Türk işçisi, Türk mühendisi ile Türkiye'de üretim yapılması, zaten yerli olmak anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, %100 yerlilik kavramı, sektördeki hiçbir firma için geçerli olmayan bir durumdur. Çünkü artık dünyanın tümü her türlü üretim ve hammadde temini için bir pazar konumundadır. Örneğin, Amerikan olarak bilinen General Electric firması, 1997 yılında Alman Tacke firmasını satın alan Enron firmasını devralarak ve yakın zamanda da Alstom firması ile birleşerek yoluna devam etmektedir. Üretimlerinin büyük çoğunluğunu ABD haricinde yaptıran bir firmadır. Fakat General Electric adını duyulduğunda akıllara Amerika gelmektedir. Bu nedenle %100 yerlilik kavramı, firmaların üretimlerinin kısıtlanmasına ve dünya pazarları ile ilişkilerinin kesilmesine neden olur.

Dünya pazarına hitap edemeyen bir rüzgâr türbini üreticisinin ayakta kalması mümkün değildir. Yine güncel bir örnek vermek gerekirse; 2017 yılında dünyada en çok türbin satan Danimarkalı Vestas firması 70'ten fazla ülkede satış yapmaktadır. Sektörde yer edinmiş, ülkemiz dâhil birçok ülkeye satış yapabilen dünya devi firmaların geçmişlerine göz atmak gerekirse; Vestas'ın 1979, Enercon'un 1984, Nordex'in 1985 yıllarında sektöre girdikleri görülmektedir. Bu nedenle Türkiye'nin her ne kadar genç işgücü ve sanayi altyapısı olsa da bilgi birikimi konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Bu bilgi birikimi ise daha fazla üretim yaparak, otomotiv sektöründe olduğu gibi; yavaş yavaş araştırma ve geliştirme yaparak elde edilecektir. Bu nedenle %100 yerlilik konsepti ile değil, yeteri kadar tecrübe sahibi olmuş firmalar ile işbirlikleri yapılması yolu ile süreçler oluşturulmalıdır. Türkiye'nin en büyük potansiyeli; dünyada ilk 10'da yer almamızı sağlayan iç pazarı ve gelişmekte olan pazarlara yakınlığıdır. İşçiliğin ucuz olduğu Çin gibi ülkeler, rüzgâr türbini bileşenleri büyük olduğundan, lojistik zorluklar sebebi ile avantajlı olmamaktadır. Avrupa ülkelerinde ise işçilik pahalı olduğundan üretim yapmaya elverişli bir konumda bulunmamaktadır. Türkiye'nin bu iki uç noktanın arasında yer alması, özellikle üretim merkezi olma konusunda önünü açacaktır.

Maalesef son bir yılda meydana gelen olumsuz kredi şartları sebebiyle Türkiye'deki mevcut yüksek faizli mali yapıdan dolayı rüzgâr enerjisi sektörünün finansmanı için yurtdışından ülkemize yatırımcı temin etmek mali açıdan daha uygun bir durumdur. Faiz oranları makul bir seviyeye geldiği zaman, yerli yatırımcı da finans kaynağını kullanabilecek ve bu sorun aşılabilecektir. Finans sektörü son yıllarda rüzgâr enerjisi konusunda yeterli bilgiye sahiptir. Yatırımcılar sektörle ilgili süreçleri, riskleri iyi bilmekte ve sağladıkları yatırımın nasıl başarılı sonuçlanacağını tahmin edebilmektedir. Bu nedenle aslında finans ve rüzgâr sektörü arasında, faiz oranlarının azaltılması dışında beklentinin kalmadığı söylenebilir. Türkiye açısından sektördeki iç pazarı en az yıllık 1.000 MW seviyesinde tutabilmek önem teşkil etmektedir. Birkaç yıldır yavaş giden lisanslama süreçleri, geçtiğimiz sene yapılan YEKA ihalesi ve lisans ihaleleri ile tekrar hareketlenmiştir. Sektörün sürekliliği için en önemli olan kısım, bunun devamını homojen bir şekilde sağlayabilmek ve hem üretici hem de sektörün diğer paydaşlarına yeterli iş çıkarabilmektir. Ülkemiz, İspanya, Yunanistan gibi çok ciddi çıkış ve sonrasında çok ciddi inişlerin yaşanmadığı bir ülke olduğundan, bu konuda farkını ortaya koymaktadır. Bu nedenle her yıl 1.000 MW mertebesinde yeni santralin devreye alınabiliyor olması, iç pazarımızın da cazibesini devam ettirmesini sağlayacaktır.

8.2. Panel 2: Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Mevzuatı, Problemler ve Çözümler

Söz konusu panelde tartışılanların ışığı altında, aşağıdaki hususlar yazılı olarak bildirilmiştir [84]:

8.2.1. Mevzuat

Türkiye'de rüzgâr enerjisi ile ilgili genel mevzuat ele alındığında, önemli kilometre taşları olarak 10 Mayıs 2005'te yayımlanan 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"; 20.02.2001'de yılında yayınlanan 4628 sayılı "Elektrik Piyasası Kanunu" ve sonrasında yapılan çeşitli düzenlemeler ön plana çıkmaktadır.

2011 yılı başında yayınlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile birlikte gelen düzenleme ile 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu'nda düzenlenmemiş alanlar netleştirilerek, destekleme mekanizması işler hale getirilmiştir. Burada verilen teşvikler ilk yıllarda özellikler

rüzgâr yatırımları finansmanı için kılavuz fiyat niteliğini taşımış; piyasa fiyatlarının değişmeye başladığı son yıllarda ise özellikle rüzgâr tesisleri için anlamlı bir satış kanalı haline gelmiştir.

Bu mevzuatlar çerçevesinde; alım garantisi, şebekeye bağlantıda öncelik, düşürülmüş lisans ücretleri, çeşitli arazi edinimlerinde indirimler gibi teşviklerle diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte rüzgâr enerjisinin yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Diğer yandan çevre, orman, tarım vb. konulardaki birçok mevzuata da ilaveten rüzgâr enerji yatırım ve işletme iklimini düzenlemektedir.

2012 yılında da mevcut YEKDEM teşvikine ilaveten Yeni Yatırım Teşvik Programı çerçevesinde sektöre KDV, gümrük vergisi muafiyeti, bölgesel teşvikler, AR-GE vb. teşvikler sağlanmıştır.

8.2.2. Sorunlar

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli, 50 metre yükseklikte 7 m/s'den büyük yıllık ortalama rüzgâr hızları dikkate alındığında 48.000 MW mertebesinde değerlendirilmektedir [85]. Kurulu gücümüz; bu potansiyelin henüz %14'üne denk gelmektedir.

Bu potansiyelin değerlendirilmesi çerçevesinde rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi konusunda açıklanmış farklı hedefler bulunmaktadır:

- 2009'da Arz Güvenliği Strateji Belgesi: 2023'te 20.000 MW
- ETKB'nın 2015-2019 Stratejik Planı: 2019'da 10.000 MW
- Kesin Katkıları için Ulusal Niyet Beyanı (INDC): 2030'da 16.000 MW

Avrupa müktesebatına uyum çerçevesinde 2014 yılında açıklanan Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Planı'nda da sektörün gelişimi ile ilgili birçok öneriler yer almaktadır.

Söz konusu rüzgâr enerjisi potansiyelinin ekonomimize kazandırdığı rüzgâr enerji santrali yaşam döngüsünü genel olarak dört faza ayırabiliriz; geliştirme fazı, ön lisans fazı, kurulum fazı ve işletme/sökülme fazı. İşletme fazına kadar olan üç fazın toplam süresi ortalama 7 yıl kadar olabilmektedir.

Geliştirme Fazı: Verimli yürütülen geliştirme fazında planlamaya verilen önem, büyük ölçüde projenin gelecekteki başarısını garantiye almaktadır. Bu aşamada; *kısıtlı kapasite, lisanslama*

süreçlerindeki belirsizlik, yanlış saha seçimi, eksik ve/veya yanlış yerde rüzgâr ölçümü, yanlış türbin seçimi ve yanlış yerleşim gibi sorunlar ön plana çıkmaktadır.

Ön lisans fazında temel sıkıntılar olarak; 30'dan fazla kurumdan birkaç kere alınan görüş ve izinler, ilave ağaçlandırma bedelleri, verimli yürümeyen kamulaştırma süreci (EPDK, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı, Bakanlar Kurulu), bölgelerdeki farklı uygulamalar, sık değişen mevzuat konularını sayılabilir.

Kurulum fazına geldiğimizde ise; lisans tadilleri (TEA izninin talep edilmesi), tasarım kaynaklı problemler, arazi şartlarından dolayı ön görülemeyen ilave iş ve maliyetler, hava şartlarından kaynaklanan gecikmeler, sağlık, emniyet, çevre ve kalite ile ilgili yaşanabilecek problemler ve sosyal tepkiler gibi sorunlar ile karşılaşmaktadır.

İşletme fazında ise; *beklenenden daha az üretim, hatalı tasarım/kurulum, üretim tahmini, dolayısıyla dengesizlik maliyeti, kapasite artışlarının yapılamaması, türbin üreticilerinin veri paylaşımı, AR-GE, üniversite-sanayi işbirliği, kalifiye işgücü* gibi konular önem kazanmaktadır. Oldukça genç olan RES filomuzda sökölme fazı henüz büyük oranda gündeme gelmemiştir. Bu fazda da *mevcut saha düzenlemelerinin duruma göre eski hale getirilmesi, komponentlerin değerlendirilmesi, atık, hurda olarak nitelendirilen malzemelerin bertaraf edilmesi* gibi çeşitli konular ön plana çıkacaktır.

8.2.3. Çözüm Önerileri

Tüm bu sorunların giderilmesinde sektörün tüm paydaşlarına görevler düşmektedir. Genel olarak çözüm önerilerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- **Sektörde Öngörülebilirliğin ve Sürdürülebilirliğin Sağlanması:** Yatırımcılar kendi kaynak planlamalarını yapabilmek için önümüzdeki yıllarda sektörün nasıl şekilleneceği konusunda daha net bilgi edinmek istemektedir. Dolayısıyla sektör için aşağıdaki başlıkları kapsayan bir yol haritasının yayınlanması doğru olacaktır.
- Önümüzdeki üç yıl boyunca hangi tarihte, kaç MW kapasiteye sahip YEKA ihalesi yapılacağı ve bu ihalelerin mevzuatın hangi şartlarına uygun gerçekleştirileceği açıklanmalıdır.

- Nisan 2018'de alınacağı daha önce açıklanmış olan 2.000 MW'lık yeni rüzgâr kapasite tahsis başvurularının alınıp alınmayacağı; alınacaksa ilgili ihalelerin ne zaman yapılacağı açıklanmalıdır.
- Mevcut tesislerin kapasite artış başvuruları uzun zamandır sürüncemede bırakılmıştır. Kapasite artış başvurularının acilen neticelendirilmesi; şayet koşulları değiştirilecekse ilgili mevzuat değişiklikleri hakkında sektöre acilen görüş sorulması uygun olacaktır.

- **YEKDEM'in Geleceği:** Elektrik Enerjisi Arz Güvenliği Stratejisi çerçevesinde yer alan 2023 hedeflerinin sağlanabilmesi doğrultusunda YEKDEM teşvikinin 2020 yılından sonra nasıl uygulanacağının netleştirilmesi gerekmektedir.
- **Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tesislerinde Yerli Aksamın Desteklenmesi:** YEKDEM kapsamında tanınan yerli katkı payı uygulamasının YEKA dışında yeni tesislerde mümkün olmadığı gözükmektedir. Dolayısıyla 2017 yılında gerçekleştirilen kapasite tahsis ihalelerinde eksi fiyatlarla kazanılan projeler doğal olarak yatırım maliyeti en düşük ve finansmanı en kolay olan ithal malzeme kullanımına yönelebilecektir. Bu durumun Türkiye enerji politikasının en önemli hedeflerinden biri olan yerli teknolojinin geliştirilmesine aykırı bir durum oluşturması beklenmektedir. Yerli ekipman kullanımının en üst seviyeye çıkartılması için aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

- Yerli ekipman kullanım teşvikinin mevzuat olarak YEKDEM'den bağımsız hale getirilmesi uygun olacaktır.
- Yapılacak düzenlemenin mevcut tesislerin kapasite artışlarında yerli ekipman kullanımını teşvik edecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir.
- Yerli ekipman kullanımı durumunda, uygun şartları olan ihracat kredileri kullanılamayacaktır. Yerli proje finansmanı şartlarının uygun olmaması sonucunda proje fizibilitelerinin olumsuz etkilenmesi söz konusu olabilecektir. Bu koşulların iyileştirilmesi için ilgili Bakanlıklar ile beraber kamu finansman olanaklarını da içeren, sektöre özel çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

- **Dengesizlik Maliyetleri:** Dengesizlik maliyetleri kararsız üretimleri nedeniyle rüzgâr sektörü için öngörülemez bir maliyet kalemidir. Geçtiğimiz yıllarda getirilen “j katsayısı” uygulaması nedeniyle rüzgâr tesislerinde oluşan olumsuz etki, yeni mevzuat değişikliği ile bir ölçüde giderilmiş olsa dahi yeni getirilen “Kesinleşmiş Günlük Üretim Programı-KGÜP” düzenlemesi ile sektöre yeni ve daha ağır bir yük getirilmiştir. Bu düzenlemeyle sistem kararlılığını iyileştirmek hedeflenmiş olsa da bu sorumluluk asıl olarak dengeleme güç birimlerinde olmalıdır. Kanal tipi hidroelektrik santralleri ve özellikle rüzgâr santralleri gibi üretimi son derece dengesiz, doğal kaynaklara aşırı bağımlı ve çok kısa zaman zarflarında öngörülemez ani değişiklikler gösterebilen santraller dengeleme güç birimi olan santrallerle aynı kapsamda değerlendirilmemelidir. Rüzgâr enerji santrallerinin, gün öncesinden anlık teslimata kadar geçen süredeki tahmin performansları ne kadar iyi olursa olsun, üretim planlarından anlık sapmaları olacağı kaçınılmazdır. Bu sapmalar, mevzuatla belirlenen 0,1 katsayısının oldukça üzerinde gerçekleşebilecek; sektör için yeniden öngörülmemiş bir maliyet ortaya çıkacaktır. Mevzuatta dengeleme güç birimi ve dengeleme güç birimi olmayan kaynakların ayrımı yapılmalı; bu katsayı dengeleme güç birimi olmayan, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yapan tesisler için uygulanmamalıdır.
- **Offshore:** Offshore rüzgâr kapsamı ile ilgili mevzuat yayınlanmalıdır.
- **Depolama:** Depolama ile ilgili mevzuat düzenlemelerinin şu anda hazırlanmakta olduğunu duymaktayız. Geleceğin şebekesi, akıllı şebekeler kapsamında yapılan bu düzenlemelerin son derece gerekli olduğu değerlendirilmektedir. Sektör paydaşları ile birlikte değerlendirilerek nihai hale getirilecek düzenlemelerin, zamanında, gelişmekte olan teknoloji ile birlikte eş zamanlı hazır olacağı beklenmektedir.
- **Yeni Rüzgâr Yatırımları İçin İzin Süreçleri:** Özellikle ön lisans döneminde mevzuat gereği alınacak izinler, görüşler konusunda birçok bakanlığa başvurulmaktadır. Ancak her bakanlık her ne kadar Türkiye’nin 2023 stratejik hedefine desteğini ifade etse de günlük

hayattaki uygulamalarda öncelikler farklı olabilmekte, her zaman enerji konusunda ortak hedefe odaklanma sağlanamamaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015–2019 Stratejik Planı kapsamında Enerji Yatırımları Takip ve Koordinasyon Kurulu kuruldu. Bu kapsamda Proje Takip ve Koordinasyon Başkanlığı da kurulmalı ve söz konusu organizasyonların etkin şekilde çalışması sağlanmalıdır.

- Rüzgâr enerjisine elverişli bölgelerde şebeke bağlantı imkânları iyileştirmelidir.
- Kapasite artışları ile birlikte TEİAŞ tarafından tahsis edilen ilk pakette yer alan, devreye alınması imkânsız gözüken atıl kapasite temizlenmelidir.
- Entegre Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile proje geliştirme fazında analiz edilen kısıtlar şeffaf hale getirilmeli ve dolayısıyla riskler azaltılmalıdır. (Enerji Atlası)
- Mevzuatta belirsizlik durumları kısa sürede giderilmeli ve geriye dönük, fizibiliteleri negatif etkileyecek değişiklikler yapılmamalıdır.
- Gittikçe artan sosyal tepkilere karşı tüm sektör paydaşları tarafından daha örgütlü platformlar üzerinden bilinçlendirme çalışmaları yürütülmelidir. Özellikle yeni ihalelerle birlikte yeni bir RES yatırım dalgası önümüzdeki yıllarda gündeme gelecektir. Yerleşim yerlerine giderek yaklaşan tesisler için belirli standart ve düzenlemelerin getirilmesi (örneğin, yerleşim birimine asgari uzaklıklar) ve doğal, sosyal çevreye bu tesislerin etkilerinin kontrol altında tutulması bundan sonraki süreçte de yapılacak rüzgâr yatırımlarının kaderini belirleyecektir.

Tüm bu sorunların yaşandığı rüzgâr enerjisi sektöründe, son yıllarda dünyada gerçekleşen gelişmelere benzer şekilde belli eğilimleri gözlemlemek mümkündür. Örneğin, bugünlerde rüzgâr enerji santrallerinde verimliliğin gün geçtikçe artışı ve yatırım maliyetlerinin düştüğü bir süreç yaşanmaktadır. Bu eğilimler sonucunda geçtiğimiz birkaç yılda hem Türkiye’de hem dünyada yapılan rüzgâr kapasite tahsisi ihalelerinde ortaya çıkan fiyatlar, baz fiyat teşvik ihtiyacının kalmadığı, duruma göre farklı teşvik ihtiyaçlarının gündeme gelebildiği bir dönemin başlangıcını işaret etmektedir. Diğer yandan elektrikli araçların yaygınlaşması ile şarj istasyonları gibi yeni

ihtiyaçlar, arzın yanı sıra talep tarafının da oyuncu olarak yer alacağı yeni iş modelleri gündeme gelmektedir.

Sonuç olarak, dünyada yaşanan ekonomik çalkantılara rağmen, enerji talebinin artmaya devam edeceği öngörülmektedir. Artan elektrik enerjisi talebinin yerli ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi de Türkiye'nin enerji politikasının gündeminde en üst sıraları teşkil etmeye devam edecektir. Teknoloji ve piyasa gerekliliklerine uygun olarak yapılacak mevzuat düzenlemeleri, bugün olduğu gibi gelecekte de rüzgâr enerjisi sektörün hızını belirleyen en önemli etken olacaktır.

8.3 Sonuçlar

Küresel ısınma, enerji yetersizliği, fosil yakıtların hızla tükenmesi ve gelişmekte olan bazı ülkelerde enerji talebindeki çok hızlı artış, yenilenebilir enerji teknolojilerin büyük ölçekte kabulü için çok önemli bir fırsat oluşturmıştır. Bu çerçevede rüzgâr enerjisi, en hızlı gelişen yenilenebilir enerji teknolojilerden birisidir [1]. Bu bağlamda, ülkemizde 2017 yılında 766 MW rüzgâr santrali işletmeye alınmıştır. Türkiye bir yıl için işletmeye giren RES açısından Avrupa'da 4. sırada ve dünyada ise 8. sırada yer almaktadır. 2017 yılı sonu itibari ile lisans verilmiş 10.121 MW'ı aşan kurulu güçte RES projesi bulunmaktadır [48].

Günümüzde gerçekleştirilen yenilenebilir enerji entegrasyonları ve Türkiye'nin 2023 yılına ait strateji belgesi düşünüldüğünde, geleceğin enerji yapısının çok büyük bir değişim içinde olacağı açıktır. Günümüzde hemen hemen her şeyin enerjiye bağımlı olduğu düşünüldüğünde, mevcut sistemde sağlanan güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin, gelecek enerji yapısında da devam ettirilmesi çok önemlidir. İletim ve dağıtım sistemlerinden gerçekleşen entegrasyonların dizaynı, kurulumdan sonra izlenmesi ve kontrolü, şebekedeki tüm enerji akışlarının, düzenleyici yapıların, izlenmesi, kontrolü ve otomatik karar alma mekanizmaları ile donatılması, enerjinin kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından oldukça önemli olacaktır [50].

Etkinlik çerçevesinde ele alınan ve tartışılan konular ışığında, aşağıdaki bulgular ve öneriler elde edilmiştir:

- Sürdürülebilir rüzgâr enerjisi stratejileri; kısa, orta ve uzun vadede geliştirilmeli ve uygulamaya konulmalıdır. Bu çerçevede bunlara yönelik stratejik planlamalar yapılmalı ve yol

haritaları ortaya çıkarılmalıdır.

- Rüzgâr yatırımlarında geri dönüş süresi uzun olduğu için yatırımcının önünü görmesi büyük önem taşımaktadır.
- 2020'den sonraki mevzuat konusundaki belirsizlik sektörü şimdiden olumsuz etkilemektedir. Bir projenin devreye girmesi en az 3-4 seneyi bulduğu için şu an başlayan bir yatırımın hangi şartlarda piyasaya gireceği belli değildir. Bu durum tedbirli yatırımcıların hızını kesmekte, iyimser yatırımcıları ise riske zorlamaktadır.
- 2020 sonrası dönemi kapsayacak olan yeni RES mevzuatında, eksi fiyat ile yatırım yapma riskini alan yatırımcılar için öngörülebilirliğin sağlanması amacıyla, fiyattan bağımsız öngörülebilir bir mekanizmanın kurulması gerekmektedir.
- Sektör paydaşları tarafından her yıl düzenli olarak kapasite açıklanması ve ön lisans başvurusu alınmasını ve 2023 yılı rüzgâr ihale planının kamu ile paylaşılması sektöre öngörülebilirlik sağlayacaktır.
- 3 Ağustos 2017 tarihinde YEKA RES yarışması başarı ile gerçekleştirilmiş olup, sektörün beklentisi, ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları alanında teknolojik ilerlemenin ve ekipman üreten fabrikaların kurulmasını teşvik edecek bu yatırım modelindeki İkinci YEKA hazırlıklarının başlatılarak bir an önce şartların belirlenmesi, duyurusunun yapılması yönündedir.
- Finans sektörü son yıllarda rüzgâr enerjisi konusunda yeterli bilgiye sahiptir. Yatırımcılar sektörle ilgili süreçleri, riskleri iyi bilmekte ve sağladıkları yatırımın nasıl başarılı sonuçlanacağını tahmin edebilmektedir. Bu nedenle aslında finans ve rüzgâr sektörü arasında, faiz oranlarının azaltılması beklenmektedir.
- Milli ve yerli enerji politikamıza uygun olarak, yerli sanayimizin gelişmesi adına mevzuatın en kısa sürede belirlenerek, yatırımlarda ve üretimde öngörülebilirliğin artırılması gerekmektedir.
- Ülkemizde rüzgâr enerjisi üzerine yapılan araştırma, inovasyon ve teknoloji geliştirme çalışmaları daha etkin hale getirilmelidir.
- Mevcut sistemlerin daha verimli ve etkin kullanımına yönelik çalışmalar yapılmalı ve sistem iyileştirme, optimize etme ve de uygulama imkânları sağlanmalıdır.
- yenilenebilir enerji kaynaklarına ve teknolojilerine öncelik verilmelidir.
- Sonuç olarak; daha iyi bir verim, daha düşük bir maliyet, daha doğru bir kaynak kullanımı,

daha iyi bir çevre, daha iyi bir sürdürülebilirlik ve daha iyi bir enerji güvenliği gibi ana amaçlar her çalışmada esas alınmalıdır.

TÜBA bünyesinde oluşturulan “*Enerji Çalışma Grubu*”, rüzgâr enerjisiyle ilgili olarak yukarıda belirtilenler ve diğerleri konusunda, bir sonraki aşamada detaylı bir raporlama ile sektörümüze ve kanun yapıcılara katkı sağlayacaktır. Bu çerçevede bu grup aynı zamanda bir düşünce kuruluşu faaliyetini de icra edecektir.

9. TEŞEKKÜR

Raporun hazırlanmasında katkısı bulunan aşağıda isimleri yazılı olan devlet ve vakıf üniversitelerinden bilim insanları ile bakanlıklardan, çeşitli sanayi şirketlerinden ve sivil toplum derneklerinden yöneticiler ile konunun uzmanlarına Türkiye Bilimler Akademisi olarak teşekkür ederiz.

Enis AMASYALI

Borusan Yatırımlar Genel Müdür Yrd.

Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU

TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Mustafa Serdar ATASEVEN

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB) Başkanı

Arda BATMAZ

Garanti Bankası Enerji Projeleri Finansman Yönetmeni

Oğuz CAN

YEGM Genel Müdürü

Mustafa ÇALIŞKAN

YEGM Yenilenebilir Enerji Kaynakları Daire Başkanı

Dr. Hasan Bahri ÇETİNKAYA

SIEMENS A.Ş. Güç Sistemleri Grup Lideri

Erol DEMİRER

Demirer Holding Yönetim Kurulu Başkanı

Cihan DÜNDAR

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzmanı

Prof. Dr. Aynur ERAY

Hacettepe Üniversitesi

İbrahim ERDEN

ENERJİSA Enerji A.Ş. İş Geliştirme ve Müşteri Çözümleri Grup Müdürü

Yusuf Salih EROĞLU

Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Güray EROL

RES Anatolia Holding A.Ş. Genel Müdürü

Mehmet Göksel GÜNGÖR

SIEMENS GAMESA Renewable Energy

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi, Yaşar Üniversitesi

Fatih KAYA

Türk Standartları Enstitüsü Uzmanı

Prof. Dr. Kemal KAYGUSUZ

TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi

İskender KÖKEY

Enerji Sanayicileri ve İş Adamları Derneği (ENSİA) Yönetim Kurulu Üyesi

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Tanay Sıdkı UYAR

Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği Bşk. Yrd.

Olcayto YİĞİT

VESTAS Türkiye Genel Müdürü

Ayrıca raporun hazırlanmasında, ilk taslağı oluşturan Prof. Dr. Arif Hepbaşı'ya, şekilleri çizip, metinleri verilen dokümanların ve kaydedilen videoların ışığı altında raporun taslağını hazırlayan Dr. Murat Emre Demir'e, son olarak da metindeki uyumsuzlukları kontrol eden ve düzelten Fatih Sorgulu'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Kumara, R., Raahemifar, K. ve Funga, A. S. A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 89, s. 281-291, 2018.
- [2] Kökey, İ., Türkiye'nin rüzgâr enerjisi teknolojileri, kabiliyetleri ve potansiyelleri ve finansman mekanizmaları bilgi notu. *TÜBA Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştayı*, 3 Sayfa, 8 Mart 2018, Ankara.
- [3] Dündar, C., Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelleri. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 15 Sayfa, 8 Mart 2018, Ankara.
- [4] Tummala A., Velamati R. K., Sinha D. K., Indraj V. ve Krishna. V. H. A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 56, s. 1351-1371, 2016.
- [5] Gonzalez-Rodriguez, A. G., Review of offshore wind farm cost components. *Energy for Sustainable Development*, Cilt 37, s. 10-19, 2017.
- [6] Zemamou, M., Aggour, M. ve Toumi, A., Review of savonius wind turbine design and performance. *Energy Procedia*, Cilt 141, s. 383-388, 2017.
- [7] Murthy, K. S. R. ve Rahi, O. P. ,A., comprehensive review of wind resource assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 72, s. 1320-1342, 2017.
- [8] Liu, W. Y. A., review on wind turbine noise mechanism and de-noising techniques. *Renewable Energy*, Cilt 108, s. 311-320, 2017.
- [9] Menezes, E. J. N., Araújo, A. M. ve Bouchonneau da Silva, N. S. A., review on wind turbine control and its associated methods. *Journal of Cleaner Production*, Cilt 174, s. 945-953, 2018.
- [10] Wang, X., Zeng, X., Li, J., Yang, X. and Wang, H. A., review on recent advancements of substructures for offshore wind turbines. *Energy Conversion and Management*, Cilt 158, s. 103-119, 2018.
- [11] Thomas, L. and Ramachandra, M.. Advanced materials for wind turbine blade-A Review, *Materials Today: Proceedings*, Cilt 5, s. 2635-2640, 2018.
- [12] Salameh, J. P., Cauet, S., Etien, E., Sakout, A. and Rambault, L. Gearbox, condition monitoring in wind turbines: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Cilt 111, s. 251-264, 2018.
- [13] Alhmouda, L. and Wa, B. A., review of the state-of-the-art in wind-energy reliability analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 81, s. 1643-1651, 2018.
- [14] Oh, K., Nam, W., Ryu, M. S., Kim, J. and Epureanu, B. I. A., review of foundations of offshore wind energy convertors: Current status and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 88, s. 16-36, 2018.
- [15] Elibüyük, U. ve Üçgül, İ., Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, YEKARUM e-DERGİ (Journal of YEKARUM)*, Cilt 2(3), s. 1-14, 2014
- [16] Tong, W. *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*. Koll morgen Corp. USA: WIT Press; 2010.
- [17] *High Flying Wind Turbines*. <http://www.ubergizmo.com/2007/04/high-flying-wind-turb>, Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2018.
- [18] Ishugah, T. F., Li, Y., Wang, R.Z. ve Kiplagat, J. K. Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: a review. *Renew Sustain Energy Rev*, Cilt 37, sayfa: 613-626, 2016.
- [19] Chen, L., Ponta, F. L. and Lago, L. I., Perspectives on innovative concepts in wind-power generation. *Energy Sustain Dev*, Cilt 15, s. 398-410, 2011.
- [20] *Darrius Type Wind Turbines*. <http://www.wired.com/2008/08/vertical-windsp/>, Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2018.
- [21] Gupta, N. A., review on the inclusion of wind generation in power system studies. *Renew Sustain Energy Rev*, Cilt 59, s. 530-543, 2016.
- [22] *Up Wind and Down Wind Turbines*. <http://coolmyplanet.org/windpower/>, Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2018.
- [23] Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indraj, V. and Krishna, V. H. A., review on small scale wind turbines. *Renew Sustain Energy Rev*, Cilt 56, s. 1351-1371, 2016.
- [24] 2017. *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Türkiye Tabii Enerji Kaynaklar Görünümü*.
- [25] TÜBA konferansları, GÜNCE-Sadık Kakaç, TÜBA şeref üyesi.
- [26] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (<http://www.dsi.gov.tr/>).
- [27] Yenilenebilir Enerji Kaynakları- Bugünü ve yarını, www.tuba.gov.tr GÜNCE.
- [28] NEA (<https://www.oecd-nea.org>).
- [29] Küresel Isınma ve Nükleer Enerji, TÜBA GÜNCE dergisi, Kasım 2005 sayı 32.
- [30] IEA (<https://www.iea.org>).
- [31] İlkılıç, Z., Türkiye'de rüzgâr enerjisi ve rüzgâr enerji sistemlerinin gelişimi. *Batman Üniversitesi, Yaşam Bilimleri Dergisi*; Cilt 6 (2/2), s. 1-13, 2016.
- [32] Frandsen, S. ve Christensen, C. J., Accuracy of estimation of energy production from wind power plants. *Wind Engineering*, Cilt 16(5), 1992.
- [33] İlkılıç, C., *Rüzgâr Enerjisinin Mekanik Enerjiye Dönüştürülmesi*. Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 1990.

- [34] Ozgür, M. A., Review of Turkey's renewable energy potential. *Renewable Energy*, Cilt 33(11), s. 2345-2356, 2008.
- [35] Hepbasli, A. and Ozgener, O. A., Review on the development of wind energy in Turkey. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Cilt 8(3), s. 257-276, 2004.
- [36] Hanagasioglu, M., Wind energy in Turkey. *Renew Energy*, Cilt 16, s. 822-827, 1999.
- [37] Yavuzcan, G. Türkiye rüzgâr enerjisi ve Türkiye'de kullanılan rüzgâr türbinleri üzerinde bir araştırma. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Kuvvet Makineleri Kürsüsü, Ankara, 1961.
- [38] Hepbasli, A., Ozdamar, A. ve Ozalp, N., Present status and potential of renewable energy sources in Turkey. *Energy Sources*, Cilt 23, s. 33-50, 2001.
- [39] Egetek Foundation. Wind energy in Turkey, <http://www.egetek.org>, 2003.
- [40] Kısar, A. O. Türkiye'de rüzgâr enerjisinin gelişimi ve geleceği. EMO İzmir Şubesi, s. 26-27, Haziran 2016.
- [41] Ozgener, O. ve Hepbasli, A., Current status and future directions of wind energy applications in Turkey. *Energy Sources*, Cilt 24, s. 1117-1129, 2002.
- [42] Interwind. Feasibility study for an 18 MW BOT wind mark on the island of Bozcaada, Turkey, Project TALEN, 1994.
- [43] Karık, F., Sözen, A. ve İskender, Ü., Türkiye'de rüzgâr enerjisinde mevcut durum. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 1/2, s. 219-234, 2015.
- [44] Demirer, E., Rüzgâr enerjisi uygulamalarının Türkiye'de yatırımcı boyutları. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1 Sayfa, 8 Mart 2018.
- [45] Global Wind Energy Council. *Global Wind Statistics-2017*, 2018.
- [46] Wind Europe. *Wind in Power 2017: Annual Combined Onshore and Offshore Wind Energy Statistics*, February 2018.
- [47] Yiğit, O., Türkiye'de Rüzgâr enerjisi potansiyeli ve yatırımları. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 25 Slayt.
- [48] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi Sektör Toplantısı Sonuç Raporu*, 27 Şubat 2018, <https://www.tureb.com.tr/>, Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2018.
- [49] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu*. Ocak 2018. <http://www.tureb.com.tr/>, Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2018.
- [50] Ataseven, M. S., Rüzgâr enerjisinin geleceği ve YEKA. 4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisi, 28-30 Eylül 2017, <http://www.ruzgarsempozyumu.org/>, Erişim Tarihi: 28.5.2018, 26 Slayt.
- [51] Çetinkaya, H. B. ve Güngör, M. G. YEKA projesi ve rüzgâr enerjisinin akıllı şebekeye entegrasyonu. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 4 Sayfa.
- [52] RİTM Projesi, <http://www.ritm.gov.tr>, Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2018.
- [53] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2015, Resmi Gazete No. 29278, <http://www.enerji.gov.tr>, Erişim Tarihi: 10 Haziran 2015.
- [54] Şahin, A. D., *MİLRRES tecrübeleri ve öneriler*. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 17 Slayt.
- [55] Eroğlu, Y. S., Rüzgâr ölçüm sistemleri ve süreçleri. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 30 Slayt.
- [56] Resmi Gazete, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, Tarihi: 02.11.2013 Resmi Gazete Sayısı: 28809, <http://www.mevzuat.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 29 Mayıs 2019.
- [57] Bingöl, F., Rüzgâr Enerjileri ve Eğitim, <https://www.tureb.com.tr/>, TÜREK 2016, 2 Kısım 2016, Erişim Tarihi: 2.6.2018.
- [58] 60. Enerji Günlüğü, İzmir'e Rüzgâr Enerjisi Merkezi, <http://www.enerjigunlugu.net/>, Erişim Tarihi: 2.6.2018.
- [59] Rüzgâr Enerjisi Araştırma Merkezi-RÜZGEM, <https://ruzgem.metu.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 2.6.2018.
- [60] Rüzgâr Araştırmaları Merkezi (ITUWIND), <http://www.ruzgartuneli.itu.edu.tr/itu-ruzgar-tuneli/>, Erişim Tarihi: 2.6.2018.
- [61] Engin, Ş. N., TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü Rüzgâr Enerjisi Çalışma Alanları ve MİLRRES Projesi, 4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisi, 28-30 Eylül 2017, İzmir, http://www.ruzgarsempozyumu.org/?attachment_id=186, Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [62] Rüzgâr Enerjisi, <http://eusolar.ege.edu.tr/hakkinda/ruzgar-enerjisi/>, Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [63] Yeni ve Temiz Enerji Araştırma-Uygulama Merkezi, (YETAM), <http://www.yetam.hacettepe.edu.tr/index.shtml>, Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [64] Resmi Gazete, Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi Yönetmeliği, Sayı: 27263, Tarih: 9.6.2009. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/06/20090619-12.htm>, Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [65] Yenilenebilir Araştırma Merkezi, <http://www.gtu.edu.tr/kategori/1500/3/display.aspx?languageId=1>,

Erişim Tarihi: 3.6.2018.

- [66] Resmi Gazete, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Temiz Enerji Teknolojileri Uygulama Ve Araştırma Merkezi Yönetmeliği, Sayı: 27426, Tarih: 8.12.2009, [http://www.omu.edu.tr/sites/default/files/files/13-1\(1\).pdf](http://www.omu.edu.tr/sites/default/files/files/13-1(1).pdf), Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [67] GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi, <http://gapyenev.harran.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [68] T.C. Kalkınma Bakanlığı, Üniversite ve kamu kurumları araştırma altyapıları, Mayıs, 2017 http://arastirma.kalkinma.gov.tr/wp-content/uploads/2017/11/Universite_ve_Kamu_Kurumlari_Arastirma_Altiyapilari4.pdf, Erişim Tarihi: 3.6.2018.
- [69] Çetinkaya, H. B., Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda ve uluslararası enerji bağlantılarında akıllı şebekeye duyulacak ihtiyaç, *3E*, Kasım 2009.
- [70] Department of Energy (DOE), *Modern Grid Strategy*, Engineering & Technical Services SCE in Engineering Insights 2008.
- [71] Gyugyi, L. and Hingorani, N. G. *Understanding FACTS*, IEEE Press, 2000.
- [72] Çetinkaya H. B. and Dumlu F., Dağıtık üretim tesislerinin şebeke entegrasyonunda yaşanabilecek olası problemler ve entegrasyon analizleri, *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, 2013.
- [73] Çetinkaya H. B., Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu, *2nd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair, ICSG Istanbul*, 2014.
- [74] Çetinkaya H. B., Enerji yönetimi ve enerji verimliliği açısından, akıllı şebekeler & SCADA uygulamaları, *3. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı*, İstanbul, 2012
- [75] Taşpınar, M., Akıllı şebekeler, Sunum, SIEMENS, 2010.
- [76] MVDC Plus, <https://www.siemens.com/global/en/home/products/energy/medium-voltage/solutions/mvdc.html>, Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2018.
- [77] Erden, İ., Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin dağıtım şirketleri açısından değerlendirilmesi. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 37 Slayt.
- [78] Eroğlu, Y. S., Rüzgâr ölçüm sistemleri ve süreçleri. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 30 Slayt.
- [79] Vortex Bladeless Turbine, <https://vortexbladeless.com/>, Erişim Tarihi: 20.7.2018.
- [80] Saphon Energy, <http://www.saphonenergy.com/>, Erişim Tarihi: 20.7.2018.
- [81] Challenergy Inc, <https://challenergy.com/>, Erişim Tarihi: 20.7.2018.
- [82] Inhabitat. <https://inhabitat.com/>, Erişim Tarihi: 20.7.2018.
- [83] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Özet Raporu*. http://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2018/02_subat/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_ozet_raporu.pdf, Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2018.
- [84] Amasyalı, E., II. PANEL: Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Mevzuatı, Problemler ve Çözümler. *TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştay ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 8 Mart 2018, Ankara, 6 Sayfa.
- [85] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası.

Kısaltmalar

DERT	Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IEC	International Electro-technical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
MARS	Magenn Air Rotor System
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MİLRES	Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
RİTM	Rüzgâr Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
YEPP	Yenilenebilir Enerji Eylem Planını
YERT	Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini

TÜBA-RÜZGAR ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ ÇALIŞTAYI VE PANELİ PROGRAMI

8 Mart 2018 • Hacettepe Üniversitesi - ANKARA

I. OTURUM

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Aynur ERAY, Hacettepe Üni. Yeni ve Temiz Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü

YEGM'in Rüzgar Enerjisi Çalışmaları ve Yol Haritaları

Dr. Oğuz CAN, YEGM Genel Müdürü

Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Yatırımları

Olçayto YİĞİT, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği Saymanı, VESTAS Türkiye Genel Müdürü

Rüzgar Enerjisi Konusunda Ulusal ve Uluslararası Uygulamalar

Prof. Dr. Tanay Sıdkı UYAR, Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği Başkan Yardımcısı

YEKA Projesi ve Rüzgar Enerjisinin Akıllı Şebekeye Entegrasyonu

Dr. Hasan Basri ÇETİNKAYA, Güç Sistemleri Grup Lideri, SIEMENS

Rüzgar Enerjisi Projeleri: Problemler ve Çözümler

Güray EROL, RES Anatolia Holding A.Ş. Genel Müdürü

I. PANEL:

Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Teknolojileri, Kabiliyetleri, Potansiyelleri ve Finansman Mekanizmaları

Moderatör: Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI, TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi, Yaşar Üniversitesi

Mustafa ÇALIŞKAN, YEGM Yenilenebilir Enerji Kaynakları Daire Başkanı

İskender KÖKEY, ENSİA Yönetim Kurulu Üyesi

Olçayto YİĞİT, VESTAS Türkiye Genel Müdürü

Prof. Dr. Tanay Sıdkı UYAR, Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği Bşk. Yrd.

Arda BATMAZ, Garanti Bankası Enerji Projeleri Finansman Yönetmeni

Cihan DÜNDAR, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzmanı

II. OTURUM

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU, TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Rüzgar Enerjisinde Teknolojik Boyutlar ve Açılımlar

Prof. Dr. İbrahim DİNÇER, TÜBA Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü

Rüzgar Enerjisi Uygulamalarının Türkiye'de Yatırımcı Boyutları

Erol DEMİRE, Demirer Holding Yönetim Kurulu Başkanı

Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Dağıtım Şirketleri Açısından Değerlendirilmesi

İbrahim ERDEN, ENERJİSA Enerji A.Ş. İş Geliştirme ve Müşteri Çözümleri Grup Müdürü

III. OTURUM

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ, TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi

Rüzgar Ölçüm Sistemleri ve Süreçleri

Cihan DÜNDAR, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzmanı

Rüzgâr Türbinlerinin ve Aksamalarının Standartlara Uygunluk Değerlendirmesi

Fatih KAYA, Türk Standartları Enstitüsü Uzmanı

MİLRRES Tecrübeleri ve Öneriler

Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN, İstanbul Teknik Üniversitesi

II. PANEL:

Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Mevzuatı, Problemler ve Çözümler

Moderatör: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Enis AMASYALI, BORUSAN Yatırımlar Genel Müdür Yrd.

Fatih KAYA, Türk Standartları Enstitüsü Uzmanı

İbrahim ERDEN, ENERJİSA

Erol DEMİRE, Demirer Holding

Güray EROL, RES Anatolia Holding A.Ş.

Değerlendirme ve Kapanış Konuşmaları



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

Piyade Sokak No: 27, 06690 Çankaya/ANKARA

Tel: +90 (312) 442 29 03 Faks: +90 (312) 442 72 36

 www.tuba.gov.tr

 www.facebook.com/turkiyebilimlerakademisi

 twitter.com/TUBA_TurkBlmAkd

ISBN 978-605-2249-29-1

