İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YERLEŞİM ALANLARINDA KULLANIMININ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut ÖZTÜRK

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı
Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YERLEŞİM ALANLARINDA KULLANIMININ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut ÖZTÜRK
301131028

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder GÜLER

HAZİRAN 2018

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301131028 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Umut ÖZTÜRK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YERLEŞİM ALANLARINDA KULLANIMININ ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Önder GÜLER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Dr. Öğretim Üyesi Burak BARUTÇU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Dr. Öğretim Üyesi İsmail NAKİR Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 06 Haziran 2018

Her zaman destekçim olan eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Enerji konusunda dışa bağımlı olduğumuz bir dönemde elektrik üretimimizin küçük ölçekli enerji üretim sistemleri ile desteklenmesinin birçok açıdan faydaları bulunmaktadır. En büyük faydasının ise ekonomik olacağı yadsınamaz bir gerçektir. Bu konuda dünyanın birçok yerinde çalışmalar ve enerji politikaları bulunmaktadır.
Ülkemiz küçük ölçekli enerji üretim sistemlerine destek konusunda henüz ciddi bir adım atmış olmasa da günden güne artan elektrik ihtiyacına yönelik çok önemli bir çözüm yöntemi olduğunun fark edilmesi gerektiğini düşünmekteyim.
Tez çalışmamı bu değerli konuda yapmam için beni yönlendiren, her daim destek olan, kıymetli zamanını bana ayıran ve bu uzun yolda anlayışını asla esirgemeyen çok değerli Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Önder Güler'e teşekkürlerimi sunarım.
Tez çalışmam boyunca her anlamda emeği geçen, sonsuz anlayışıyla her an yanımda olup beni cesaretlendiren, her zor anımda bana destek olan ve hep yanımda olan Eşim Ayşe Nur Öztürk'e sonsuz teşekkür ederim. Tezimi bitirebilmem için en büyük destekçim oldu.
Tezimi bitirmemi sabırsızlıkla bekleyen ve bana her zaman destek olan, haklarını asla ödeyemeyeceğim Annem Fatma Öztürk ve Babam Yaşar Öztürk'e üzerimdeki tüm emekleri için binlerce teşekkür ederim. Bugüne dek her kararımda ve her an yanımda olup beni asla yalnız bırakmadılar ve bana hep güvendiler.

Haziran 2018

Umut Öztürk
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. DÜNYA'DA, AVRUPA'DA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİNİN DURUMU **7**
2.1 Dünya'da Rüzgar Enerjisinin Durumu 7
2.2 Avrupa'da Rüzar Enerjisinin Durumu 15
2.3 Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Durumu 17
3. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNE GENEL BAKIŞ **23**
3.1 Kullanım Alanları 23
3.1.1 Şebekeye bağlı kullanım 23
3.1.2 Şebekeden bağımsız kullanım 25
3.2 Avantajları 26
3.3 Dezavantajları 27
3.4 İhtiyaca Uygun Türbin Seçimi 28
3.4.1 Elektrik ihtiyacının belirlenmesi 28
3.4.2 Rüzgar hızı ve kanat uzunluğu 28
3.4.3 Kule yüksekliği (Arazi engebe durumu) 29
3.4.4 Rüzgar türbini türü ve montaj şekli 31
3.4.5 Yapılacak hesaplama için rüzgar türbini seçimi 31
4. DÜNYA GENELİ KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNE AİT ENERJİ POLİTİKALARI VE RÜZGAR ENERJİSİ ÇALIŞMALARI **33**
4.1 Malezya Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları 33
4.2 Tayvan Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları 39
4.3 Yeni Zelanda Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları 40
4.4 Çin Halk Cumhuriyeti Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları 45
4.5 Amerika Birleşik Devletleri Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları 48
4.6 İran Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları 51
5. TÜRKİYE'NİN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNE AİT ENERJİ POLİTİKALARI **57**
6. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YERLEŞİM ALANLARINDA KULLANIMI VE ÖRNEK HESAP ÇALIŞMASI **61**
6.1 Dağıtılmış Üretim Modeli 61

6.2 Alım Garantili Tarife (Feed-In Tariff (FIT)) 63
6.3 Şehir Planlamacılığı 64
6.4 Bilgilendirme ve Sertifikasyon Kuruluşları 65
6.5 Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinleri Örnek Hesaplama Çalışması 66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 83
KAYNAKLAR 89
EKLER 93
ÖZGEÇMİŞ 105

KISALTMALAR

3E **:** Energy, Environmental ve Economy (Enerji, Çevre ve Ekonomi)
AC **:** Alternating Current (Alternatif Akım)
AREB-TŞ **:** Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği Türkiye Şubesi
Bknz **:** Bakınız
BTU **:** British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)
CO2 **:** Karbondioksit
D.Gaz **:** Doğalgaz
DANIDA **:** Danimarka'nın Kalkınma Kooperatifi
DC **:** Direct Current (Doğru Akım)
DMİ **:** Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EIA **:** Energy Information Administration (Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'na Bağlı Enerji Bilgi Yönetim İdaresi)
EİE **:** Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FIT **:** Feed-In Tariff
GWEC **:** Global Wind Energy Council (Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi)
IEC **:** International Electrotechnical Commission (Uluslarası Elektroteknik Komisyonu)
IRS **:** Internal Revenue Service (İç Gelir Servisi)
ITC **:** Investment Tax Credit (Yatırım Vergi Kredisi)
LNG **:** Liquefied Natural Gas
NREL **:** National Renewable Energy Laboratory (Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
ODTÜ **:** Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OECD **:** Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
Prof **:** Profesör
PV **:** Photovoltaic (Fotovoltaik)
REPA **:** Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RT **:** Rüzgar Türbini
SCORE **:** Special Committee on Renewable Energy (Yenilenebilir Enerji Özel Komitesi)
SREP **:** Small Renewable Energy Power (Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü)
SWCC **:** Small Wind Sertification Council (Küçük Rüzgar Sertifikasyon Konseyi)
SUNA **:** Renewable Energy Organisation of Iran (İran Yenilenebilir Enerji Organizasyonu)
TEDAŞ **:** Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEİAŞ **:** Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TNB **:** Tenaga Nasional Berhad (Malezya'nın Önde Gelen Elektrik Distribütörü ve Perakendecisi, Hükümete Bağlı Bir Şirket)
Tübitak-Mam: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu - Marmara Araştırma Merkezi
TÜREB **:** Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği

UK **:** United Kingdom (Birleşik Krallık)
USA **:** United States of America (ABD: Amerika Birleşik Devletleri)
WWEA **:** World Wind Energy Association (Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği)
Yy **:** Yüzyıl

SEMBOLLER

A	**:** Süpürme Alanı
H	**:** Rüzgar Hızı Hesaplanması İstenilen Yükseklik
H_{ref}	**:** Ölçüm Yapılan Yükseklik
P(V)	**:** Rüzgardan Elde Edilen Güç
r	**:** Kanat Uzunluğu
V	**:** Rüzgar Hızı
V_w	**:** Hesaplanmak İstenilen Rüzgar Hızı
V_{wref}	**:** Ölçüm Yapılan Yükseklikteki Rüzgar Hızı
$	**:** Para Birimi (Dolar)
α	**:** Hellman Sabiti
ρ	**:** Hava Yoğunluğu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 **:** Rüzgar türbinlerinin güç bakımından sınıflandırılması 5
Çizelge 1.2 **:** Rüzgar türbinlerinin güç bakımından sınıflandırılması 6
Çizelge 2.1 **:** Şekil 2.8'e ait kapasite ve yüzde bilgileri 11
Çizelge 2.2 **:** Şekil 2.9'a ait kapasite ve yüzde bilgileri 12
Çizelge 2.3 **:** 1975 – 2016 yılları arası TEİAŞ Türkiye Elektrik İstatistikleri 17
Çizelge 2.4 **:** Talep tahmini referans (baz) talep 18
Çizelge 2.5 **:** 2017 yılı sonu itibariyle Türkiye kurulu güç 18
Çizelge 2.6 **:** 2018 yılı 28 Şubat sonu itibariyle Türkiye kurulu güç 19
Çizelge 4.1 **:** Doğu ve Orta Çin'de dağıtılmış rüzgar gelişimi ve hedefleri 48
Çizelge 6.1 **:** Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden alınan ham rüzgar verisi (Bolu) 68
Çizelge 6.2 **:** Ham veride yapılan düzenlemeler sonrası veri (Bolu) 69
Çizelge 6.3 **:** EİE'den alınan ham rüzgar verisi (Ayvalık) 75
Çizelge 6.4 **:** Ham veride yapılan düzenlemeler sonrası 10 metredeki veri (Ayvalık) 76
Çizelge 6.5 **:** Ham veride yapılan düzenlemeler sonrası 30 metredeki veri (Ayvalık) 76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 **:** Rüzgar türbinlerindeki sınıflandırmalar 5
Şekil 2.1 **:** 1985 yılı elektrik üretimi grafiği 7
Şekil 2.2 **:** 2016 yılı elektrik üretimi grafiği 8
Şekil 2.3 **:** 1990 – 2016 yılları arası elektrik tüketimi grafiği 8
Şekil 2.4 **:** 1990 – 2040 yılları arası dünya enerji tüketim tahmini grafiği 9
Şekil 2.5 **:** 1990 – 2040 yılları arası enerji kaynaklarına göre dünya enerji tüketim tahmini grafiği 9
Şekil 2.6 **:** 2001 – 2017 yıllık kurulan rüzgar kapasitesi (küresel) 10
Şekil 2.7 **:** 2001 – 2017 yılları toplam kurulu rüzgar kapasitesi (küresel) 10
Şekil 2.8 **:** 2017 yılında kurulan rüzgar kapasitesi (küresel) 11
Şekil 2.9 **:** 2017 yılı sonu itibariyle kurulu rüzgar kapasitesi (küresel. 12
Şekil 2.10 **:** 2010-2015 yılları dünya çapında küçük ölçekli rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi ve türbin adetleri 13
Şekil 2.11 **:** 2015 yılı ülkelere göre toplam kurulu küçük ölçekli rüzgar kapasitesi [kW] 13
Şekil 2.12 **:** 2015 yılı ülkelere göre toplam kurulu küçük ölçekli rüzgar türbini adedi 14
Şekil 2.13 **:** 2009 - 2020 yılları küçük ölçekli rüzgar türbinleri kurulu güç projeksiyonu 14
Şekil 2.14 **:** Avrupa'da kurulu yıllık kara üstü ve deniz üstü rüzgar kapasitesi 15
Şekil 2.15 **:** 2017 yılında yeni kurulan ve devredışı bırakılan kapasiteler 16
Şekil 2.16 **:** 2005-2017 yılları enerji kaynağı bazında Avrupa'daki kümülatif kurulu güçler 16
Şekil 2.17 **:** Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık kurulum güçleri ve kümülatif kurulu güçleri 20
Şekil 2.18 **:** Kurulu rüzgar enerjisi santrallerinin bölgelere göre dağılımı 20
Şekil 3.1 **:** Şebekeye bağlı sistem şeması 25
Şekil 3.2 **:** Şebekeye bağlı alternatif sistem şeması 25
Şekil 3.3 **:** Şebekeden bağımsız sistem şeması 26
Şekil 3.4 **:** Engel türbülans ilişkisi diyagramı 30
Şekil 3.5 **:** Balonlu hava akış test diyagramı 30
Şekil 6.1 **:** Bolu haritası üzerinde Meteoroloji İl Müdürlüğü 67
Şekil 6.2 **:** Tarih/Saat verisindeki anormallik, veri kaynaklı program açılış hatası (Bolu) 69
Şekil 6.3 **:** Windographer programına veri atıldıktan sonraki karşılama ekranı (Bolu) 70
Şekil 6.4 **:** Karşılama ekranı "Data Set" sekmesinde istasyon bilgilerinin girilmesi (Bolu) 71
Şekil 6.5 **:** Verinin program özet sayfasındaki ilk görünümü (Bolu) 71
Şekil 6.6 **:** Veri ekstrapolasyon sayfası (Bolu) 72
Şekil 6.7 **:** Veri ekstrapolasyonu sonrası yeni özet sayfası (Bolu) 73

Şekil 6.8 **:** 30 metre yükseklikte tüm türbinler için çıkış gücü hesaplaması (Bolu) 73
Şekil 6.9 **:** Windographer programına veri atıldıktan sonraki karşılama ekranı (Ayvalık) 77
Şekil 6.10 **:** 10 metredeki verinin program özet sayfasındaki ilk görünümü (Ayvalık) 77
Şekil 6.11 **:** Veri ekstrapolasyon sayfası (Ayvalık) 78
Şekil 6.12 **:** Veri ekstrapolasyonu sonrası yeni özet sayfası (Ayvalık) 78
Şekil 6.13 **:** 30 metre yükseklikte tüm türbinler için çıkış gücü hesaplaması (Ayvalık) 79
Şekil 6.14 **:** Windographer programına veri atıldıktan sonraki karşılama ekranı (Ayvalık 30 metre) 80
Şekil 6.15 **:** 30 metredeki verinin program özet sayfasındaki ilk görünümü (Ayvalık) 80
Şekil 6.16 **:** 30 metredeki ekstrapolasyon verisi ile 30 metre ölçüm verisinin program özet sayfasındaki karşılaştırması (Ayvalık) 81
Şekil 6.17 **:** 30 metre yükseklikte (30 metre ölçüm verisi ile yapılan hesaplama) tüm türbinler için çıkış gücü hesaplaması (Ayvalık) 82
Şekil A.1 **:** Halbes marka 1 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması 95
Şekil A.2 **:** Aeolos marka 1 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması 95
Şekil A.3 **:** Programa tanımlı olan Bergey XL1 model 1 kW türbinin programa tanımlı çalışma yükseklikleri ve güç eğrisi 96
Şekil A.4 **:** Programa tanımlı olan Southwest Whisper 200 model 1 kW türbinin programa tanımlı çalışma yükseklikleri ve güç eğrisi 96
Şekil A.5 **:** Aeolos marka yatay eksenli 2 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması 97
Şekil A.6 **:** Aeolos marka dikey eksenli 2 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması 97
Şekil A.7 **:** Halbes marka 2,5 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması 98
Şekil A.8 **:** Programa tanımlı olan Southwest Whisper 200 model 1 kW türbinin programa tanımlı çalışma yükseklikleri ve güç eğrisi 98
Şekil A.9 **:** Hesaplama işleminde kullanılan tüm türbinlerin güç eğrilerinin karşılaştırılması 99
Şekil B.1 **:** 1 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Bolu) 101
Şekil B.2 **:** 1 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Bolu) 101
Şekil B.3 **:** 2 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Bolu) 101
Şekil B.4 **:** 2 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Bolu) 102
Şekil B.5 **:** 2,5 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Bolu) 102
Şekil B.6 **:** 2,5 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Bolu) 102
Şekil B.7 **:** 1 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık) 103
Şekil B.8 **:** 1 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık) 103
Şekil B.9 **:** 2 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Ayvalık) 103
Şekil B.10 **:** 2 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık) 104
Şekil B.11 **:** 2,5 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Ayvalık) 104
Şekil B.12 **:** 2,5 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık) 104

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YERLEŞİM ALANLARINDA KULLANIMININ ANALİZİ

ÖZET

Rüzgar enerjisi sektörü tüm Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de gün geçtikçe gelişmektedir. Bu gelişimin temel sebebi elektrik ihtiyacındaki artıştır. Aynı zamanda elektrik ihtiyacının yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağından elde edilmesi de önem kazanmaya (Fosil yakıtların tükenmesi, havanın kirlenmesi ve küresel ısınma gibi sebeplerden) başlamıştır.

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik enerjiden sonra en önemli elektrik üretim kaynağı rüzgar enerjisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinin fazla olmasının en büyük sebebi, coğrafi konum kaynaklı yoğun olarak maruz kaldığı batı rüzgarlarıdır. Bu rüzgarlardan ağırlıklı olarak büyük ölçekli türbinler ile elektrik üretimi yapılmaktadır.

Gelişen teknolojinin de etkisi ile büyük ölçekli sistemlerin yanı sıra küçük ölçekli sistemlerin kullanımları da artmaya başlamıştır. Ancak maliyet, sistem güvenilirliği ve geri ödeme süresinin fazla olması gibi sorunlar sebebiyle gelişim çok yavaş olmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle, güncel veriler ile Türkiye'deki ve Dünya'daki rüzgar enerjisi durumu incelenmiştir. Küçük ölçekli türbinlere ait teknik ve sosyal konular ile alakalı genel bilgiler verilmiştir.

Çalışma kapsamında Dünya'da bazı ülkelerdeki küçük ölçekli rüzgar enerjisi sistemlerine ait enerji politikaları ve bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Örnek olarak incelenen ülkeler; Malezya, Tayvan, Yeni Zelanda, Çin Halk Cumhuriyeti, Amerika Birleşik Devletleri ve İran'dır. Çin Halk Cumhuriyeti ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki rüzgar enerjisi politikalarının incelenmesinin sebebi, bu ülkelerin küçük ölçekli rüzgar enerjisi alanında Dünya liderleri olmaları ve bu konuda Türkiye'deki yapılacak olan çalışmalara örnek teşkil edecek düzeyde olmalarıdır. Diğer ülkelerin rüzgar enerjisi alanında uyguladıkları politikaların incelenme sebebi ise Türkiye ile ekonomik açıdan benzer düzeyde ülkeler olmalarıdır. Daha sonra Türkiye'nin küçük ölçekli rüzgar enerjisi alanındaki politikalarından bahsedilmiştir.

Küçük ölçekli rüzgar enerjisi sistemlerinin yerleşim alanlarında yaygınlaştırılabilmesi için yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinde örnek hesaplama çalışması yapmak için öncelikle bir bölge belirlenmiş ve rüzgar verileri temin edilmiştir (Bolu iline ait beş yılı kapsayan saatlik veriler Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün on metre yükseklikteki ölçüm istasyonuna ait verilerdir). Windographer programı kullanılarak rüzgar verileri değerlendirilmiştir. Belirlenmiş olan yüksekliklerde rüzgar türbinleri ile hesaplama yapabilmek için verilere güç kanununa göre ekstrapolasyon yapılmıştır. Ekstrapolasyon sonucu elde edilen rüzgar hızları ile dışarıdan tanımlanan (iki farklı marka ve üç farklı kapasitedeki) beş türbin

ve programda tanımlı olan (üç farklı marka ve iki farklı kapasitedeki) üç türbin için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen hesaplamaların sonuçlarında türbinlerden elde edilen enerji çıktıları düşük çıkmıştır. Lokasyon değişimini de inceleyebilmek adına aynı şartlar korunarak rüzgar hızı açısından daha iyi olduğu bilinen bir lokasyonun (Balıkesir ili Ayvalık ilçesi) rüzgar verileri temin edilmiş ve hesaplamalar tekrarlanmıştır.

Ayvalık ilinde hesaplamalar öncelikle 10 metredeki rüzgar verilerinin 30 metreye enterpolasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 30 metredeki ölçüm verileri ile hesaplamalar tekrarlanmıştır. Enterpolasyondan elde edilen sonuç ile ölçüm verilerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak enterpolasyon işleminin sonuç üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Bu tezin sonuç bölümünde, hesaplamaların sonuçlarına ve çalışma boyunca yapılan literatür araştırmaları ve incelenen enerji politikalarına istinaden Türkiye'de küçük ölçekli rüzgar türbinlerin yaygınlaştırılabilmesi konusunda yapılabilecek çalışmalara ve düzenlemelere değinilmiştir.

UTILIZATION ANALYSIS OF SMALL SCALE WIND TURBINES AT RESIDENTIAL AREAS

SUMMARY

The wind energy sector is developing day by day in Turkey as well as all over the world. The main reason for this improvement is the increase in electricity demand. At the same time, the need to obtain electricity from a renewable and clean energy source has also begun to gain importance (Because of the problems like running out of fossil fuel, increase at air pollution and the global warming).

In the renewable energy sources after hydro power the most important source of electricity generation is wind energy in Turkey. A consequence of the geographical location, west winds are the biggest cause of wind energy potential in Turkey. Electricity is produced mainly by large-scale turbines from these winds.

With the effect of developing technology, the usage of small scale systems as well as large scale systems has started to increase. However, development is very slow due to problems such as cost, system reliability and excessive payback period.

In this study, firstly, wind energy situation in Turkey and in the world is examined with up to date data. General information related to technical and social issues of small scale turbines are given. The critical issues in the selection of the turbine have been analyzed.

For some countries in the world, the energy policies of small scale wind energy systems and the studies on this subject have been analyzed. Countries studied as examples; Malaysia, Taiwan, New Zealand, China, United States and Iran. The United States and the China is chosen for analysis because they are the world leaders in the small-scale wind energy sector. On the other side, these countries can be a model for policy and other study for Turkey. The reason for examining of other countries, they are at he similar level about economically with Turkey.

Later, have been mentioned about Turkey's policies, laws and regulations of small-scale wind energy in the area.

Before the calculations, the methods were examined about the popularization of usage of small scale wind turbines.

When selecting the turbines to be used in the calculations, has been made by the capacity to meet monthly electricity consumption of a minimum of one apartment in a building. Electricity consumption is defined as 250 kWh per month (a family of 4 people averaged) according to the Turkish Electricity Transmission Corporation's 2011 research. Capacity factor is agreed as % 25 (nearly maximum capacity factor) for small wind turbines and so the minimum turbine capacity was determined as 1 kW. The product ranges of the companies were examined and two different companies were identified. In the calculations, five turbines (two different brands and three different capacities as 1 kW, 2 kW and 2,5 kW) defined to the program. Beside three turbines

(three different brands and two different capacities 1 kW and 2,5 kW) were used from the program's wind turbine library. Comparison of all wind turbines power curves and the separate curves of wind turbines have given at the appendix A.

At first, for a sample calculation at small-scale wind turbines, a region was defined and wind datas were taken from meteorology office (hourly data for five years were taken from the meteorological office at the province of Bolu. Anemometer is at the ten meters high). Wind data were evaluated as using the Windographer.

The height calculations are based on the average height of the buildings at selected area. The number of building floors is specified as 5 floors maximum (1 commercial, 4 settlement floors) in the reconstruction plans of the area where the measurement is received (because it is earthquake zone). When calculations made according to the architectural standards, the building height found as 19.7 meters. The roof height required by the roof standards established by the local government is 2.4 meters. The minimum height of the building was determined as 22.1 meters and the calculations were carried out at above these heights. Heights selected as 23 meters (for minimum tower height), 25 meters and 30 meters.

In order to calculate for the wind turbines at selected heights, extrapolation were made according to the power law. Coefficient of power law taken as 0,14. Calculations have been made with the new wind velocities for each selected height. Each calculation screen added to the study and 30 meters calculation examine in detail. Avarage wind speed at 30 meters found as 1,69 m/s.

The energy outputs from the turbines are low in the results of the first calculations and not enough to correspond of an apartment electricity need. Because of this, the calculations have been repeated to examine the change of location. In the new calculation, same conditions are preserved. A location from the Aegean Region known to be better in terms of wind speed was chosen.

Second calculation's wind data was taken from Balıkesir province's Ayvalık district. Wind data is for one year and period of the data is ten minutes. Data taken from General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration's (which new name is General Directorate of Renewable Energy) wind measurement station.

For Ayvalık wind data, first calculation made at ten meters. And the extrapolation made at 23 meters, 25 meters and 30 meters as first calculation as power coefficient taken 0,14. Conclusions' of calculation examined and the results showed that five turbines had enough power output for an apartment's electricity consumption. Avarage wind speed is calculated as 6,19 m/s.

Ayvalık's wind data has 30 meters wind measurement. For comparison of extrapolation at 30 meters calculations, evaluation repeated for measurement data. Avarage wind speed calculated as 6,23 m/s by program. And this value shows that the extrapolation has just % 0,6 diversion. Measurement graph summary sheet added on to extrapolation graph summary sheet for comparison. Energy output of turbines have been calculated for measurement data and examined for difference. And all of this steps shows that results from measurement calculation and from extrapolation calculation has not have a significant difference.

Detailed turbine energy output calculations for Bolu and Ayvalık calculations have given at the appendix B.

Bolu and Ayvalık results' comparison have been examined and the suggests about improving policies to increase the utilization of small wind turbine at the conclusion. Mentioned about regulations and the studies for popularization of small-scale wind turbines for Turkey.

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisinin tanımları arasında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün de kabul etmekte olduğu tanım doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup kaynağı güneştir [1].

Güneşten dünyaya gelen enerjinin (%1-2) küçük miktarı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Yer yüzeyinin ve atmosferin homojen ısınmaması kaynaklı oluşan sıcaklık ve basınç farkı hava akımını oluşturur. Mevcut durumundan daha fazla ısınan hava kütlesi atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlesinin yükselmesiyle boşalan yere aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Hava kütlelerinin yer değiştirmeleri sonucundaki oluşuma rüzgar adı verilmektedir. Rüzgar aynı zamanda şu şekilde de tanımlanabilir; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesinin aralarındaki basınç farklılıkları sebebiyle meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımına rüzgar denir. Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına akan rüzgar; dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgar, coğrafi farklılıklar ve yeryüzündeki homojen olmayan ısınma sonucunda, zamansal ve yöresel değişiklikler gösterir [1].

Rüzgar hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgar hızı yükseklere çıkıldıkça artmakta ve teorik güç de rüzgar hızının küpü ile doğru orantılı olarak değişmektedir [1].

Rüzgar enerjisinden yararlanmak için kullanılan çok çeşitli dönüştürme yöntemleri bulunmaktadır. İlk akla gelen dönüştürme yöntemi rüzgar enerjisini doğrudan mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Mekanik dönüştürme yapan en yaygın örnek ise yel değirmenleridir [2].

Rüzgar enerjisinden yararlanma tarihi çok eski dönemlere kadar dayanmaktadır. Rüzgar enerjisinden en eski yararlanma türleri yel değirmenleri ve yelkenli gemilerdir. Yelkenli gemilerde rüzgarın kinetik enerjisi gemileri hareket ettirmek için kullanılmış,

yel değirmenlerinde ise buğday gibi tahılların öğütülmesinde kullanılmıştır. İnsanların yelkenli gemileri hareket ettirmek ve gemileri yürütmek için 5500 yıldan beri rüzgarın gücünden faydalandığı bilinmektedir. Yel değirmeninin ortaya çıkması ise çok daha sonra olmuştur [2].

İlk kez Yunan mühendis Heron tarafından milattan sonra 1. yy. başlarında rüzgar enerjisinin kullanımı tanımlanmış ve tarif edilmiştir. Daha sonra bu sistem İran'da geliştirilerek yel değirmenleri ortaya çıkmıştır. Yel değirmenleri, sulama işlemi ve tahıl ezmek için 7. yüzyıldan beri Afganistan, İran ve Pakistan'da kullanılmaktadır [2].

Günümüzde ise rüzgardan sulama ve tahıl öğütme işleri için değil, daha çok elektrik üretimi ve yelkenli gemilerde kullanılmaktadır. Genel olarak rüzgardan elektrik üretiminin kilometre taşlarını şu şekilde sıralanabilir;

- 1887 Haziran ayında İskoç Akademisyen Profesör James Blyth rüzgar gücü deneylerine başlamış ve rüzgar gücü ile çalışan bir pil şarj cihazı yaparak, 1891'de İngiltere'de patentini almıştır,
- 1887-88'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, Charles Francis Brush, James Blyth'in değirmeninden daha büyük ve üzerinde daha fazla mühendislik yapılmış rüzgar güç makinesi kullanarak elektrik üretimini gerçekleştirmiştir. Brush, türbini dünyanın ilk rüzgar santrali olarak kabul edilmektedir. Rotor çapı 17 metre, kanat sayısı 144 adet, jeneratörü 12 kW'tır. Bu türbin 20 yıl boyunca elektrik üretmiştir. Brush evinin ve laboratuvarının elektriğini bu yapmış olduğu rüzgar güç makinesi ile sağlamıştır,
- 1890'larda Danimarkalı bilim adamı ve mucit Poul la Cour rüzgar türbinleri üzerine rüzgar tünelinde yapmış olduğu deney ve araştırmalar sayesinde günümüz türbinlerine giden yolda ciddi bir bilgi birikimi oluşturmuştur [2].

Modern rüzgar güç endüstrisi 1979'da, Danimarkalı Kuriant, Vestas, Nordtank ve Bonus şirketlerinin rüzgâr türbinlerini seri üretmesiyle başlamıştır. Bu türbinler bugünkü standartlardan küçüktür ve her biri 20-30 kW'lıktır. Son yıllarda kapasitelerini 7 MW'a çıkartmış ve birçok ülkeye yayılmıştır [2].

Dünyadaki rüzgar türbinlerinin dönüm noktalarını ise basitçe sıralayacak olursak;

- 1941 yılında ABD, Vermont, Granpa's Knob'da 53 m. çapında 1,25 MW'lık Smith Putnam rüzgar türbini kurulmuştur,

- Rüzgar türbini geliştirilmesinde bir sonraki dönüm noktası Gedser rüzgar türbinidir. Marshall planı savaş sonrası finansman yardımı ile 1956 – 57'de Danimarka'nın güney doğusunda Gedser adasında 200 kW'lık 24 m. çapında bir rüzgar türbini kurulmuştur. Bu makine 1958 – 1967 arasında %20 kapasite ile çalışmıştır,
- 1960'lı yılların başında Prof. Ulrich Hütter 100 kW'lık 34 m.'lik 2 kanatlı, yüksek rüzgar hızlı kararsız pervanesi olan Hütter Allgaier rüzgar türbinini geliştirmiştir,
- 1980 yılında merkezi devlet ile federal devlet enerji ve yatırım vergi kredileri toplam %50'ye yakın vergi kredisi sağlamıştır ve bu California rüzgar enerjisi patlamasını başlatmıştır. 1980 – 1995 yılları arasında, çoğu vergi kredileri %15 civarına indirilmiştir,
- 1985'ten sonra olmak üzere 1700 MW rüzgar kapasitesi kurulmuştur,
- 1990'lı yılların başında Almanya'da yılda 200 MW civarında kapasite artışı ile Kuzey Avrupa piyasalarında çarpıcı gelişme kaydedilmiştir [2].

1960'lı yıllardaki Arap-İsrail savaşından sonra Arap Devletleri petrolü bir silah gibi kullanmak amacıyla fiyatlarını artırmışlar ve bu durum dünyada bir enerji krizine sebep olmuştur. Bu yılların petrol bunalımının ardından özellikle sanayileri Orta Doğu petrollerine bağımlı olan Kuzey Avrupa Devletleri enerji konusunda yaşadıkları dışa bağımlılıktan doğan sıkıntıyı aşmak için ülkelerinin sahip olduğu kaynakları (rüzgar, doğal gaz gibi) kullanarak elektrik üretecek araştırmalara odaklanmışlardır [3].

Ülkemizde rüzgar enerjisiyle ilgili çalışmaların başlangıç tarihi çok eskilere dayanmamaktadır. Bu konudaki çalışmaları ilk başlatan kurum 1980'li yılların ortalarında Elektrik İşleri Etüt İdaresi olmuştur. Başlangıç çalışmaları rüzgar potansiyelini tespit amacıyla gerçekleştirilen etüt faaliyetlerinden ibarettir. Hatta bu yıllarda rüzgar enerjisini konu alan herhangi bir kanuni düzenleme bulunmamaktaydı. 1995 yılından başlayarak bazı küçük uygulamalar "Yap – İşlet – Devret" modeliyle gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de ilk rüzgar santrali Demirer Holding'in Çeşme'de kurduğu santraldir [4].

Türkiye'de; 1973-1978 yılları arasında Tarım Bakanlığı tarafından yapılan 871 adet su çıkarma ve 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgar türbini olduğu tespit edilmiştir. Söz

konusu rüzgar makineleri güçleri 1 kW'ın altında güce sahiptir ve yerli olanları ilkel yapılıdır [4].

Türkiye'de rüzgar enerjisi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar 1960'larda Ankara Üniversitesi, 1970'lerde Ege Üniversitesi daha sonraki yıllarda ODTÜ'de yapılmış olup, 1980'li yıllarda TÜBİTAK-MAM bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır. MAM'da ilk rüzgar atlası çalışması başlatılmıştır. Gebze-Özbek tepede pompa çalıştırma ve elektrik üretim amaçlı çeşitli rüzgar türbinleri kurularak denenmiştir. Ancak pompa çalıştırmak için seçilen makine büyük, elektrik üretimi için seçilen makine küçüktür [4].

Türkiye rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve rüzgar atlası ile ısıl haritalarının oluşturulması için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından sürdürülen ve kullanılabilir ilk sonuçları alınmış bir çalışma da vardır. EİE'nin girişimleri ilk 1992 yılında Bakanlar Kurulu kararına dayanarak Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği Türkiye Şubesi (AREB– TŞ) kurulmuştur. Bugün Türkiye'de gücü 1 kW üzerinde ve çalışır durumda olan elektrik üretim amaçlı çok sayıda rüzgar türbini vardır [4].

Rüzgar türbinlerinin güç cinsinden sınıflandırmasında birçok farklı tablo görülmektedir. Uluslararası standartlar rotor süpürme alanına göre tanımlanmıştır. Ancak daha yaygın olan tanım güç sınıflandırmasıdır (kW) [5].

Ülkelerin genellikle kendi sınıflandırmaları vardır. Örneğin, Estonya'da 200 kW'a kadar, Danimarka'da ve İtalya'da 25 kW ve 60 kW'a kadar olan türbinler küçük ölçekli olarak düşünülebilir. Bu tanımlar kesinlikle teknik değildir. Yeşil enerji destek planlarına göre belirlenmiş sınırlardır. Örneğin 60 kW rüzgar türbini teknik olarak küçük ölçekli rüzgar sınıfına ait olsa da Danimarka'da küçük ölçekli rüzgar türbini olarak destek alamayacaktır [5].

Rüzgar türbinlerine ait farklı sistematiklerde birçok farklı sınıflandırma bulunmaktadır. Rüzgar türbinlerine ait geniş kapsamlı sınıflandırma tablosu Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Rüzgar türbinlerindeki sınıflandırmalar [8].

Sınıflandırma türlerinden biri olan güç bakımından sınıflandırmalara ait farklı kaynaklardan alınmış olan iki farklı durum Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2'de aşağıda gösterilmektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı tanımlamalarda mikro ölçekli veya küçük ölçekli türbin olarak sınıflandırılmakta olan 0 – 5 kW arası güce sahip türbinler üzerine çalışma yürütülecektir.

Çizelge 1.1 : Rüzgar türbinlerinin güç bakımından sınıflandırılması [6].

Ölçek	Rotor Çapı (m)	Güç (kW)
Mikro	3'ten küçük	0,05 - 2
Küçük	3 - 12	2 - 40
Orta	12 - 45	40 - 1000
Büyük	45'ten büyük	1000'den büyük

Çizelge 1.2 : Rüzgar türbinlerinin güç bakımından sınıflandırılması [7].

Güç Ölçeği	Güç (kW)
Mikro rüzgar türbinleri	0 - 3
Küçük rüzgar türbinleri	3 - 30
Büyük rüzgar türbinleri	>30

2. DÜNYA'DA, AVRUPA'DA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİNİN DURUMU

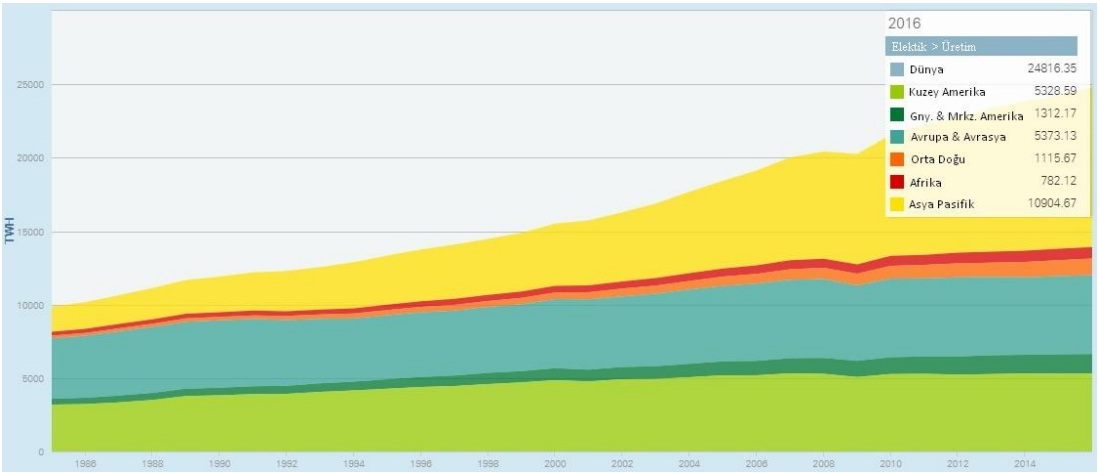
2.1 Dünya'da Rüzgar Enerjisinin Durumu

Teknolojinin gelişmesi, elektrikli cihazların ve elektrik ile çalışan araçların artması sonucu dünyada elektrik ihtiyacı artış göstermektedir. Enerji verimliliği adına çalışmalar yapılsa da elektrik ihtiyacında her geçen yıl artış görülmektedir. Şekil 2.1 ve şekil 2.2'de 1985 yılından 2016 yılına kadar olan elektrik üretimi verilmiştir.



Şekil 2.1 : 1985 yılı elektrik üretimi grafiği [9].

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere 1985 yılı dünya geneli elektrik üretimi 9.866,3 TWh'tir. Şekil 2.2'de görülen 2016 yılında ise elektrik üretimi 24.816,35 TWh'e ulaşmıştır. 25 sene içerisinde elektrik üretimindeki büyüme 2,5 kata yakındır.

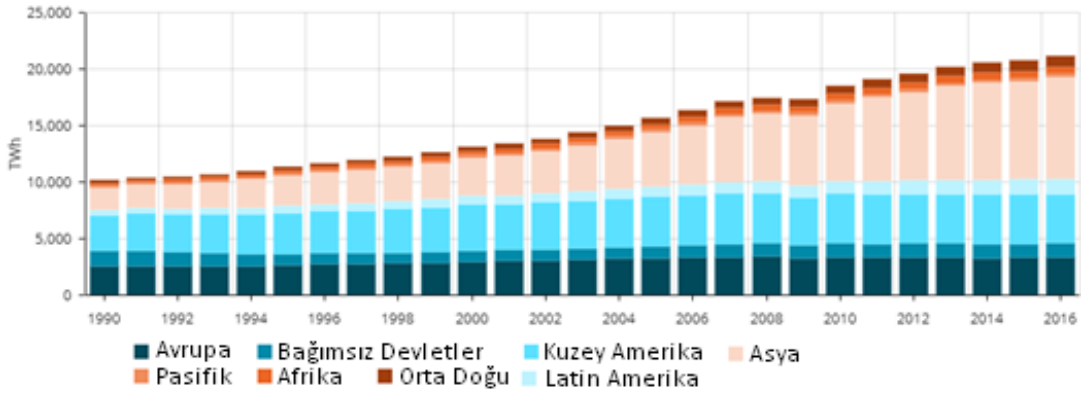


Şekil 2.2 : 2016 yılı elektrik üretimi grafiği [9].

Şekil 2.3'te ise dünya genelinin 1990 – 2016 yılları arasındaki elektrik tüketimine ait grafik bulunmaktadır.

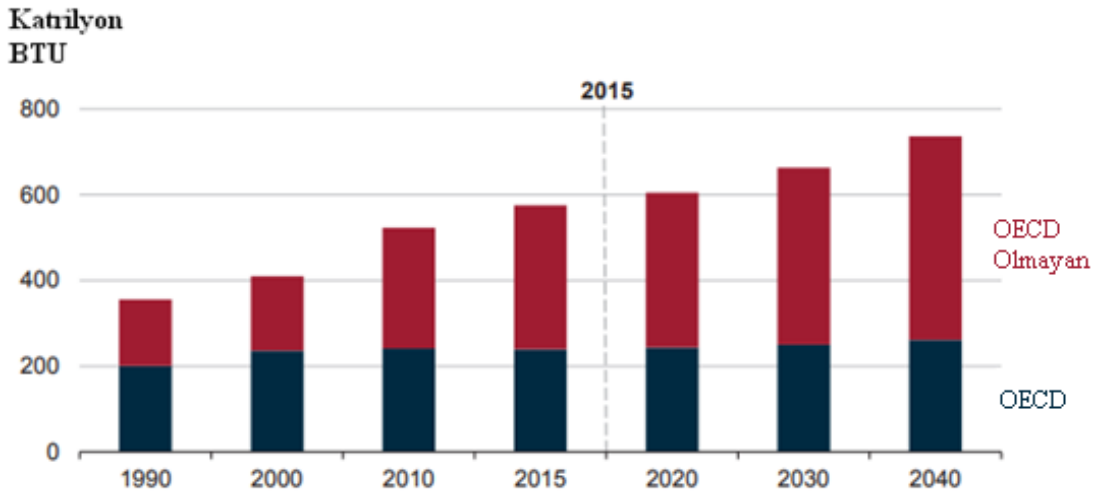
Şekil 2.3'ten de çıkarılabileceği üzere, 1990 yılı elektrik tüketimi 10.000 TWh civarlarında iken 2016 yılında elektrik tüketimi 22.000 TWh'lere ulaşmıştır ve bu oran da elektrik tüketiminin 26 sene içerisinde 2 katın üzerine çıktığını göstermektedir.

Şekil1, şekil 2 ve şekil 3 detaylı olarak incelendiğinde artışın büyük bölümünün özellikle Asya bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir.



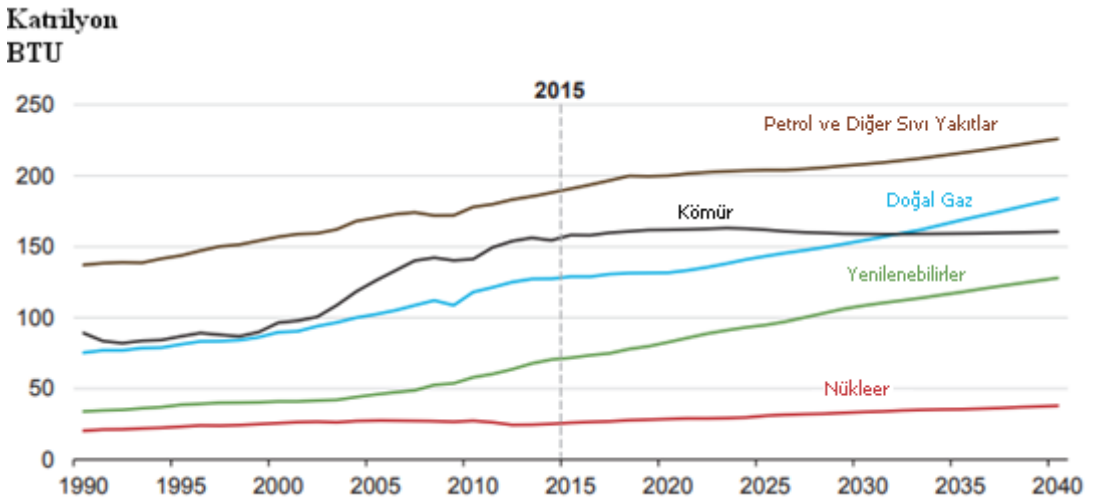
Şekil 2.3 : 1990 – 2016 yılları arası elektrik tüketimi grafiği [10].

EIA (Energy Information Administration) (Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'na bağlı Enerji Bilgi Yönetim İdaresi) tarafından hazırlanan rapordaki enerji tüketim tahmin grafiğine (Şekil 2.4'te) göre, 2040 yılına kadar enerji tüketiminin artmaya devam edeceği öngörülmektedir.



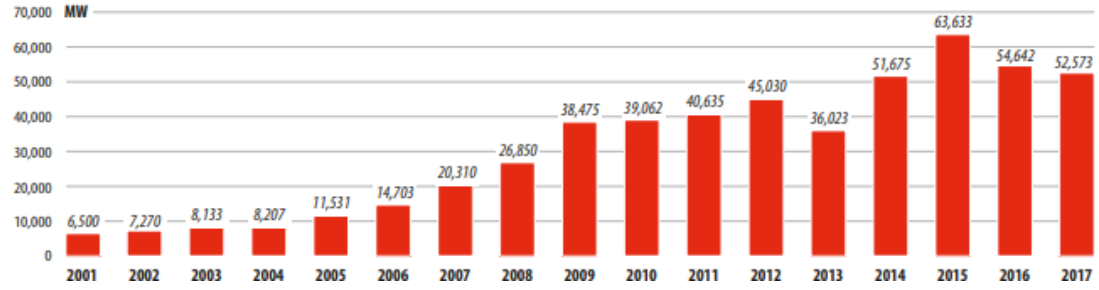
Şekil 2.4 : 1990 – 2040 yılları arası dünya enerji tüketim tahmini grafiği [11].

Yükselen enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için dünya genelinde enerji verimliliği, yeni enerji kaynaklarının araştırılması ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi birçok konu üzerine çalışmalar yapılmaktadır. EIA'ın aynı raporunda yer alan 1990 yılından 2040 yılına kadar olan enerji kaynakları bazında enerji tüketim tahmini grafiğine dayanarak dünya genelinde yenilenebilir enerjinin önem kazanacağı öngörülebilmektedir (Şekil 2.5). Tükenme riski ile karşı karşıya olan ve günden güne azalan fosil yakıtlardan özellikle kömürden elde edilen enerjinin azalması öngörülmektedir. Yenilenebilir enerjiden sağlanan elektriğin toplam elektrik tüketimine olan oranında artış yaşanacağı da grafikten çıkarılabilmektedir.



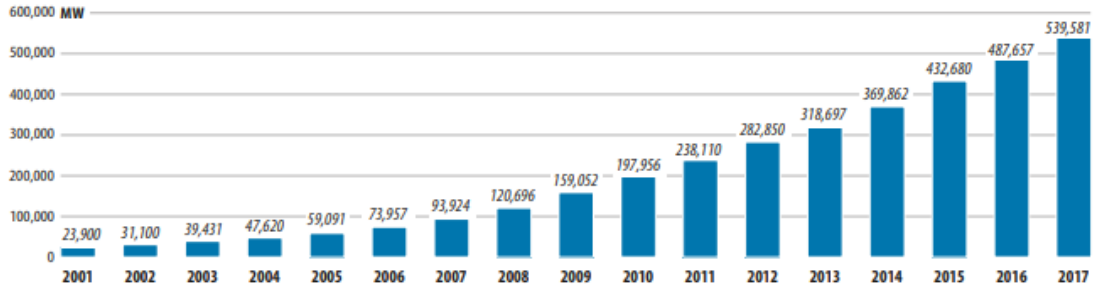
Şekil 2.5 : 1990 – 2040 yılları arası enerji kaynaklarına göre dünya enerji tüketim tahmini grafiği [11].

Global Wind Energy Council (GWEC) (Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi) tarafından yayımlanmış olan "Rüzgar Enerjisi İstatistikleri 2017" raporuna göre 2001 – 2017 yılları arası yıllık kurulan rüzgar enerjisi kapasiteleri Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu grafikten, son 10 yıl içerisinde dünya genelinde rüzgara yapılan yatırımın geliştiği anlaşılmaktadır.



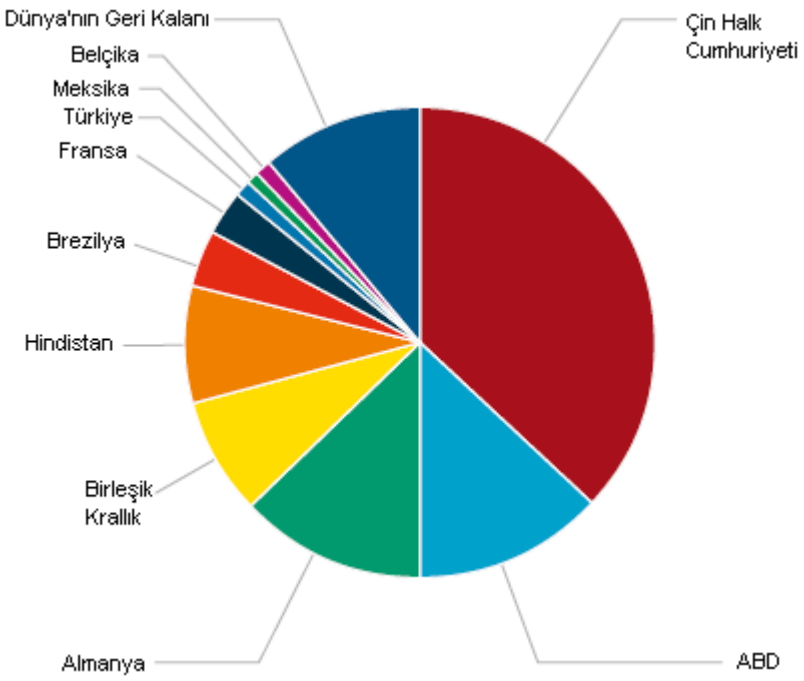
Şekil 2.6 : 2001 – 2017 yıllık kurulan rüzgar kapasitesi (küresel) [12].

Kümülatif rüzgar enerjisi kapasitelerinden de aynı sonuç görülmektedir. Şekil 2.7'de verilen grafiğe göre dünya genelinde toplam kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi sürekli artmaktadır. Geçtiğimiz 10 yıla bakıldığında kurulu gücün 6 katına çıktığı görülmektedir.



Şekil 2.7 : 2001 – 2017 yılları toplam kurulu rüzgar kapasitesi (küresel) [12].

2017 yılında kurulan toplam gücün ülkelere göre dağılımı Şekil 2.8'de görülmektedir. Çin, son yıllardaki yüselen kurulu gücünü 2017 yılında da artırmaya devam etmiştir. 2017 yılında mevcut santrallerine 19.500 MW'lık rüzgar türbini eklemiştir. 2017 yılında Dünya genelinde kurulan rüzgar türbinlerine baktığımızda güç bazında %37'si Çin'de kurulmuştur. Türkiye'nin toplam kurulu rüzgar enerjisi gücünün 6.872 MW (2017 TÜREB raporuna göre) olduğu düşünülürse tek bir yıl içinde kurulan türbin kapasitesinin toplam kurulu gücümüzün 3 katına yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 2.8 : 2017 yılında kurulan rüzgar kapasitesi (küresel) [12].

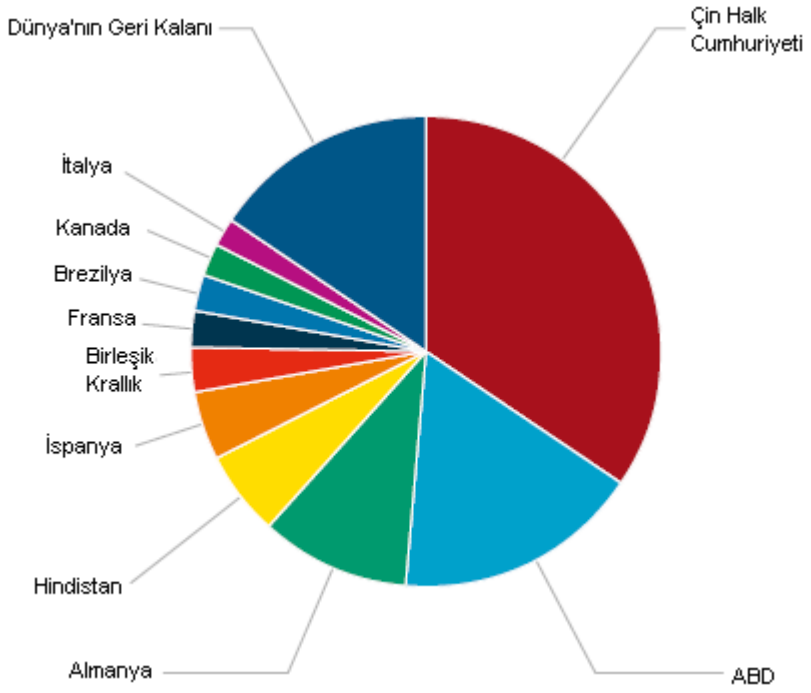
Şekil 2.8'e ait ülke, kapasite ve yüzelik pay bilgileri çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Şekil 2.8'e ait kapasite ve yüzde bilgileri [12].

Ülke	MW	% Payı
Çin Halk Cumhuriyeti	19.500	37%
ABD	7.017	13%
Almanya	6.581	13%
Birleşik Krallık	4.270	8%
Hindistan	4.148	8%
Brezilya	2.022	4%
Fransa	1.694	3%
Türkiye	766	1%
Meksika	478	1%
Belçika	467	1%
Dünya'nın Geri Kalanı	5.630	11%
Toplam	52.573	100%

2017 yılı kurulumundan sonra Çin toplam gücünü 188.232 MW'a çıkararak kurulu güç bazında kendine en yakın devlet olan Amerika'nın 2 katından fazla kurulu güce ulaşmıştır ve dünya üzerindeki toplam kurulu gücün %35'ini ülkesinde bulundurmaktadır.

Dünya genelinde rüzgar enerjisi kurulu gücünün en yüksek olduğu 10 ülke Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : 2017 yılı sonu itibariyle kurulu rüzgar kapasitesi (küresel) [12].

Şekil 2.9'a ait ülke, kapasite ve yüzelik pay bilgileri çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Şekil 2.9'a ait kapasite ve yüzde bilgileri [12].

Ülke	MW	% Payı
Çin Halk Cumhuriyeti	188.232	35%
ABD	89.077	17%
Almanya	56.132	10%
Hindistan	32.848	6%
İspanya	23.170	4%
Birleşik Krallık	18.872	3%
Fransa	13.759	3%
Brezilya	12.763	2%
Kanada	12.239	2%
İtalya	9.479	2%
Dünya'nın Geri Kalanı	83.008	15%
Toplam	539.579	100%

Küçük ölçekli rüzgar türbinlerine ait 2017 yılında yayınlanan World Wind Energy Association (WWEA) (Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği) raporuna göre 2015 yılı sonu itibarıyla dünya çapında kurulu kapasite 948.873 kW'a ve 990.966 adete ulaşmıştır (Şekil 2.10).



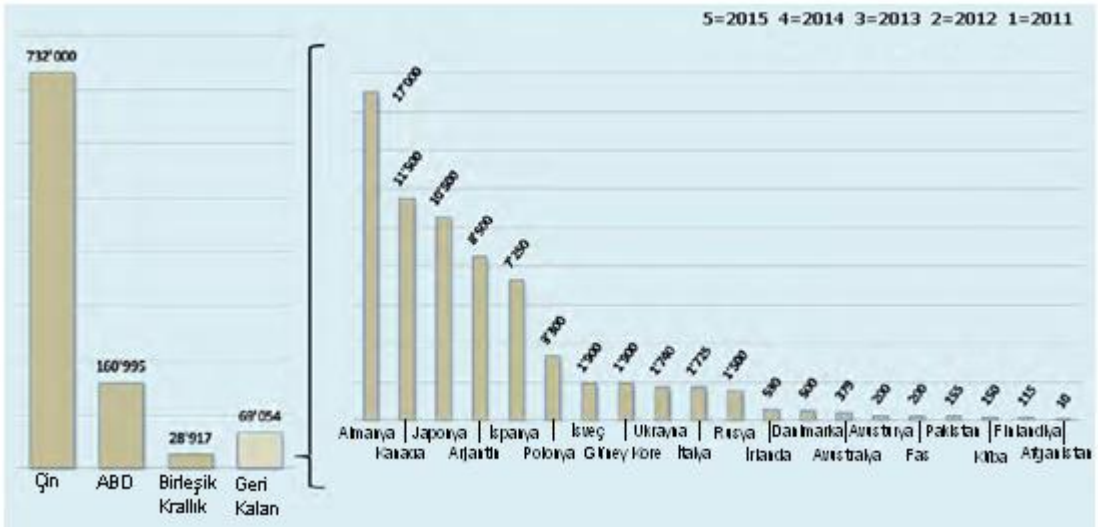
Şekil 2.10 : 2010-2015 yılları dünya çapında küçük ölçekli rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi ve türbin adetleri [13].

Bu rapora göre küçük ölçekli rüzgar türbinleri pazarında da hem kurulu güç bakımından hem de kurulu rüzgar türbini adedi bakımından Çin lider pozisyondadır ve ikinci sırada Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin kurulu güç bazında ülkelere göre dağılımı Şekil 2.11'de verilmiştir.



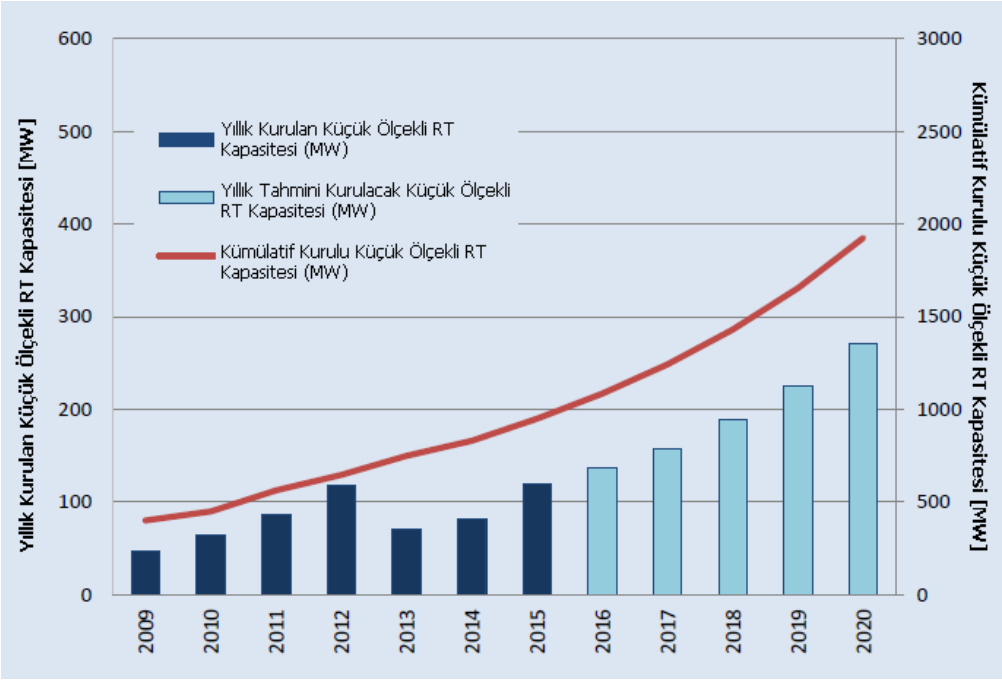
Şekil 2.11 : 2015 yılı ülkelere göre toplam kurulu küçük ölçekli rüzgar kapasitesi [kW] [13].

Kurulu rüzgar türbini adedi de kurulu güce benzer bir sıralamaya sahiptir. En çok kurulu rüzgar türbinine sahip ilk 3 ülke kurulu kapasite grafiğindeki ülkeler ile aynıdır. Kurulu güçte en yakın ülkenin 2 katına ulaşmış olan Çin rüzgar türbini adedi incelendiğinde de en yakın ülkeden neredeyse 4 katı kadar fazla kurulu rüzgar türbinine sahiptir (Bknz. şekil 2.12).



Şekil 2.12 : 2015 yılı ülkelere göre toplam kurulu küçük ölçekli rüzgar türbini adedi [13].

Küçük ölçekli rüzgar türbinlerine ait 2020 projeksiyonunda Dünya çapında kurulu gücün artacağı görülmektedir. Şekil 2.13 incelendiğinde yıllık kurulum beklentileri ve ulaşılacak olan toplam kapasiteler görülmektedir. 2020 yılına kadar küçük ölçekli rüzgar türbinlerinde kurulu gücün 1.900 MW'ı geçmesi öngörülmektedir. Yani 6 senelik projeksiyonda kurulu gücün 2 katına çıkacağı beklenmektedir.

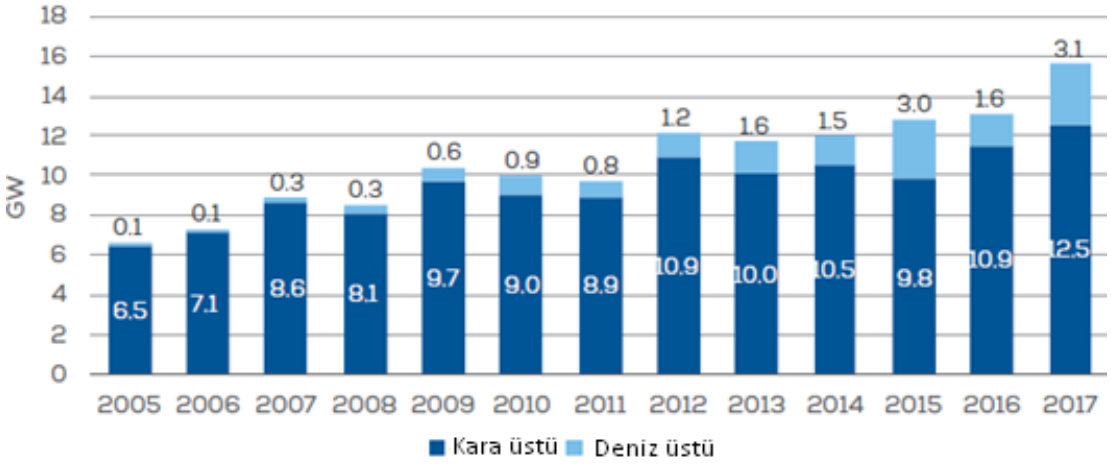


Şekil 2.13 : 2009 - 2020 yılları küçük ölçekli rüzgar türbinleri kurulu güç projeksiyonu [13].

2.2 Avrupa'da Rüzar Enerjisinin Durumu

Avrupa'da 2017 yılında 15,6 GW'lık rüzgar kapasitesi (12,5 GW onshore, 3,1 GW offshore, Şekil 2.14) kurulmuştur.

Rüzgar enerjisinde 2017 yılında 2016 yılı kurulumlarına göre %24 daha fazla kurulum olduğu görülmektedir. 2017 yılında kurulan kapasite ile beraber toplam kurulu güç 168,7 GW'a ulaşmıştır (153 GW onshore, 15,8 GW offshore).

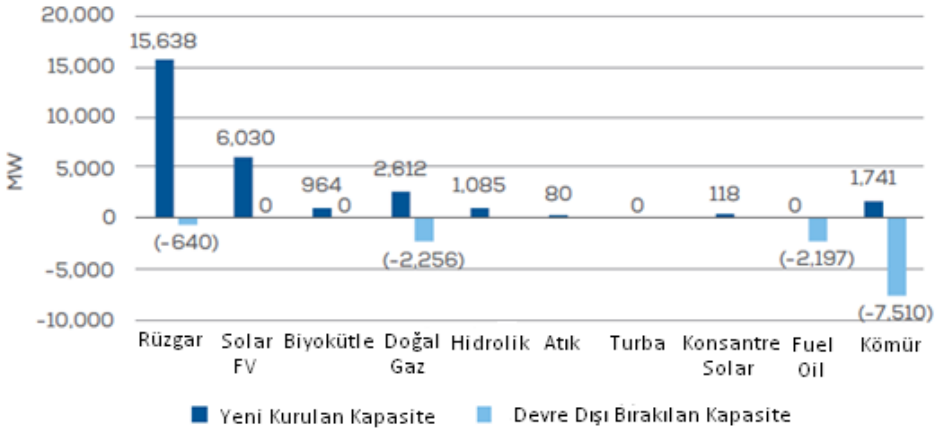


Şekil 2.14 : Avrupa'da kurulu yıllık kara üstü ve deniz üstü rüzgar kapasitesi [14].

2017 yılında Avrupa'da enerji kaynağı türüne göre en yüksek kapasitede kurulum rüzgar enerjisinde olmuştur (Şekil 2.15). 2017 yılında kurulan toplam gücün %55,2'sini rüzgar enerjisi oluşturmaktadır.

2017 yılında toplam yaklaşık 336 TWh (2.906 TWh toplam tüketim) elektrik, rüzgar türbinlerinden üretilmiştir ve bu toplam Avrupa elektrik ihtiyacının %11,6'sı anlamına gelmektedir[14].

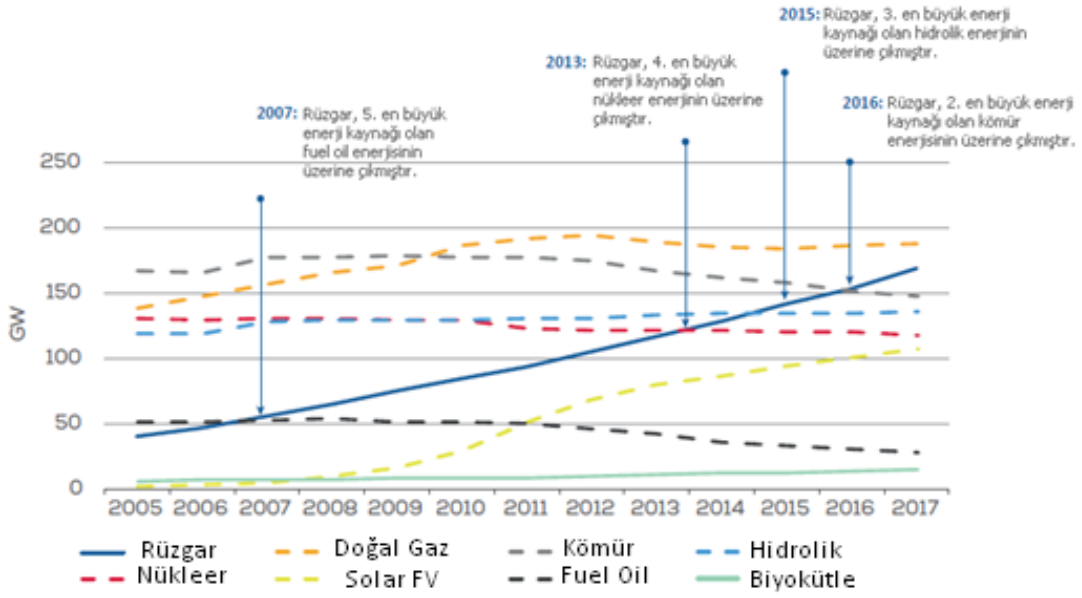
Şekil 2.15'te 2017 yılında kurulan ve devre dışı bırakılan santrallerin kapasiteleri görülmektedir. Avrupa'da rüzgar enerjisine yapılan yatırımlar artmış, bunun yanı sıra da 12 GW'lık fosil yakıt santrali de kapatılmıştır (Kapatılan bu santrallerin 7,5 GW'ı kömür santralidir). Bu kapatma ve kurulumların sonucu olarak 2016 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücü kömür santralleri kurulu gücünün üzerine çıkmıştır.



Şekil 2.15 : 2017 yılında yeni kurulan ve devredışı bırakılan kapasiteler [14].

Kömürden elde edilen enerji kapasite olarak Avrupa'daki en büyük 2. enerji kaynağı olmaktan çıkarak sırayı rüzgar enerjisine bırakmıştır (Bknz. Şekil 2.16).

Avrupa da doğal gaz santralleri kurulu gücü 1. sırada yer almakla birlikte her an sırayı rüzgar enerjisine kaptırma riski taşımaktadır (Doğal gaz santralleri kurulu gücü 188 GW, rüzgar türbini santralleri kurulu gücü 168,7 GW). Rüzgar tarafındaki yatırımların ve rüzgara olan ilginin bu şekilde devam etmesi halinde rüzgar toplam kurulu gücünün 1. sıraya yerleşeceği aşikardır [14].



Şekil 2.16 : 2005-2017 yılları enerji kaynağı bazında Avrupa'daki kümülatif kurulu güçler [14].

2.3 Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Durumu

Son yıllar içerisinde dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de enerjiye olan talep yoğunlaşmaktadır. 1975 yılından günümüze dek enerji ihtiyacı artış göstermiştir (Bknz. Çizelge 2.3). Ülkemizin 1975 yılı brüt üretimi 15.622,80 GWh iken 2016 yılı brüt elektrik üretimi 274.407,70 GWh olarak TEİAŞ tarafından belirlenmiştir.

Çizelge 2.3 : 1975 – 2016 yılları arası TEİAŞ Türkiye Elektrik İstatistikleri [15].

Yıl	Toplam kurulu güç (MW)	Brüt Üretim (GWh)	Net tüketim (GWh)
1975	4.186,60	15.622,80	13.491,70
1976	4.364,20	18.282,80	16.078,90
1977	4.727,20	20.564,60	17.968,80
1978	4.868,70	21.726,10	18.933,80
1979	5.118,70	22.521,90	19.633,10
1980	5.118,70	23.275,40	20.398,20
1981	5.537,60	24.672,80	22.030,00
1982	6.638,60	26.551,50	23.586,80
1983	6.935,10	27.346,80	24.465,10
1984	8.461,60	30.613,50	27.635,20
1985	9.121,60	34.218,90	29.708,60
1986	10.115,20	39.694,80	32.209,70
1987	12.495,10	44.352,90	36.697,30
1988	14.520,60	48.048,80	39.721,50
1989	15.808,20	52.043,20	43.120,00
1990	16.317,60	57.543,00	46.820,00
1991	17.209,10	60.246,30	49.282,90
1992	18.716,10	67.342,20	53.984,70
1993	20.337,60	73.807,50	59.237,00
1994	20.859,80	78.321,70	61.400,90
1995	20.954,30	86.247,40	67.393,90
1996	21.249,40	94.861,70	74.156,60
1997	21.891,90	103.295,80	81.885,00
1998	23.354,00	111.022,40	87.704,60
1999	26.119,30	116.439,90	91.201,90
2000	27.264,10	124.921,60	98.295,70
2001	28.332,40	122.724,70	97.070,00
2002	31.845,80	129.399,50	102.948,00
2003	35.587,00	140.580,50	111.766,00
2004	36.824,00	150.698,30	121.141,90
2005	38.843,50	161.956,20	130.262,90
2006	40.564,80	176.299,80	143.070,50
2007	40.835,70	191.558,10	155.135,20
2008	41.817,20	198.418,00	161.947,60
2009	44.761,20	194.812,90	156.894,10
2010	49.524,10	211.207,70	172.050,60
2011	52.911,10	229.395,10	186.099,60
2012	57.059,40	239.496,80	194.923,40
2013	64.007,50	240.154,00	198.045,20
2014	69.519,80	251.962,80	207.375,10
2015	73.146,70	261.783,30	217.312,30
2016	78.497,40	274.407,70	231.203,70

Gelecek projeksiyonlarına bakıldığında da ülkemiz açısından enerji talebi artış göstermeye devam edecektir. TEİAŞ tarafından 2016'da hazırlanan "Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu 2016-2025" raporuna göre 2025 yılına kadar olan tahminler elektrik ihtiyacının sürekli artacağı ve yaklaşık %50 artış göstereceği yönündedir (Bknz. Çizelge 2.4). (Raporun hazırlanma tarihi 2016 yılı içerisinde olduğundan Çizelge 2.4'teki 2016 verileri tahmini verilerdir.)

Çizelge 2.4 : Talep tahmini referans (baz) talep [16].

YIL	PUANT TALEP		ENERJİ TALEBİ	
	MW	Artış (%)	GWh	Artış (%)
2016	44604	3	273500	2,9
2017	46526	4,3	285300	4,3
2018	48793	4,9	399200	4,9
2019	51288	5,1	314500	5,1
2020	53947	5,2	330800	5,2
2021	56670	5	347500	5
2022	59459	4,9	364600	4,9
2023	62264	4,7	381800	4,7
2024	65101	4,6	399200	4,6
2025	67988	4,4	416900	4,4

TEİAŞ verilerine göre 2017 yılı sonu itibariyle Türkiye toplam kurulu gücü 85.200,0 MW olarak belirlenmiş ve yakıt cinslere göre dağılımı Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5 : 2017 yılı sonu itibariyle Türkiye kurulu güç [17].

YAKIT CİNSLERİ	2017 YILI SONU KURULU GÜÇ (MW)	KATKI (%)	SANTRAL SAYISI (ADET)
FUEL-OİL + NAFTA + MOTORİN	303,6	0,4	12
YERLİ KÖMÜR (TAŞ KÖMÜRÜ +LİNYİT +ASFALTİT)	9.872,6	11,6	30
İTHAL KÖMÜR	8.793,9	10,3	11
DOĞALGAZ + LNG	23.063,7	27,1	243
YENİLEN. + ATIK + ATIK ISI + PİROLİTİK YAĞ	575,1	0,7	98
ÇOK YAKITLILAR KATI + SIVI	682,9	0,8	22
ÇOK YAKITLILAR SIVI + D.GAZ	3.433,6	4,0	47
JEOTERMAL	1.063,7	1,2	40
HİDROLİK BARAJLI	19.776,0	23,2	117
HİDROLİK AKARSU	7.489,7	8,8	501
RÜZGAR	6.482,2	7,6	161
GÜNEŞ	17,9	0,0	3
TERMİK (LİSANSSIZ)	201,1	0,2	67
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	34,0	0,0	46
HİDROLİK (LİSANSSIZ)	7,4	0,0	10
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	3.402,8	4,0	3.613
TOPLAM	85.200,0	100,0	5.021

Yine TEİAŞ 28 Şubat 2018 tarihli verilere göre ise kurulu güç 86.114,9 MW'a ulaşmıştır (Bknz. Çizelge 2.6). 2017 sonu verileri ile karşılaştırıldığında kurulu güçte 2 ayda yaklaşık 900 MW yani %1,1'lik artış görülmektedir. 40 MW'lık artış rüzgar türbinlerinden gelmektedir.

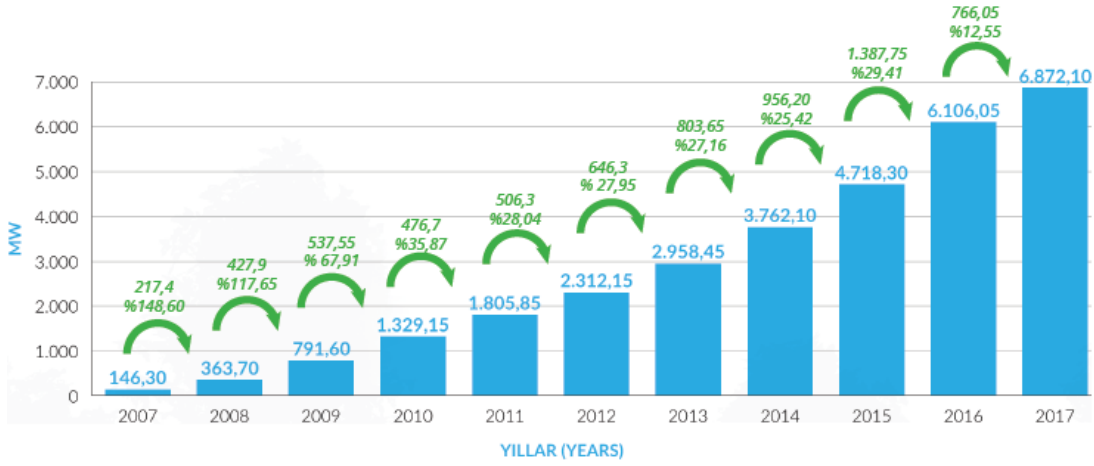
Çizelge 2.6 : 2018 yılı 28 Şubat sonu itibariyle Türkiye kurulu güç [17].

28 ŞUBAT 2018 SONU İTİBARİYLE			
YAKIT CİNSLERİ	KURULU GÜÇ (MW)	KATKI (%)	SANTRAL SAYISI (ADET)
FUEL-OİL + NAFTA + MOTORİN	303,6	0,4	12
YERLİ KÖMÜR (TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALTİT)	9.872,6	11,5	30
İTHAL KÖMÜR	8.793,9	10,2	11
DOĞALGAZ + LNG	23.181,2	26,9	249
YENİLEN. + ATIK + ATIKISI + PİROLİTİK YAĞ	580,7	0,7	99
ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI	706,9	0,8	22
ÇOK YAKITLILAR SIVI+D.GAZ	3.412,1	4,0	47
JEOTERMAL	1.063,7	1,2	40
HİDROLİK BARAJLI	19.914,0	23,1	118
HİDROLİK AKARSU	7.535,1	8,7	506
RÜZGAR	6.523,6	7,6	162
GÜNEŞ	22,9	0,0	3
TERMİK (LİSANSSIZ)	231,2	0,3	79
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	46,9	0,1	62
HİDROLİK (LİSANSSIZ)	7,4	0,0	10
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	3.919,2	4,6	4.704
TOPLAM	86.114,9	100,0	6.154

Elektrik ihtiyacında yaşanan ve yaşanması beklenen bu artışlarla doğru orantılı olarak rüzgar enerjisi kurulu gücü de 2007'den itibaren hızla artmaktadır. 2007 yılında 146,3 MW olan kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi 2017 yılı sonu itibarıyla TÜREB verilerine göre (TEİAŞ verisine göre 2017 sonu itibariyle 6.482,2 MW idi) 6.872,10 MW'a ulaşmıştır (Bknz. Şekil 2.17). 2008 yılı başından 2016 yılı sonuna dek geçen 9 senede rüzgar enerjisi kurulu gücünde yaşanan artış %4000'den fazladır. Rüzgar enerjisi kurulu gücündeki senelik ortalama büyüme %51,3 civarındadır. Rüzgar enerjisinde dünya genelinde de bu tarz artışlar görülürken ülkemizde de bu trend takip edilmektedir.

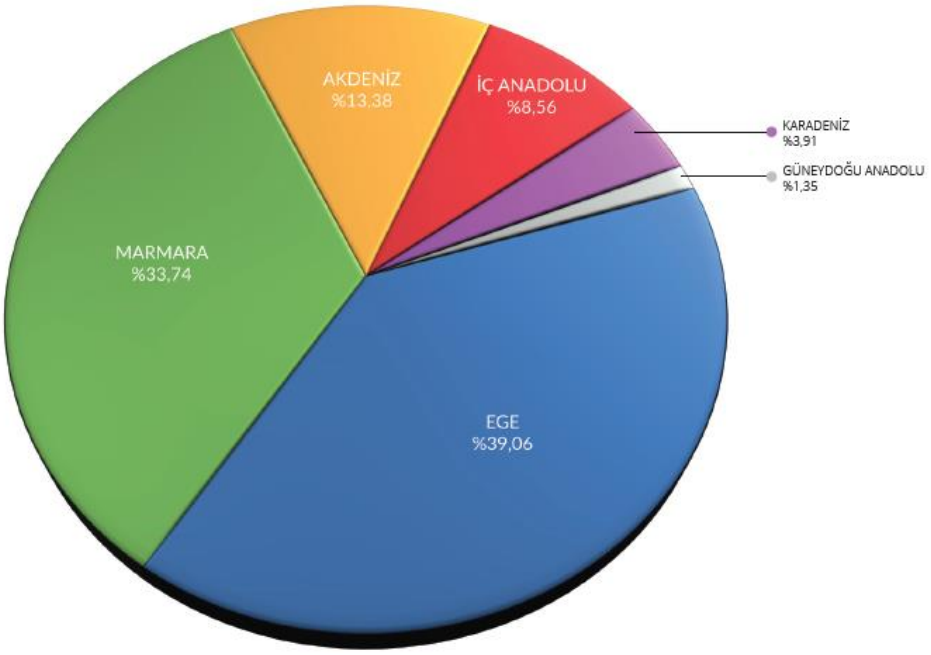
TÜREB raporuna göre Şekil 2.17 de rüzgar enerjisi kurulu gücündeki artış 766 MW olarak verilmiştir. Bu oran Şekil 2.8'de ki Global Wind Energy Council (GWEC) (Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi) verilerinden kontrol edildiğinde 2017 yılında ülkemiz rüzgar türbini kapasite artışında dünya genelinde 8. sırada yer almıştır.

Türkiye'nin toplam kurulu güçte ilk 10 da yer almamasına rağmen yıllık kurulum bazında ilk 10'da yer almak rüzgar enerjisine yapılan yatırımlarda iyi bir durumda olunduğunun göstergesidir ve aynı zamanda rüzgar enerjisine verilen önemin arttığını anlatan bir işarettir.



Şekil 2.17 : Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık kurulum güçleri ve kümülatif kurulu güçleri [18].

Şekil 2.18'de verilen grafikten anlaşılacağı üzere rüzgar enerjisi kurulu gücünün %70'inden fazlası Ege Bölgesi ve Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır. Marmara ve Ege bölgelerindeki bu elverişli rüzgar sebebiyle kurulan santral sayısı her geçen sene artmaktadır.



Şekil 2.18 : Kurulu rüzgar enerjisi santrallerinin bölgelere göre dağılımı [18].

Şekil 2.18'den anlaşılabilecek olan bir diğer sonuç ise fiili olarak gerçekleştirilen santral kurulumu yapılan bölgelerin "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)" ile karşılaştırıldığında atlastaki rüzgar santrali kurulumuna elverişli olan bölgeler (rüzgar hızları ve kapasite faktörü açısından elverişli olarak belirlenen bölgeler) ile örtüştüğüdür.

3. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNE GENEL BAKIŞ

3.1 Kullanım Alanları

Eski çağlardan bu yana küçük ölçekli rüzgar türbinleri aşağıdaki şekillerde kullanılmaktadır:

- Su depolama sistemleri,
- Su pompalama sistemleri,
- Tahıl öğütme mekanizmaları,
- Soğutma mekanizmaları,
- Aydınlatma sistemleri,
- Şarj sistemleri,
- Elektrik üretim sistemleri,
- Sinyalizasyon sistemleri ve mobil istasyonlar [19,20].

Günümüzde kurulan küçük ölçekli rüzgar türbinleri 2 şekilde kullanılmaktadır:

- Şebekeye bağlı (on grid),
- Şebekeden bağımsız (off grid) [21].

Bu iki tür kullanım birbirinden tamamen farklı olup farklı yatırımlar ve alt yapılar gerektirmektedir [21].

Rüzgar türbinleri montaj şekli açısından çatı tipi, duvar tipi veya bağımsız tip olarak üçe; eksen şekli açısından yatay veya dikey olarak ikiye ayrılır ve hepsi şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak kullanılabilir [21].

3.1.1 Şebekeye bağlı kullanım

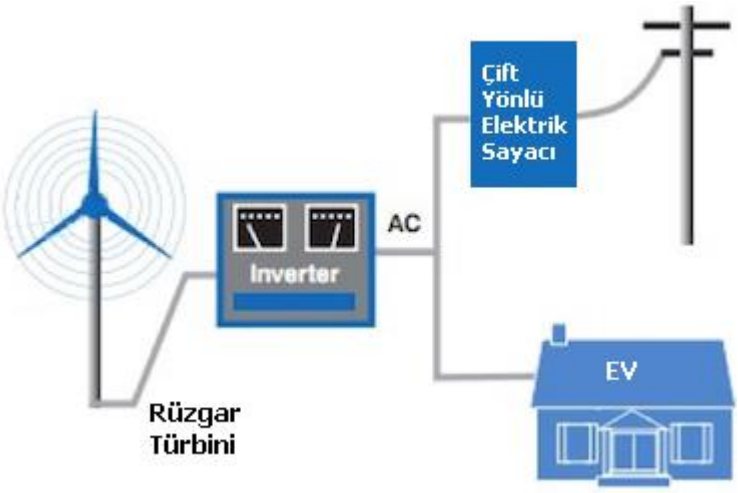
Elektrik şebekesine bağlanacak bir rüzgar enerjisi üretim sistemi için öncelikli olarak elektrik sağlayıcısının anlaşmaları, gereksinimleri ve gerekli ekipmanlar göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrik sağlayıcılar, sistemin güvenlik ve güç kalitesi bileşenleri

içerdiğinden emin olmak isterler. Bu bileşenler, güç dalgalanması veya elektrik kesintisi durumunda sistemin şebekeden ayrılması için anahtarlar içerir (tamirat sırasındaki güvenliğin sağlanabilmesi amaçlı). Üretilen elektriğin, şebekeden geçen elektriğin gerilim ve frekansına tam olarak uyduğundan emin olabilmek için de güç iyileştirme ekipmanları kullanılması gerekmektedir. Tüm bu bileşenleri barındıran örnek sistem şeması şekil 3.1'de görülmektedir. Aynı zamanda hem şebekeye bağlı olup hem de akü grubu içeren bir örnek sistem şeması şekil 3.2'de verilmiştir [22].

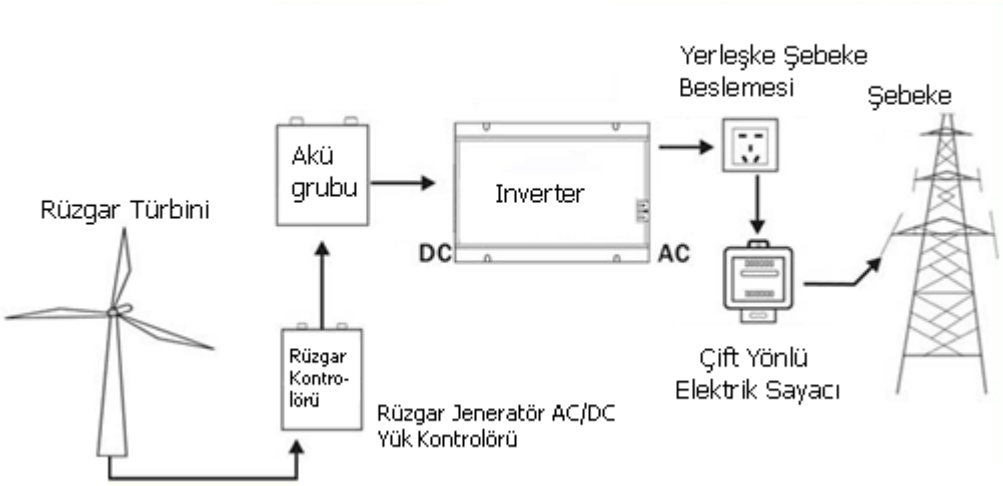
Rüzgar enerjisi sistemleri elektrik şebekesine bağlı olmadan evlere ve küçük işletmelere güç sağlayabilirken şebeke bağlantısının sunduğu avantajlar çoğunlukla tercih edilmektedir. Şebekeye bağlı bir sistem rüzgar esiyorken yenilenebilir enerji ile kullanıcıya güç sağlanmasına olanak tanır ve üretilen fazla elektrik şebekeye geri gönderilir. Rüzgar mevcut olmadığında, şebeke elektriği ile ihtiyaçları karşılayarak aküler gibi elektrik depolama cihazlarının masraflarını ortadan kaldırır. Şebekeye bağlı sistemler üretilen fazla elektrik enerjisini sayaç üzerinden şebekeye geri gönderirken sayacın geri dönmesi mantığı ile çalışmaktadır. Belirli bir ayda sistemin şebekeye beslediğinden daha fazla elektrik kullanılması halinde elektrik sağlayıcısına yalnızca kullanılan ile ürettilen arasındaki fark için ödeme yapılır [22].

Net satınalım ve satım: İki adet tek yönlü sayaç içeren sistemde sayaçlardan bir tanesi şebekeden çekilen elektriği kaydederken diğeri üretilen elektriği kaydeder ve sayaç üzerinden şebekeye geri gönderilir. Kullanılan elektrik için perakende satış ücreti ödenir ve elektrik sağlayıcısı satın aldığı elektriği toptan satış fiyatı kullanarak satın alabilir. Perakende satış fiyatı ve elektrik sağlayıcısının ödediği toptan satış fiyatı arasında önemli bir fark olabilir [22].

Net ölçüm: Şebekeden çekilen elektrik ve sistemin şebekeye geri beslediği fazla elektriği kaydetmek için bir adet iki yönlü sayaç kullanılır. Sayaç elektrik çekerken ileriye doğru döner ve fazla üretilen elektrik şebekeye beslendikçe geriye doğru döner. Ay sonunda sistemin ürettiğinden daha fazla elektrik kullanıldıysa kullanılan elektrik için perakende fiyat ödenir. Kullanılandan daha fazla üretmilmişse ekstra elektrik için elektrik sağlayıcısı perakende fiyatıyla ödeme yapar. Net ölçümün gerçek faydası elektrik sağlayıcısının şebekeye geri beslenen bu elektrik için ödediği perakende fiyattır [22].



Şekil 3.1 : Şebekeye bağlı sistem şeması [23].

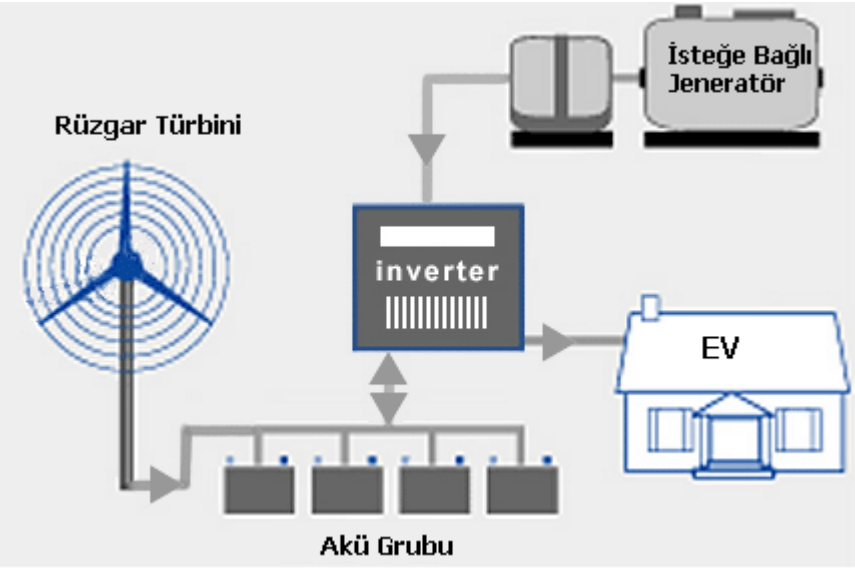


Şekil 3.2 : Şebekeye bağlı alternatif sistem şeması [24].

3.1.2 Şebekeden bağımsız kullanım

Şebekeye bağlanmanın pahalı olduğu veya şebekenin elektriğin üretildiği noktaya uzak olduğu durumlarda elektrik üretim sistemleri iyi bir alternatiftir. Bunun yanı sıra şebekenin yakınında yaşayan ve güç sağlayıcısından bağımsızlık elde etmek isteyen veya temiz enerji kaynaklarına bağlılık gösteren kişiler tarafından da kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle bünyesinde akü grubu, akıllı kontrolör/invertör, emniyet araçları ve destek jeneratörü gibi elemanlar barındırır (Bknz. Şekil 3.3). Jeneratörün amacı enerji güvenliğini sağlamaktır [25].

Aküler, üretilen elektrik enerjisinin depolanmasını sağlar; böylece daha sonra kullanılabilir. 12 V ila 48 V aküler en yaygın olarak kullanılmaktadır [25].



Şekil 3.3 : Şebekeden bağımsız sistem şeması [26].

Farklı marka ve yaştaki piller birbirleriyle karıştırılmamalıdır, yani sistem tasarlanırken akü grubunun büyüklüğünü doğru şekilde seçmek önemlidir. Akü grubunun çok küçük olduğu durumlarda sıklıkla düşük bir seviyeye deşarj edilebilir bu da akülerin ömrünü kısaltır.

Akü grubunun çok büyük olduğu durumlarda ise kurulacak olan sistem daha pahalıya mal olur ve düzenli olarak tamamen şarj olmama riski çok fazla olduğundan bu durumda akü ömrünü kısaltabilir [25].

3.2 Avantajları

Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin bazı avantajları şu şekildedir:

- İstikrarlı ve pasif bir yatırımdır. Yani birçok diğer yatırıma kıyasla bakıldığında çok daha az riskli bir yatırım şeklidir. Farklı yıllarda ortalama rüzgar hızı nominal değerinin %20 değişebileceği bilimsel olarak kanıtlanmış olmasına ragmen küçük ölçekli bir türbin yatırımının mali riski çok daha azdır.
- Küçük ölçekli bir rüzgar türbini neredeyse hiç emisyon içermez. Üretim sürecinde çok fazla kaynak tüketse ve atık üretse de küçük bir rüzgar türbini finansal anlamda olduğundan çok daha hızlı bir şekilde “yeşil” anlamda kendini geri ödemektedir.
- Devletin teşviklerinden ve politikalarından faydalanarak kurulan türbinlerin finansal anlamda geri ödemeleri çok daha kısa vadede gerçekleşmektedir.

Örneğin; üretilen elektriğin kullanılmayan kısmı depolamanın yanı sıra şebekeye verilebilir ve gelir elde edilebilir. Bu sayede geri ödeme süreleri kısaltılabilir.

- Küçük bir PV panel ile desteklendiğinde mevsimsel olarak çok kararlı bir enerji kaynağı olduğu kanıtlanmıştır.
- Küçük ölçekli rüzgar türbinleri çok az bakıma ihtiyaç duyarlar ve bakımları çok kolaydır.
- Kule yükseklikleri düşük olduğu için kurulum ve sabitleme maliyetleri düşüktür.
- Şebekeye bağlı ya da şebekeye bağlı olmadan çalışabilirler. Şebekeye bağlı olmadan çalışabilmeleri sayesinde kırsalda elektrik ağını geliştirirler.
- Dikey eksenli, yatay eksenli veya binaya entegre olarak farklı ihtiyaçlara uygun farklı çözümler sunulabilmektedir [27,28].

3.3 Dezavantajları

- Kurulacak olan sahada ilgili yükseklikte ölçümleri yapılmadığında her zaman risklidir. Riskin ortadan kaldırılması için kurulacak olan alanda ve aynı yükseklikte en az 6 ay ölçüm yapılması gerekmektedir. Küçük ölçekli bir çalışma için böyle bir ölçüm çalışması maliyeti yüksektir.
- Kule yükseklikleri fazla olmadığı için etraftaki engeller sebebiyle genellikle rüzgar akışları bozuk yani türbülanslı olur. Kararsız olan bu rüzgar akışları mekanik parçalar üzerinde ek strese neden olur ve türbinde bulunan sensörlerin karışmasına sebep olur.
- Küçük ölçekli rüzgar türbinleri genellikle yerleşim alanına yakın veya çatı tipi olduğundan gürültü problemleri yaşanmaktadır. Yeni tip rüzgar türbinlerinde direkt olarak gürültü problemi olmasa bile rüzgar türbinleri başka sebeplerle gürültü kaynağı olabilmektedir. Örneğin; çatı tipi bir rüzgar türbini kanat montajının uygun şekilde yapılmaması, düzenli olarak bakımı yapılmamış olan rüzgar türbinler, sabitlemeleri doğru yapılmamış olan rüzgar türbinleri gibi birçok durumda rüzgar türbinleri gürültü kaynağı haline gelmektedir [27,29].

3.4 İhtiyaca Uygun Türbin Seçimi

3.4.1 Elektrik ihtiyacının belirlenmesi

Öncelikli olarak enerji üretim sisteminin kurulacağı evin elektrik açısından daha verimli hale getirilmesi ilk yatırım maliyetlerini daha uygun hale getirecek ve ihtiyaç duyulacak olan rüzgar türbini boyutunu azaltacaktır. Rüzgar türbini üreticileri sistemin elektrik gereksinimlerine ve yerel rüzgar özelliklerine göre seçilecek rüzgar türbinine ve boyutlandırmasına yardımcı olabilmektedir. Bu amaçla rüzgar türbini seçiminin ilk adımı olarak kurulum yapılacak olan mesken için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi miktarı belirlenmelidir.

Yıllık ortalama mesken başına elektrik kullanımı Elektrik Mühendisleri Odası tarafından "TEDAŞ Türkiye Elektrik Dağıtım İstatistikleri, Toplam Mesken Elektrik Tüketimi" ve "Türkiye'deki mesken abone sayısı" verilerine göre hesaplanmıştır. 2013 yılında konutlarda 44,97 milyar kWh elektrik tüketilmiştir. TEDAŞ 2013 yılındaki abone sayısını 29,43 milyon olarak açıklamıştır. Basit bir hesaplama ile mesken başına düşen yıllık elektrik tüketimi 1.528 kWh olarak bulunmuştur(2013 yılı). Aylık mesken başına düşen elektrik tüketim 127 kWh'tir [30].

2011 yılında, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından yapılan çalışmada kent merkezinde yaşayan orta gelirli dört kişilik bir ailenin elektrik tüketimi incelenmiştir. Çalışmanın yapıldığı örnek aile, iki çocuklu ve gündüz vakti ebeveynlerin evde olmadığı bir ailedir. Çalışma sonucunda ailenin aylık tüketimi 253 kWh olarak bulunmuştur [30].

İki farklı çalışma sonucunda elde edilen değerlerden yola çıkarak ortalama elektrik ihtiyacını 250 kWh olarak seçip buna yönelik türbin seçimleri ile hesaplamalar yapılacaktır.

3.4.2 Rüzgar hızı ve kanat uzunluğu

Rüzgar hızları zemine yakın yerlerde yükseklikle değişmektedir. Herhangi bir yükseklikte ölçülen rüzgar hızı ile başka bir yükseklikteki rüzgar hızı hesaplanabilmektedir. Bunun için en yaygın olarak kullanılan bağıntı denklem 3.1'de verilmiş olan Hellmann bağıntısıdır [31].

$$V_w = V_{wref}\left(\frac{H}{H_{ref}}\right)^{\alpha} \tag{3.1}$$

V_W hesaplanmak istenilen rüzgar hızını, V_{Wref} ölçüm yapılan yükseklikteki rüzgar hızını, H rüzgar hızı hesaplanması istenilen yüksekliği ve H_{ref} ölçüm yapılan yüksekliği ifade etmektedir. α ise Hellman sabiti olarak bilinen ve rüzgar hızının ölçüldüğü yere bağlı olan sabittir [31].

Rüzgardan elde edilen güç, rüzgar hızının küpü ile doğru orantılı (denklem 3.2) olduğundan rüzgar hızı türbin seçiminde çok önemli rol oynamaktadır.

$$P(V) = \frac{1}{2}\rho A V^3 \tag{3.2}$$

Bu denklemde P(V) rüzgardan elde edilen gücü (Watt), ρ hava yoğunluğunu (1,225 kg/m^3), A süpürme alanını (m^2) ve V rüzgar hızını (m/sn) ifade etmektedir.

Aynı zamanda bu denklemden görülmektedir ki seçilecek olan rüzgar türbininin kanat uzunluğu, türbinden üretilecek olan gücü karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir ($A=\pi r^2$). Kanat uzunluğunun rüzgarın hızına yakın oranda önemli bir parametre olduğu buradan çıkarılabilmektedir [31].

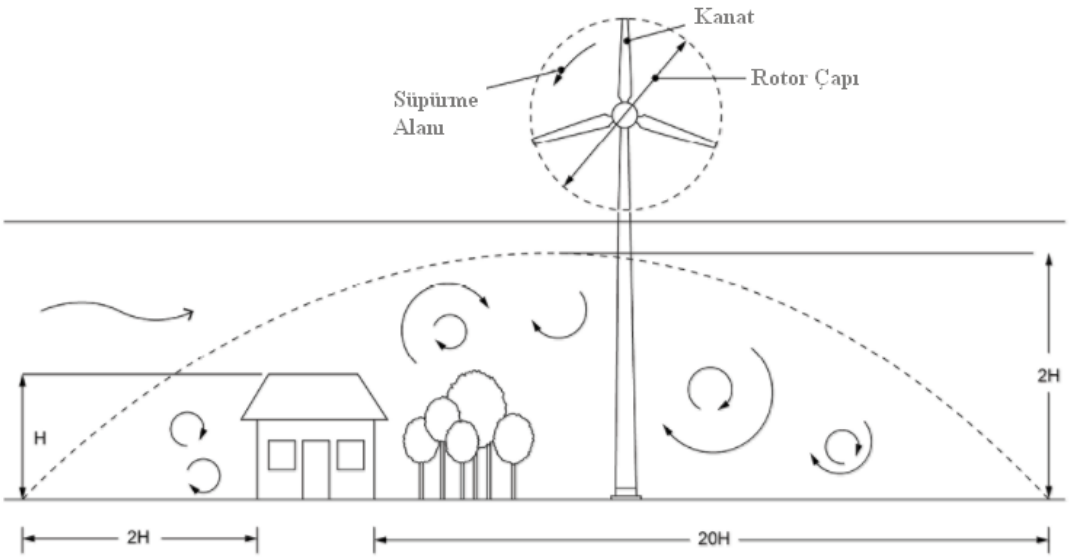
3.4.3 Kule yüksekliği (Arazi engebe durumu)

Küçük ölçekli rüzgar sistemlerindeki en yaygın hata, rüzgar türbininin çok kısa bir kuleyle dikilmesidir. Bu hata, bir güneş panelini gölgeye koymak ile eş değerdir. Sistem çıktılarını ve ortam koşullarını göz önünde bulundurarak bu yaygın hatayı yapmaktan kaçınılmalıdır [32].

Kule yüksekliği yani rüzgar türbini rotor yüksekliği arttıkça rüzgar hızı artar ve yükseklik ile birlikte türbülans azalır.

20 metrenin altında, rüzgar ve dünya arasındaki sürtünme rüzgar hızını önemli ölçüde yavaşlatır ve genellikle bu bölgede çok fazla türbülans oluşur. Rüzgar bir engel ile karşılaştığında, dikeyde engel yüksekliğinin iki katı ve yatayda engel yüksekliğinin yirmi katı bir mesafeye kadar türbülanslı olarak ulaşır (Bknz. Şekil 3.4) [32].

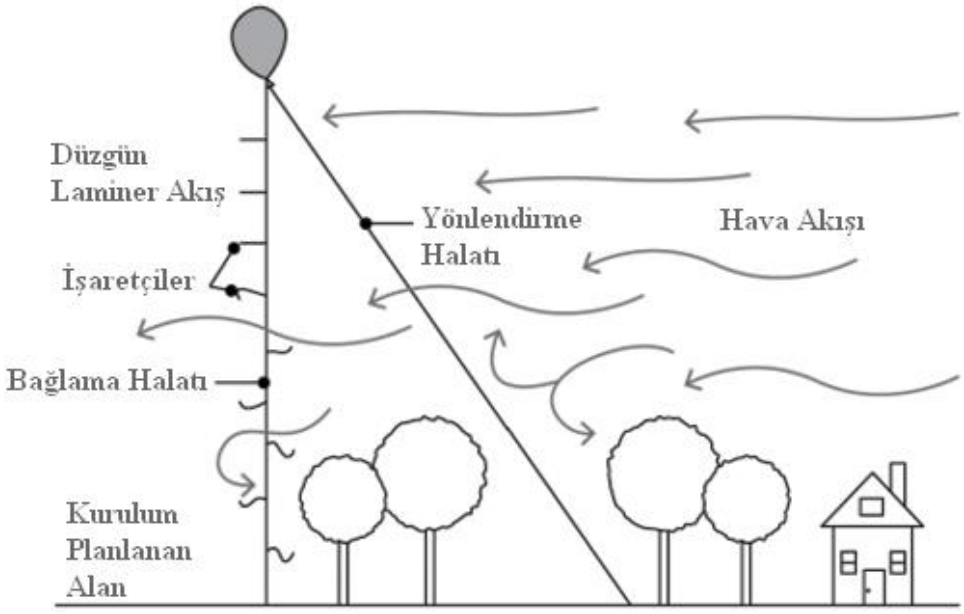
Türbinler, hava akışının pürüzsüz ve laminer hale geldiği noktalardan sonraya yerleştirilmelidir. Kurulum öncesi, türbin kurulumu yapılacak alan incelenerek engebe durumuna göre kule yüksekliği hesaplanmalıdır. Minimum kule yüksekliği için genel bir kural; türbin rotoru alt noktası veya kanatların alt noktası yüz elli metredeki veya en yakındaki ağaç kümesi yüksekliğinden on metre yüksek olarak seçilmelidir [32].



Şekil 3.4 : Engel türbülans ilişkisi diyagramı [32].

Ağaçlar için mevcut boyları değil türbinin ömrünün (20–30 yıl) sonuna dek ulaşabilecekleri boyları göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca binalar için gelecek planları da düşünülmelidir.

Seçilen yüksekliğin test edilebileceği basit bir yöntem bulunmaktadır. Balon, işaretçiler (işaret çizgileri), bağlama halatı ve yönlendirme halatı yardımı ile kurulum planlanan yükseklikte havanın laminer hale gelip gelmediğine dair test yapılabilir. Şekil 3.5'te sisteme ait diyagram görülmektedir [32].



Şekil 3.5 : Balonlu hava akış test diyagramı [32].

3.4.4 Rüzgar türbini türü ve montaj şekli

Rüzgar türbinlerinin birbirinden farklı avantajlara sahip olan birçok tasarımı ve birçok kullanım şekli bulunmaktadır. Bunları en basit şekilde sınıflandırdığımızda eksen olarak, yatay ve dikey eksenli türbinler; montaj bakımından yere veya çatıya/binaya montajlı türbinler olarak ayırabiliriz. Bu türbin çeşitlerinin alt kırınımlarına bakıldığında birçok farklılık ile karşılaşılsa da birbirlerinden ayırt edici en önemli özellikleri farklı rüzgar sahalarında birbirlerinden farklı performanslar sergilemeleridir.

Saha koşullarına göre en verimli olan türbinin dikey eksenli veya yatay eksenli türbin olduğuna karar vermek en temel belirleyicidir. Örneğin rüzgar akışının laminer hale gelmediği bir noktada rüzgar türbini kurulmak isteniyorsa uzman firmalar tarafından dikey eksenli rüzgar türbinleri önerilmektedir.

Benzer şekilde sahanın durumu göz önünde bulundurularak rüzgar türbininin yere sabitlenmesi veya çatı/bina montajı yapılmasına karar vermek kurulacak olan sistemden beklenen perfomans ile doğrudan alakalıdır.

Türbin türü ve montaj şeklinde yapılacak olan seçimler hem ilk yatırım maliyetlerini belirleyecek hem de geri ödeme süresini doğrudan etkileyecek faktörlerdir. Saha analizinin doğru yapılması ilk adım olacaktır.

3.4.5 Yapılacak hesaplama için rüzgar türbini seçimi

Hesaplamalar yerleşim yerlerindeki küçük ölçekli türbinler üzerine yapılacaktır. Buna göre seçilecek olan türbinlerin bina yüksekliklerinden fazla olan direk yüksekliği veya çatıya monte edilmiş şekilde çalışması baz alınarak hesaplamalar yapılacaktır.

Hesaplamaların yapılması için rüzgar verilerini işleyerek programa tanımlanan veya program kütüphanesindeki türbinlerin güç çıktılarını hesaplayabilen Windographer programı seçilmiştir.

Yapılacak olan hesaplamalarda türbin kapasitesine ve firmaya bağlı değişkenlerin hesap dahilinde incelenebilmesi için iki farklı firmanın farklı kapasitelerdeki türbinleri seçilecektir. Aynı zamanda hesaplamanın yapılacağı programa tanımlı olan benzer kapasitelerdeki türbinler de hesaplamalarda kullanılacaktır.

Küçük ölçekli türbinlerin çatı tipi kullanımlarında, dikey eksenli rüzgar türbinlerinden elde edilen sonuçların iyi olduğu savunulmaktadır. Bu sebeple, hesaplamalarda

kullanılmak üzere seçilecek olan türbinlerden bir tanesi dikey eksenli olarak seçilecektir.

Seçilecek olan türbinin, bina üzerine uygulanması planlandığı için optimal şartlarda minimum bir dairenin ihtiyacını karşılayabilecek güçte türbin seçilecektir. Farklı kapasitelerde seçilecek olan türbinler bu minimum gücün üzerinde seçilecektir.

Bölüm 3.4.1.'de, kabul edilen bir dairenin aylık elektrik ihtiyacı 250 kWh'idi. Optimum rüzgar hızlarında ve 0,35 (maksimuma yakın) kapasite faktöründe çalışma şartları düşünüldüğünde minimum rüzgar türbini gücü 1 kW olarak seçilmiştir.

Küçük ölçekli türbin gamları karşılaştırılmış Aeolos ve Halbes olarak iki farklı marka seçilmiştir.

Aeolos firması türbinlerinden 1 kW ve 2 kW'lık yatay eksenli ve 2 kW'lık dikey eksenli türbinler seçilmiştir. Firma tarafından paylaşılmış olan güç eğrileri programa tanımlanarak Ek-A'da şekil A.2, şekil A.5 ve şekil A.6 da verilmiştir.

Halbes firması türbinlerinden 1 kW ve 2,5 kW'lık yatay eksenli türbinler seçilmiştir. Firma tarafından paylaşılmış olan güç eğrileri programa tanımlanarak Ek-A'da şekil A.1 ve şekil A.7'de verilmiştir.

Seçilen türbinlerin kule yükseklikleri incelendiğinde; 9, 12, 12,3 ve 15,3 metre gibi yüksekliklerin satıcı tarafından belirlendiği görülmüştür. Bu sebeple, seçilen türbinlerin hepsinin bina üzerinde olduğu varsayılarak hesaplama yapılacaktır.

Firmalardan seçilen türbinler ile karşılaştırabilmek adına Windographer programına tanımlı türbinlerden seçim yapılmıştır. Türbinlerden 2 adedi 1 kW, 1 adedi de 2,5 kW olarak seçilmiştir. Seçilen türbinlerin markaları şu şekildedir:

- Bergey XL1 – 1 kW,
- Southwest Whisper 200 – 1 kW ve
- Proven 2,5 kW – 2,5 kW 'tır.

Tanımlı olan bu türbinlerin programa tanımlı eğrileri Ek-A'da ve sırasıyla şekil A.3, şekil A.4 ve şekil A.8'de verilmiştir.

Tüm türbinlerin güç eğrilerinin üst üste konduğu grafik Ek-A'da şekil A.9'da verilmiştir.

4. DÜNYA GENELİ KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNE AİT ENERJİ POLİTİKALARI VE RÜZGAR ENERJİSİ ÇALIŞMALARI

4.1 Malezya Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları

Malezyada yenilenebilir enerji gelişiminin önündeki başlıca engeller şunlardır:

- Pazar iç karlılık oranı beklentilerini karşılamayan tarife,
- Uzun vadeli yakıt talebinin olmaması,
- Finansman eksikliği,
- Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşması'ndaki bazı hükümlerin Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü geliştiricileri için kabul edilemez durumda olması [33].

Özellikle aşağıdaki 3 engel kategorisi önemli rol teşkil etmektedir:

- Mali: Devletin yetersiz teşvikleri, finansmanın temininde zorluklar ve biyokütle olarak yakıt maliyetlerinin belirsizliği,
- Kurumsal / yasal: Sınırlı fayda, şebekeye bağlanmak için şeffaf olmayan bir yöntem ve orta ölçekli yenilenebilir enerji projelerine olan maksimum limitin düşük olması,
- Teknik: Sınırlı yerel uzmanlık ve teknoloji, az gelişmiş palmiye yağı biyokütle kazan teknolojisi ve bölgesel biyokütle / biyogaz yakıtları (yük merkezine uzaklık) [33].

Malezyada 2001 yılı Mayıs ayında Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü (Small Renewable Energy Power - SREP) programı açıklanmıştır. Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı üreticilerin elektrik dağıtıcılarına ya da TNB (hükümete bağlı bir şirket olan Tenaga Nasional Berhad, Malezya'nın önde gelen elektrik distribütörü ve perakendecisidir) gibi perakendecilere üretilen elektriği satmalarına izin vererek küçük enerji santralleri tarafından yenilenebilir enerji üretimini teşvik etmektedir [33].

Özel Onay Komitesi tarafından Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı ilk aşaması için verilen Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü Kılavuzları programın diğer adımlarından olmuştur (2002) [33].

Malezya'daki Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı ve yenilenebilir enerji geliştirme çalışmaları DANIDA (Danida Danimarka'nın Dışişleri Bakanlığı'na bağlı bir faaliyet alanı olan, Danimarka'nın kalkınma kooperatifi için kullanılan terimdir) tarafından devralınmıştır (2006) [33].

Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı tamamen özel sektör tarafından finanse edilen bir girişimdir. Özel sektör katılımcılarının, kendi yarattıkları finansman ihtiyaçlarını, ticari olarak finanse edilen fonlar veya ticari finansal kuruluşlardan borçlanma yoluyla karşılamaları gerekmektedir. Tüm Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı projeleri; SCORE (Special Committee on Renewable Energy - Enerji, Haberleşme ve Multimedya Bakanlığı bünyesinde kurulan Yenilenebilir Enerji Özel Komitesi) tarafından onaylanmak üzere sunulmalıdır. Komite üyeleri, elektrik sektöründe çeşitli kurumlardan ve diğer paydaşlardan atanır. Suruhanjaya Tenaga'daki SCORE Sekreterliği, tüm Küçük Ölçekli Yenilenebilir Enerji Gücü başvurularını işler onaylar ve Malezya elektrik endüstrisinin düzenleyicisi olan Suruhanjaya Tenaga tarafından başarılı başvuru sahibine işletme lisansı verir [33].

Yenilenebilir enerji üreticisi ile mevcut kuruluş arasındaki yasal ilişki için Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşması'nın imzalanması gerekmektedir. Bu, kamu hizmeti şirketi ve yenilenebilir enerji üreticisi arasındaki görüşmeleri kayıt altına almaktadır, çünkü ilgili otorite ya da kanun tarafından zorunlu kılınan standart bir Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşması bulunmamaktadır [33].

Sonuç olarak, Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşmaları, geleneksel Bağımsız Güç Üreticileri ve kamu hizmeti şirketi arasındaki Güç Satın Alma Anlaşmaları (Bağımsız Güç Üreticileri ile Tenaga Nasional Berhadarasındaki) kullanılarak bir örnek olarak geliştirilmiştir. Bu Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşmalarının, yenilenebilir enerji güç kaynağı için uygun olmayan hükümler içerdiği gözlenmiştir [33].

Bir Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşmalasının şart ve koşullarını müzakere ederken yenilenebilir enerji proje taraftarları aşağıdaki hususlarla karşılaşmaktadır:

- Zaman ve kaynak kısıtlamaları:

Çoğu yenilenebilir enerji üreticisi, kabul edilebilir şartlar ve koşullar için pazarlık yapabilecek kaynağa ve kapasiteye sahip olmayan küçük oyunculardır. Ayrıca, bir yenilenebilir enerji projesi için mali teşvikler, projenin 12 ay içinde uygulandığı koşula tabidir.

Kısıtlı kaynakların ve zamanın birleşimi yenilenebilir enerji üreticilerinin teslim olmaları ve şartları kabul etmeleri için üzerlerinde ki baskıyı artırmaktadır [33].

- Tek alıcı:

Tek bir alıcının (diğer bir deyişle hizmet şirketi) varlığı, özellikle de hizmet, kendi başına daha uygun olan veya yenilenebilir enerji üreticisine daha fazla zarar veren terimler aramak için kendi tekel gücünü kullanırsa eşit olmayan bir pazarlık pozisyonu yaratır. Bu, yenilenebilir enerji güç üreticisinin genellikle kabul etmeyebileceği ancak kabul etmesi için baskı altında kalabileceği bir etkiye sahiptir [33].

- Ara bağlantı:

Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü rehberine göre yenilenebilir enerji santralinin şebekeye (sistemin güçlendirme maliyeti dahil) bağlanmasına ilişkin maliyet, yenilenebilir enerji proje sahibi tarafından karşılanacaktır [33].

Özellikle enerji santralinin yeri, yenilenebilir enerji projesinin sorumluluğunu üstlenecek olan şebekeden oldukça uzaksa maliyetler oldukça önemlidir [33].

Alınan geri bildirimlerden Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programındaki ilgili katılımcıların beklentileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 3 ila 5 yıl arasında bir geri ödeme süresi (özellikle bazı palmiye yağı değirmencileri tarafından),
- "Yüksek" bir iç getiri oranı,
- "Temiz Kalkınma Mekanizmaları" biçiminde alternatif teşviklerin mevcudiyeti göz önüne alındığında Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı ticari olarak cazip değildir [33].

Çoğu yenilenebilir enerji geliştiricisi, bunların yenilenebilir enerji projelerine başlarken yerine getirilmesinin beklendiğini, ancak bugüne kadarki başarının oldukça sınırlı olduğunu belirtmektedir [33].

2007'den 2009'a kadar onaylanan birkaç yenilenebilir enerji projesi önemli ilerleme kaydetmiştir. Bu projeler, 2010 yılı sonuna kadar elektrik şebekesine bağlandıkları zaman toplam 65 MW'lık bir enerji tedarik etmişlerdir.

Projelerin, Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programının temel unsurlarında değişiklikler yapıldığı bir dönemde ilerlediğine dikkat çekmek gerekir (Yenilenebilir enerji üreticilerinin kullandığı elektriğin fiyatının artması ve Yenilenebilir Enerji Güç Satın Alma Anlaşmaları'nın yenilenebilir enerji kapasitesi için müzakere süresinin kısaltılması ve standart hale getirilmesi gibi). Bu değişiklikler 2006 çalışmasının Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü projelerinin uygulanmasını engellediğine dair iki faktöre değinmiştir [33].

2001 - 2009 yılları arası Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı ile gerçekleşenler aşağıdaki şekildedir:

- 288 MW toplam üretim kapasitesine sahip SCORE (Yenilenebilir Enerji Özel Komitesi) tarafından onaylanan 50 proje,
- Projelerin %40'ı iptal edilmiştir,
- Projelerin %24'üne lisans verilmiştir,
- Projelerin %36'sı, henüz lisansların verilmemesi nedeniyle başlayamamıştır,
- Elektrik şebekesine (2001-2009) sadece 53 MW yenilenebilir enerji üretim kapasitesi bağlanabilmiştir (2010 sonuna dek 65 MW'a ulaşması planlanmaktadır) [33].

Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programının bu ilk aşaması sırasında SCORE (Yenilenebilir Enerji Özel Komitesi) şebekeye bağlı küçük yenilenebilir enerji santrallerinin geliştirilmesini teşvik etmek için aşağıdaki maddeleri kabul edecektir [33]:

- Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programı, biyokütle, biyogaz, belediye atığı, güneş, hidro ve rüzgar dahil olmak üzere her tür yenilenebilir enerji kaynağına uygulanacaktır,

- Proje geliştiricileri, satın alma ve ödeme bazında istekli bir satıcı ile satış fiyatı da dahil olmak üzere Yardımcı Program ile Yenilenebilir Elektrik Satın Alım Anlaşması'nı müzakere etmek zorunda olacaklardır,
- Yenilenebilir enerji elektrik üreticisine, tesisin işletmeye alınma tarihinden itibaren geçerli olmak üzere, 21 yıllık bir süre için lisans verilecektir,
- Yenilenebilir enerji elektrik üreticileri, şebeke bağlantısının tüm maliyetlerinden, ilgili hizmet sistemi takviyesinden (elektrik kabloları, trafo, şalt cihazları ve diğer koruma ekipmanı) ve gerekli ölçüm tesisatından sorumlu olacaktır. Dağıtım şebekesi ara bağlantısı 11 - 33 kV arasında bir voltajda yapılmalıdır,
- Küçük yenilenebilir enerji santrali, en yakın ara bağlantı noktasından 10 km mesafede bulunacaktır. Hidroelektrik üretim projesi için istisna verilmektedir,
- Bekleme ücretleri (Stand-by charge) alınmayacaktır. Ancak proje geliştiricileri tarafından geri enerji talep edilirse geçerli tarife ile buna göre ücretlendirilecektir,
- Kojenerasyon teknolojisi ile güç üretimi özel olarak tercih edilir,
- Şebekeye elektrik satışı için tasarlanan küçük bir yenilenebilir enerji santralinin maksimum kapasitesi 10 MW olacaktır,
- Enerji Santrali, Çevre Dairesi tarafından belirlenen tüm çevresel düzenlemeleri karşılamalıdır ve proje geliştiricisi gerekli Çevre Dairesi onayını ve gerekli diğer yasal onayları almaktan sorumludur,
- Bir yenilenebilir enerji santrali projesindeki asgari %30'luk pay Bumiputera (Malezya'da birinci sınıf vatandaş) hissedar(lar)ı tarafından yapılmalıdır. Yabancı ajans / şirket, Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü projesine %30'luk azami katılım sermayesi ile girebilir [33].

Küçük Yenilenebilir Enerji Gücü programının yanı sıra Malezya'da "Alım Garantili Tarife (Feed in tariff – FIT)" uygulaması da bulunmaktadır [33].

Enerji politikası kapsamında belirtilen uygulama kısaca şu şekilde özetlenebilir:

Yenilenebilir enerji alım garantili tarifesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin, sabit bir primle ve belirli bir süre için elektrik tesislerine satılmasını

sağlayan bir mekanizmadır. Alım garantili tarife yasası şebekeye bağlı alanlarda yenilenebilir enerjinin alımını hızlandırmak için mevcut en iyi mekanizma olduğunu kanıtlamıştır.

İyi bir alım garantili tarife sistemi gerçekten faydalı bir politikadır çünkü [33]:

- Halkın kendi temiz elektriğini üretmesi ekonomiktir,
- İnsanlara, elektrik üretmeleri için olanak sağlar[33].

Alım garantili tarifeler, belirli bir fiyatla üreticilerden yenilenebilir enerji satın almak için enerji hizmetlerini zorunlu kılmaktadır. Şebekeye erişimi garanti ederek ve birim güç başına uygun bir fiyat belirleyerek alım garantili tarifeler yenilenebilir enerjinin; şirketler, sanayi ve bireyler için uzun vadede sağlam bir yatırım olmasını ve böylece yenilenebilir enerjiye yatırım yapmak için güçlü bir ekonomik teşvik oluşmasını sağlar [33].

Alım garantili tarifeleri finanse etmenin en yaygın yöntemi, tüm son kullanıcılar (elektrik tüketicileri) arasında maliyetleri paylaştırmaktır. Sonuç olarak, hane başına düşen fiyat artışı kullanıcılar arasında çok küçük olmaktadır [33].

Alım garantili tarifeler etkili bir şekilde tasarlandığında:

- Fosil yakıt bazlı enerji üretimini temiz, yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirerek CO_2 emisyonlarını azalttığı,
- İnsanlara iş alanı yarattığı, örneğin 2006'da Alman yenilenebilir enerji sektörünün yaklaşık 234.000 çalışanı bulunmaktaydı. Bunun %60'ının Alman alım garantili tarife yasasının doğrudan bir sonucu olarak istihdam edildiği,
- Ülkelerin ithal edilen fosil yakıtlara olan güvenlerini azaltmalarına olanak tanıyan iç enerji tedariğinin güvenliğini sağladığı,
- Yenilenebilir enerji yatırımcıları için yatırım güvenliği ve garantisi sunduğu,
- Teknolojik yeniliği teşvik ettiği,
- Yenilenebilir enerji kaynakları için adil bir rekabet ortamı sağladığı ancak tarifenin etkili bir şekilde tasarlanmadığı durumlarda yoğun sübvansiyonlu geleneksel enerji ile rekabet edemeyeceği kanıtlanmıştır [33].

4.2 Tayvan Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları

Tayvan, ithal edilen enerji oranının %99.3'e çıkmasına bağlı olarak enerji güvenliğinde oldukça savunmasız bir durumdadır. Bu nedenle Tayvan enerji politikası yönünü; ekonomik kalkınma, enerji güvenliği ve çevre koruma üzerinde kurmak için enerji planında yenilenebilir enerjinin gelişimini hızlandırmaya ihtiyaç duyacaktır. 2000 yılından bu yana, rüzgar enerjisi üretim sistemi kurulumunu teşvik etmek için rüzgar enerjisi uygulamaları ile ilgili yasaları, düzenlemeleri ve sübvansiyon operasyonlarını yürürlüğe koymuş ve uygulamıştır [34].

2008 yılında "Sürdürülebilir Enerji Politikaları İlkeleri" beyanı ile sürdürülebilir bir enerji geliştirme süreci için 3E (Energy, Environmental ve Economy) (Enerji, Çevre ve Ekonomi)'nin kalkınma hedeflerini dengeleme ihtiyacına işaret edilmiştir [34].

2009 yılında, yeşil enerji endüstrisini aktif bir şekilde tanıtmak ve gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarını artırmak için "Yeşil Enerji Endüstrisi Gün Doğumu Programı" uygulanmaya başlanmıştır [34].

2012 yılında "Bin Rüzgar Türbini Projesi"'nin desteklenmesi ile 2030 yılına kadar toplam kurulu güç kapasitesinin % 16,1'i kadarını (12.502 MW) yenilenebilir enerjiden üretmeyi hedeflemektedir. "Bin Rüzgar Türbini Projesi"'nin belirtilen hedeflerine göre Tayvan 2020 yılına kadar 450 adet onshore 2030 yılına kadar 600 adet offshore rüzgar türbini kurarak toplam 4.200 MW kurulu kapasiteye ulaşmak hedeflemektedir. Ancak 2014 verilerinde Tayvan bu hedeflerinin gerisindedir [34].

"Enerji Endüstrisinin Teknik Beyaz Kitabı"'nda, küçük ölçekli rüzgar enerjisi endüstrisinin gücünün gelişiminin önemli ve istikrarlı bir büyüme gösterdiği dikkat çekicidir. Son yıllarda dünya çapında yıllık ortalama büyüme oranı % 26,4 olmuştur [34].

ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL), küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin toplam rüzgâr enerjisi pazarının %11-33'ünü 2020 yılına kadar karşılayabileceğini tahmin etmektedir [34].

Tayvan'da 10 kW altındaki küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin genel endüstrisi olgunlaşmıştır ve büyük bir gelişme potansiyeline sahiptir [34].

Tayvan'daki 20'den fazla sistem tedarikçisi seri üretim için 10 kW'ın altında ticari küçük ölçekli rüzgar türbini geliştirmiştir. 10 kW'ın altındaki rüzgar türbinleri, şu anda

Birleşik Krallık ve ABD'de en yaygın kullanılan türdür. Tayvan'ın küçük ölçekli rüzgar türbini endüstrisinin gelişimi küresel trend'e uygun olarak adım adım ilerlemektedir [34].

4.3 Yeni Zelanda Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları

Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politikası 2011'de küçük ölçekli rüzgar türbinine ait ve genel olarak yenilenebilir enerji sistemlerine ait teşvikler aşağıdaki şekildedir [35]:

POLİTİKA B

Karar merciileri aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmelidir:

- Mevcut yenilenebilir elektrik üretim faaliyetlerinden üretiminin sürdürülmesi için varlıkların, işletme kapasitesi ve yenilenebilir enerji kaynağının sürekli kullanılabilirliğinin korunması gerekir;
- Mevcut yenilenebilir elektrik üretim faaliyetlerinin üretimindeki küçük düşüşler bile kümülatif olarak ulusal, bölgesel ve yerel yenilenebilir elektrik üretimi üzerinde önemli olumsuz etkilere sahip olabilir;
- Yeni Zelanda Hükümeti'nin yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretimine yönelik ulusal hedefini karşılayan veya aşan yenilenebilir elektrik üretim faaliyetlerinin önemli ölçüde geliştirilmesini gerektirecektir [35].

POLİTİKA C1

Karar merciileri aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmelidir:

- Yenilenebilir enerji kaynağının mevcut olduğu yenilenebilir elektrik üretim faaliyetlerini tespit etme ihtiyacı,
- Yenilenebilir elektrik üretim faaliyetlerinin geliştirilmesi, yükseltilmesi, işletilmesi veya sürdürülmesi ile ilgili lojistik veya teknik pratikler,
- Yollar, navigasyon ve telekomünikasyon yapıları ve tesisleri, dağıtım ağı ve yenilenebilir elektrik üretim faaliyeti ile ilgili ulusal şebeke dahil olmak üzere, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere mevcut yapıların ve altyapının yeri ve yenilenebilir elektrik üretimi faaliyetinin ulusal şebekeye bağlanma ihtiyacı,

- Tamamlayıcı ve maliyet azaltma fırsatları için operasyonel ihtiyaçlara izin veren dizayn parametreleri, ve
- Adaptif yönetim önlemleri [35].

POLİTİKA E3

Bölgesel politika bildirimleri ve bölgesel ve yerel planlar, yeni ve mevcut rüzgar enerjisi üretimlerinin bölgesel veya yerel olarak uygulanabilecek ölçüde geliştirilmesini, işletilmesini, bakım yapılabilmesini ve iyileştirilmesini sağlamak için hedefler, politikalar ve yöntemler (planlar dahilindeki kurallar dahil) içermelidir [35].

2050 politikası

Dağıtılmış üretim, kullanılacağı noktaya yakın bir yerde elektrik üreten veya iletim gerilim yerine dağıtımda yerel bir ağ aracılığıyla diğer tüketicilere elektrik sağlayan geniş bir teknoloji yelpazesine atıfta bulunmaktadır [36].

Dağıtılmış üretim sürdürülebilir enerji geleceğine katkıda bulunabilir:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması veya kojenerasyonlu fosil yakıt sistemlerinin kullanılması büyük ölçekli elektrik üretimi şekillerinden daha verimli kullanımdır,
- Elektrik arzını daha çeşitli ve coğrafi olarak dağıtılmış hale getirmek,
- Yerel ağların daha güvenilir ve esnek hale getirilmesi ve yoğun talep dönemlerinde (sadece bazı dağıtılmış üretim durumunda) gerilim desteği veya yük sağlayarak gelecekteki şebeke yatırımlarının potansiyel olarak ertelenmesi,
- İletim ve dağıtım enerji kayıplarını azaltarak elektrik sisteminin enerji verimliliğini arttırmak [36].

Şebekeye uzak topluluklar için, dağıtılmış üretim ayrıca dağıtım ağlarına bağlı olmaktan daha uygun maliyetli olabilir [36].

Dağıtılmış üretim ve küçük ölçekli üretim, kısa ve orta vadede büyümeyi sınırlayabilecek zorluklarla karşı karşıyadır. Bazı teknolojiler, özellikle yerel ölçekte, teknolojik veya ticari olarak olgunlaşmamışlardır ve geleneksel elektrik talep

biçimleriyle maliyet konusunda rekabet edemezler. Dağıtılmış üretim ve küçük ölçekli üretimin kullanımı için bazı pazar engelleri bulunmaktadır [36].

Dağıtılmış üretimin yaygın olarak alınmasının ve yerel dağıtım ağları için küçük ölçekli üretimin güvenilirlik ve güvenlik etkilerini belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [36].

Akıllı ya da gelişmiş ölçüm ile birleşmiş ev ölçekli dağıtılmış üretim, güç talebini konut seviyesine kadar yönetmek için akıllı ağlar geliştirmeye yönelik bir adımdır. Akıllı sayaçlar, dağıtılmış üretim ihracatının daha doğru zamana dayalı değerlendirmesini mümkün kılacak ve perakendeciler için dağıtılmış üretim ölçümü maliyetini azaltacaktır [36].

Hükümet, Yeni Zelanda Enerji Verimliliği ve Koruma Stratejisi (New Zealand Energy Efficiency and Conservation Strategy) aracılığıyla dağıtılmış ve küçük ölçekli üretimin önündeki engelleri ele almaya çalışacaktır [36].

Yeni Zelanda enerji piyasası ile ilgili yasal düzenlemeler Ekonomik Kalkınma Bakanlığı ve Çevre Bakanlığı tarafından geliştirilen hükümet politikaları tarafından belirlenmektedir. Yeni Zelanda enerji piyasası düzenlemesi Enerji Otoritesi (Energy Authority) tarafından yürütülmektedir. Enerji Otoritesi sistemden, piyasa işletim ve yönetiminden, elektrik planlaması ile gönderilmesinden ve Enerji Otoritesi tarafından geliştirilen elektrik kodları ve düzenlemelerine uygunluğunun bakım ve güvencesinden sorumludur. Enerji sektörü için iki ana yöntem (yasal olmayan strateji), "Yeni Zelanda Enerji Stratejisi" ve "Yeni Zelanda Enerji Verimliliği ve Koruma Stratejisi Taslakları"'dır [37].

"Yeni Zelanda Enerji Stratejisi 2050" ve "Yeni Zelanda Enerji Stratejisi Taslağı" yasal bir belgedir. Yeni Zelanda'nın ekonomisinde enerjinin rolüne yön verir. Hedeflerinden biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının 2025 yılına kadar %90'a çıkarılmasıdır [37].

"Yeni Zelanda Enerji Verimliliği ve Koruma Stratejisi Taslağı 2010" enerji stratejisinin yanı sıra sonraki 5 yıl boyunca Yeni Zelanda'da enerji verimliliği, enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmektedir. Bu yasal planlama belgesi, Enerji Verimliliği ve Korunması Yasası kapsamında geliştirilmiştir. Yeni Zelanda Enerji Stratejisi diğer amaçların yanı sıra küçük ölçekteki yenilenebilir elektrik üretimine yönelik engelleri kaldırmayı da hedeflemiştir. Yeni Zelanda Enerji

Stratejisi sorunların nasıl kaldırılacağına ve yenilenebilir enerji üretim yöntemlerinin payını artırma yollarının nasıl teşvik edileceğine dair çok fazla ayrıntıya girmeden engelleri belirsiz bir şekilde ele alıyor. Yeni Zelanda Enerji Verimliliği ve Koruma Stratejisi Taslağı ayrıca engelleri ve dağıtılmış üretimi teşvik etmenin bazı yollarını da ele almaktadır(2010) [37].

Yenilenebilir elektrik üretimini küçük ölçekte teşvik eden ilk yasal politika aracı olan Yenilenebilir Enerji Üretimi için Ulusal Politika Bildirgesi'ni 2011 yılında yürürlüğe koyması üç buçuk yıl sürmüştür [37].

Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politikası 2011

"Yenilenebilir Elektrik Üretimi 2011" Yeni Zelanda'da yenilenebilir elektrik üretiminin sürdürülebilir yönetimini teşvik etmek için hedefler ve politikalar ortaya koymaktadır. Hedefi, yenilenebilir elektrik üretiminin ulusal önemini tanımak; yeni ve mevcut yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin geliştirilmesini teşvik etmektir. Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politikası 2011, 14 Nisan 2011'de Gazete'de tebliğ edilmiş, 13 Mayıs 2011'de yürürlüğe girmiştir ve bu tarihten itibaren bölgesel ve yerel otoriteler için yasal olarak bağlayıcı hale gelmiştir [37].

Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politika Bildirimi'nin yayımlanmasından önce, yerel yönetimler planlarında yenilenebilir enerji üretimini özel olarak ele almak zorunda değillerdi ve bir izin makamından kaynak onayı almak zorunda olduklarında bu genellikle maliyetli ve zaman açısından yoğun bir süreçle sonuçlanmaktaydı (Özellikle yerel olarak karşı çıkanlar çok olduğunda). Küçük ölçekli rüzgar üretiminde birçok potansiyel yatırımcı için bu temel engellerden biri olmuştur [37].

Bölgesel ve yerel yetkililer yenilenebilir üretime ve özellikle dağıtılmış üretime yönlendirme yapmak için yasal olarak bağlıdır. Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politika Bildirimi hedeflerini ve politikalarını, Kaynak Yönetimi Yasası 1991'in 55. bölümünde belirtildiği gibi bölgesel ve yerel planlara dahil etmek zorundadırlar. F maddesine göre, Bölgesel Politika Bildirileri ve bölgesel ve yerel planlar tarafından küçük dağıtılmış yenilenebilir elektrik üretiminin etkinleştirildiğinden açıkça bahseder. Bölgesel ve yerel otoriteler Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politika Bildirimi'ni kendi politikalarına ve planlarına 24 ay içinde entegre etmelidirler (12 Mayıs 2013'e kadar) [37].

Şu andan itibaren planlar izin verilen veya kontrol edilen belirli bir kapasiteye kadar dağıtılmış yenilenebilir enerji üretimini içerebilir ve Barry ve Chapman'a (2009) göre küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin onay sürecini kolaylaştırmak türbin kurulma potansiyelini artıracaktır. Bu rüzgar türbinleri için örneğin, türbinin ekonomik bir yüksekliğe monte edilmesi için direklerin montajı Kaynak Yönetimi Yasası 1991 kapsamında izin verilen bir faaliyet olabilir ve türbinlerden gelen gürültü emisyonlarına belirli bir seviyeye kadar izin verilebilir [37].

Daha etkin bir yaklaşım olan ancak daha fazla izin gerektirmeyen bir diğer faaliyet ise küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin kontrollü faaliyet olarak sınıflandırılması olacaktır. Başvuru sırasında kaynak onayı alınmalı ve izin makamı izne tabi şartları uygulatabilmelidir. Kısıtlamalar sadece ilgili planlar veya ulusal çevre standartları ile ilgili izin veren makamın kontrolünde olacaktır [37].

Küçük ve mikro ölçekli rüzgar türbini sistemleri yatırımcıları için ana engellere ait bulgular şunlardır [37]:

- Yerli rüzgar enerjisi projeleri için çoğu yer planlama prosedürü oldukça basittir. Küçük ve mikro rüzgar türbinleri için bir kaynak onayı almak çok fazla zorluk taşımamaktadır,
- Ancak, çoğu durumda kaynak izinleri hala gerekli olduğundan, tüm planlama süreci önemli ölçüde daha fazla zaman ve maliyet açısından yoğunlaşmaktadır. Genellikle binlerce dolarlık başvuru ücretleri ve bir kaynak izin başvurusunda çevre etki değerlendirmesinin dahil edilmesi gerekliliği, proje maliyetlerini artırmaktadır,
- Küçük rüzgar türbinlerinin yerel elektrik şebekesine bağlanması için başka gereksinimler bulunmaktadır. Bu konu ile alakalı genellikle maliyetlere ve bilgiye erişilememektedir veya çok zor erişilebilmektedir, bu sebeple de özel yatırımcılar danışman veya asistan hizmetlerine ihtiyaç duyarlar,
- Yeni Zelanda Hükümeti, Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politika Bildirimi 2011'deki yenilenebilir enerji kaynaklarına verdikleri desteği açıkça belirtmiş olsa da, genel politika ve planlama süreçleri hala entegre ve basit olmaktan uzaktır. İlgili hükümet organları, mevzuat, yasal çerçeveler, yasal planlama araçları, teknik gereklilikler, yönetmelikler ve yönetmeliklerle baş edebilmek için çok fazla sayıda yetkili makam vardır ve geniş bir bilgi tabanına

ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer birçok ülkede olduğu gibi tüm bunları kapsayan bir makam veya devlet organı, yenilenebilir enerji üretiminin entegrasyonunu iyileştirecek, yer seçimi ve diğer planlama konularında daha fazla rehberlik sağlayacaktır,

- Devlet sübvansiyonlarının, fonlama planlarının veya özel kredilerin eksikliğinin yanı sıra şu anda mevcut ekonomik teşvik de bulunmamaktadır,
- Bölgesel ve yerel otoriteler Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politika Bildirimi hedefine ve politikalarına etki etmeye zorlandıkları için küçük ölçekli dağıtılmış yenilenebilir üretim sistemlerinin entegrasyonu ile ilgili olarak onay makamlarının nasıl bir anlaşma yapacağı beklenmektedir [37].

4.4 Çin Halk Cumhuriyeti Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları

Çin Halk Cumhuriyeti'nde yenilenebilir enerji kanununda yapılan son düzenleme (26 Aralık 2009 Onbirinci Ulusal Halk Kongresi Daimi Komitesi ondördüncü toplantısı uyarınca "28 Şubat 2005 Yenilenebilir Enerji Yasasının Çözümü"'nde yapılmıştır) 1 Nisan 2010'da yürürlüğe girmiştir. Bu düzenleme kapsamında küçük ölçekli yenilenebilir enerji sistemleri adına şu değişiklikler yer almaktadır [38]:

- Yenilenebilir Enerji Kalkınma Fonu, bu yasanın 20 ve 22. maddelerinde belirtilen ücretlerdeki farkı telafi etmek için ve şu konuları desteklemek için kullanılır [38]:
    - Kırsal alanlarda yenilenebilir enerji kullanımı projelerini,
    - Uzak bölgelerde ve adalarda yenilenebilir enerji için bağımsız güç sistemlerinin kurulmasını,
    - Yenilenebilir enerji kaynakları arama, değerlendirme ve ilgili bilgi sistemi inşaatı,
    - Yenilenebilir enerji geliştirme ve kullanım ekipmanlarının yerel üretimini teşvik etmek [38].
- İlgili yasa değişikliğinin 15. maddesi kapsamında devlet yerel üretim ve yaşam için elektrik hizmetleri sağlamak amacıyla elektrik şebekesinin ulaşmadığı

alanlarda şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji sistemlerinin inşasını destekleyecektir [38].

- İlgili yasa değişikliğinin 18. maddesinde de belirtildiği üzere devlet kırsal alanlarda yenilenebilir enerjinin geliştirilmesini ve kullanılmasını teşvik edecek ve destekleyecektir. Enerji sektörünün ilçe düzeyindeki yönetimleri, yerel ekonomik ve sosyal kalkınma, ekolojik koruma, sağlık ve diğer ihtiyaçların kapsamlı yönetimi kapsamında fiili duruma göre ilgili birimlerle birlikte çalışarak kırsal alanlarda yenilenebilir enerji geliştirme planı ile biyogaz ve diğer biyokütle kaynaklarının, dönüşüm, ev güneş enerjisi, küçük rüzgar enerjisi, küçük hidroelektrik ve diğer teknolojilerin kullanımını teşvik edecektir. Ülke düzeyindeki veya eyalet düzeyindeki hükümetler kırsal alanlarda yenilenebilir enerji kullanımı projeleri için mali destek sağlayacaktır [38].

Yasadaki bu değişikliklerden sonra 11 Mart 2011'de Çin Halk Cumhuriyeti Konut ve Kent-Kırsal Kalkınma Bakanlığı tarafından "Yenilenebilir Enerji Binalarının Uygulanmasının Teşvik Edilmesine İlişkin Konut ve Kentsel Kırsal Kalkınma Bildirisi" yayınlanmıştır. Bu bildiri kapsamında [39]:

- Yenilenebilir enerji için bina uygulamalarının kentsel gösterimi ve kırsal alanlarda ilçe düzeyinde gösteriler daha da güçlendirilecektir,
- On ikinci beş yıl döneminde, Maliye Bakanlığı, Konut ve Kentsel İnşaat Bakanlığı yenilenebilir enerji bina gösterilerini, ilçe, şehir ve kırsal alanlarda uygulamaya devam edecektir,
- Yeni model şehirler ve ilçeler, yoğunlaştırılmış tanıtımın odak alanı içinde olmak üzere önceliklendirilecektir,
- Yenilenebilir enerji bina uygulamaları geliştirilmek için nitelikli yeşil enerji ilçeleri desteklenecektir,
- Yerel yönetimler zorunlu tanıtım politikaları yayınlamaya teşvik edilecektir,
- Yerel tanıtım ve destek departmanları yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek ve etkisini artırmak için çalışma yürütecektir,

- Endüstriyi teşvik etmek ve fonksiyonel avantajlar sağlamak için yenilenebilir enerji uygulamaları sanayi teknik standartlarının geliştirilmesini hızlandırmak için çalışmalar yürütülecektir,
- Kamu ve hizmet sektörlerinde, kentsel ve kırsal altyapı ve diğer alanlarda temiz enerji kaynaklarının daha fazla kullanımı teşvik edilecektir. Devlet kurumları gibi kamu kurumlarında yenilenebilir enerjinin kullanımını aktif olarak teşvik edilecek ve gösteriye dayalı etkilere önem verilecektir,
- Yenilenebilir enerji teknoloji gelişimini artırmak için destekler artırılacak ve ilgili endüstrilerin daha büyük ve güçlü endüstriler ile temel rekabet gücünü artırmaya yönelik çalışmalar yürütülecektir. Örneğin yeni yenilenebilir enerji teknoloji uygulamaları ülke çapında gösterilecek ve merkezi hükümet sübvansiyonları artırılacaktır,
- Araştırma enstitüleri teşvik edilecektir. İşletmelerin yenilenebilir enerji inşaat projeleri, teknoloji merkezi projeleri, sanayi yenilenebilir enerji entegrasyonu projelerine, ortaklaşa kurulmuş teknik araştırma ve geliştirme merkezlerine destek arttırılacaktır. Bu konular için hükümet özel fon ayıracaktır. Bunlar sübvanse edilecek ve yenilenebilir enerji artırma uygulama ürünleri, ekipman performans test ajansları ve bina uygulama etki testi ve değerlendirme ajansları gibi kamu hizmet platformlarının inşası desteklenecektir,
- Sektörde rasyonel rekabeti teşvik etmek amacıyla, Konut ve Kentsel İnşaat Bakanlığı ve Maliye Bakanlığı tarafından geliştirilecek ekipman tavsiye listesi oluşturulacaktır. Konut ve Kentsel İnşaat Bakanlığı ve Maliye Bakanlığı tarafından hazırlanacak olan katalogda teknolojik ilerleme, endüstriyel gelişme, yeniden yapılanma ve geliştirmeyi teşvik etmek esas alınacaktır,
- Yenilenebilir enerji uygulamalarının yapılacağı şehir ve ilçe yönetimleri, yenilenebilir enerji uygulamalarının etkilerini değerlendirmek için özel enerji verimliliği değerlendirme kuruluşlarını görevlendirecektir,
- Tüm yerleşim yerleri doğrudan kaynak değerlendirme, profesyonel tasarım, mühendislik danışmanlık, sistem entegrasyonu ve diğer destekleyici sektörlerle ilgili yenilenebilir enerji uygulamalarının yapımını teşvik için çalışmalar yürütecektir. Sanayi destekleme kapasitesini geliştirici uygulamalar artırırılacaktır,

- Yerel finans departmanları desteklerini arttırarak; istikrarlı, sürekli bir finansman ve sermaye giriş mekanizması oluşturulması hedeflenmektedir [39].

Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu tarafından Kasım 2016'da yayınlanan Rüzgar Gücü Geliştirme "13. Beş Yıllık Plan"'a göre rüzgar gücünün yerel kullanım şeklini genişletmek için [40]:

- İletim ve dağıtım fiyatlarındaki reform ve güç satış tarafının reformu birleştirilerek ve dağıtılmış rüzgar gücüne uygun piyasa kaynağı organizasyon formu, kâr modeli ve iş yönetim modeli aktif olarak araştırılacak,
- Rüzgar gücünün dağıtılmış gelişimi ve uygulaması desteklenecek,
- Küçük rüzgar gücü kaynaklarının kullanımını keşfetmek için rüzgar ve güneş enerjisi depolama için ve tamamlayıcı yeni enerji mikrogüllerin yapımı için teşvik oluşturulacaktır [40].

Çin'de, 2020 sonrası rüzgar enerjisinden üretilen enerjide keskin bir artış olmaya devam edeceği öngörülmektedir. Bu artışta dağıtılmış rüzgar enerjisi rolünün de Çizelge 4.1'deki gibi olacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.1 : Doğu ve Orta Çin'de dağıtılmış rüzgar gelişimi ve hedefleri [41].

	2010	2020	2030	2050
Kapasite (GW)	7,43	25	50	70

4.5 Amerika Birleşik Devletleri Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları

Amerika Birleşik Devletleri'nde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini destekleyen politikalardan bazıları şu şekildedir [42]:

- Yatırım Vergi Kredisi (Investment Tax Credit, ITC): Vergi kredisinin üretilen elektrik yerine yatırım yapılan miktara dayalı olarak alınmasını sağlar. Güneş enerjili su ısısı, güneş ısısı, güneş ısıl enerjisi, fotovoltaikler, çöp gazı, rüzgar, biyokütle, hidroelektrik, jeotermal elektrik, yakıt hücreleri, jeotermal ısı pompaları, belediye katı atıkları, güneş hibrid aydınlatması, hidrokinetik güç (yani akan su), anaerobik sindirim, küçük hidroelektrik, gelgit enerjisi, dalga enerjisi, okyanus termal, yenilenebilir yakıt kullanan yakıt hücreleri, mikrotürbinler ve jeotermal sistemleri doğrudan kullanımı için bir teşviktir.

Güneş enerjisi, yakıt hücreleri ve küçük rüzgar türbinleri için teşvik miktarı %30'dur [42].

- Değiştirilmiş Hızlandırılmış Maliyet Kurtarma Sistemi ve Bonus Amortismanı: Beş yıllık hızlandırılmış amortisman planı kağıt üzerinde daha fazla kayıp anlamına gelir, vergileri azaltır. Tüm yenilenebilir enerji sistemleri kapsama dahildir. Teşvik miktarı vergi durumuna bağlı olarak değişir [42].
- Konut Yenilenebilir Enerji Vergi Kredisi: Krediden faydalanabilecek olan sistemler güneş enerjisi sistemleri, güneş fotovoltaik sistemleri, jeotermal ısı pompaları, rüzgar (küçük) sistemleri, yenilenebilir yakıtlar kullanan yakıt hücreleri sistemleridir. Şubat 2018 de imzalanan "2018 İki Partili Bütçe Yasası" kapsamında yakıt hücreleri, küçük rüzgar ve jeotermal ısı pompaları için vergi kredisi yenilenmiştir. Tüm teknolojiler için vergi kredisine kademeli olarak başlanmıştır [43].

  Bir vergi mükellefi, ABD'de yerleşik ve vergi mükellefinin ikamet ettiği yer olarak kullanılan bir konut birimine hizmet veren bir sistem için nitelikli harcamaların %30'unu kredilendirebilir. Ekipman ile ilgili harcamalar kurulum tamamlandığında yapılmalıdır. Kurulum yeni bir evde ise hizmete girdiği tarih, ev sahibi tarafından ikamet tarihidir. Harcamalar yerinde hazırlık, montaj veya orijinal sistem kurulumu için işçilik maliyetlerini ve sistemi eve bağlamak için boru tesisatını veya kablo tesisatını içerir. Azami izin verilen kredi, ekipman gereksinimleri ve diğer detaylar teknolojiye göre değişmektedir [43].

  Küçük rüzgar enerjisi sistemi için:

  - 12/31/2019 tarihine kadar hizmete girecek sistemler için %30,
  - 12/31/2019 tarihi sonrası ve 01/01/2021 tarihi öncesi hizmete girecek sistemler için %26,
  - 12/31/2020 tarihi sonrası ve 01/01/2022 tarihi öncesi hizmete girecek sistemler için %22,
  - 2008'den sonra hizmete giren sistemler için maksimum kredi yoktur,
  - Sistemler, 31 Aralık 2021 tarihinden önce veya 1 Ocak 2008 tarihinden daha sonra hizmete girmiş olmalıdır,

- Sistem tarafından sunulan ev vergi mükellefinin ana ikametgahı olmak zorunda değildir [43].

- Yüksek Enerji Maliyeti Hibe Programı: Hibeden faydalanabilecek sistemler güneş ile su ısıtma sistemleri, güneş termal elektrik sistemleri, güneş fotovoltaik sistemler, rüzgar (tümü) sistemleri, biyokütle sistemleri, hidroelektrik sistemler, rüzgar (küçük) sistemleri ve hidroelektrik (küçük) sistemlerdir (Bu program için en son talep 14 Aralık 2015'te sona ermiştir.) [44].

- Amerika için Kırsal Enerji Programı Yenilenebilir Enerji Sistemleri ve Enerji Verimliliği İyileştirme Kredileri & Hibeler: Bu programın amacı yenilenebilir enerji sistemleri (Biyokütle (biyodizel, etanol, anaerobik çürütücüler ve katı yakıtlar vb.), elektrik üretimi veya doğrudan kullanım için jeotermal, 30 MW altında hidroelektrik, hidrojen sistemleri, küçük ve büyük rüzgar sistemleri, küçük ve büyük güneş sistemleri, okyanus (gel-git, akım, termal) sistemleri için) veya enerji verimliliği iyileştirmeleri yapmak için tarımsal üreticilere ve kırsal küçük işletmelere garantili kredi finansmanı ve hibe finansmanı sağlamaktır [45].

  Tarımsal faaliyetlerden en az %50 brüt gelir elde eden tarımsal üreticiler ve uygun kırsal alanlardaki küçük işletmeler bu programdan faydalanabilirler (Tarımsal üreticilerin ve küçük işletmelerin ödenmemiş veya ihmalleri olmamalıdır) [45].

  İşletmeler 50.000'den fazla nüfuslu şehir veya şehrin kentleşmiş alanı olan bir şehir veya kasaba dışında bir alanda olmalıdır. Tarım üreticileri kırsal veya kırsal olmayan alanlarda olabilir [45].

  Yatırımcılara toplam uygun proje maliyetlerinin %25'ine karşılık gelen hibeler ve toplam uygun proje maliyetlerinin %75'ini karşılayan birleşik hibe ve kredi garantisi verilmektedir. Kredi için garanti şartları şu şekildedir [45]:

  - Minimum 5.000 ABD doları kredi,
  - 25 milyon ABD doları maksimum kredi tutarı,
  - %85'e kadar kredi teminatı,

- Şartlar ve oran borç veren ile Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı arasında görüşülecektir,
- Gayrimenkul için maksimum süre 30 yıldır,
- Makine ve ekipman için maksimum 15 yıldır,
- Sermaye kredileri için maksimum 7 yıl ve,
- Kombine gayrimenkul ve ekipman kredileri için 30 yıllık azami süre verilmiştir [45].

Hibe için garanti şartları şu şekildedir:

- En az 1,500 ABD doları,
- Maksimum 250.000 ABD dolarıdır [45].

Bunun dışında başvuru sahipleri sadece hibe başvurusunda bulunacaklarsa proje maliyetinin en az %75'ini sağlayacak durumda olmalıdırlar ve kredi başvurusu veya kredi ve hibe kombinasyonu için başvuruda bulunacaklarsa, proje maliyetinin en az %25'ini sağlayabiliyor durumda olmalıdırlar [45].

200.000 ABD doları'nın üzerindeki projeler için teknik bir rapor gereklidir [45].

4.6 İran Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Rüzgar Enerjisi Çalışmaları

Araştırma kapsamında ülkenin farklı bölgelerindeki anemometre istasyonlarının verileri toplanarak coğrafi ve iklim koşulları dikkate alınarak İran konut enerji sektöründeki rüzgar enerjisi kullanımı incelenmektedir. Ayrıca, farklı yönetilebilir değişkenler, elektrik satış fiyatı ve rüzgar enerjisi gelişimi için önemli olan alım garantili tarife (Feed-In Tariff) gibi göstergeler incelenmektedir. Son olarak finansal ve ekonomik göstergeler ve rüzgar hızı gibi doğal göstergeler için farklı belirsizliklere göre çeşitli hassasiyet analizleri yapılmış ve bu analizler sonucunda; kullanımın en ekonomik olabileceği ve farklı bölgelerdeki uygun minimum rüzgar hızı ortalaması için minimum uygulanabilir kapasite belirlenmiştir. Minimum ortalama rüzgar hızı uygun bölgeyi seçmek için referans olarak kullanılabilir. Ayrıca, rüzgar türbinlerinin ekonomik kullanımı için farklı bölgelerde alım garantili tarifeler (FIT) araştırılmıştır [46].

Yıllık istatistiksel rüzgar verileri SUNA'dan (İran'ın Yenilenebilir Enerji Örgütü) alınmıştır. Bu veriler MATLAB'e işlenerek ve bilginin doğruluğu ve yeterliliği esas alınarak nitelikli bölgeler seçilmiştir. Bu çalışma için 88 bölgenin verileri kullanılmıştır. Simülasyon yazılımı kullanılarak (HOMER Energy) analizler gerçekleştirilmiştir. Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilen bu modelleme aracı enerji dengesi analizine dayanmaktadır. Bu yazılım, hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı güç sistemleri için tasarım seçeneklerini değerlendirir. Programın optimizasyon ve duyarlılık analiz algoritmaları, çeşitli teknoloji seçeneklerinin ekonomik ve teknik fizibilitesinin değerlendirilmesini sağlar ve teknoloji maliyetlerinde ve enerji kaynaklarının kullanılabilirliğinde meydana gelen değişiklikleri dikkate alır [46].

Çalışmada, ülkenin farklı bölgeleri olan 88 bölge ele alınmış ve bu bölgelerin 10 dakika periyotlu rüzgar hızları kullanılmıştır. Her bölgenin verilerine ilişkin istatistiksel analizler yapılmıştır. Rüzgarlı bölgelerin çoğu ülkenin kuzey kesiminde yoğunlaşmıştır. Bu bölgeler arasında, 10,12 m/s ortalama ile Khaf, 7,95 m/s ortalama ile Ahar ve 7,46 m/s ortalama ile Khalkhal yıllık rüzgar hızının en yüksek olduğu kesimdir. 2,36 m/s ortalama ile Joyom, 2,63 m/s ortalama ile Kelardasht ve Nahavand 2.87 m/s ortalama ile en düşük yıllık rüzgar hızlarına sahip olan bölgelerdir [46].

İncelenen güç talebi, şebekeye bağlı bir konut yükü olarak kabul edilir. Bu yükün yıllık günlük ortalamaları 5, 7 veya 10 kWh'e eşit kabul edilir. İran'ın farklı bölgelerindeki hava şartlarına bağlı olarak güç talebi farklıdır. Güney bölgelerde yaz mevsimi sıcaktır ve bu nedenle soğuk havaya olan talep artmaktadır, ancak kuzeyde, yaz daha ılımlıdır ve bu nedenle yük şeması daha pürüzsüzdür. Her bölgedeki hanelerin yük dağılımı o bölgedeki konut sektörünün yük modeline göre belirlenir [46].

Çalışmada sistemin enerji tedarikçisi rüzgar türbini ve elektrik şebekesi olarak kabul edilmiştir. Rüzgar türbini ana tedarikçi olarak kabul edilmiştir, bu nedenle rüzgar türbini tarafından üretilen enerji, birincil yükü karşılamak için kullanılır ve üretilen gücün fazlası elektrik şebekesine satılır. Öte yandan, elektrik kesintisi dönemlerinde elektrik şebekesinden gerekli enerji alınır [46].

1 kW'lık bir rüzgar türbini birincil türbin olarak kabul edilerek ve bu rüzgar türbini sayısı değişken kabul edilerek diğer rüzgar türbini kapasiteleri çalışması için

kullanılmıştır. Tespit edilen türbinin çalışmada kullanmak üzere güç eğrisi, gerekli girdileri ve spesifikasyonları belirlenmiştir [46].

Şebeke gücü fiyatı şebekeden güç alma maliyetidir ve alım garantili tarife (FIT), şebekeye satılan elektrik için alınan fiyattır. Alım garantili tarife planının merkezi ilkesi, yenilenebilir enerji sistemlerinden üretilen elektrik için belirli süreler (genellikle 15-25 yıl) ile garantili tarifelerin sağlanmasıdır. En başarılı tarife planlarında, sistem operatörleri yenilenebilir enerjilerin kurulumu için güç şebekesine öncelikli erişimi garanti etmekle yükümlüdür. Çoğu alım garantili tarife yasaları, üretim maliyetine dayanan ve teknoloji tipi, tesis büyüklüğü ve ara sıra lokasyona göre değişen bir sabit ödeme sunmaktadır. İran enerji bakanlığının en son direktifine göre, rüzgar enerjisinin alım garantili tarifesi, rüzgar türbininin ömrü boyunca değişken olarak kabul edildi. Bu direktif uyarınca, bir rüzgar türbininin ömrü iki kısma ayrılmaktadır: İlk on yıl, tarife kWh başına 0,16 $ olarak kabul edilir ve yıllık olarak ekonomik koşullara göre ayarlanır. İkinci on yılda, yıllık olarak ayarlanan tarife, ilk on yılın kapasite faktöründen elde edilen 0,4 ile 1 arasında bir faktör ile çarpılmaktadır. Kapasite faktörü %40'a eşit veya daha büyükse, 0,4 ile çarpılır. Öte yandan, kapasite faktörü %20'den küçük ise, tarife 1 ile çarpılır ve %20 ile 40 arasında ise durumu ile orantılı bir faktör ile çarpılır. Çalışmada, alım garantili tarifenin sistemin tüm ömrü boyunca sabit olduğu varsayılmaktadır. İran'da şebeke güç fiyatının 0,017 $ olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca hesaplamalarda %5 ve %10 olarak 2 farklı faiz oranı kullanılmaktadır [46].

Çalışma sonuçlarına göre; farklı bölgelerde rüzgar türbinlerinin kullanımı konusunda çeşitli ekonomik sonuçlar elde edilmiştir [46].

Sonuçlar göstermektedir ki rüzgar hızının, %5 faiz oranında olması durumunda, rüzgar türbinlerinin düşük maliyetli kullanımı için 4,6 m/s yıllık ortalamanın potansiyel olarak iyi bir rüzgar hızı olabileceği görülmektedir. Öte yandan, %10 faiz oranında çalışma maliyetinin uygun olması için rüzgar hızlarının 6 m/s olması gerekmektedir. Sonuçlara göre, %5 faiz oranı ve 5 kWh günlük yükte, 28 bölge ekonomik olarak uygulanabilir durumdadır; Öte yandan, %10 faiz oranı ve 5 kWh günlük yükte, ekonomik olarak uygulanabilir bölgelerin sayısı 14 bölgeye düşmektedir. Sonuçlara dayanarak (örneğin, 5 kWh yükteki faiz oranı %5 ila %10 arasındaki fark), rüzgar türbinlerinin maliyet etkin kullanımı üzerinde faiz oranının önemli bir etkisi olduğu ve bu nedenle daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca yük

farklılıklarının önemli bir fark teşkil etmediği de hesaplamalar sonucunda görülmüştür. Örneğin, %5 faiz oranında, 5 ve 7 kWh günlük yüklerin maliyet etkin kullanımı için bölgelerin sayısı 28 bölgedir, ancak bu sayı 10 kWh yükte 24 bölgeye düşmektedir [46].

Farklı koşullara sahip bölgelerin enerji maliyetleri (iki faiz oranı (%5, %10) ve üç talep (5 kWh, 7kWh ve 10 kWh)) incelenmiştir. Şebeke gücü fiyatının altındaki değer, sistem maliyetinin güç şebekesi maliyetinden daha yüksek olduğunu gösterir. Sonuçlara göre, ortalama rüzgar hızında bir artış, enerji maliyetinde bir düşüşe ve kullanıcılar için gelir artışına neden olmaktadır. Talep edilen enerjideki değişim enerji maliyetini çok efektif olmasada etkiler. Bu çalışmanın sonuçları ortalama rüzgar hızındaki bir artışın türbinin minimum kapasitesini azalttığını ve geliri artırdığını göstermektedir. Ayrıca, asgari rüzgar türbini kapasitesindeki düşüş, sistem ilk maliyetini azaltmaktadır [46].

Genel olarak, ortalama rüzgar hızı arttığında minimum kapasite azalır. Minimum ekonomik kapasiteler ortalama rüzgar hızlarından ve rüzgar dağılımından etkilenir. Rüzgar türbinlerinin en iyi kapasitesi bölgelerin koşullarına göre belirlenir. Çalışma sonuçlarına göre, 3 kWh'e eşit veya daha az kapasiteye sahip rüzgar türbinlerinin farklı koşullar altında uygun maliyetli kullanım için en uygun rüzgar türbinleri olduğu görülmektedir. Bu kapasiteler ekonomik olarak en uygun olarak belirlenen bölgelerde uygulanabilir [46].

Ekonomik olarak uygun bölgelerde şebeke gücü fiyatı mevcut fiyattan daha az olsa bile, rüzgar türbinleri bu bölgelerde maliyet bakımından yeterli olacaktır. Öte yandan, uygun olmayan bölgelerde rüzgar türbininin daha ekonomik olması için şebeke gücü fiyatı gerçek güç maliyetinden daha yüksek olmalıdır. Bu durumda şebeke gücü fiyatlandırması maliyet analizine büyük bir katkıda bulunmamaktadır [46].

Alım garantili tarifeler, değişikliği destekleyici politikalara ve yürütülebilir programlara bağlı olan değişken bir parametredir. Sonuçlara göre, bu değişikliklerin rüzgar türbinlerinin uygunluğu üzerinde önemli etkileri vardır. 0,06 $ ile 0,26 $ arasında değişen değişiklikler dikkate alınmaktadır. Bazı bölgelerde, uygun maliyetli kullanım için, tarife 0,16 $'dan yüksek ve diğer bölgelerde ise, 0,16 $'dan düşük olsa bile, rüzgar türbinleri yine de etkin olacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi, İran'ın tüm bölgelerinde rüzgar enerjisi ile ilgili tarifeler eşittir. Çalışma sonuçları göz önünde

bulundurularak, tarifelerin bölgeler bazında değiştirilmesi rüzgar türbinlerinin çekiciliğini artırmak için kullanılabilir [46].

Çalışma sonucunda rüzgar türbinlerinin İran'daki konut sektörü için potansiyel olarak uygun olduğu görülmektedir. İncelenen bölgeler arasında, bölgelerin yaklaşık %30'u (88 bölgeden 28'i) uygun maliyetli kullanım için iyi koşullara sahiptir. Alım garantili tarifelerin ve şebeke gücü fiyatının değiştirilmesi ile bölge sayısı artırılabilir. Şebeke elektriğinin rüzgar türbinlerinin maliyet etkinliğine önemli bir etkisi olmamasına rağmen, İran'da rüzgar enerjisi kullanımının geliştirilmesi için şebeke gücü fiyatındaki artış gibi etkili bir yöntem gerekmektedir. 3 kW kapasiteye eşit veya daha düşük rüzgâr türbinlerinin konut kullanımı için en uygun türbinler olduğu ve ekonomik olarak uygun bölgelerin çoğunda maliyet açısından uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca, ortalama rüzgar hızı 4 ile 6 m/s arasında olan bölgelerin maliyet-etkin kullanım için olası potansiyeller olabileceği, dolayısıyla bu konuda daha kesin fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Tüm bu çalışmalardan İran'ın konut enerji sektöründe rüzgar enerjisinin gelişmesi için uygun olduğu sonucuna varılabilir [46].

5. TÜRKİYE'NİN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNE AİT ENERJİ POLİTİKALARI

Ülkemizde, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik 02.10.2013 tarihli ve 28783 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yönetmeliğin ilk maddesinde de belirtildiği gibi bu yönetmeliğin amacı; Elektrik piyasasında 14/3/2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun 14 üncü maddesi kapsamında, tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarının tüketim noktasına en yakın üretim tesislerinden karşılanması, arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve etkin kullanımının sağlanması, elektrik şebekesinde meydana gelen kayıp miktarlarının düşürülmesi amacıyla lisans alma ile şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilecek gerçek veya tüzel kişilere uygulanacak usul ve esasların belirlenmesidir [47].

İlk maddeden de anlaşılabileceği üzere lisanssız elektrik üretiminin desteklenmesindeki temel sebepler incelemiş olduğumuz diğer ülkelerde de olduğu gibi arz güvenliğinin sağlanması ve iletim kayıplarının ortadan kaldırılmasıdır [47].

Yönetmelik kapsamında, belirli şartlarda lisans alma ve şirket kurma muafiyeti bulunmaktadır. Bu muafiyet, üreticiyi hem maliyet hem de prosedürlerin azaltılması anlamında teşvik etmektedir. Şirket kurma ve izin alma sürecinde oluşan maliyetler üreticilerin bu yatırımlara olan yaklaşımını olumsuz yönde etkilemekteydi. Küçük ölçekli sistem kurmak isteyen bir üretici için lisans başvurusu yapmak ve bu sürecin profesyonel olmayan bir üretici tarafından yönetilmesi çok zor olduğundan yönetmeliğin konu ile ilgili sağlamış olduğu muafiyet, bu yatırımların önünün açılmasına olanak sağlamıştır [47].

Aynı yönetmeliğin, ikinci bölümü yedinci maddesi uyarınca, şebekeye bağlantı yapabilmek için lisanssız üretimlere de ayrıca bir başvuru süreci oluşturumuştur. Yönetmeliğin bütününde de lisanssız üretim tesislerinin şebekeye bağlantısı ve üretilen fazla enerjinin satın alınması konusunda tanımlamalar oluşturulmuştur [47].

Yönetmelikte yerli ürün kullanımının desteklenmesi de yer almaktadır [47].

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun'da, (5346 sayılı Kanun) (7.madde) üretilen fazla elektriği satın alma yükümlülüğü bulunmaktadır. Bu maddede perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketlerinin lisanssız yenilenebilir enerji üretim tesislerinde üretilen fazla elektriği satın almakla yükümlü olduğu belirtilmektedir (sabit fiyat garantisi kapsamındaki fiyattan) [48].

Küçük ölçekli üretim sistemlerine yer veren bir diğer önemli, yayın Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'dır. 2014'te yayımlanan bu plan kapsamında da belirtildiği gibi lisanssız elektik üretim sistemlerinde bugüne dek yapılan önemli düzenlemeler 2011 yılındaki Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ve 2013 yılındaki Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'leridir [49].

Eylem Planı'nda konu ile ilgili alınacak önlemler şu şekilde belirtilmiştir:

- Prosedürlerin maliyetlerini düşürmek amacıyla lisanssız üretim için lisans ve izin prosedürlerinin gözden geçirilmesi ve farklı idari işlemler için sürelerin belirlenmesi,
- Yenilenebilir enerji kooperatifçiliğinin hayata geçirilmesi (Enerji kooperatifçiliği yoluyla lisanslı ve lisanssız üretimde finansmana kolay erişim ve ölçek avantajı sağlanabilmesi)
- İdari süreçlerin hızlandırılması ve mükerrerliklerin önlenmesi için orta vadede yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumuna ilişkin izin prosedürlerinde ve lisanssız üretim prosedürlerinde bir revizyon yapılması planlanmaktadır,
- Lisanssız üretim tesisleri için gerekli olan idari koşullardan bazıları, büyük tesisler için geçerli gereklilikler ile benzerdir. Örneğin; belediye ruhsatları, dağıtım şirketine bağlantı ve depreme dayanıklılık belgesi gibi belgeler hem lisanslı hem de lisanssız uygulama da gereklidir. Küçük ölçekli lisanssız uygulamalar ile 1 MW ölçeğindeki lisanssız uygulamalar arasında da gerekli izin ve belgeler arasında farklılık yoktur. Küçük ölçekli uygulamalar için idari prosedür ve maliyetleri hafifletici önlemlerin tasarlanması konusu da ele alınması planlanana önlemler arasındadır,
- Yenilenebilir enerji yatırımcılarının yaşamakta finansal destek sorunları bulunmaktadır. Aynı zamanda finansman sağlayıcılar tarafından istenilen teminatlar da sorun teşkil etmektedir. Türkiye, uluslararası finansal kuruluşlar

ile yenilenebilir enerji projelerine finansal garantilerin sağlanması amacıyla uygun mekanizmaların oluşturulması olasılığını analiz edecektir [49].

Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda bina sektörü ile ilgili umut vadedici bir madde olarak "bina sektöründe yenilenebilir enerjinin tahmini pay artışı bu bölüm yerine, yeni Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında sunulacaktır. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planının hazırlanması tahmini yenilenebilir enerjinin binalarda kullanımının yaygınlaştırılmasına ilişkin Türkiye'yi daha iyi bir duruma getirecektir." şeklinde bahsedilmiştir. Ancak 2017'de yayımlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda bu konuda bir çalışma olmamıştır [49].

6. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YERLEŞİM ALANLARINDA KULLANIMI VE ÖRNEK HESAP ÇALIŞMASI

6.1 Dağıtılmış Üretim Modeli

İhtiyaç duyulan elektrik üretiminin belirli bölgelerden değil, tüketime yakın bölgelerde hatta mümkünse tüketimin olduğu noktalarda yapılmasını hedefler. Yerleşim yerlerinde rüzgar türbinlerinin yaygınlaştırılması tam olarak bu konuya hizmet eder [50].

Dağıtılmış Rüzgar Nedir?

Teknik olarak bakıldığında, dağıtılmış rüzgar "arka plandaki" yani elektrik dağıtım sistemi altyapısının müşteri tarafında ve yerinde kullanılan rüzgar enerjisi üretimini ifade etmektedir. Dağıtılmış rüzgar sistemleri; evlerde, çiftliklerde, işyerlerinde veya kurumlarda bulunabilir. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığının Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Ofisine göre "Dağıtılmış rüzgar sistemleri; saha yükünü karşılamak, doğrudan şebekeyi desteklemek, yakınlardaki büyük yükleri dengelemek ya da şebeke operasyonlarını mikro şebekelerle karşılamak üzere elektrik sayacının müşteri tarafına bağlanır." Dağıtılmış rüzgar büyük rüzgar santrallerinde üretilen gücün, iletim hatları üzerinden trafolara aktarıldığı ve rüzgarın uzak yük merkezlerine ve son kullanıcılara dağıtıldığı büyük rüzgar çiftliklerinden (şebeke ölçekli rüzgar) farklıdır. Çoğu proje 50 kilowatt'tan (kW) daha küçüktür [50].

Genel olarak dağıtılmış rüzgar üç sınıfa ayrılmıştır:

- Küçük Rüzgar: 100 kW'a kadar türbinler,
- Orta Rüzgar: 101 kW ila 1 MW arasında değişen türbinler,
- Büyük Ölçekli Rüzgar: 1 MW'tan büyük türbinler [50].

Aynı zamanda enerji arzını çeşitlendirir ve enerji bağımsızlığını artırır. Küçük dağıtılmış rüzgar türbinleri, şahısları kendi güçlerini üretmeye zorlar. Çiftçilere önemli bir gelir artışı sağlayabilir. Dağıtılmış rüzgarın avantajlarına şunlar eklenebilir:

- Dağıtılmış rüzgar yeni iletim altyapısı gerektirmez ve yerel dağıtım şebekelerindeki mevcut kapasiteden faydalanabilir,
- Dağıtılmış rüzgar projelerinden elde edilen sosyal ve ekonomik faydalar yereldir,
- Şebekeye bağlı dağıtılmış rüzgar enerjisi sistemleri acil durum gücü sistemi olarak yapılandırıldığında hizmet ettikleri şebekeye; doğal afetler, büyük elektrik krizleri ve diğer acil durumlar sırasında elektrik sağlayabilirler [50].

Öte yandan dağıtılmış rüzgar çeşitli zorluklarla da karşı karşıyadır. Birçok yerde, dağıtılmış güneş enerjisi sistemlerine göre daha pahalıdır. Ve bu teknolojinin satışını ve kurulumunu yapan az şirket bulunmaktadır. Genellikle enerji politikası veya teşvik yoktur. Yine de bu alandaki en önemli engel, genellikle kısıtlayıcı yerel imar ve izinler olarak tanımlanmaktadır [50].

Dağıtılmış rüzgar enerjisi projelerini kolaylaştırmakla ilgilenen toplumlar, yerel yargı alanlarının kapsamlı plan ve imar kodlarını gözden geçirmelidir. Kapsamlı planın bir rüzgar enerjisi bileşeni içermemesi halinde, toplumlar belirli bir rüzgar enerjisi politikası benimsemelidir. Enerji üretim sistemleri ile ilgili olan mevzuat düzenlemelerinde rüzgar sistemleri türleri arasında ayrım yapmak önemlidir. Özellikle daha küçük ölçekli (örneğin 100 kW'dan daha az) dağıtılmış rüzgar üretimi, büyük endüstriyel rüzgar çiftliğinden daha kolay bir izin sürecine dahil edilmelidir (ki ülkemizde benzer bir sistem uygulanmaktadır). Dağıtılmış rüzgara kullanım olarak izin verilmesi ve yerel imar yönetmeliklerinde bu şekilde tanımlanması önemli bir etkendir. Bu sayede başvuru sahiplerine öngörülebilir bir süreç sunulmuş olur. Tüm yönetmelik gerekliliklerini karşılamayan yani sistemsel eksiklikleri bulunan durumlar için şartlı veya özel kabuller ile onay verilebilir [50].

Dağıtılmış rüzgar için bir imar düzenlemesi tasarlarken yerel yönetimler aşağıdaki konuları ele almak isteyebilirler:

- Estetik,
- Güvenlik (Gerileme ve yükseklik sınırlamaları) yetkisiz tırmanma,
- Ses,
- Dağıtılmış rüzgar ve yabani hayat,
- Türbin performans sertifikası gibi [50].

6.2 Alım Garantili Tarife (Feed-In Tariff (FIT))

Alım garantili tarife, yenilenebilir enerji üretim sistemlerinden elde edilen elektriğin şebekeye gönderilmesi karşılığında ödenmesi gereken birim fiyattır. Ülkelerin uyguladıkları tarifeler yenilenebilir enerji desteklerinin başında gelmektedir. Şebekeye basılan elektrik karşılığında devletin ödediği miktara bağlı olarak yatırım geri ödeme süreleri azalmaktadır. Geri ödeme süreleri az olan ülkelerde de yenilenebilir enerji sistemlerine yönelim artmaktadır.

Ülkemizde de alım garantili tarife bulunmaktadır. 25819 sayılı 18/5/2005 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 5346 no'lu "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"'da 6. maddede belirtildiği üzere Destekleme Mekanizmasına tabi olan üretim lisansı sahipleri için kanuna ekli cetvel gereği teşvikler bulunmaktadır. Rüzgar enerjisine yönelik olan sabitlenmiş fiyat 7,3 ABD $ cent/kWh'tir. Yerli üretime teşvik kapsamında ilaveten 3,7 ABD $ cent/kWh daha teşvik bulunmaktadır. Kanun kapsamında özellikle lisanssız veya küçük ölçekli gibi ibareler bulunmamaktadır ve ekstra bir teşvik veya fiyatlandırma çalışması bulunmamaktadır [48].

Örnek alım garantili tarifeler:

- Ermenistan küçük ölçekli rüzgar türbini (1 MW'a kadar olan): 20 yıllığına 0,088 USD / kWh. Tarifeler yerel para biriminde ödenir ancak (Amerikan doları) döviz kurundaki ve enflasyondaki değişimleri yansıtmak için her yıl düzenlenir [51],
- Mısır'daki bir tarife ise rüzgar santrallerinden üretilen elektrik için ($ / kWh olarak) çalışma saatlerine dayanmaktadır:
    - 2.500 - 3.000 saat arasında çalışan tesis: 0.115,
    - 3.000 - 4.000 saat arasında çalışan tesis: 0.096 [51].
- Çin'de 2018 yılında 2017 yılına göre alım garantili tarife fiyatlarında azaltma yapılmıştır ve yeni rüzgar tarifeleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir (IEC sınıfı Uluslararası elektroteknik komisyonu tarafından rüzgar hızlarına bağlı olarak belirlenen bir sınıf ayrımıdır ve Çin bu sınıflandırmaya göre tarife politikasını belirlemektedir. Yani rüzgar hızlarına bağlı bir alım garantili tarife bulunmaktadır) [51]:

    - IEC Sınıf I: CNY 0.4 / kWh (0,06 ABD $ / kWh),
    - IEC Sınıf II: CNY 0.45 / kWh (0,06 ABD $ / kWh),
    - IEC Sınıf III: CNY 0.49 / kWh (0,07 ABD $ / kWh),
    - IEC Sınıf IV: CNY 0.57 / kWh (0,08 ABD $ / kWh) [51].
- Pakistan'ın 2017 yılında belirlediği rüzgar türbinlerine ait tarifesi şu şekildedir:
    - 1 – 13 yıl arasındaki türbinler 8,9564 US Cent / kWh,
    - 14 – 20 yıl arasındaki türbinler 4,3706 US Cent / kWh,
    - 1 – 20 yıl arasındaki türbinler için düzeltilmiş tarife 8,1968 US Cent / kWh [51].
- Hawaii'de farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının farklı kapasiteleri için farklı alım garantili tarifeler bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi ile ilgili olan kısım şu şekildedir [52]:
    - 20 kW'ın altında, 0,161 $ / kWh,
    - 20 kW – 100 kW aralığında, 0,138 $ / kWh,
    - 100 kW – 5000 kW aralığında, 0,120 $ / kWh [52].
- Kuzey Indiana bölgesi (Amerika) enerji politikasında tarife şu şekildedir:
    - 3 – 10 kW 0,23 – 0,25 $ / kWh,
    - 10 – 200 kW 0,15 – 0,138 $ / kWh [52].

6.3 Şehir Planlamacılığı

Yeni yapılanma olan şehirlerde veya eski yapılanmaların yenilendiği şehirlerde yenilenebilir enerji kullanımına olanak verecek standartlar sağlanmaktadır.

Enerji politikası olarak sıfır emisyonu (zero emission) benimsemiş olan şehirlerde yeni yapılacak olan binalarda bu standartlara uygun mimari tasarımlar ve inşai özellikler aranmaktadır. Ayrıca mevcut şehirlerin sıfır emisyonlu hale getirelebilmesi için projeler bulunmaktadır [53].

Uluslar arası bir proje olan %100 yenilenebilir enerji kullanan şehirler gitgide yaygınlaşmaktadır. Kanada Vancouver kenti için çalışmalar devam etmektedir [53].

Yenilenebilir enerjinin benimsenmesini sağlayan bazı şehir planlama örnekler aşağıdaki şekildedir:

- Bina inşaatı sırasında binalara entegre yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulması (küçük ölçekli güneş, rüzgar gibi),
- Şehir planlaması yapılırken binaların birbirlerinin güneş ve rüzgar kaynağını kesmeyecek şekilde dizayn edilmesi,
- Kat yüksekliklerinin standardizasyonu,
- Binalara belirli bir oranda yenilenebilir enerji zorunluluğu getirilmesi gibi [53].

6.4 Bilgilendirme ve Sertifikasyon Kuruluşları

Küçük ölçekli rüzgar türbinleri ve rüzgar enerjisi sektörü hakkında doğru bilgiye ulaşılabilen kurumların olması sektöre olan güveni artırmak için çok önemlidir. Dünya genelinde sertifikasyon programları, piyasadaki çok çeşitli rüzgar türbinlerinin tüketici için karşılaştırılmasını kolay hale getirir. Bu programlar kapsamında rüzgar türbinlerinin; güvenlik, fonksiyon, performans ve dayanıklılık açısından onaylı kuruluşlar tarafından test edilmesi ve sertifikalandırılması sağlanır. Tüketicilerin uygulama yapacağı alan, sertifikaya sahip türbinler arasından seçim yapması veya yaptırması sonucu elde edilerek verim çok yüksek olacaktır. Türbinlerden elde edilecek çıktı daha önce test ederek onaylandığı için tüketicinin yanılma olasılığı minimuma inerek hem tüketici memnuniyeti hem yatırım garantisi sağlayacaktır. Sertifikasyon, etik olmayan pazarlamanın ve yanlış iddiaların önlenmesini sağlayacaktır. Tüm bu sebeplerle küçük ölçekli rüzgar türbinleri, kararsız bir yatırım olmak yerine daha kararlı bir yatırım aracı olmaktadır [54].

Yatırımları güvenli hale getirmesinin yanı sıra sertifikalı rüzgar türbinleri kullanacak olan yatırımcılar için bazı ülkelerde teşvik programları vardır. Sertifika sahibi türbinlerin tercih edilmesi halinde, yatırımcıya finans desteğinin sağlandığı bu teşvikler sayesinde, rüzgar türbini sistemlerinin geri ödeme süreleri ve karlılıkları daha iyi duruma gelerek yatırımcılar için daha cazip hale gelmektedir [54].

Sertifikasyon süreci, türbin üretici firması için ek bir maliyet oluşturmaktadır. Ancak sertifikasyonun ürün üzerinde yarattığı güvenilirlik ve ürünlerin teşvik programlarına

dahil ediliyor olması üreticilerin sertifikasyon sürecine dahil olmalarını teşvik etmektedir [54].

Küçük Rüzgar Sertifikasyon Konseyi (Small Wind Sertification Council - SWCC) Amerika'da bu alanda çalışma yürüten örnek bir kuruluştur [54].

6.5 Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinleri Örnek Hesaplama Çalışması

Hesaplama çalışmasında kullanılmak üzere Bolu ili seçilmiştir.

Bolu ili 8.458 kilometrekare yüz ölçümüne sahiptir. Arazisinin ortalama %18'ini tarım, %59'unu ise ormanlık alanlar oluşturmaktadır.

Bolu ili, deprem bölgesi olduğundan özellikle 1999 depremi sonrasında alınan karar ile binalara maksimum kat sınırı getirilmiştir. Deprem öncesi binalarda 6 – 7 kata kadar çıkan binalar bulunmaktadır. İmar durumu, bir arsanın üzerine ne kadar ve ne amaçlı yapı inşa edilebileceğini gösterir. İmar durumu belediyeden öğrenilir. Bolu'daki imar durumları incelendiğinde binalara dört kat yerleşim, artı bir kat ticari (zemin kat) için izin verildiği görülmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 8 Eylül 2013'te 28759 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"'in 8. maddesinin 11. Bendi, kat yükseklikleri ile ilgili şu bilgiyi vermektedir:

- Kat yüksekliği: Binanın herhangi bir katının döşeme üstünden bir üstteki katının döşeme üstüne kadar olan mesafedir. Kat yükseklikleri uygulama imar planında belirlenmemiş ise genel olarak; ticaret bölgelerinde ve zemin kat ticaret olarak belirlenen yerlerde zemin katlarda 4.50 m., asma katlı zemin katlarda 5.50 m.; diğer katlarda 3.80 m., konut bölgelerinde ise zemin katlarda 4.00 m., asma katlı zemin katlarda 5.50 m., diğer katlarda 3.50 m. kabul edilerek uygulama yapılabilir.

Bolu ilinde 1 ticari zemin kat (4,5 metre), 4 normal kat (3,8 metre) olarak hesap yapıldığı taktirde bina yüksekliği 19,7 metre olarak hesaplanmıştır. Ancak bu hesaba çatı yüksekliği dahil değildir. Yerel yönetimin 10.04.2017 tarihli 2017/142 numaralı kararında Çatı Arası Piyes Çizim Standartları belirlenmiştir. Yerel kararın B

maddesinde belirtildiği üzere, çatı araları bir noktada 2,40 metreyi sağlamak zorundadır.

Çatı yüksekliği minimum kabul edilerek ve kat yüksekliğine eklenerek Bolu ilinde yeni yapılan binalarda ortalama yüksekliğin 22,1 metre olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Hesaplamalar yapılırken türbinlerin minimum yüksekliklerinin 22,1 metrenin üzerinde olması gerekmektedir. Türbin yükseklik hesaplamaları 23 metre, 25 metre ve 30 metre üzerinden yürütülecektir.

Bolu ilinde yapılacak olan hesaplama çalışması için gerekli olan veriler merkezde bulunan Meteoroloji İl Müdürlüğü bahçesindeki 17070 no'lu ölçüm istasyonuna aittir (Bknz. Şekil 6.1). Anemometre 10 metre yükseklikte ölçüm yapmaktadır. Meteoroloji İl Müdürlüğünden hesaplarda kullanmak üzere alınan veriler saatlik olmak üzere 2013 yılı başından başlayıp 2017 yılı sonuna kadar 5 yılı içermektedir. Alınan hız verisi metre/saniye cinsindendir.



Şekil 6.1 : Bolu haritası üzerinde Meteoroloji İl Müdürlüğü.

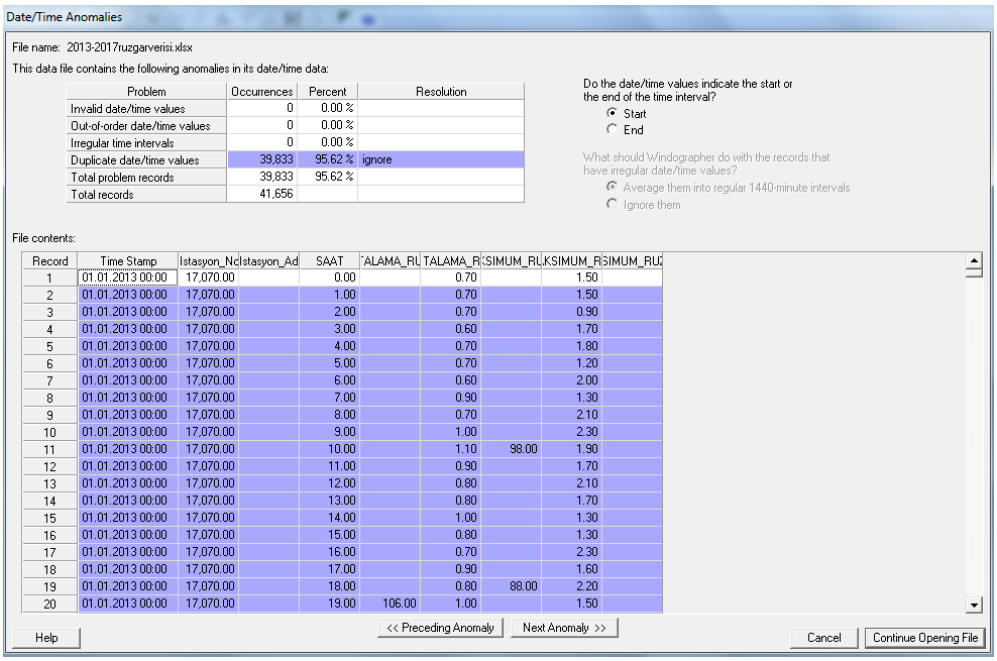
Alınan verilerin ham hali çizelge 6.1'de gösterildiği gibidir. Ham veride; yıl, ay, gün ve saat sütunları ayrı ayrı verilmiştir.

Veriler programa atıldığında program; yıl, ay ve gün verisini birleştirmekte ancak saat verisini algılayamamaktadır. Bu sebeple de çalışma ekranı yerine şekil 6.2'de görülen tarih verilerinin benzer olduğunu anlatan hatayı vermektedir. Hata açıklamasından, 41.656 veriden %95,62'sinin benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 6.1 : Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden alınan ham rüzgar verisi (Bolu).

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı
Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Istasyon_ No	Istasyon_ Adi	Yıl	Ay	Gun	Saat	Saatlik_ Ortalama_ Ruzgar_ Yonu	Saatlik_ Ortalama_ Ruzgar_ Hizi	Saatlik_ Maksimum_ Ruzgar_ Yonu	Saatlik_ Maksimum_ Ruzgar_Hizi	Saatlik_ Maksimum_ Ruzgar_ Zamani
17070	BOLU	2013	1	1	0	310S	0.7	338NNW	1.5	00:04
17070	BOLU	2013	1	1	1	208NW	0.7	162SSE	1.5	01:03
17070	BOLU	2013	1	1	2	311SSW	0.7	348NNW	0.9	02:18
17070	BOLU	2013	1	1	3	258NW	0.6	184S	1.7	02:52
17070	BOLU	2013	1	1	4	115SW	0.7	156SSE	1.8	04:44
17070	BOLU	2013	1	1	5	223NNE	0.7	117ESE	1.2	05:46
17070	BOLU	2013	1	1	6	135SW	0.6	105ESE	2.0	06:14
17070	BOLU	2013	1	1	7	347SE	0.9	20NNE	1.3	07:09
17070	BOLU	2013	1	1	8	157NNW	0.7	171S	2.1	08:34
17070	BOLU	2013	1	1	9	212SSE	1.0	168SSE	2.3	09:25
17070	BOLU	2013	1	1	10	119SW	1.1	98E	1.9	10:06
17070	BOLU	2013	1	1	11	62SE	0.9	161SSE	1.7	10:50
17070	BOLU	2013	1	1	12	169ENE	0.8	142SE	2.1	12:45
17070	BOLU	2013	1	1	13	184SSE	0.8	204SSW	1.7	13:04
17070	BOLU	2013	1	1	14	196S	1.0	190S	1.3	13:50
17070	BOLU	2013	1	1	15	218SSW	0.8	175S	1.3	14:55



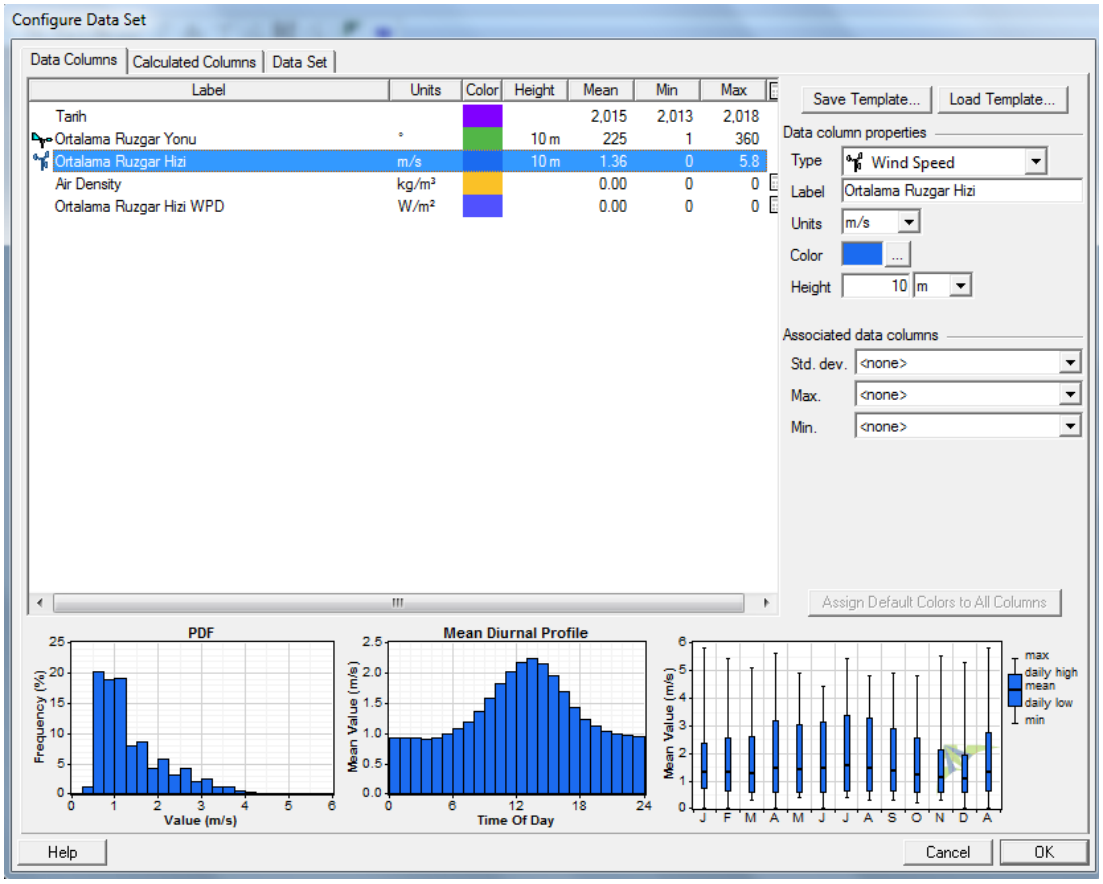
Şekil 6.2 : Tarih/Saat verisindeki anormallik, veri kaynaklı program açılış hatası (Bolu).

Bu hatanın engellenmesi için ham veri işlenmiş, tarih ve saat sütunları birleştirilmiştir. Veri programa yüklendiğinde rüzgar yönü ile ilgili bir sapma olduğu görülmüştür. Buna istinaden de rüzgar yönünü simgeleyen harfler kaldırılmış ve sadece açı ile hesaplama yapılması sağlanmıştır. Düzeltmeler yapılan veri programa atılarak sonuçlardaki düzelmeye istinaden verinin bu hali ile işleme devam edilme kararı alınmıştır. Verinin işlendikten sonraki hali çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Ham veride yapılan düzenlemeler sonrası veri (Bolu).

Tarih	Tarih ve saat	Ortalama Ruzgar Yonu	Ortalama Ruzgar Hızı
2013.1.1	2013.1.1 0	310	0.7
2013.1.1	2013.1.1 1	208	0.7
2013.1.1	2013.1.1 2	311	0.7
2013.1.1	2013.1.1 3	258	0.6
2013.1.1	2013.1.1 4	115	0.7
2013.1.1	2013.1.1 5	223	0.7
2013.1.1	2013.1.1 6	135	0.6
2013.1.1	2013.1.1 7	347	0.9
2013.1.1	2013.1.1 8	157	0.7
2013.1.1	2013.1.1 9	212	1.0
2013.1.1	2013.1.1 10	119	1.1
2013.1.1	2013.1.1 11	62	0.9
2013.1.1	2013.1.1 12	169	0.8
2013.1.1	2013.1.1 13	184	0.8
2013.1.1	2013.1.1 14	196	1.0
2013.1.1	2013.1.1 15	218	0.8

Verinin son hali programa atılmıştır. Programın ilk karşılama ekranı şekil 6.3'te verilmiştir. "Data columns" sekmesinde, verilerin doğru algılanıp algılanmadığı kontrol edilmektedir. Algılanan veriler üzerinde birim değişiklikleri, belirtici renklerin değişiklikleri yine burada yapılmaktadır. Verinin alındığı yükseklik bu sekmede girildikten sonra "Data Set" sekmesine geçilmektedir.

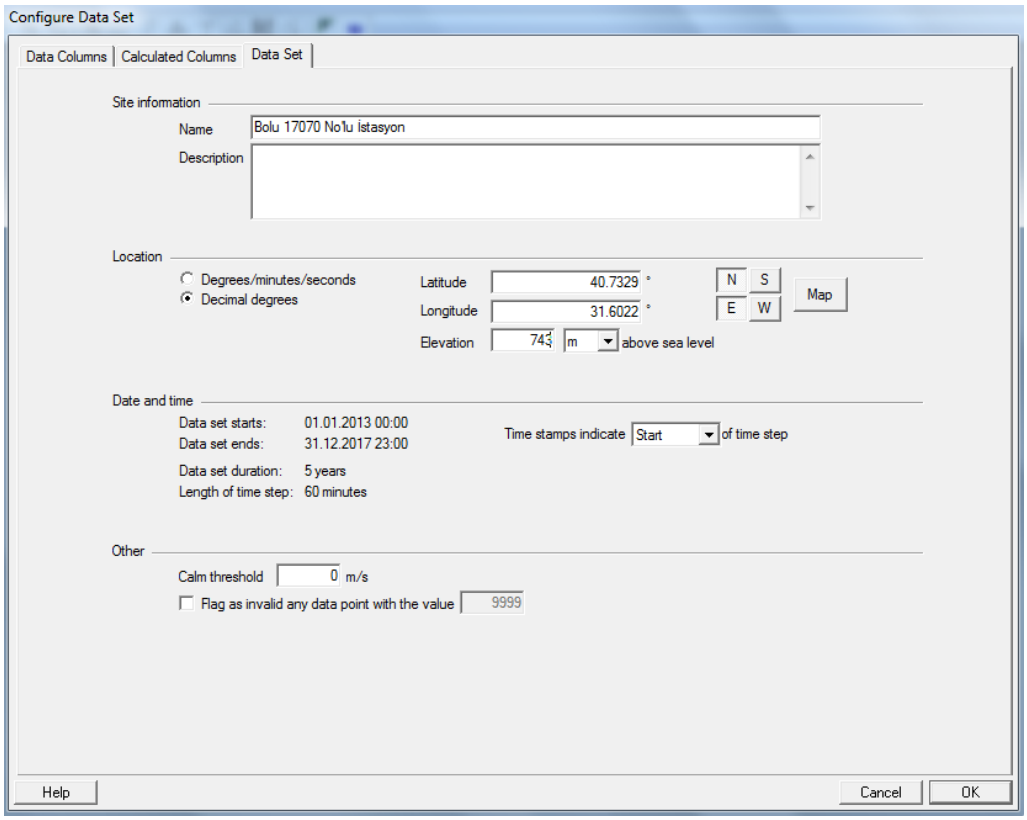


Şekil 6.3 : Windographer programına veri atıldıktan sonraki karşılama ekranı (Bolu).

"Data Set" sekmesinde verinin alındığı istasyona ait bilgiler girilmektedir. İstasyon adı ve gerekli ise diğer açıklamalar girilmektedir.

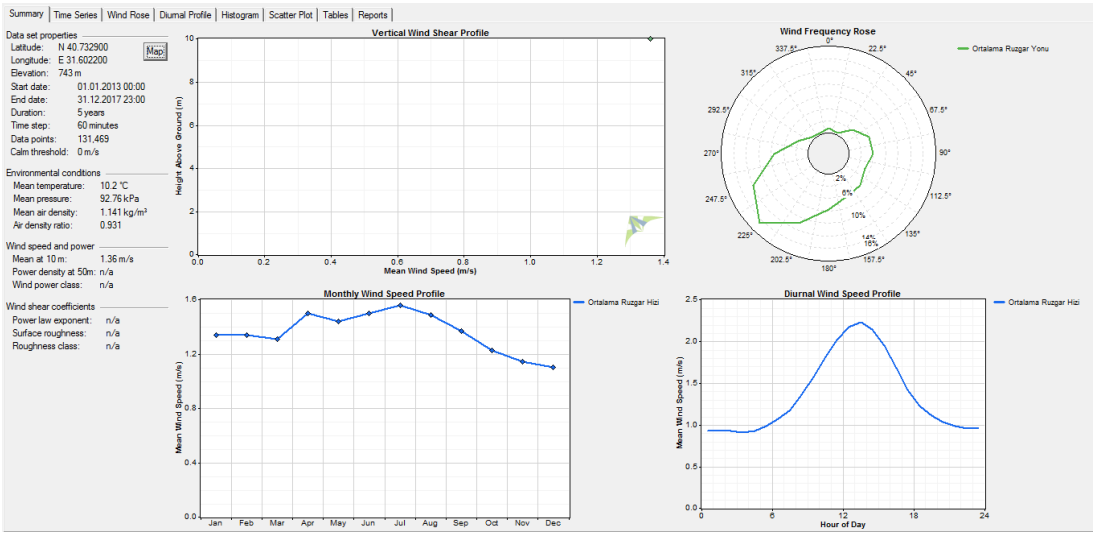
Şekil 6.4'te gösterildiği şekilde ölçüm istasyonuna ait bilgiler doldurulmuştur. Verinin alındığı istasyonun Meteoroloji Genel Müdürlüğündeki tanımı 17070 no'lu istasyondur. Ölçüm yapılan istasyona ait yükseklik ve koordinat bilgileri (743 metre) ve koordinat bilgisi programa (40,7329 Kuzey – 31,6022 Doğu) gerekli alanlara girilmiştir.

Sekmelerde yapılan veri girişleri tamamlandıktan sonra "OK"'e basılarak program özet sayfası açılmıştır. Özet sayfasına ait görsel şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : Karşılama ekranı "Data Set" sekmesinde istasyon bilgilerinin girilmesi (Bolu).

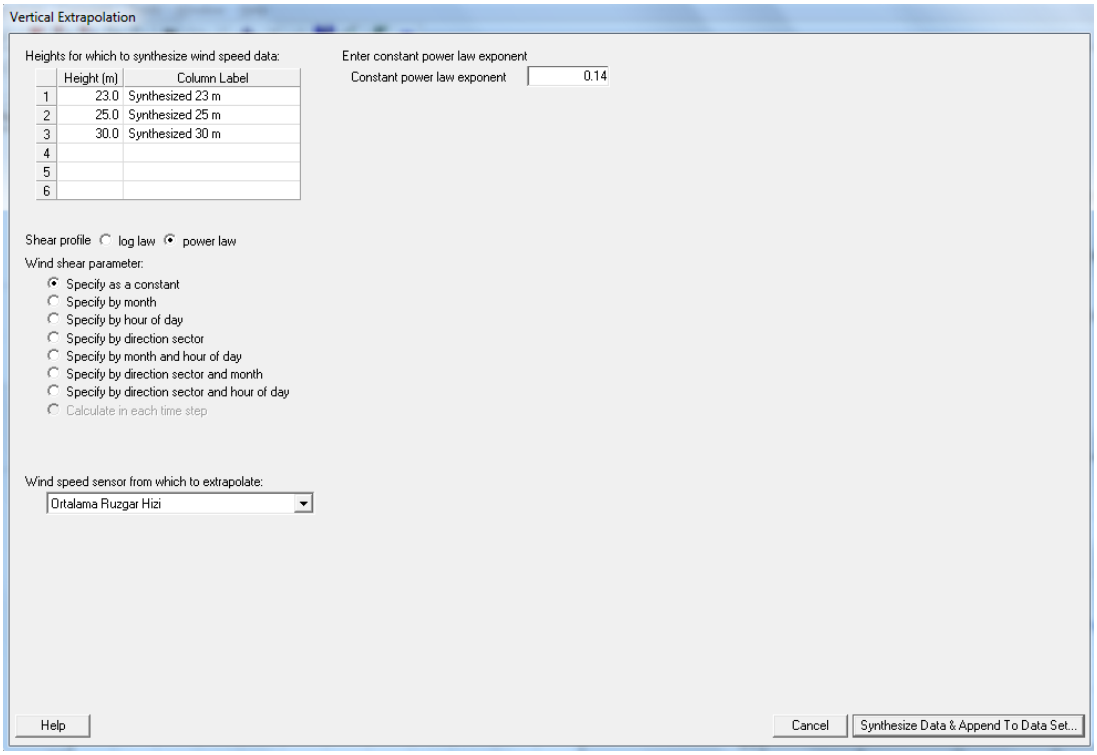
Özet sayfasında sol üstte veriye ait bilgiler bulunmaktadır. Karşımıza çıkan 4 grafikten sol üstteki rüzgar kesit grafiği (ekstrapolasyon işlemi sonrası 2 farklı veri olacağı için garfik okunabiliyor olacak), sağ üstteki rüzgar yönünü belirten rüzgar gülü grafiği, sol alttaki aylık ortalama rüzgar hızı profili grafiği ve sağ alttaki bir güne ait saatlik ortalama rüzgar hızına ait grafiği temsil etmektedir.



Şekil 6.5 : Verinin program özet sayfasındaki ilk görünümü (Bolu).

Özet sayfasında sol altta verinin ortalama hızı “Mean at 10 m” ile belirtilen kısımda 1,36 m/sn olarak okunmuştur. Veriden elde edilen bu hız çok düşük olmakla birlikte 10 metre yükseklikte olduğu için hesaplama yapılmasının planlandığı yükseklikler için düşey ekstrapolasyon işlemi uygulanacaktır.

Ekstrapolasyon işleminin yapılacağı ekran şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6 : Veri ekstrapolasyon sayfası (Bolu).

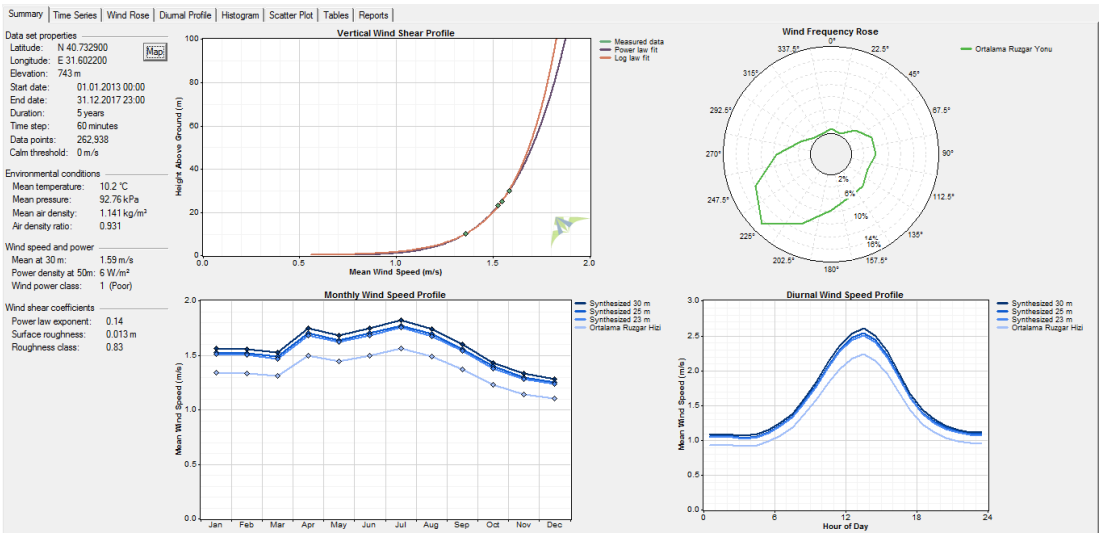
Ekstrapolasyon işlemi daha önce belirlenmiş olan 23 metre, 25 metre ve 30 metre yüksekliklere göre yapılacaktır. Güç yasasına bağlı kalınarak yapılacak olan hesaplamada sabit 0,14 olarak kabul edilmiştir. Literatür incelendiğinde ekstrapolasyon işlemleri yapılırken genellikle 0,14 olarak kabul edildiği görülmüştür.

Ekstrapolasyon işlemi onaylandıktan sonra, program hesaplama işlemine başlamaktadır. Hesaplamalar tamamlandıktan sonra hesaplama sonuçları işlenmiş hali ile yeni özet sayfası çıkmaktadır.

Yeni özet sayfası şekil 6.7’de görülmektedir. Grafiklere yeni belirlemiş olduğumuz 23 metre, 25 metre ve 30 metrelere veriler eklenmiştir.

Ortalama hız 10 metrede 1,36 metre/saniye iken ekstrapolasyon sonrası 30 metrede 1,59 metre/saniye olarak hesaplanmıştır. İstenilen yüksekliklere ait rüzgar verisi

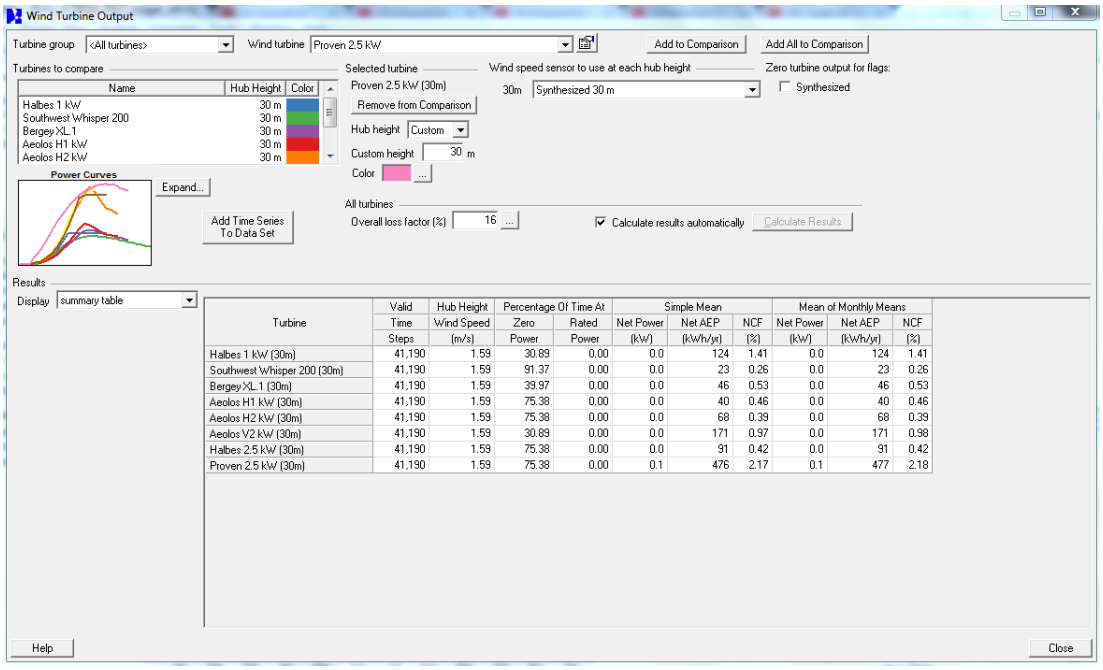
hesaplandıktan sonra programın bir parçası olan ve türbinlerden elde edilecek olan enerjiyi hesaplayacak olan "Wind Turbine Output" arayüzüne girilmektedir.



Şekil 6.7 : Veri ekstrapolasyonu sonrası yeni özet sayfası (Bolu).

23 metre ve 25 metre yükseklik için türbinlerden elde edilecek enerji çıktısı hesaplanmış olup EK-B'de şekil B.1, şekil B.2, şekil B.3, şekil B.4, şekil B.5 ve şekil B.6'da paylaşılmıştır. Kapasitelere göre gruplandırılarak hesaplamaları yapılmıştır.

Şekil 6.8'de yer alan 30 metre yükseklikte tüm türbinler için enerji çıktıları hesaplanarak hesaplama işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 6.8 : 30 metre yükseklikte tüm türbinler için çıkış gücü hesaplaması (Bolu).

Şekil 6.8 de görülmekte olan hesaplamalar sonucunda 30 metrede türbinlerden elde edilen yıllık enerji çıktıları çok düşük çıkmıştır (en düşük 23 kWh/yıl, en yüksek 476 kWh/yıl).

Çalışma açısından en iyi durumdaki türbin incelendiğinde yılın %30'unda türbinin devre dışı kaldığı görülmektedir. Seçilen türbinlerin ortalama olarak yılın %75'inde devredışı kaldığı şekil 6.8'deki "Percentage of time at" başlığı altındaki "Zero" sütununda görülmektedir.

Türbinlerin kapasite faktörleri incelendiğinde % 0,26 ile % 2,17 arasında değiştiği ve çok düşük olduğu görülmektedir. En yüksek enerjinin elde edildiği türbinin kapasite faktörü % 2,17 olarak çıkmıştır (şekil 6.8'de "Simple mean" başlığı altında "NCF" sütununda görülmektedir).

Sonuçların düşük çıkması sebebiyle hesaplama yapılan bölge değiştirilerek ve aynı şartlar (yükseklik farklılıkları ve türbin değişkenleri) korunarak tekrar hesaplama yapılacaktır.

Yeni yapılacak olan hesaplamalar için hem REPA'da rüzgar potansiyeli yüksek olan hem de fiili rüzgar enerjisi kurulumları açısından önemli bir rolü olan Ege Bölgesi'nden bir istasyon seçilmiştir.

Hesaplamaların yapılacağı istasyon Balıkesir ilinin Ayvalık ilçesi olarak belirlenmiştir.

Hesaplamada kullanılacak olan veri 10 dakikalık sıklıklarda alınan 2007 yılına ait 1 yıllık EİE verisidir. Veri 10 metredeki ve 30 metredeki rüzgar hızı ölçümlerini içermektedir.

Verilerin ilk hali çizelge 6.3'te görülmektedir. Rüzgar hızları mil/saat, sıcaklık Fahrenheit cinsinden verilmiştir. Programda verilerin işlenebilmesi ve Bolu ilindeki benzer hataların yaşanmaması için veride bir takım düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Özellikle birim dönüşümleri yapılmadığı veya fark edilmediği taktirde sonuçların yanlış değerlendirilmesine sebep olacaktır. Rüzgar hızları program tarafından düşük olarak görüleceğinden (mil/saat, metre/saniye farkı) türbin güç çıkışlarında da çok önemli değişiklikler olacaktır.

Çizelge 6.3 : EİE'den alınan ham rüzgar verisi (Ayvalık).

Date & Time Stamp	30M HIZ mil/saat	SD	Max	Min	10M HIZ mil/saat	SD	Max	Min	YÖN	CH7 SD	CH7 Max	CH7 Min	SICAKLIK F	CH12 SD	CH12 Max	CH12 Min
01.01.2007 00:00	5	0,5	6,8	4,2	4,3	0,6	5,9	2,5	233	13	214	0	40,2	0	40,3	39,9
01.01.2007 00:10	4,3	0,6	5,9	2,5	3,9	0,6	5,9	2,5	255	10	255	0	40,7	0	41,2	40,3
01.01.2007 00:20	6,4	0,9	8,5	4,2	4,8	1,3	7,6	1,6	291	11	283	0	40,7	0,3	41,2	40,3
01.01.2007 00:30	7	0,5	8,5	5,9	4,1	0,6	5,1	2,5	335	5	331	0	40,7	0	41,2	40,3
01.01.2007 00:40	6,9	0,7	8,5	5,9	5	0,6	6,8	3,3	342	4	344	0	41,7	0,4	42,6	40,8
01.01.2007 00:50	6,7	0,8	8,5	4,2	4,8	0,8	7,6	3,3	342	7	339	0	42,2	0	42,6	42,1
01.01.2007 01:00	7,2	0,7	9,3	5,9	4,9	0,7	6,8	3,3	346	5	346	0	41,8	0,2	42,1	41,2
01.01.2007 01:10	9	1,6	13,6	5,9	6,2	1,3	10,2	4,2	346	7	338	0	41,7	0	42,1	41,2
01.01.2007 01:20	9,9	1,5	14,5	6,8	6,8	1,5	11,1	4,2	337	7	344	0	42,2	0	42,6	42,1
01.01.2007 01:30	8,3	0,9	10,2	5,9	5	0,9	7,6	2,5	342	8	340	0	41,9	0	42,1	41,7
01.01.2007 01:40	6	1,7	11,1	2,5	3,9	0,8	5,9	2,5	3	13	0	0	41,6	0,2	42,1	41,2
01.01.2007 01:50	3,9	0,8	5,9	2,5	3,3	0,9	5,1	1,6	68	22	82	0	40,6	0,2	41,2	39,9
01.01.2007 02:00	5,6	1,1	7,6	3,3	5,4	0,6	6,8	3,3	105	8	111	0	40	0	40,3	39,9
01.01.2007 02:10	5,7	0,6	6,8	4,2	4,9	0,6	5,9	3,3	106	6	114	0	40,2	0	40,3	39,9
01.01.2007 02:20	3,7	1	5,9	1,6	4,3	0,7	5,9	2,5	98	9	106	0	40,1	0	40,3	39,9
01.01.2007 02:30	5,4	0,7	7,6	3,3	5,4	0,6	6,8	4,2	112	4	111	0	39,2	0,2	39,9	38,6
01.01.2007 02:40	6,8	0,6	8,5	5,1	6,8	0,8	8,5	5,1	111	4	111	0	39,6	0,1	39,9	39
01.01.2007 02:50	5,2	0,8	7,6	3,3	6,3	0,7	7,6	4,2	124	5	113	0	40,5	0,4	41,7	39,9
01.01.2007 03:00	2,9	0,6	4,2	1,6	4	0,5	5,1	2,5	142	4	133	0	42,1	0,4	43	41,2
01.01.2007 03:10	3,5	0,5	5,1	2,5	4,7	0,6	5,9	3,3	149	10	137	0	42,8	0	43	42,6
01.01.2007 03:20	3,5	0,5	4,2	2,5	5,1	0,4	5,9	4,2	147	8	137	0	42,5	0,1	43	42,1

Veriye ait birim dönüşümleri ve tarih düzenlemeleri yapılmıştır ve çizelge 6.4 ve çizelge 6.5'teki gibi programda incelenebilecek hale gelmiştir. Aynı zamanda 10 metre ve 30 metre verileri iki farklı excel'e ayrılmıştır. Bunun sebebi ilk hesaplamadaki gibi öncelikle 10 metreden alınan veri ile ve onun ekstrapolasyonu ile çalışılacak olmasıdır. Daha sonra ise 30 metreden alınan ölçümler için hesap yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

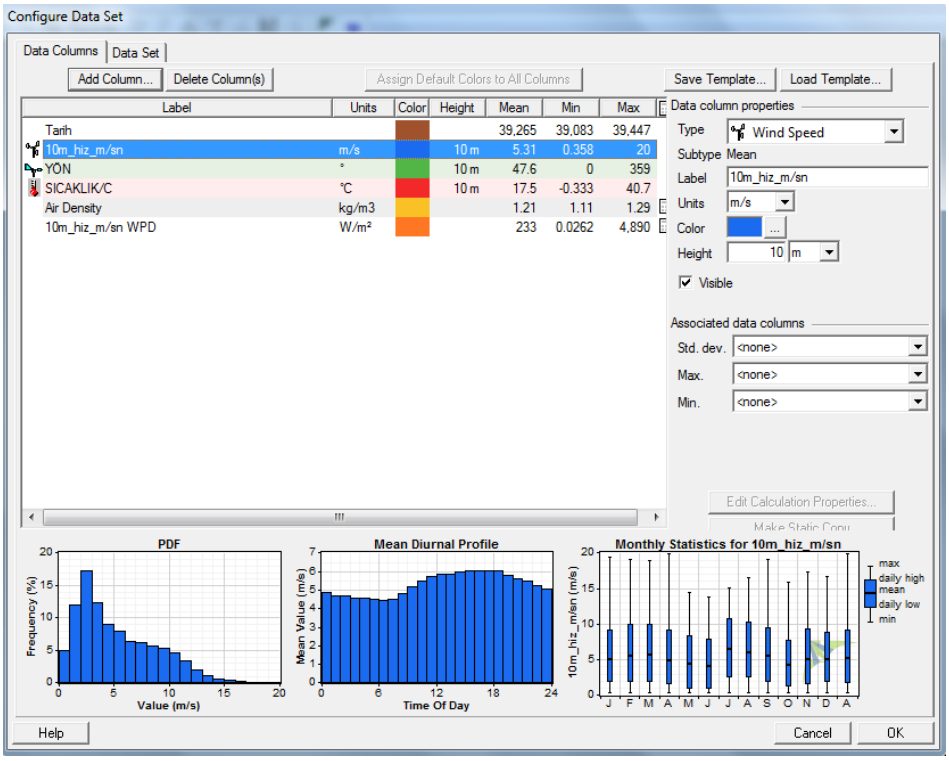
Çizelge 6.4 : Ham veride yapılan düzenlemeler sonrası 10 metredeki veri (Ayvalık).

Tarih	Saat	10m_hiz_m/sn	YÖN	SICAKLIK/C
07.01.01	00:00:00	1,92	233	4,56
07.01.01	00:10:00	1,74	255	4,83
07.01.01	00:20:00	2,15	291	4,83
07.01.01	00:30:00	1,83	335	4,83
07.01.01	00:40:00	2,24	342	5,39
07.01.01	00:50:00	2,15	342	5,67
07.01.01	01:00:00	2,19	346	5,44
07.01.01	01:10:00	2,77	346	5,39
07.01.01	01:20:00	3,04	337	5,67
07.01.01	01:30:00	2,24	342	5,50
07.01.01	01:40:00	1,74	3	5,33
07.01.01	01:50:00	1,48	68	4,78
07.01.01	02:00:00	2,41	105	4,44
07.01.01	02:10:00	2,19	106	4,56

Çizelge 6.5 : Ham veride yapılan düzenlemeler sonrası 30 metredeki veri (Ayvalık).

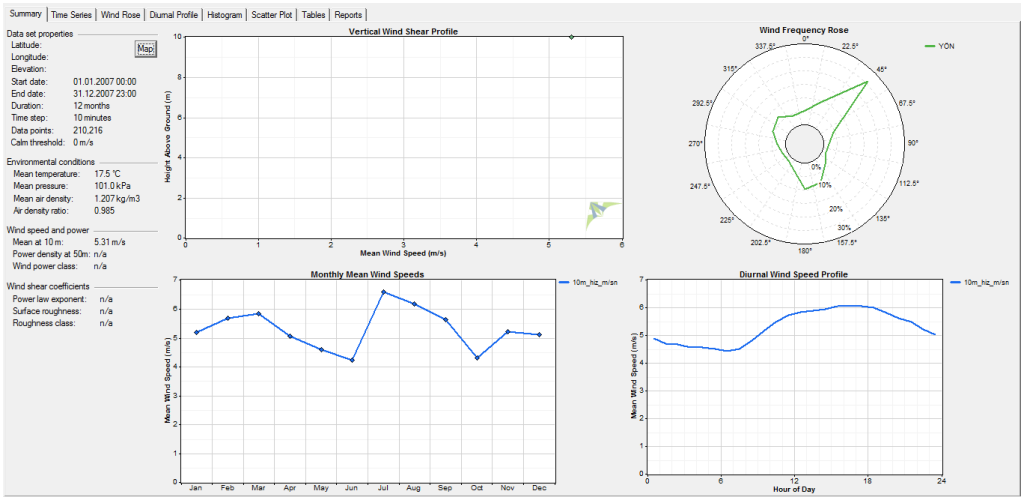
Tarih	Saat	30m_hiz_m/sn	YÖN	SICAKLIK/C
07.01.01	00:00:00	2,24	233	4,56
07.01.01	00:10:00	1,92	255	4,83
07.01.01	00:20:00	2,86	291	4,83
07.01.01	00:30:00	3,13	335	4,83
07.01.01	00:40:00	3,08	342	5,39
07.01.01	00:50:00	3,00	342	5,67
07.01.01	01:00:00	3,22	346	5,44
07.01.01	01:10:00	4,02	346	5,39
07.01.01	01:20:00	4,43	337	5,67
07.01.01	01:30:00	3,71	342	5,50
07.01.01	01:40:00	2,68	3	5,33
07.01.01	01:50:00	1,74	68	4,78
07.01.01	02:00:00	2,50	105	4,44
07.01.01	02:10:00	2,55	106	4,56

Öncelikle 10 metredeki veriler programa atılmıştır ve şekil 6.9'da yer alan karşılama ekranı ile hesaplama çalışmasına başlanmıştır. Düzeltme ihtiyacı olan alanlar kontrol edilmiş sonra ekran onaylanarak ilk özet sayfasına geçiş yapılmıştır.



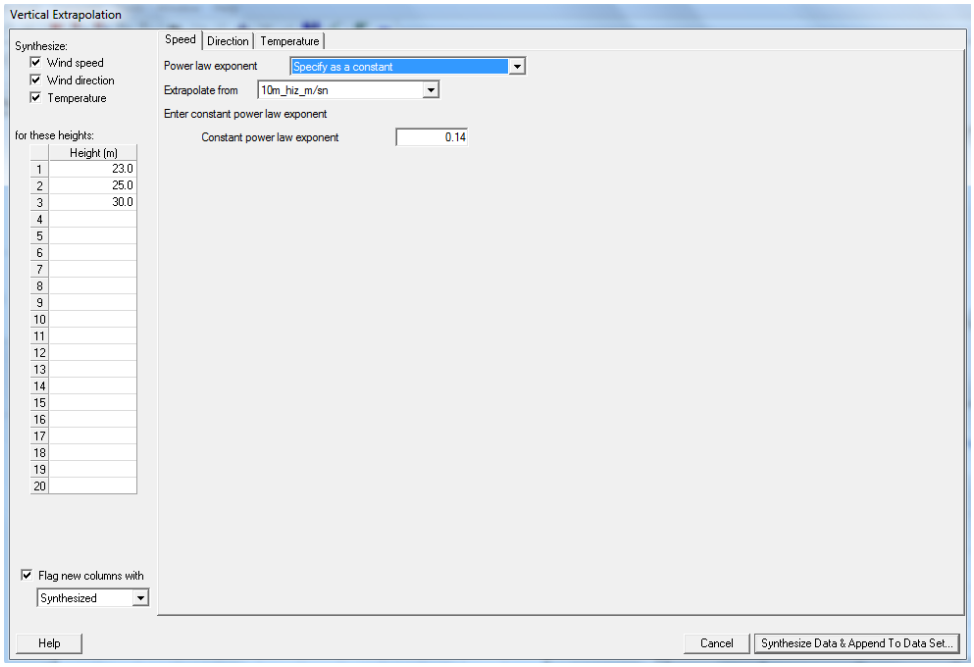
Şekil 6.9 : Windographer programına veri atıldıktan sonraki karşılama ekranı (Ayvalık).

İlk özet sayfası şekil 6.10'da görüldüğü şekildedir ve 10 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızı 5,31 metre/saniye olarak hesaplanmıştır (Bolu ilinde bu değer 1,36 metre/sanite olarak hesaplanmıştı).



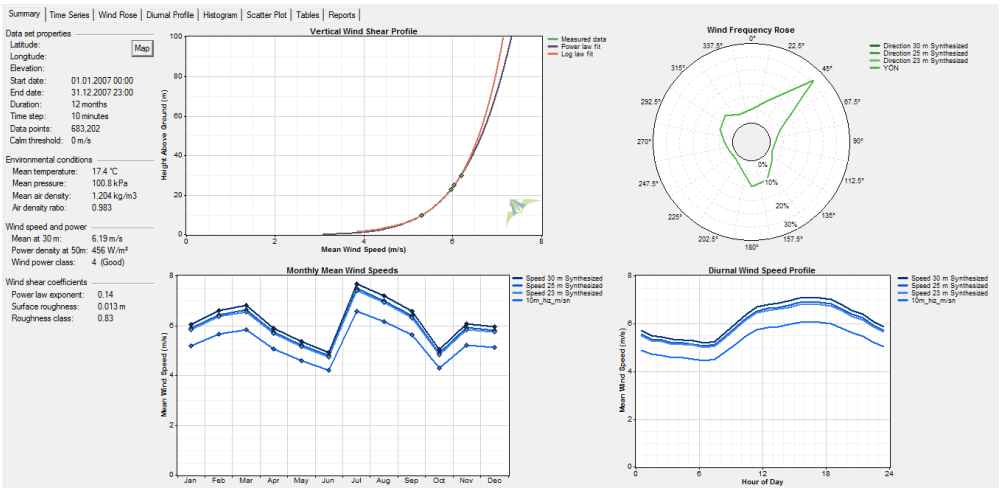
Şekil 6.10 : 10 metredeki verinin program özet sayfasındaki ilk görünümü (Ayvalık).

Özet sayfası incelendikten sonra ekstrapolasyon işlemi için gerekli ekran açılmış ve ihtiyaç duyulan yükseklikler ekrana girilmiştir (Bolu ilinde hesaplamalarda kullanılan yükseklikler 23 metre, 25 metre ve 30 metre) (Bknz. Şekil 6.11). Güç yasasına göre yapılacak ekstrapolasyon işlemi için sabit önceki hesaplamada olduğu gibi 0,14 seçilerek hesaplamaya başlanmıştır.



Şekil 6.11 : Veri ekstrapolasyon sayfası (Ayvalık).

Hesaplamalar tamamlandıktan sonra hesaplama sonuçlarının işlenmiş olduğu yeni özet sayfası görüntülenmektedir (Şekil 6.12). Grafiklere ekstrapolasyon işlemi sonrası veriler eklenmiştir. 10 metre için belirlenen ortalama hız da yeni verilere göre hesaplanmıştır. 30 metre için hesaplanan ortalama hız 6,19 metre/saniye olmuştur.

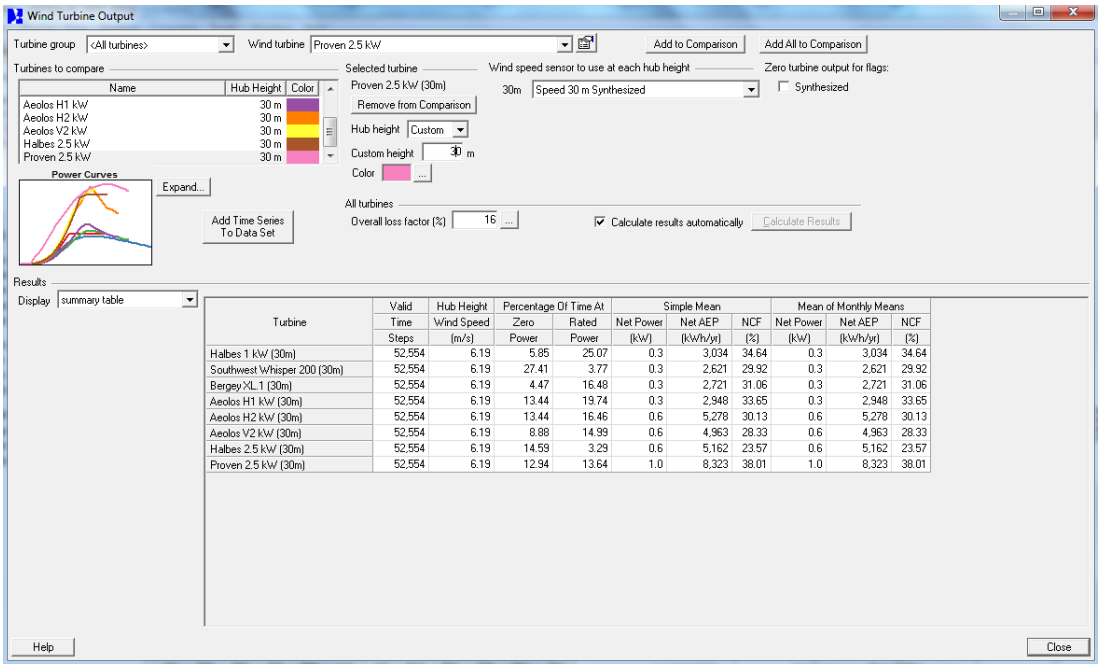


Şekil 6.12 : Veri ekstrapolasyonu sonrası yeni özet sayfası (Ayvalık).

Hesaplamalar sonucu elde edilen verilerin kullanılarak daha önce belirlenmiş olan türbinlerden elde edilebilecek enerjinin hesaplanabilmesi için "Wind Turbine Output" sayfasına geçilir.

23 metre ve 25 metre yükseklik için türbinlerden elde edilecek enerji çıktısı hesaplanmış olup EK-B'de şekil B.7, şekil B.8, şekil B.9, şekil B.10, şekil B.11 ve şekil B.12'de paylaşılmıştır. Kapasitelere göre gruplandırılarak hesaplamalar yapılmıştır.

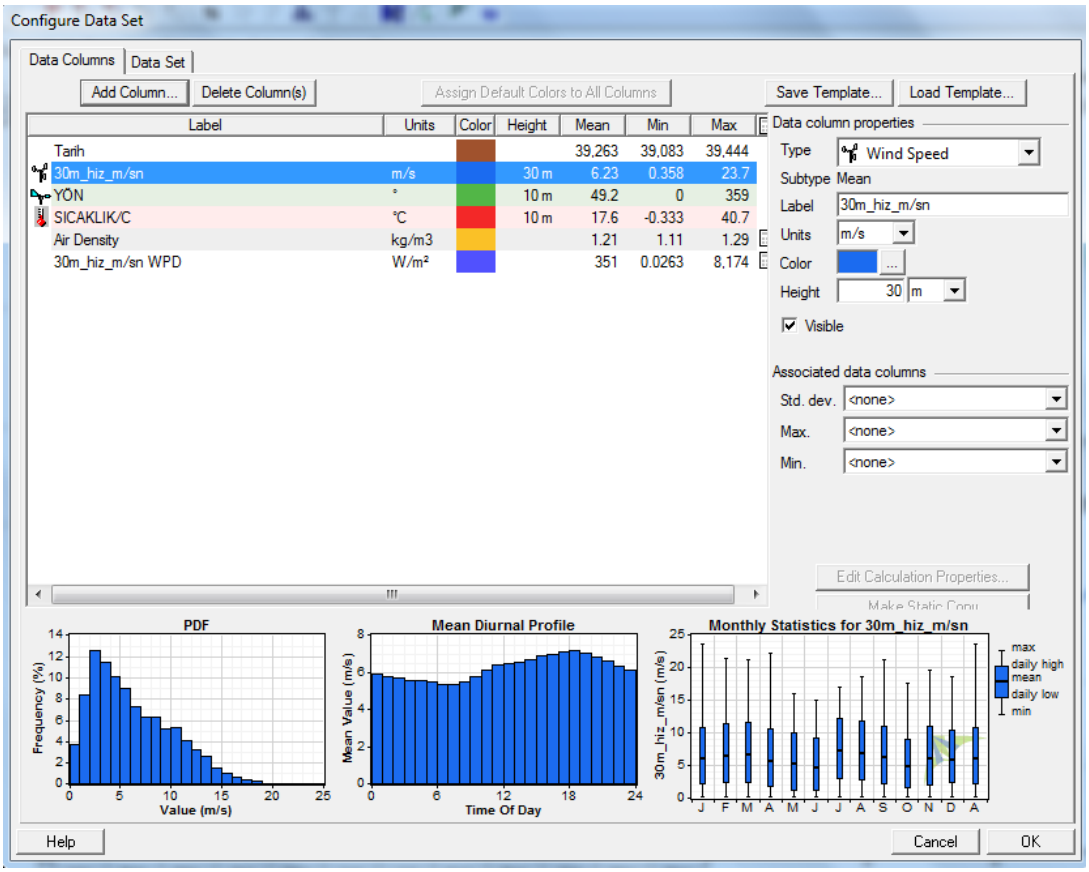
Ayrıca Şekil 6.13'te 30 metre yükseklikte yapılan hesaplama ile tüm türbinler için enerji çıktıları hesaplanmış ve aynı tablo üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.13 : 30 metre yükseklikte tüm türbinler için çıkış gücü hesaplaması (Ayvalık).

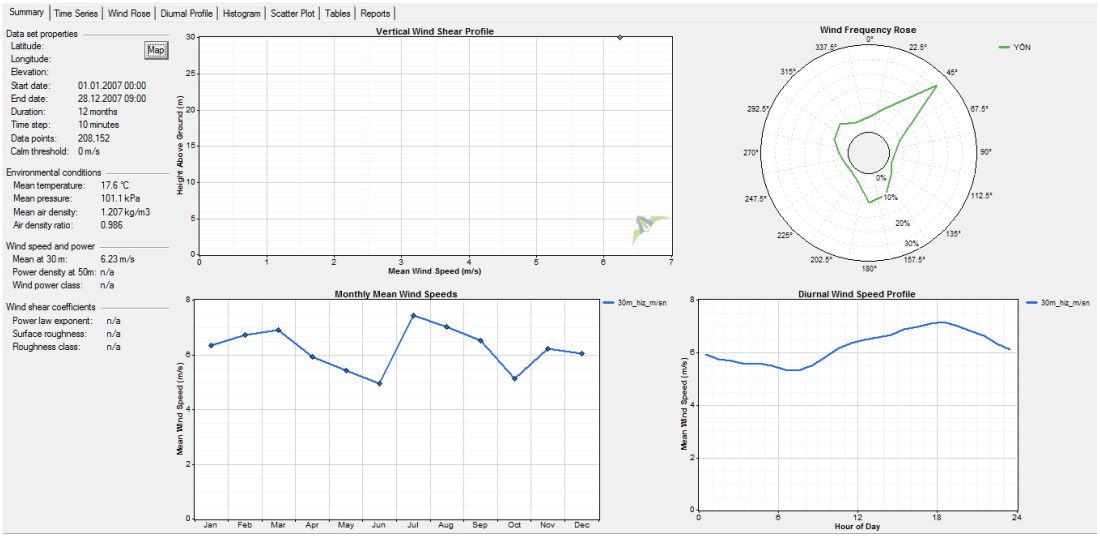
Ayvalık 10 metredeki ölçüm verilerine göre ekstrapolasyon işlemi sonucu elde edilen 30 metre verilerine göre türbinlerden elde edilecek enerji çıktıları yukarıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Elde edilen bu verilerin doğrulanması ve ekstrapolasyon işleminin güvenilirliğini karşılaştırmak açısından Ayvalık'ta 30 metreden ölçüm alınan veriler programa atılmıştır (Bknz. Şekil 6.14). Verilerin birimleri kontrol edilmiş ve ölçüm yüksekliği programa girilmiştir.



Şekil 6.14 : Windographer programına veri atıldıktan sonraki karşılama ekranı (Ayvalık 30 metre).

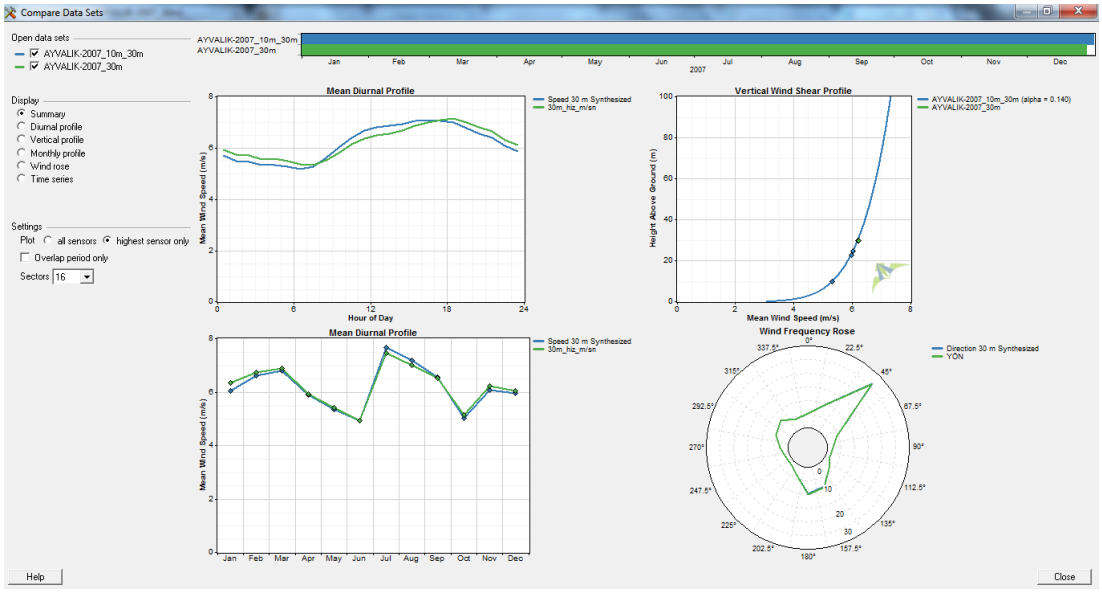
30 metreden alınan ölçüme ait verinin programa atıldıktan sonraki ilk hesaplamalarının tamamlanması sonucu program özet sayfası şekil 6.15'te görülmektedir.



Şekil 6.15 : 30 metredeki verinin program özet sayfasındaki ilk görünümü (Ayvalık).

30 metre hesaplamaları sonucu verilen özet ekranda öne çıkan ilk nokta ortalama rüzgar hızıdır. Ekstrapolasyon ile 30 metrede hesaplanan ortalama rüzgar hızı 6,19 metre/saniye idi. Ölçüm verileri ile elde edilen ortalama hız 6,23 metre/saniye'dir ve yaklaşık sapma oranı binde 6'dır. Bu da ekstrapolasyon işlemi sonucunun tutarlı olduğunu göstermektedir.

Ekstrapolasyon ile hesaplanan 30 metre verisi ile ölçüm sonucu elde edilen 30 metre verisi programda üst üste koyularak elde edilen sonuçlardaki yakınlık şekil 6.16'da gösterilmiştir. Grafiklerin çoğu noktada örtüşüyor olması ve diğer noktalarda çok yakın değerlerin oluşması ekstrapolasyon işleminin tutarlı olduğuna destek olmaktadır.

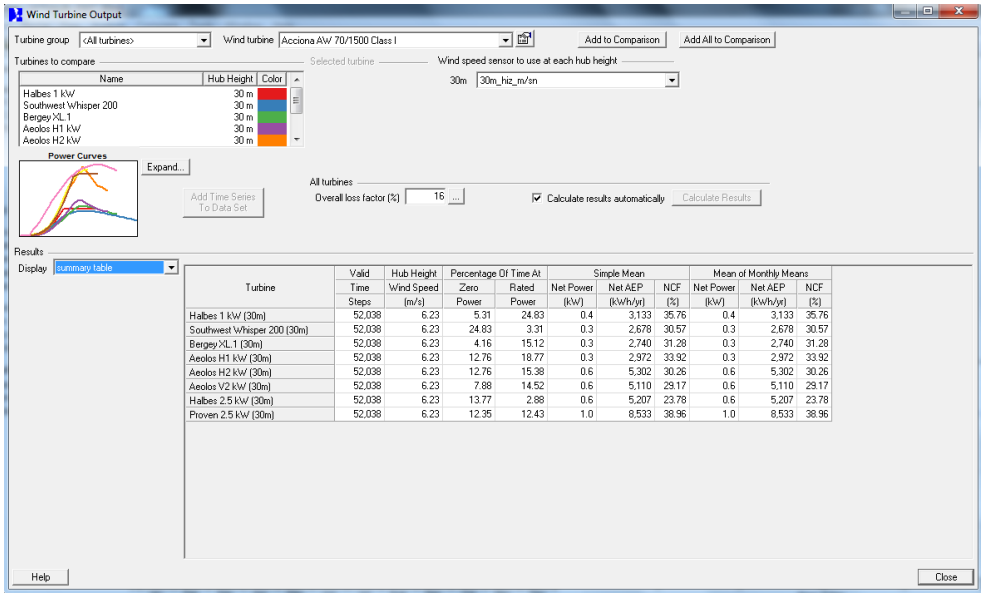


Şekil 6.16 : 30 metredeki ekstrapolasyon verisi ile 30 metre ölçüm verisinin program özet sayfasındaki karşılaştırması (Ayvalık).

30 metredeki ölçüm verilerine göre tüm türbinlerden elde edilecek güç çıktıları şekil 6.17'de verilmiştir. 30 metrede ekstrapolasyon işlemi sonucunda yapılan hesaplama ile karşılaştırıldığında seçilen türbinlerdeki yıllık net enerji eldesi % 0,45 ile % 3,26 arasında artış göstermiştir.

Ölçüm verileri ile yapılan hesaplamalar türbinlerden daha fazla elektrik enerjisi elde edilebileceğini göstermiştir.

Türbinlere ait net kapasite faktörleri incelendiğinde de % 0,13 ile % 1,12 arasında artış olduğu şekil 6.17'de elde edilen sonuçlardan görülmektedir.



Şekil 6.17 : 30 metre yükseklikte (30 metre ölçüm verisi ile yapılan hesaplama) tüm türbinler için çıkış gücü hesaplaması (Ayvalık).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Bolu ilinden alınan ölçümler ile yapılan hesaplama çalışmasının sonuçlarına göre 23 metre, 25 metre ve 30 metre yüksekliklerinin hiçbirinde ve hiçbir rüzgar türbini ile verimli sonuç alınamamıştır. Şekil 6.8 incelendiğinde en yüksek enerji üretimi 476 kWh/yıl ile 2,5 kW'lık Proven marka türbinde gözükmektedir ancak çalışma süresine bakıldığında tüm yılın sadece %24'ünde çalışabildiği görülmektedir. Kapasite faktörü ise %2,18 olarak hesaplanmıştır.

Sahadaki çalışma oranlarına bakıldığında Halbes 1 kW ve Aeolos Vertical 2 kW türbinlerinin seçili saha için daha uygun olduğu görülmektedir. Yılın %69'unda sahada fiili olarak çalışacağı öngörülmektedir. Ancak tüm rüzgar türbinlerinde olduğu gibi bu iki türbin de optimum çalışma aralığına hiçbir zaman ulaşamamaktadır. Bu duruma ilaveten rüzgar verisi incelendiğinde rüzgar hızının sıfıra düştüğü noktalar çok az olmasına rağmen ortalama hızların 2 metre/saniye'yi bile görememesi ölçümsel hata ihtimalini doğurmaktadır. Yani aslında rüzgar potansiyelinin olduğu ancak gölgelemeler sonucunda yanlış ölçümler alınmış olabileceği düşünülmektedir. Ölçüm direği verilerinin çok nadir zamanlarda 0 metre/saniye'yi görmesi ve istasyonun 38 yıl önce kurulmuş olması bu iddiayı desteklemektedir. 38 yıl içerisinde çevre bölgedeki ağaç boyları yükselmiş, özellikle Bolu iklimi düşünüldüğünde şehir merkezinde de bolca bulunan çam ağaçlarının gölgeleme yapmaya başlamış olma ihtimali çok yüksektir. Bir diğer ihtimal ise kentleşmenin, ölçümleri olumsuz etkilemesi yönündedir. Rüzgar verisine ait rüzgar gülü incelendiğinde 225 derecenin fazlasıyla yoğun olduğu ve diğer yönlerden çok daha fazla rüzgar aldığı görülmektedir. Binaların arasındaki bir bölgeden rüzgarın geliyor olması ve diğer yönlerde binaların rüzgarı engelleme olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma kapsamında yapılan bina yükseklikleri hesaplamaları (bina yüksekliklerinin yaklaşık 22 metre olduğu) göz önünde bulundurularak 45 ila 50 metreye bir ölçüm

istasyonu daha kurulması hem sonuçların doğruluğu açısından hem de ekstrapolasyon ve hesaplamaların daha tutarlı olması açısından çok önemlidir.

Bolu ili için yapılan hesaplamaların yetersiz görülmesinden sonra Ayvalık ilçesinden alınan veriler için tekrar hesaplama yapılmıştır. Ayvalık için yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar Bolu için yapılan hesaplamaların sonuçları ile karşılaştırıldığında:

- Bolu hesaplamalarında 30 metredeki (türbin güçlerinin hesaplandığı) ortalama rüzgar hızı 1,59 metre/saniye iken Ayvalık hesaplamalarındaki ortalama hız 6,23 metre/saniyedir,
- Bolu'da optimum güce ulaşılamazken, Ayvalık'ta %2 – 25 oranında ulaşılabilmektedir,
- Bolu'da türbinlerin çalışmadığı sürelere bakıldığında iki türbin %30 civarlarında, diğer türbinlerin büyük çoğunluğu %75 ve üzerinde devre dışı kalma oranına sahipken Ayvalık'ta görülen en yüksek devre dışı kalma oranı %25'tir,
- Bolu hesaplamasında görülen en yüksek ortalama yıllık güç 2,5 kW'lık türbinde ve 476 kW iken, Ayvalık'ta aynı türbinin yıllık ortalama üretimi 8.533 kW'tir. Yani yaklaşık 18 katı daha verimlidir. Türbinlerin geneline bakıldığında oran bu şekildedir,
- Kapasite faktörleri açısından hesaplamalar karşılaştırıldığında Bolu'da ortalama kapasite faktörleri %0,26 – 2,18 arasında iken Ayvalık hesaplamalarında (30 metredeki ölçüm verisine göre) bu sonuç %23 ile %39 arasında değişmektedir.

Bunların yanı sıra Ayvalık hesaplamalarında 30 metre verileri iki şekilde hesaplanmıştır. Birincisi 10 metre ölçümünün ekstrapolasyonu ikincisi ise 30 metreden alınan ölçüm iledir. Ekstrapolasyon işlemi sonrası yapılan hesaplamalar ile ölçümden elde edilen verilerin hesaplamaları karşılaştırıldığında sonuçların çok yakın çıktığı görülmüştür. Ekstrapolasyon işleminin güç yasasına göre ve 0,14 sabit ile yapılması sonucunda gerçeğe çok yakın bir sonuç elde edildiği hesaplamalarda görülmüştür.

Bolu hesaplamaları sonrası 2,5 kW'lık türbin çalışmada belirlenen 250 kWh aylık ihtiyacı karşılayamazken Ayvalık hesaplamalarında görülmektedir ki 2,5 kW'lık bir

türbin ile yaklaşık olarak 3 evin yıllık ihtiyacı karşılanabilir. Ayrıca hesaplama işlemlerinde kullanılan neredeyse tüm türbinler (program arayüzünden seçilen 2 türbin hariç) bir dairenin yaklaşık olarak 1 yıllık ihtiyacı olarak kabul ettiğimiz 3.000 kWh/yıl'ı karşılayabilecek ölçüde enerji üretmektedir.

Aynı zamanda bu çalışmada, dünya genelinde küçük ölçekli sistemlere uygulanan politikalar, küçük ölçekli rüzgar enerjisi sistemleri ile ilgili çalışmalar ve diğer mekanizmalar incelenmiştir. Ülkemiz için örnek alınabilecek ve fark yaratabilecek bazı uygulamalar aşağıda listelenmiştir:

- Tek alıcı sisteminin kaldırılması (4.1 Malezya örneği). Üretilen elektriği satın alacak dağıtımcıların çeşitlendirilmesi piyasada rekabeti sağlayarak üretici yararına sonuç vereceğinden geri ödeme süreleri konusunda iyileşme sağlayacaktır,
- Küçük ölçekli türbinlerin yerli seri üretiminin yapılması, yaygınlaştırılması (4.2 Tayvan örneği). Yerli üreticilerin desteklenmesi ile elektrik üretiminde maliyetler düşürülecektir. Aynı zamanda yerli üretici sayesinde, sistemlerin geliştirilmesi çalışmaları başlayacak ve konu ile ilgili uzman teknik kadro yapılanması başlayacaktır,
- Küçük ölçekli yenilenebilir enerji sistemlerine yerel yönetim desteği ve özendirici çalışmaların oluşturulması (4.3 Yeni Zelanda örneği). Yerel yönetimlerin reklam ve ticari amaçlı çalışmaları, belediye binalarında yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu ve bölgesel potansiyellerin belirlenmesi gibi konuların desteklenmesi ve yönetilmesi hem yatırımcının ilgisini çekerek hem de özendirici rol oynayarak teşvik oluşturacaktır,
- Küçük ölçekli rüzgar türbinlerine özel bir çalışma yürütülmesi (4.3 Yeni Zelanda örneği). Enerji Bakanlığı veya diğer kuruluşlar tarafından sadece bu konuya özel kanun, politika, yönetmelik, rapor, eylem planı veya strateji benzeri yayınlar oluşturulması hem konunun önemini artıracak hem de bu süreçte yol haritası çizecektir,
- Yenilenebilir enerji bina uygulamaları geliştirmek için yeşil şehirlerin, ilçelerin desteklenmesi (4.4 Çin örneği). Bu sayede küçük ölçekli sistemlerin kullanımı yaygınlaşmaya başlayacaktır,

- Yerel yönetimlerin zorunlu tanıtım politikaları yayınlamaya teşvik edilmesi (4.4 Çin örneği). Yeni Zelanda örneğine benzeyen bir uygulama ile yerel yönetimlerin konu ile ilgili desteğini artırmak yatırımcı için farkındalık yaratarak konuya ilgiyi artırmayı sağlar,
- Yatırım vergi kredileri (4.5 Amerika örneği). Özellikle ülkemiz gibi vergi oranı yüksek bir ülke için önemli bir çözüm teşkil edecektir. Yatırımcıya yatırım maliyetinin %30'una kadar kredi verilmesini destekleyen bir projedir. Bu sayede ilk yatırım maliyetlerinin yükü azaltılabilir,
- Konut yenilenebilir enerji vergi kredisi (4.5 Amerika örneği). Hemen hemen tüm yenilenebilir enerji sistemlerinin konut tipi projeleri için vergi desteği amaçlayan bir projedir. Bu sayede ilk yatırım maliyetlerinin yükü azaltılabilir ve binalara bu konuda yapılacak yatırımlarda artış gözlemlenebilir,
- Konu ile ilgili akademik çalışmaların yaygınlaşması (4.6 İran örneği). Akademik çalışmalar sonucunda İran örneğinde olduğu gibi ülke vizyonu için önemli sonuçlar elde edilebilmektedir. Çalışmaların sonuçları hem ülke ekonomisinin gelişimi açısından hem de konu ile ilgili bilgi birikimi açısından faydalı sonuçlar doğurabilir (bölgesel farklılıkların tespit edilmesi gibi, bölgelere göre farklı teşvik oluşturulmasına yönelik öneri gibi),
- Dağıtılmış rüzgar üretim modelinin devlet tarafından ilgi görmesi ve teşvik edilmesi hem enerji güvenliği açısından hem de iletim kayıplarının minimuma indirilmesi açısından çok önemlidir (6.1 Dağıtılmış Üretim Modeli). Bu konuyu ana fikir olarak kabul eden teşvik mekanizmaları oluşturulabilir,
- Alım garantili tarifeler konusunda küçük ölçekli sistemlere özel tarife uygulamaları oluşturulabilir. "6.2 Alım Garantili Tarife" başlığında ve "4.6 İran örneği"'nde olduğu gibi bölgesel farklılıkları, türbin tiplerini veya üretim kapasitelerini baz alan ve yatırımcıyı teşvik edecek şekilde tarife tanımlamaları yapılması çok önemlidir. Yapılacak yatırımın geri dönüş süresinin azalması yatırımcıların konuya olan ilgilisini artıracaktır ve sektörün gelişimi için çok önemli bir adım olacaktır,
- Şehir planlamacılığında yenilenebilir enerji henüz ülkemizde başlanmış bir uygulama değildir. Devlet destekli böyle bir projeye adım atılması veya devlet tarafından bu konu ile ilgili çalışmalar başlatılması sektör için inovatif ve

canlandırıcı bir etki yaratacaktır. Konu ile ilgili yerel standartlar oluşturma, bina yönetmeliklerinde düzenlemeler yapma veya binaların mimarisinde yenilenebilir enerji sistemi barındırması halinde teşvikler uygulanma gibi çalışmalar bu alanda gelişmeleri hızlandıracaktır,

- "6.4 Bilgilendirme ve Sertifikasyon Kuruluşları" çok önemli bir konu olmasına rağmen ülkemiz gibi henüz küçük ölçekli rüzgar türbini yerli üretimlerinin az olduğu bir ülke için olmasa da sektörün gelişimine istinaden çok önemli bir etken haline gelecektir.

Bu ve buna benzer çalışmaların ülkemizde uygulanmaya başlanması halinde küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin hızlı bir şekilde yaygınlaştığı gözlemlenebilir. Bu yaygınlaşma sayesinde kendi elektriğini kendisi üretebilen bir ülke olma yolunda dev bir adım atılmış olacaktır.

Doğal ve sürdürülebilir bu enerji üretim yöntemi sayesinde, enerji konusundaki dışa bağımlılığımız da günden güne azalacaktır. Ülkemiz, her gün daha fazla temiz enerjiye yönelen Avrupa ülkeleri ile rekabet edebilecek konuma gelecektir.

KAYNAKLAR

[1] **Url-1** <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx>, alındığı tarih 10.10.2016. (İnternet adresi daha sonra <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx> olarak değiştirilmiştir)

[2] **Url-2** <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/ruzgar-enerjisinin-gelisimi-ve-tarihi/4309#ad-image-0>, alındığı tarih 10.10.2016.

[3] **Url-3** <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=ruzgarenerjisi>, alındığı tarih 13.10.2016.

[4] **Uçar, S.** (2007). Rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi ve Kayseri ili için çevresel etkilerinin değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[5] **Url-4** <http://www.tuge.ee/encyclopedia/what-is-a-small-wind-turbine>, alındığı tarih 13.10.2016.

[6] **Uyar, M., Gençoğlu, M.T., & Yıldırım, S.** Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

[7] **Yerebakan, M.** (2001). Rüzgar Enerjisi (Yayın no: 2001-33), Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.

[8] **Ufuk ELİBÜYÜK, İbrahim ÜÇGÜL** (2014). Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e DERGİ Cilt 2/Sayı 3.

[9] **Url-5** <http://tools.bp.com/energy-charting-tool.aspx>, alındığı tarih 11.02.2017.

[10] **Url-6** <https://yearbook.enerdata.net/electricity-domestic-consumption-data-by-region.html>, alındığı tarih 11.02.2017.

[11] **EİA,** (14.09.2017). International Energy Outlook 2017.

[12] **GWEC,** (14.02.2018). Global Wind Statistics 2017.

[13] **WWEA,** (06.2017). 2017 Summary, Small Wind World Report.

[14] **Wind Europe,** (02.2017). Wind in power, 2016 European statistics.

[15] **TEİAŞ,** Türkiye Elektrik Üretim – İletim İstatistikleri.

[16] **TEİAŞ,** (Temmuz 2015). Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu 2015-2019.

[17] **Url-7** <https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-03/kurulu_guc.pdf>, alındığı tarih 17.03.2018.

[18] **TÜREB,** (Ocak 2018). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistikleri.

[19] **Url-8** <http://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-kullanim-alanlari/> alındığı tarih 20.02.2018.

[20] **Url-9** <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/ruzgar-enerjisi.html> alındığı tarih 20.02.2018.

[21] **Url-10** <https://www.energywise.govt.nz/at-home/generating-energy/small-wind-turbines/> alındığı tarih 21.02.2018.

[22] **Url-11** <https://www.energy.gov/energysaver/grid-connected-renewable-energy-systems> alındığı tarih 21.02.2018.

[23] **Url-12** <http://www.windenergy.com/community/blog/what-difference-between-grid-and-grid-wind-turbines> alındığı tarih 21.02.2018.

[24] **Url-13** <http://www.giga.co.za/ocart/index.php?route=product/product& product_id=187> alındığı tarih 21.02.2018.

[25] **Url-14** <https://www.energywise.govt.nz/at-home/generating-energy/stand-alone-power-systems/> alındığı tarih 21.02.2018.

[26] **Url-15** <http://yearzerosurvival.tumblr.com/post/35636609066/off-grid-power-systems> alındığı tarih 21.02.2018.

[27] **Url-16** <http://www.surespanwind.com/pros-cons-small-scale-wind-power/> alındığı tarih 21.02.2018.

[28] **Url-17** <http://www.tuge.ee/encyclopedia/what-are-the-benefits-of-a-small-wind-turbine> alındığı tarih 21.02.2018.

[29] **Url-18** <http://www.tuge.ee/encyclopedia/what-are-the-disadvantages-of-a-small-wind-turbine> alındığı tarih 21.02.2018.

[30] **Url-19** <https://gazelektrik.com/faydali-bilgiler/elektrik-tuketimi> alındığı tarih 28.02.2018.

[31] **Çetin N. S., Çelik H., Başaran K.** (2011). Rüzgar Türbinlerinde Kapasite Faktörü ve Türbin Sınıf İlişkisi, Elazığ.

[32] **Url-20** <http://www.yourhome.gov.au/energy/wind-systems> alındığı tarih 01.03.2018.

[33] **Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau Dan Air (Ministry of Power, Green and Water Technology)** (17.11.2008). National Renewable Energy Policy & Action, Malaysia.

[34] **Shih-Yuan Liu, Yu-Feng Ho** (2016). Wind Energy Applications for Taiwan Buildings: What are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59 (2016) 39-55.

[35] **New Zealand Government** (14.04.2011). National Policy Statement for Renewable Electricity Generation 2011, New Zealand.

[36] **New Zealand Government** (10.2007). New Zealand Energy Strategy to 2050: Powering our future, New Zealand.

[37] **Nikolaus Reuther, Jean-Paul Thull** (12.2011). Study of Small and Micro Wind Turbines for Residential Use in New Zealand, Land Environment and People Research Report No.30.

[38] **Ulusal Halk Kongresi Daimi Komitesi, Başkanlık Kararnamesi** (26.12.2009). "Çin Halk Cumhuriyeti Yenilenebilir Enerji Kanunu" kararı.

[39] **Çin Halk Cumhuriyeti, Konut ve Kent-Kırsal Kalkınma Bakanlığı** (11.03.2011). Yenilenebilir Enerji Binalarının Uygulanmasının Teşvik Edilmesine İlişkin Konut ve Kentsel Kırsal Kalkınma Bildirisi.

[40] **Ulusal Enerji Yönetimi** (11.2016). Rüzgar gücü geliştirme "13. Beş Yıllık Plan".

[41] **Internal Energy Agency, Energy Research Institute** (10.2011). Technology Roadmap, China Wind Energy Development Roadmap 2050.

[42] **Zhou, E.** (10.2015). U.S. Renewable Energy Policy and Industry, Presentation at CNREC, National Renewable Energy Laboratory.

[43] **Senate of the United States** (09.02.2018). Bipartisan Budget Act of 2018.

[44] **The U.S. Department of Agriculture, Rural Development** (26.01.2015). High Energy Cost Grants Program.

[45] **The U.S. Department of Agriculture, Rural Development** (10.2015). Rural Energy for America Program Renewable Energy Systems & Energy Efficiency Improvement Loans & Grants.

[46] **Hosseinalizadeh R., Rafiei E. s., Alavijeh A. S., Ghaderi S. F.** (2017). Economic analysis of small wind turbines in residential energy sector in Iran, Sustainable Energy Technologies and Assessments 20 (2017) 58-71.

[47] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2013). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 02.10.2013 tarihli 28783 sayılı Resmi Gazete.

[48] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Kanun Numarası: 5346, Kabul Tarihi: 10/5/2005, Yayımlandığı Resmi Gazete 18/5/2005 tarihli 25819 sayılı, Yayımlandığı Düstur: Tertip:5 Cilt: 44.

[49] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (12.2014). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı.

[50] **U.S Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy** (08.2017). 2016 Distributed Wind Market Report.

[51] **Url-21** <http://global-climatescope.org/en/policies/#/?mechanism=9&sort-on=name&sort-direction=asc> alındığı tarih 22.04.2018.

[52] **Url-22** <http://programs.dsireusa.org/system/program> alındığı tarih 22.04.2018.

[53] **City of Vancouver.** Renewable City Strategy 2015 - 2050.

[54] **Url-23** <http://smallwindcertification.org/home/> alındığı tarih 06.05.2018.

[55] **Url-24** <http://halbes.com> alındığı tarih 22.04.2018.

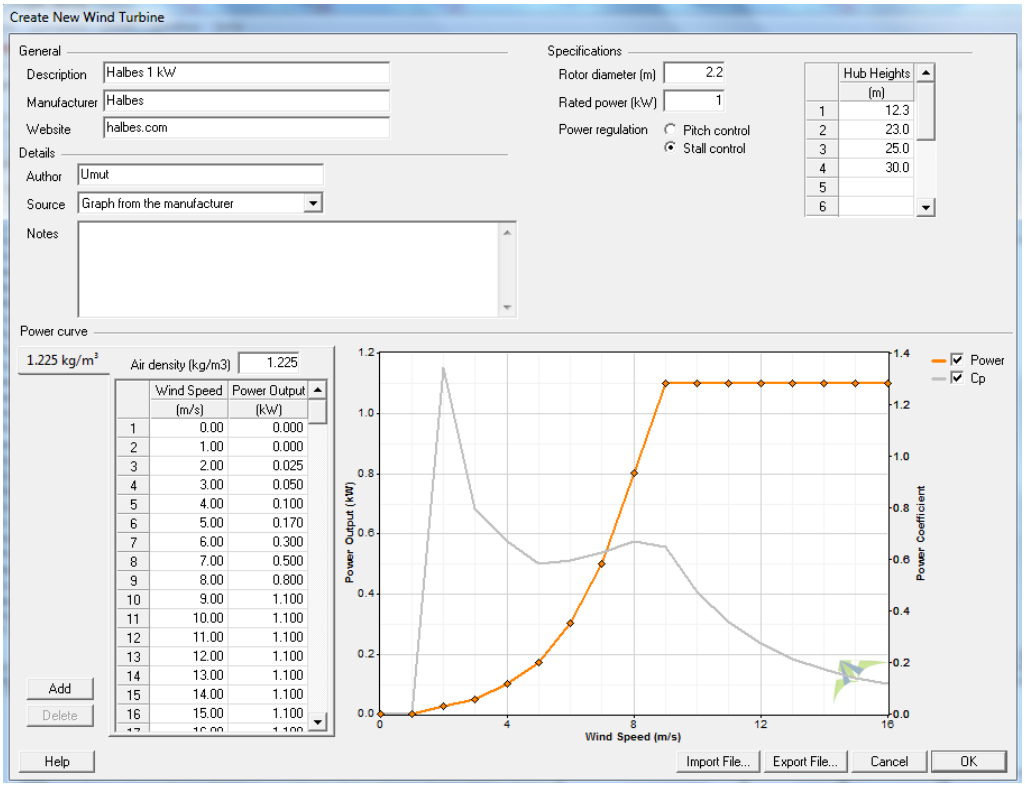
[56] **Url-25** <http://www.windturbinestar.com/ruezgar-turbine.html> alındığı tarih 22.04.2018.

EKLER

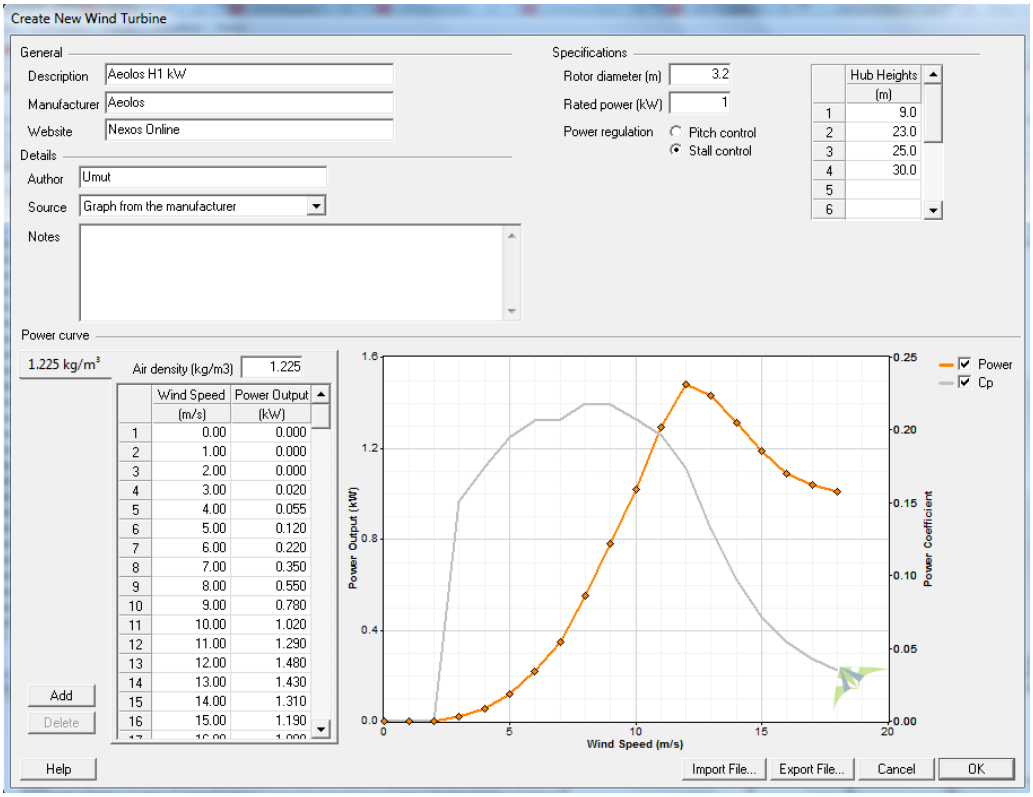
EK A: Seçilmiş Olan Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrileri

EK B: 1 kW, 2 kW ve 2,5 kW Kapasitelerdeki Türbinlerin 23 Metre ve 25 Metredeki Güç Çıkışları (Bolu ve Ayvalık için)

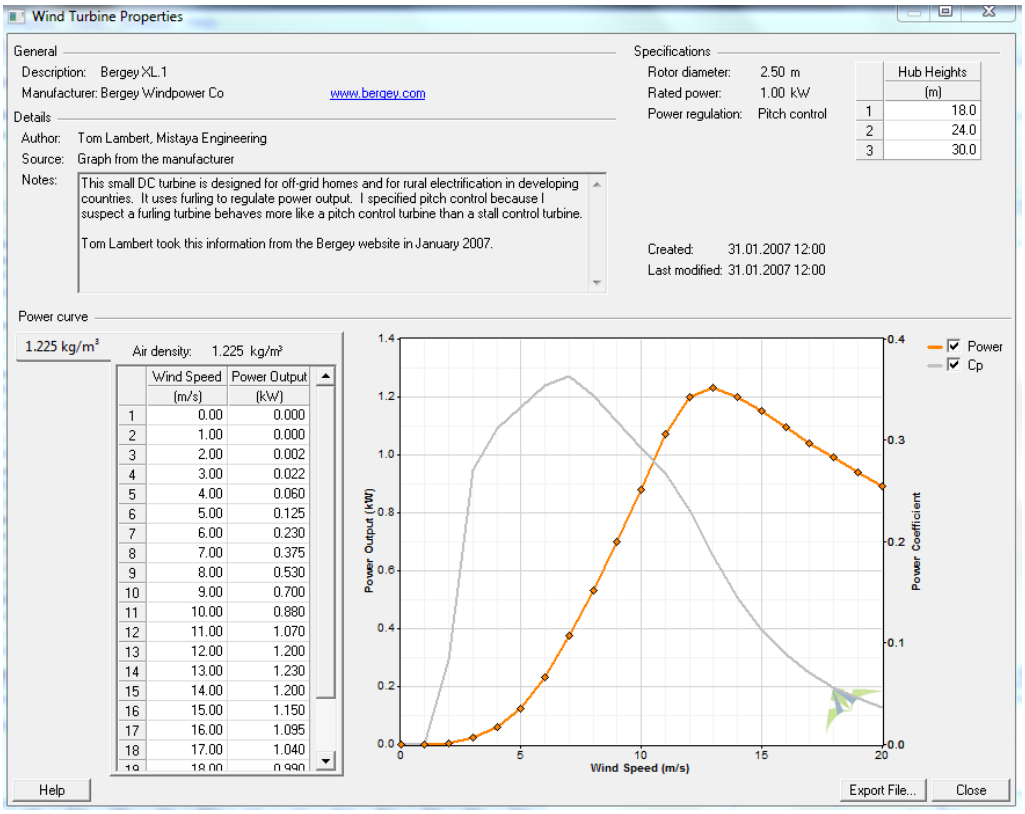
EK A: Seçilmiş Olan Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrileri



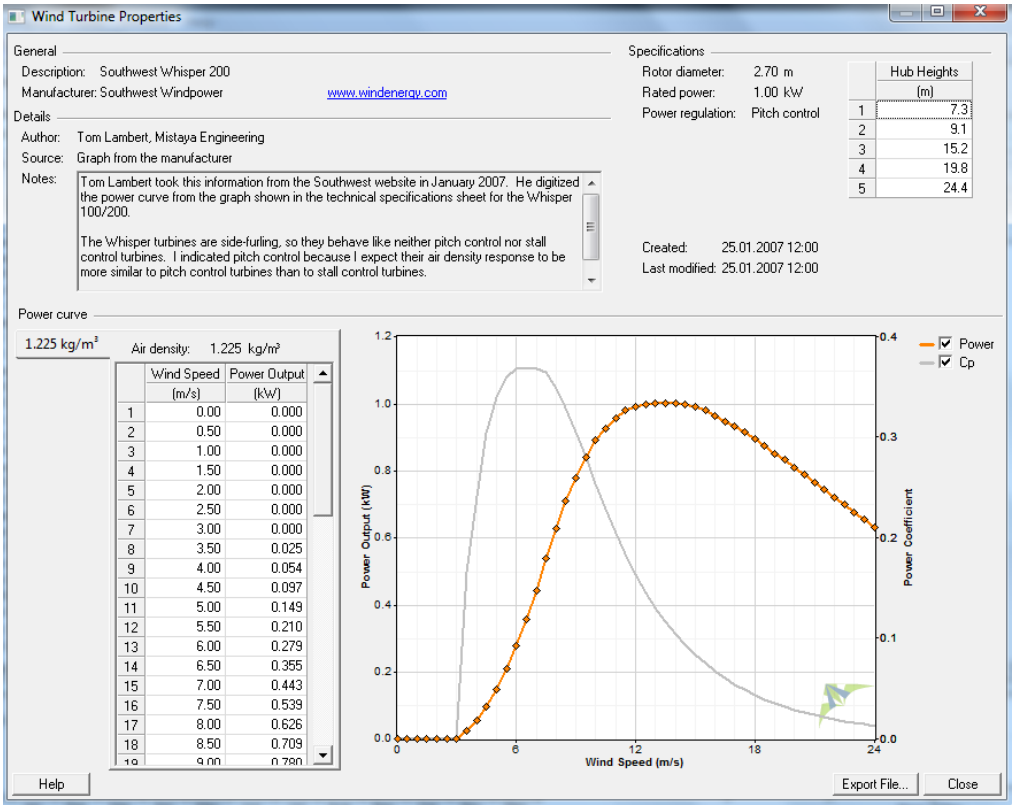
Şekil A.1 : Halbes marka 1 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması [55].



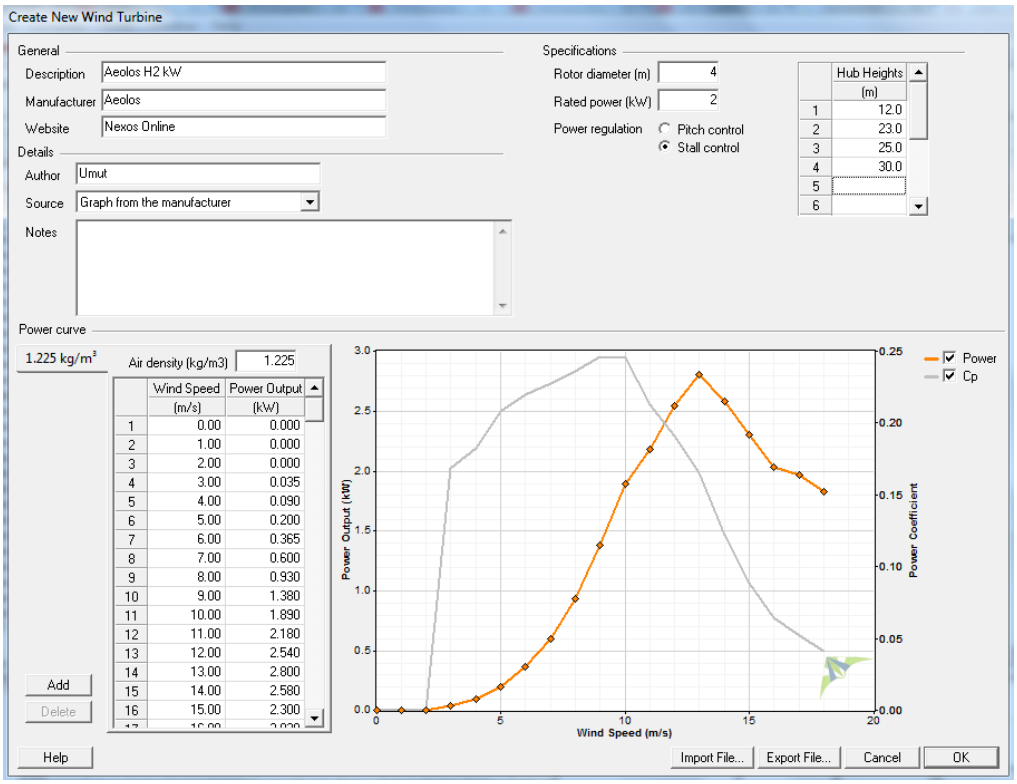
Şekil A.2 : Aeolos marka 1 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması [56].



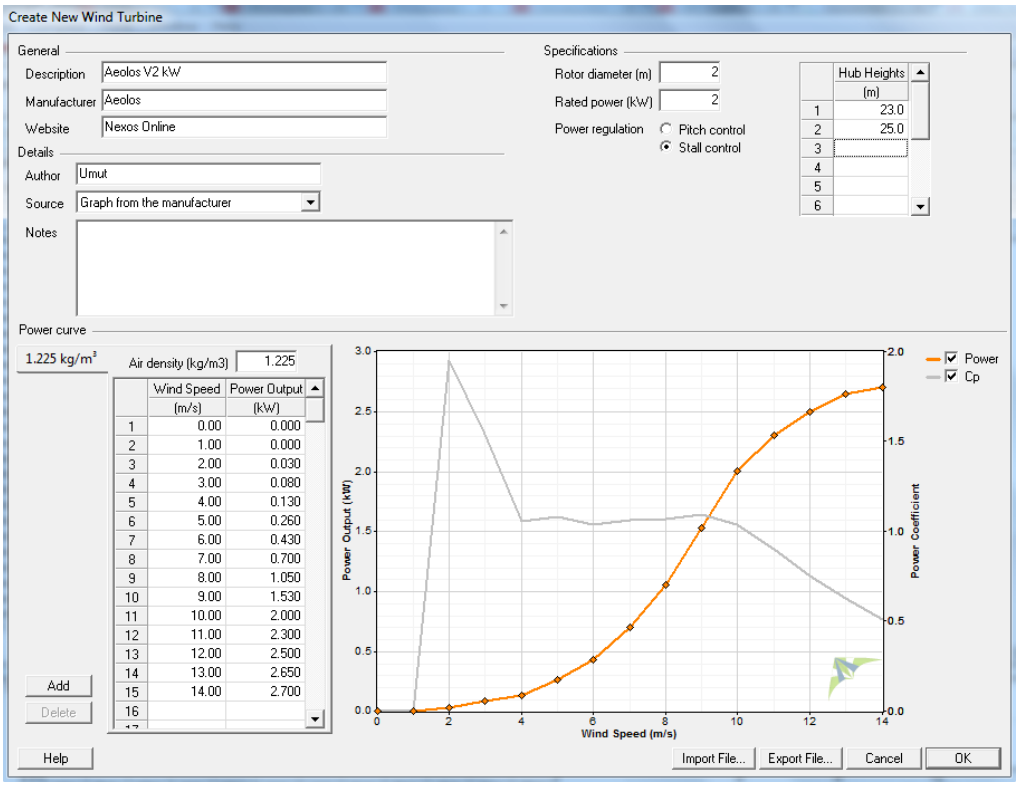
Şekil A.3 : Programa tanımlı olan Bergey XL1 model 1 kW türbinin programa tanımlı çalışma yükseklikleri ve güç eğrisi.



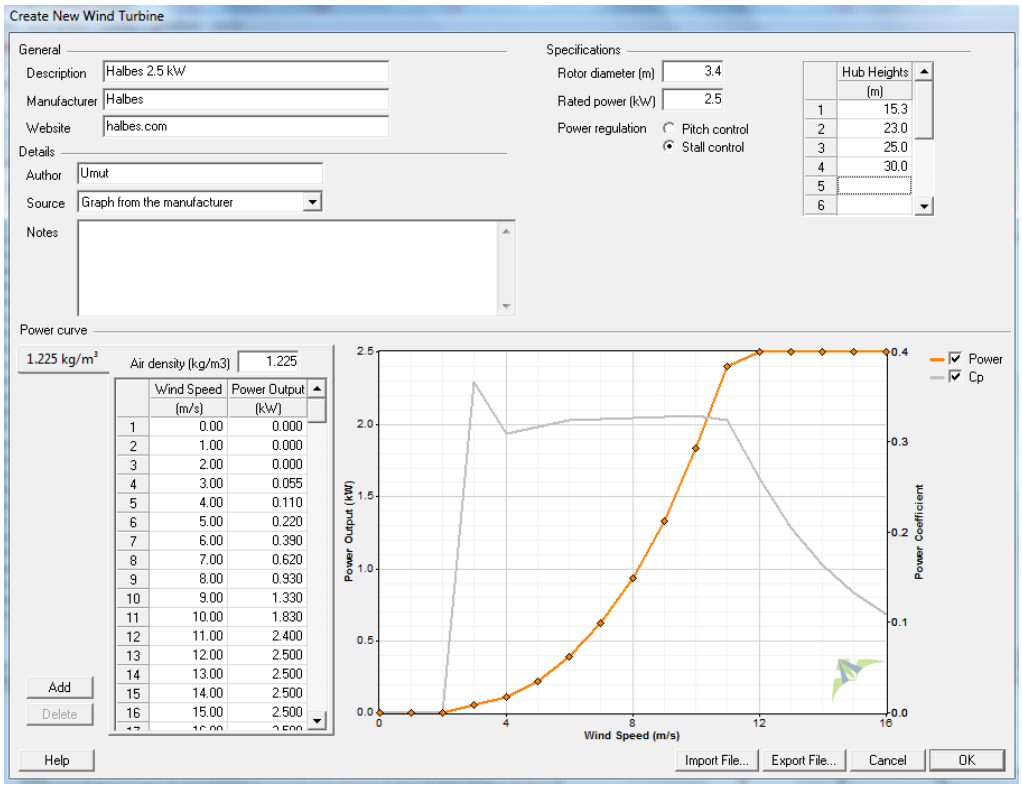
Şekil A.4 : Programa tanımlı olan Southwest Whisper 200 model 1 kW türbinin programa tanımlı çalışma yükseklikleri ve güç eğrisi.



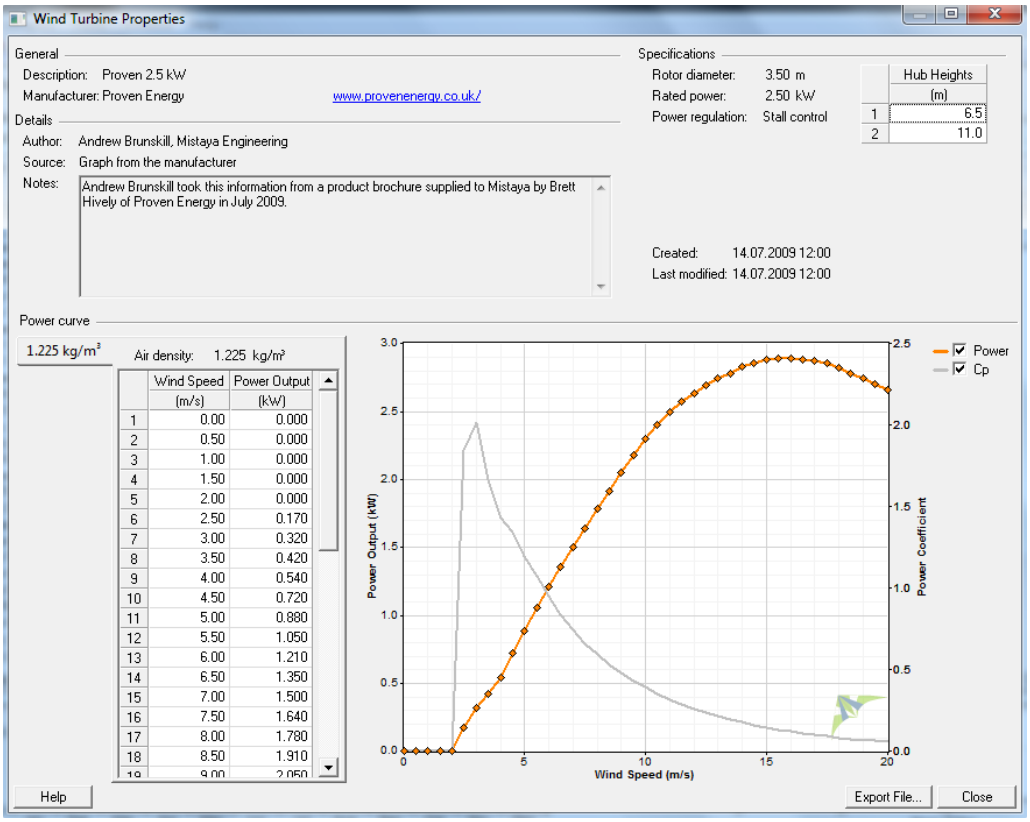
Şekil A.5 : Aeolos marka yatay eksenli 2 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması [56].



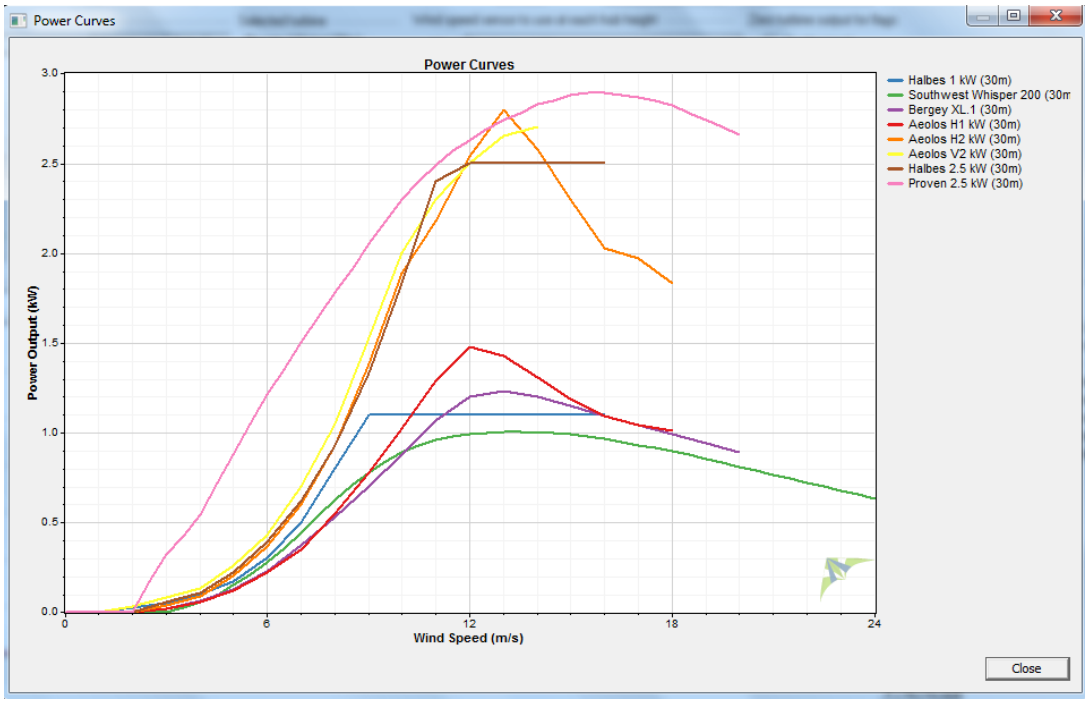
Şekil A.6 : Aeolos marka dikey eksenli 2 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması [56].



Şekil A.7 : Halbes marka 2,5 kW türbinin, çalışma yüksekliklerinin ve güç eğrisinin programa tanımlanması [55].

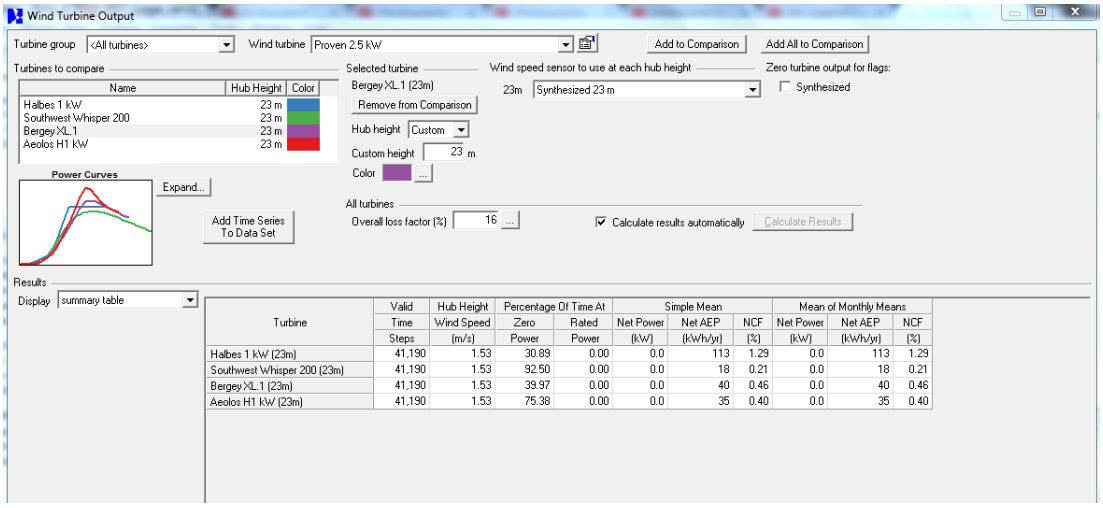


Şekil A.8 : Programa tanımlı olan Southwest Whisper 200 model 1 kW türbinin programa tanımlı çalışma yükseklikleri ve güç eğrisi.

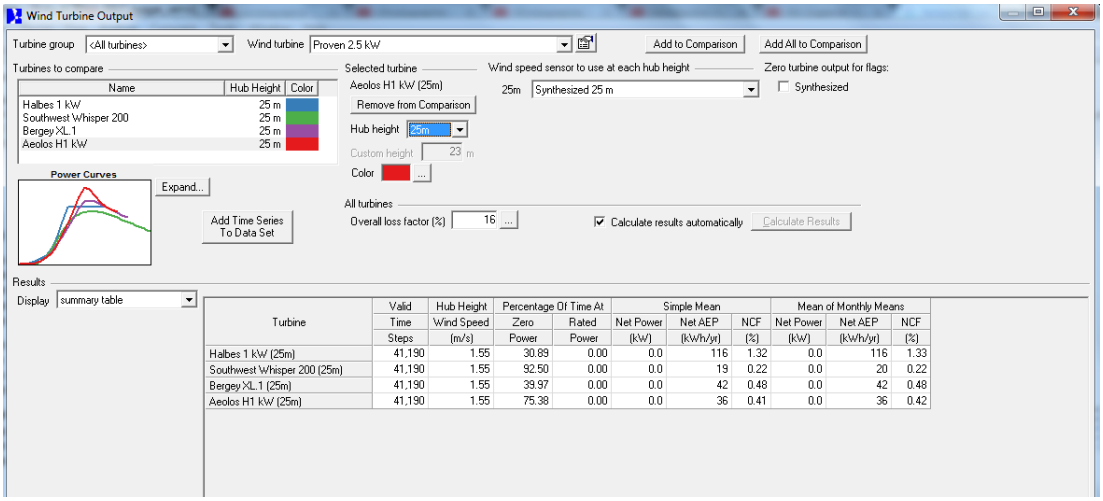


Şekil A.9 : Hesaplama işleminde kullanılan tüm türbinlerin güç eğrilerinin karşılaştırılması.

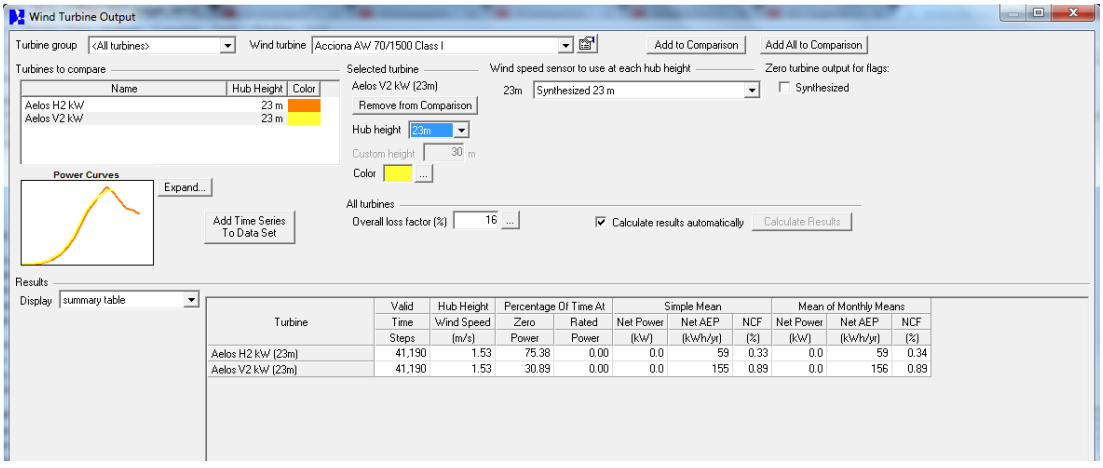
EK B: 1 kW, 2 kW ve 2,5 kW Kapasitelerdeki Türbinlerin 23 Metre ve 25 Metredeki Güç Çıkışları (Bolu ve Ayvalık için)



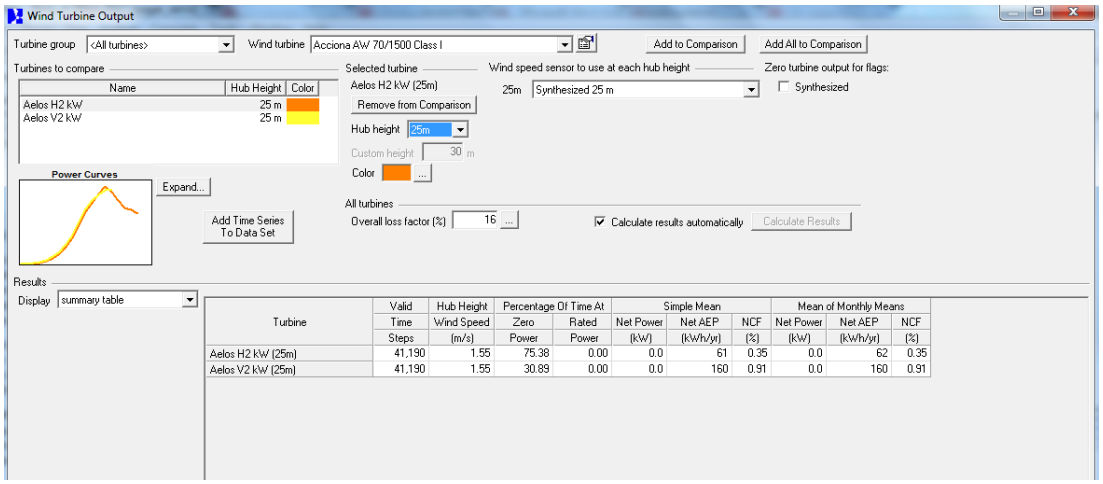
Şekil B.1: 1 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Bolu).



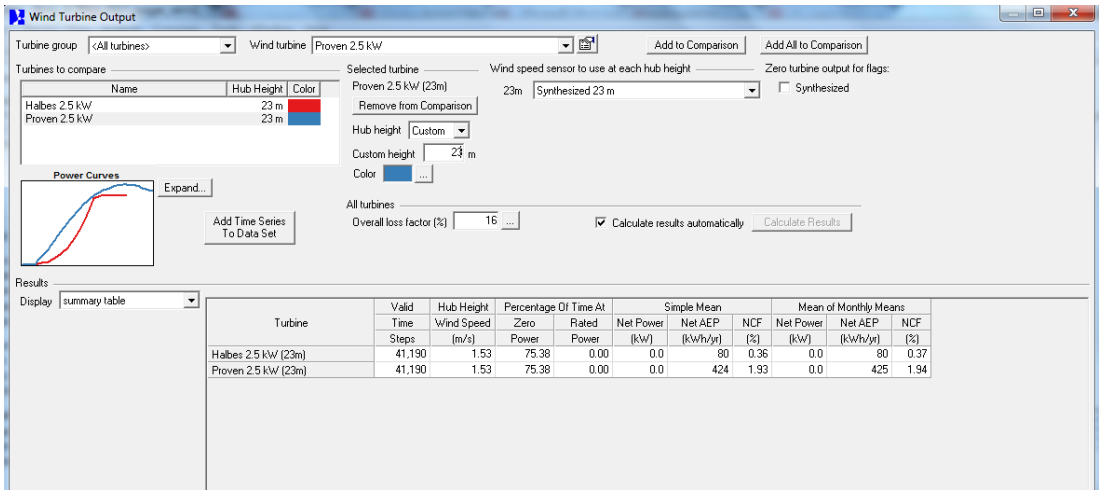
Şekil B.2: 1 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Bolu).



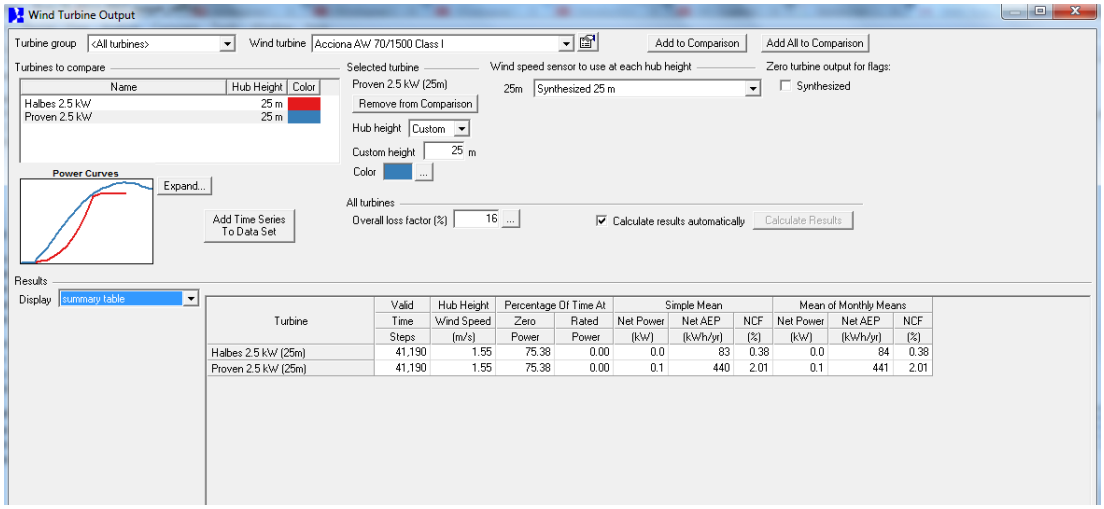
Şekil B.3: 2 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Bolu).



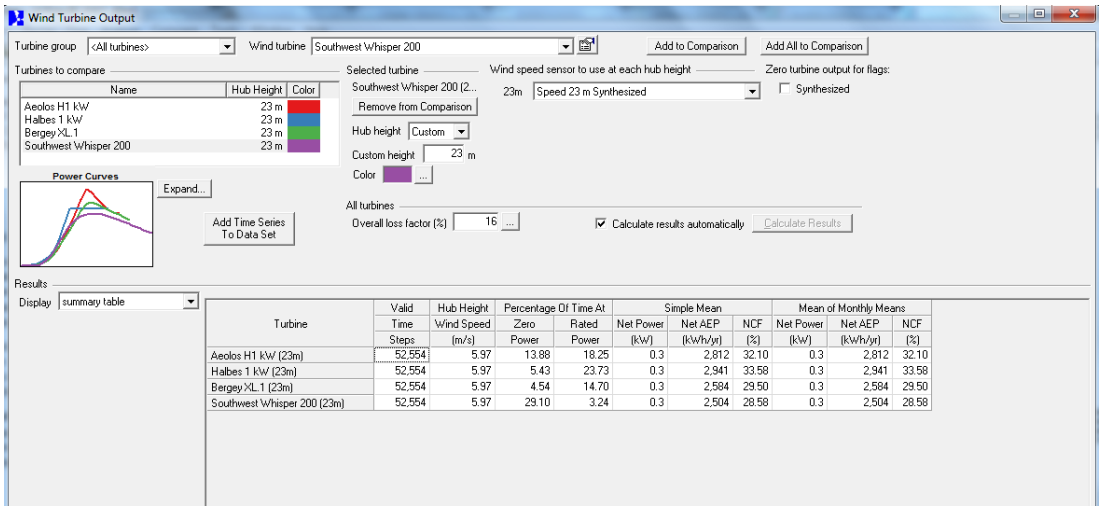
Şekil B.4: 2 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Bolu).



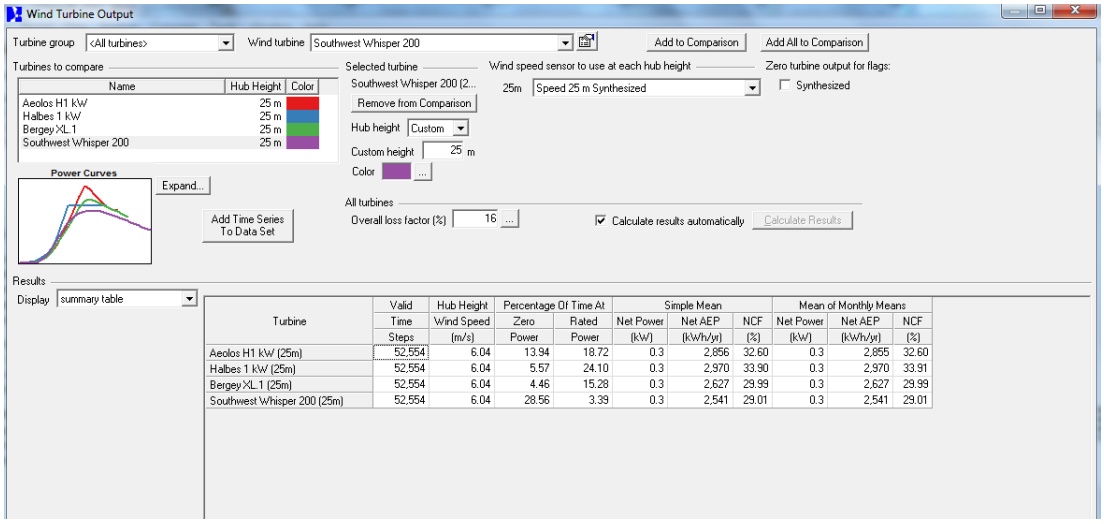
Şekil B.5: 2,5 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Bolu).



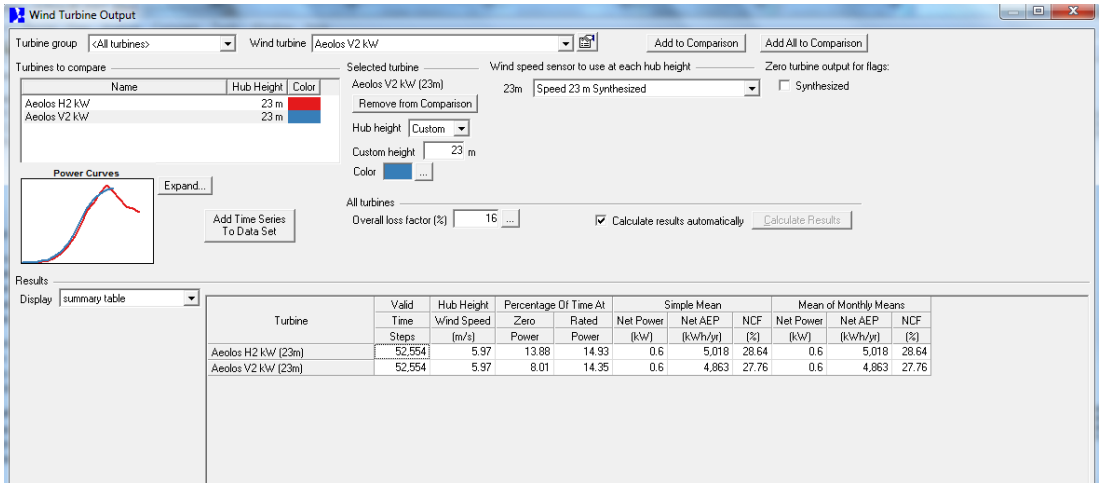
Şekil B.6: 2,5 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Bolu).



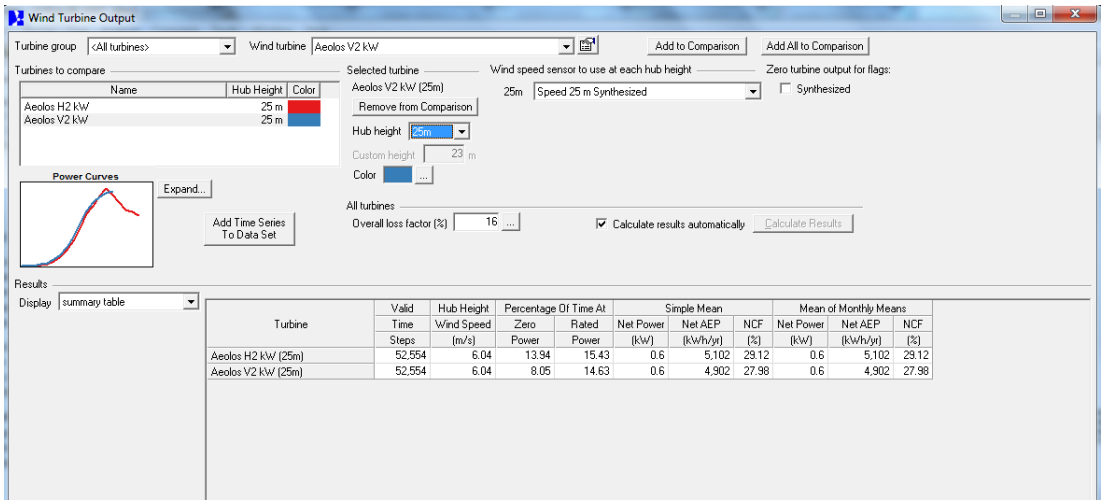
Şekil B.7: 1 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Ayvalık).



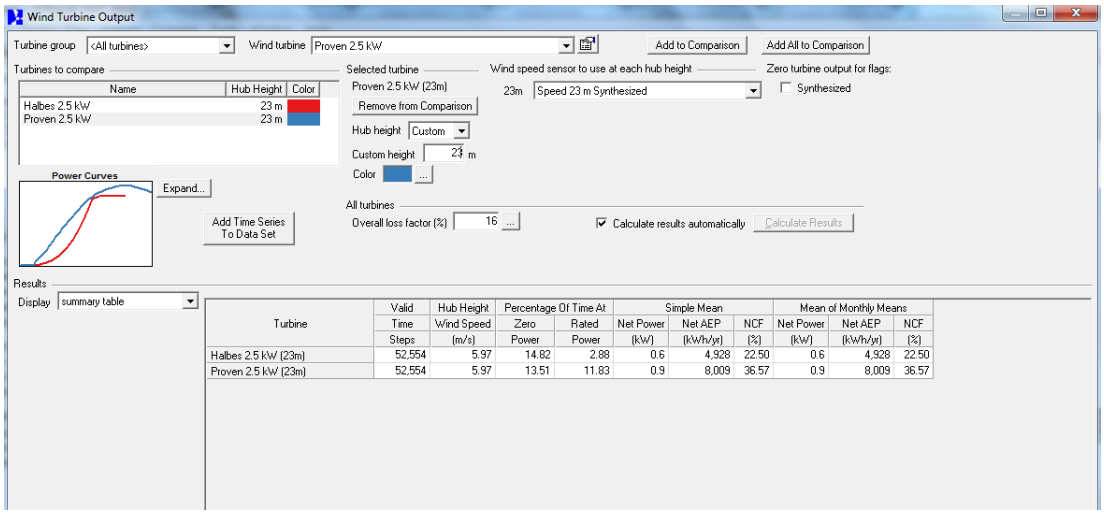
Şekil B.8: 1 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık).



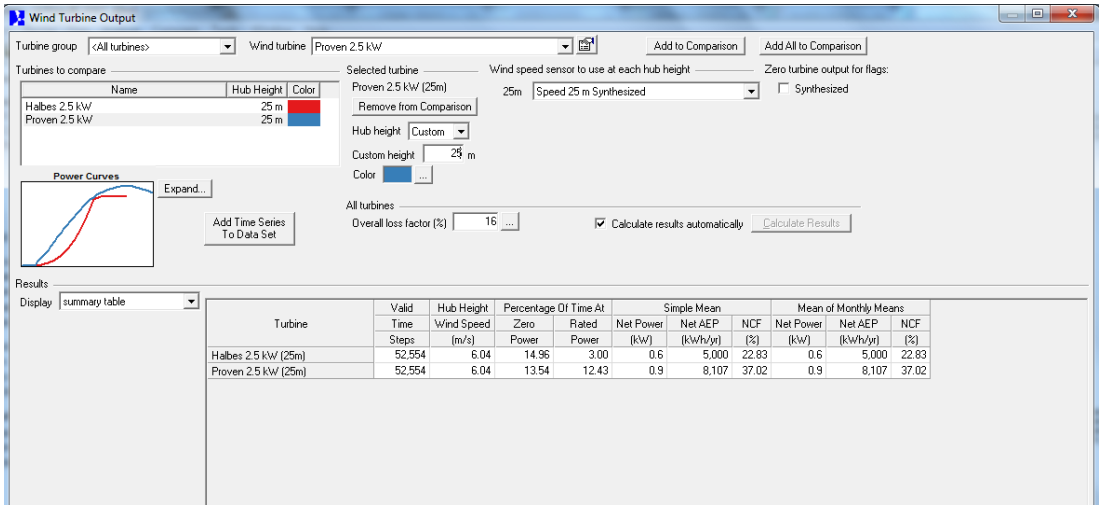
Şekil B.9: 2 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Ayvalık).



Şekil B.10: 2 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık).



Şekil B.11: 2,5 kW türbinler için 23 metredeki güç hesabı (Ayvalık).



Şekil B.12: 2,5 kW türbinler için 25 metredeki güç hesabı (Ayvalık).

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Umut Öztürk

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 29.07.1991 / Ankara

E-posta **:** ozzturkumut@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- E+M Elektrik Sistem Hizmetleri A.Ş – Mekanik Mühendisi(Kasım 2013 – Mart 2015).
- Arçelik A.Ş Pişirici Cihazlar İşletmesi – Emaye & Boya Takım Liderliği, Uzman Üretim Mühendisi (Nisan 2015 - …)