

1. GİRİŞ

Ekonomi ve sosyal kalkınma açısından enerji kaynakları oldukça önemlidir. Sanayi Devrimi sonrasında insanın enerji kaynaklarına olan talebi artmış ve bu artış günümüzde de devam etmektedir. Dünyada gereksinim duyulan enerjinin çok büyük bir kısmı petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynaklar kullanılarak karşılanmaktadır (IEA 2019). Fosil enerji kaynakları geleneksel enerji kaynakları olarak da tanımlanmaktadır ve bunlar günlük yaşantımız içinde her alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle son iki yüzyıl boyunca fosil yakıtlar hem ucuz olmaları hem de üretim teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Sanayi devrimi sonrasında kömüre dayalı olan enerji talebine daha sonraki yıllarda petrol ve doğal gaz eklenmiştir. Fosil kaynakların önemli düzeyde çevre kirliliği yaratması da bu yöndeki arayışı hızlandırmıştır. Bu açılardan yaygın olarak bilinen fakat fosil yakıtlarla rekabet edemeyerek ikinci planda kalan yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların değerlendirilmesinde modern sistemlerin kullanımı da tekrar önem kazanmaya başlamıştır. Özellikle enerji tüketimi çok büyük boyutlarda olan ABD ve fosil kaynak rezervleri bakımından zengin olmayan AB ülkeleri ile sanayileşmenin fazla olduğu Uzakdoğu ülkeleri; yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda öncülük etmişlerdir.

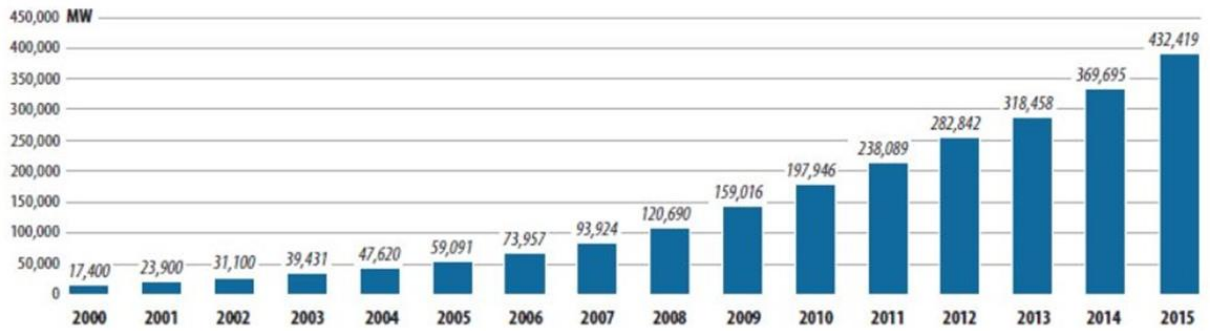
Türkiye 'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve önemi büyüktür. Öte yandan bu kaynakların kullanımı oldukça düşük seviyelerdedir (\Rightarrow %1) ve bu enerji türleri ile yeterince çalışılmamaktadır. Ülkemizde bu kaynakların kullanımının artması ve bu kullanımın daha verimli şekilde yapılması ülkenin enerji bütçesine ciddi katkılar sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından doğru ve sağlıklı bir biçimde yararlanılması için gereken strateji, plan ve politikaların önemi giderek artmakta ve önemli boyutlara erişmektedir. Bu planlamaları yapabilmek, stratejileri geliştirmek için enerji potansiyelinin belirlenmesinde çeşitli istatistik, ölçüm, benzetim ve tahminleme yöntemlerinin kullanılması son yıllarda büyük önem kazanmıştır (Çorbacı 2012).

Ülkemiz rüzgar potansiyeli açısından zengin bölgeleri olan bir ülkedir. Türkiye 'nin rüzgar potansiyeli kesin olarak belirlenememiştir fakat brüt potansiyelinin 400 milyar kWh/yıl, teknik potansiyelinin ise 120 milyar kWh olduğu belirtilmektedir. Teknik potansiyel için belirtilen bu rakam yılda üretilen elektriğin 1,2 katıdır (Tavman ve Önder 2001). Rüzgar enerjisi potansiyelinin daha hassas olarak belirlenebilmesi için, ülkemizde uygun sayıda rüzgar ölçüm istasyonunun kurulması ve rüzgar atlası istatistiklerinin çıkarılması şarttır.

Bu çalışmada, Bayburt İli Aydıntepe İlçesinde kurulmuş olan rüzgar ölçüm istasyonundan 1 yıl boyunca elde edilen rüzgar hızı, yönü, basıncı, hava nemi ve sıcaklığı verilerinden yararlanılarak bölgenin rüzgar enerjisinin potansiyeli belirlenmiştir. Bu amaçla elde edilen veriler WindPRO ve WAsP programlarında işlenmiş ve bölgede kurulabilecek bir rüzgar tarlasının optimizasyonu, rüzgar verilerine göre kurulabilecek rüzgar tesisinin kapasitesi belirlenmiştir. Sonuçta, seçilen sahadan üretilebilecek enerji miktarı ve optimum türbin konumlarına yönelik tasarım gerçekleştirilmiştir.

1.1. Dünya'daki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

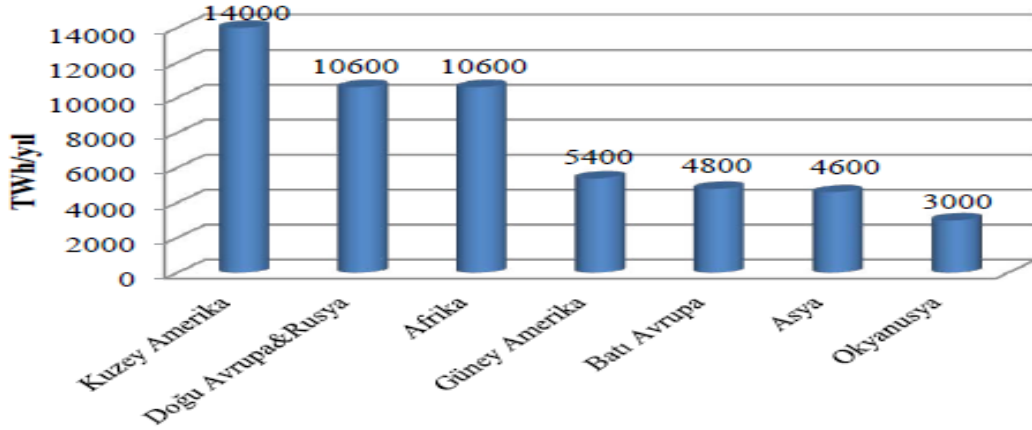
Dünyanın rüzgar enerji potansiyelinin, 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki alanda 9.000 TWh/yıl kapasitesinin kullanılabilir olduğu hesaplanmıştır. Dünya karasal alanları toplamının 27%'si yıllık ortalama 5,1 m/s'den daha yüksek rüzgar hızının etkisi altında kalmaktadır. Bu rüzgar enerjisinin değerlendirilmesi durumunda 8 MW/km² üretim kapasitesi ile 240.000 GW kurulu güce sahip olunacağı hesaplanmaktadır (Kıncay ve ark. 2013). Şekil 1.1' de Dünya'da kurulu rüzgar kapasitesinin yıllara göre artışı görülmektedir.



Şekil 1.1. 2000-2015 yılları arasında Dünya'da kurulu rüzgar kapasitesinin değişimi (Anonim 2018a)

Dünya rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi için Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) çeşitli araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda, 5,1 m/s üzerinde rüzgar kapasitesine sahip bölgelerin, uygulama açısından ve toplumsal kısıtlar nedeni ile %4'ünün kullanılacağı kabul edilmiş ve dünyanın teknik rüzgar potansiyeli 53000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Rüzgar enerji potansiyeli yüksek olan bölgeler ve kıtalar sırasıyla; Kuzey Amerika (14000TWh/yıl), Doğu Avrupa ve Rusya (10600 TWh/yıl), Afrika (10600 TWh/yıl), Güney Amerika (5400 TWh/yıl), Batı Avrupa (4800 TWh/yıl), Asya (4600 TWh/yıl) ve Okyanusya (3000 TWh/yıl)

olarak belirlenmiştir (Şenel ve Koç 2015) (Şekil 1.2). Bu veriler, Kuzey Amerika, Doğu Avrupa; Rusya ve Afrika'nın dünya rüzgar enerji potansiyelinin %66'sına sahip olduğunu göstermektedir.

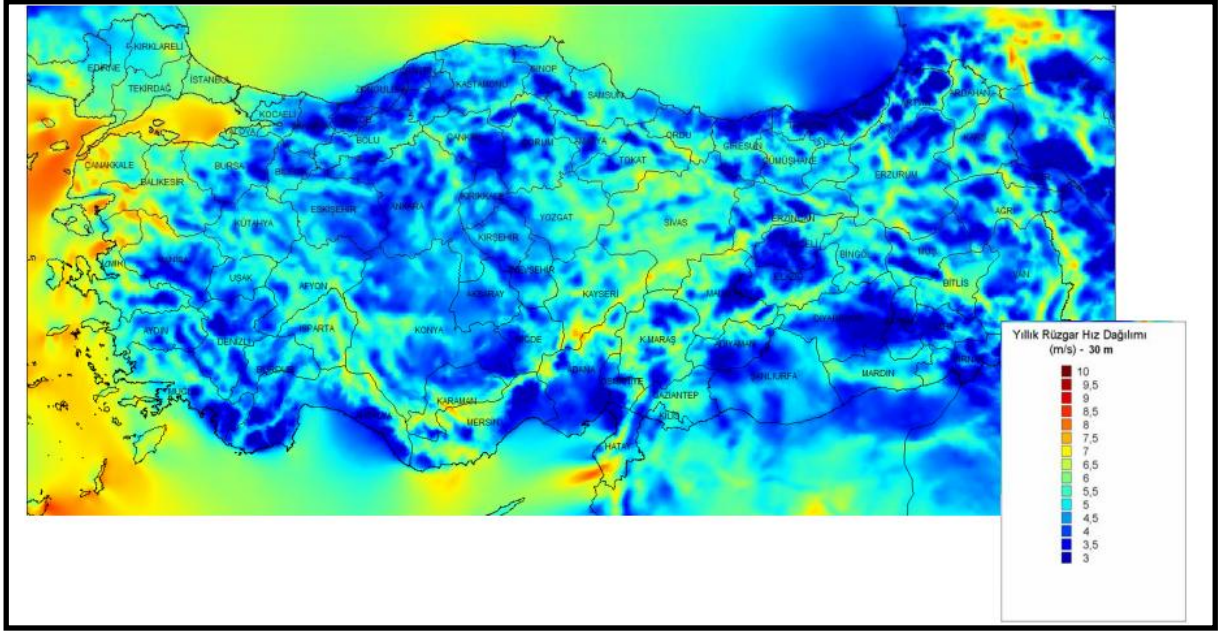


Şekil 1.2. Dünya teknik potansiyelinin kıtalara göre dağılımı (Şenel ve Koç 2015)

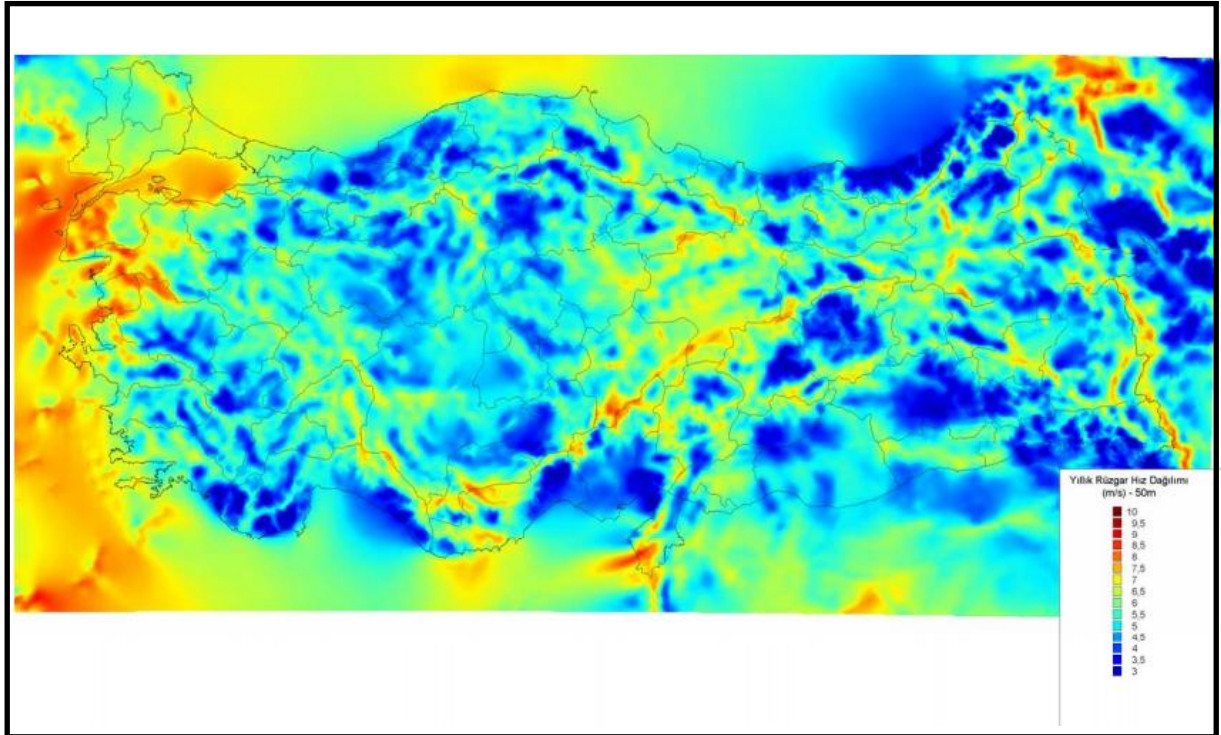
1.2. Türkiye'deki Rüzgar Enerji Potansiyeli

REPA yani Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası ülkemizde rüzgar kaynaklarının özelliklerini ve dağılımının nasıl olduğunu belirlemek amacıyla üretilmiştir. REPA'da detaylı olarak verilen rüzgar kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yapılabilecek olası bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek önemli bir alt yapı sağlamaktadır (Çalışkan 2010). Bu atlas yardımıyla aşağıda belirtilen değerler öğrenilebilmektedir (200 m X 200 m çözünürlüğünde).

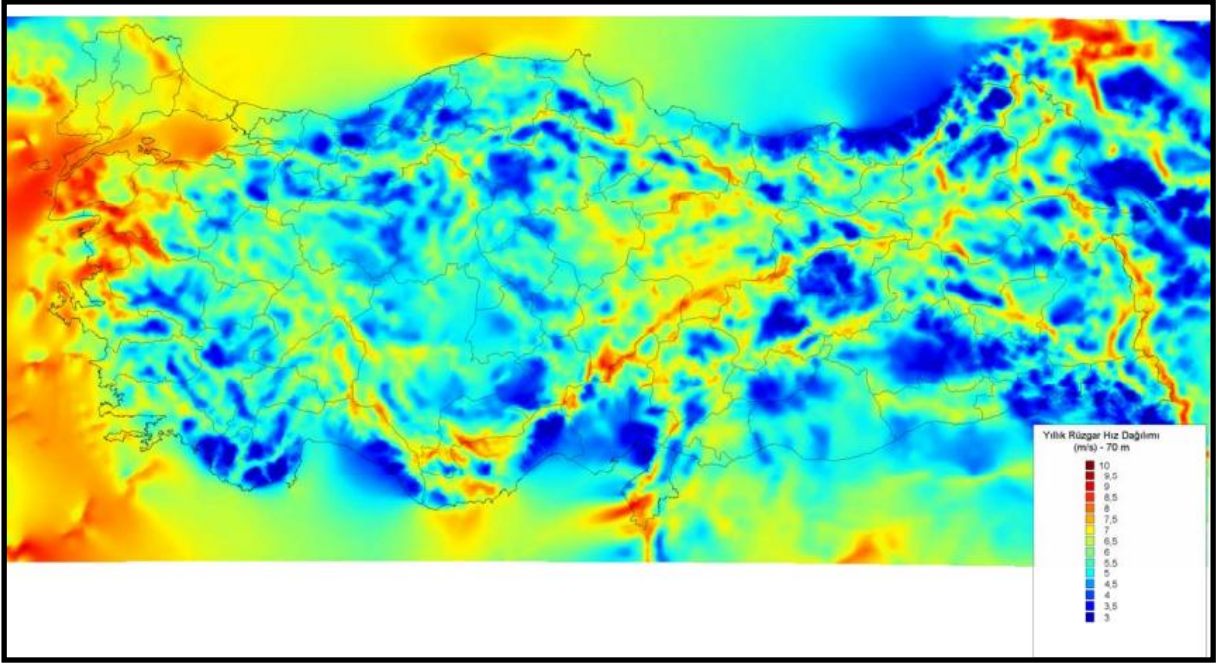
- 30, 50, 70 ve 100 m yüksekliklerde yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük ortalama rüzgar hızları (Şekil 1.3-1.6),
- 50 (Şekil 1.7) ve 100 m yüksekliklerde saptanan rüzgar güç yoğunlukları (yıllık, mevsimlik ve aylık),
- referans bir rüzgar türbini için yıllık kapasite faktörü (50 m' de) (Şekil 1.8),
- yıllık rüzgar sınıfları (50 m 'de),
- aylık sıcaklık değeri (2 ve 50 m'de),
- Deniz seviyesinde ve 50 m yüksekliklerdeki aylık basınç değerleri.



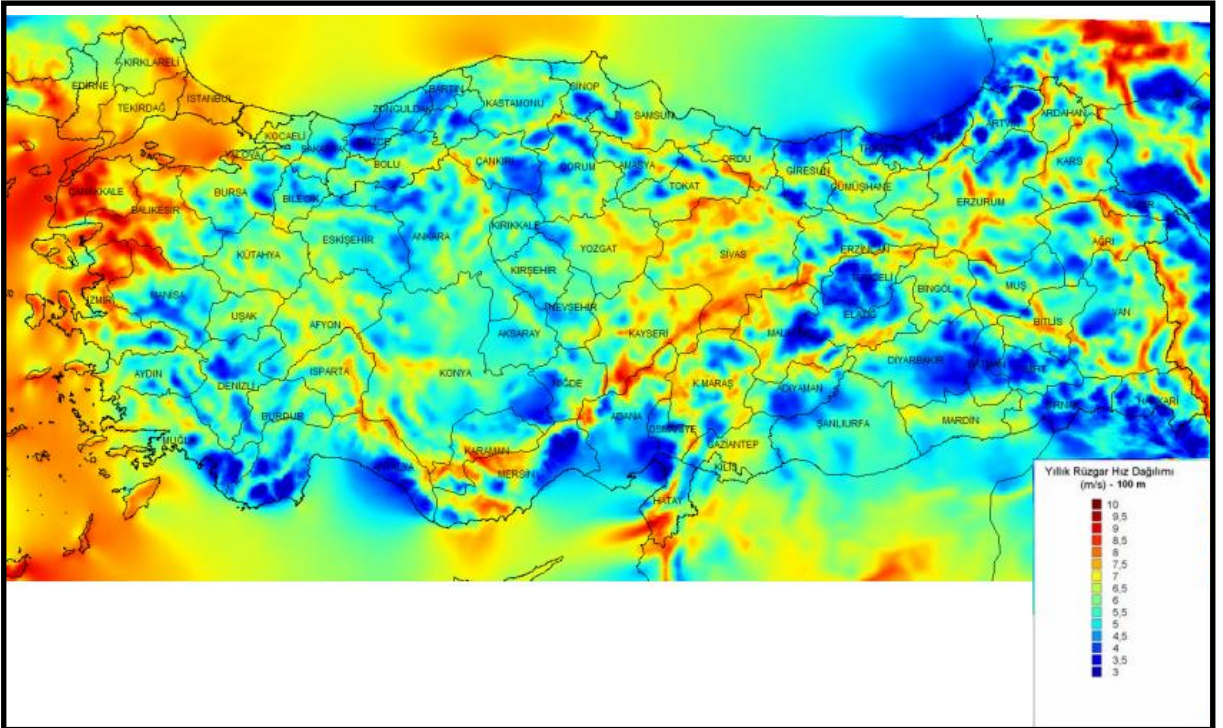
Şekil 1.3. Yıllık ortalama rüzgar hızı (30 m yükseklik) (Çalışkan 2010)



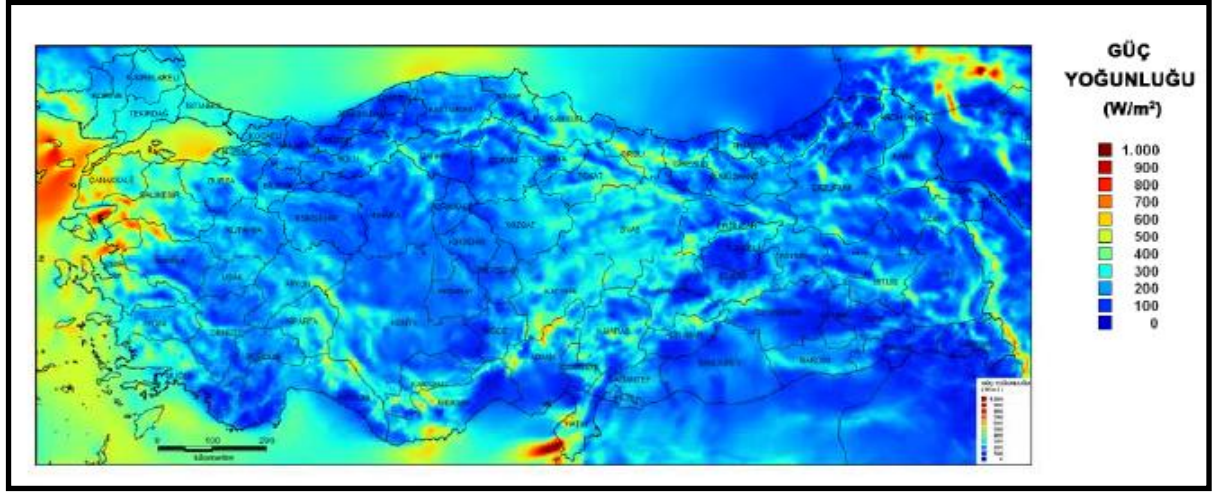
Şekil 1.4. Yıllık ortalama rüzgar hızı (50 m yükseklik) (Çalışkan 2010)



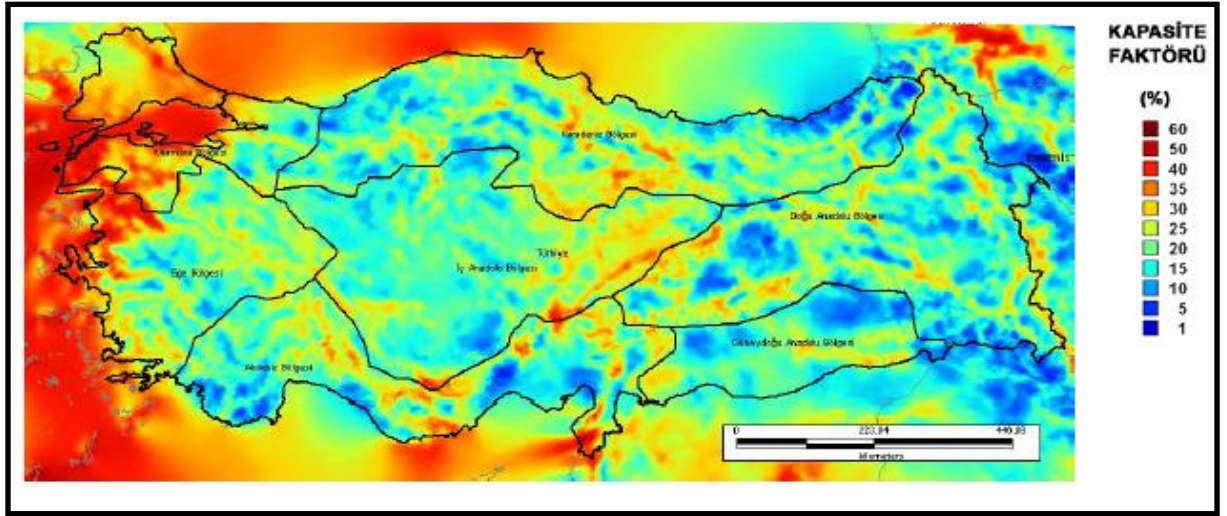
Şekil 1.5. Yıllık ortalama rüzgar hızı (70 m yükseklik) (Çalışkan 2010)



Şekil 1.6. Yıllık ortalama rüzgar hızı (100 m yükseklik) (Çalışkan 2010)



Şekil 1.7. Türkiye genelinde 50 m yükseklikteki ortalama güç yoğunluğu (Çalışkan 2010)



Şekil 1.8. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü dağılımı (Çalışkan 2010)

Rüzgar enerjisi uygulamaları açısından kullanılabilir alanlara 5 MW/km² gücünde rüzgar enerji santrali kurulabileceği varsayılarak Türkiye’de karasal alanlar üzerine 37 836 MW, deniz üstü alanlara 10 013 MW güç kapasitesinde kurulum yapılabileceği belirtilmiştir (Çalışkan 2010).

1.3. Rüzgar Enerji Santralleri (RES) ve Bileşenleri

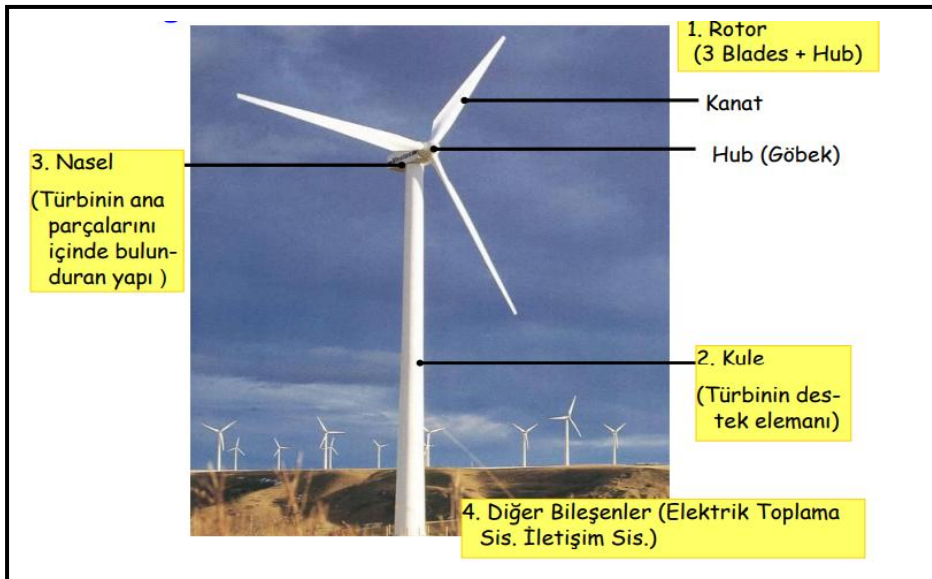
Rüzgar türbini, rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren bir makinedir. Mekanik enerji bir makine tarafından direkt kullanılıyorsa bu makine genel olarak rüzgar değirmeni olarak adlandırılırken elektrik enerjisine çevriliyorsa bu makine türbin, güç birimi, hava jeneratörü vs. olarak tanımlanmaktadır.

1.3.1. Rüzgar türbini çeşitleri

Rüzgar türbinlerinin farklı türleri tarih boyunca pekçok değişim geçiren makinelerde kullanılmıştır. Günümüzde değişik özellik ve çeşitte geliştirilmiş olan rüzgar türbinlerinden bir kısmı ticari pazardadır. Bu türbinler dönme eksenlerine göre temelde 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Yatay eksenli türbinler,
- Dikey eksenli türbinler,
- Eğik eksenli türbinlerdir.

Genel olarak türbini oluşturan parçalar Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Rüzgar türbin bileşenleri (Altuntaşoğlu 2013)

Türbini oluşturan bu parçaların özellikleri ve görevleri aşağıda özetlenmiştir.

- **Kule:** Türbinin ana destek kısmıdır. Preslenmiş çelik sacdan tüp biçiminde ve yukarıya doğru daralacak şekilde imal edilmektedir. Kuleyi oluşturan parçalar zemine flanş ve civatalar kullanılarak bağlanmaktadır. Kule taban kısmı kuleyi destekleyerek kuleye gelen yükleri zemine aktarmaktadır.
- **Rotor:** Kanatlar, Göbek (Hub), Kanat kökü, Kanat Açı Ayarlama Sistemi olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır.
- **Kanatlar:** Bu bileşenlerin temel eleman malzemesi çelikle güçlendirilmiş epoksi reçine gibi cam takviyeli elyafır.
- **Kanat Kökü:** Kanatların desteklenmesini sağlayan, hub (göbek) kısmına güvenli bir şekilde bağlanmasını sağlayan ve çelikten imal edilen kısımlardır.
- **Kanat Açı Sistemi:** Kanat açılarının rüzgar hızına göre en uygun dönme açısına sahip olacağı ayarın yapıldığı kısımdır. Paslanmaz çelik veya alaşımlı çelik kullanılarak üretilen, elektrik yada hidrolik sürücü ile tahrik edilen yuvarlak dişlidir.
- **Göbek:** Kanat açısı sisteminin ve rotor kanatları ile kanat kökleri için destek noktasının bulunduğu kısımdır. Genellikle sfero döküm malzemedен imal edilmektedir. Nasel kısmına mil ve rulman montajı ile bağlanmaktadır.
- **Nasel:** Türbinin ana parçalarını içerisinde bulduran yapıdır. (Dış Kabin, Şase, Frenler, Sensörler, Soğutma Sistemi, Yön Bulma Mekanizması, Elektronik Kontrol Sistemi)
- **Dış kabin:** Türbinlerin mekanik parçalarını içeren yapıdır. Parçaların dış ortamdan korunmasını sağlamaktadır. Genellikle çelik bir çerçevenin etrafında çelik ve cam elyafı ile güçlendirilmiş plastik vb. hafif malzemelerden yapılmaktadır.
- **Şase:** Nasel kısmının iç kasa çerçevesidir. Genellikle dökme demir ve çelik kullanılarak imal edilmektedir.
- **Frenler:** Bakım durumunda veya olumsuz hava koşullarında sistemi durdurmak için kullanılan yardımcı cihazlardır.
- **Sensörler:** Bunlardan bazıları; rüzgar hızını, yönünü belirlemede kullanılan sensörler ve sıcaklık sensörleri, kablo büküm sayıcı vb. bileşenlerdir.
- **Soğutma Sistemi:** Büyük fanlar ve havalandırma kanalları ile jeneratör ve dişli kutusunun soğutulması ve egzoz atık ısısının nasel kısmından atılmasını sağlamaktadır.

- **Yön Bulma Mekanizması:** Maksimum gücün elde edilebilmesi için naseli rüzgar yönüne çeviren mekanizmadır.
- **Elektronik Kontrol Sistemi:** Türbin bileşenlerin çalışması ve performans verilerinin izlenebilmesi ve kaydedilebilmesini sağlayan sistemdir. Ek olarak, kule tabanında bulunan ana denetleyici ile alt denetleyiciler ve dış taraflar arasındaki iletişimi de sağlamaktadır.
- **Güç Aktarma Sistemi:** Enerji iletimini yapan ve ana mil hızını artırmaya yarayan dönen parçalardan oluşmaktadır (Miller, Yataklar, Kaplin, Dişli Kutusu, Jeneratör, Konvertör).
- **Miller:** Düşük ve yüksek hız milleri olmak üzere iki çeşit mil bulunmaktadır. Rotorun düşük hızlı dönüşünü göbekten dişli kutusuna, dişli kutusundan da jeneratöre aktarılmasını sağlamaktadır.
- **Yataklar:** Miller, dişli kutusu, yön bulma mekanizması, jeneratör ve diğer dönen parçalar için gerekli olan elemanlar.
- **Kaplin:** Dişli kutusunun jeneratöre bağlanmasını ve dişli kutusunun oluşturduğu salınımlı yüklerin azaltılmasını sağlamaktadır.
- **Dişli Kutusu:** Rüzgar türbinindeki en ağır ve en pahalı kısımdır. Görevi rotor milinin düşük dönme devrini, jeneratörün ihtiyaç duyduğu yüksek devire dönüştürmektir. Bu dişli kutularında genelde planet dişli sistemi kullanılmaktadır. Doğrudan sürücülü olan türbinlerde ise dişli kutusu bulunmamaktadır.
- **Jeneratör:** Asenkron, Senkron, ve Sabit Mıknatıslı (PM) olmak üzere 3 farklı tipte seçilebilen jeneratörlerin görevi mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir.
- **Konvertör:** Jeneratör tarafından üretilmiş olan doğru akımı alternatif akıma dönüştürmektedir.
- **Elektrik Toplama Sistemi:** Trafo, Yer altı kabloları/havai hatlar, kesici ve ayırıcılar olmak üzere üç bileşenden oluşan sistemdir.
- **Trafo:** Her türbinin ürettiği elektriği havai hatlar yada yer altı kabloları yoluyla santral çıkışına iletmektedirler.
- **Yer altı kabloları, havai hatlar:** Her türbinin ürettiği elektrik enerjisinin toplanarak şebeke bağlantı noktasına iletilmesini sağlayan kısımdır.
- **Kesici ve ayırıcılar:** Sistemin çalışmasında güvenliği ve bir tehlike yada arıza durumunda hattın sistemden ayrılmasını sağlayan bileşenlerdir.

1.3.1.1. Yatay eksenli türbinler (YERT)

Bu tip türbinlerde; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel ve kanatlar rüzgar yönüne dik durumdadır. Bu tip türbinlerde rotor kanatlarının sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Yaklaşık verimleri %45'dir. Bu tip rüzgar türbinleri genel olarak yerden 20-30 m yüksekte ve çevredeki engellerden 10 m yüksekte olacak biçimde konumlandırılmaktadır. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına oranlanmasıyla elde edilen kanat uç hız oranı $\lambda = 1-5$ arasındaysa çok kanatlı rotor, $\lambda = 6-8$ arasındaysa üç kanatlı rotor, $\lambda = 9-15$ arasındaysa iki kanatlı rotor, $\lambda >15$ ise tek kanatlı rotor kullanılmaktadır (Nurbay ve Çınar 2005).

1.3.1.2. Tek kanatlı türbinler

Tek kanatlı rüzgar türbininin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitlenip, iki karşı ağırlık ile dengelenmelidir. Ticari olarak en önemli dezavantajı, 120 m/s civarındaki kanat uç hızından kaynaklanan yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir.(Şekil 1.10)



Şekil 1.10. Tek kanatlı rüzgar türbin örneği (Avcioğlu 2017)

1.3.1.3. Çift kanatlı türbinler

Üç kanatlı olan türbinlere kıyasla rotor maliyetinin azaltılması için bu türbinler geliştirilmiştir. Birçok ülkede 10 – 100 m. rotor çaplı rüzgar türbinleri geliştirilip, Avrupa ve ABD’de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari rüzgar türbinlerinden sadece birkaç tanesi için seri üretime geçilebilmiştir. (Şekil 1.11)



Şekil 1.11. Çift kanatlı rüzgar türbin örneği (Anonim 2019a)

1.3.1.4. Üç kanatlı türbinler

Üç kanatlı modern türbinler, Dünya’da pek çok yerde yaygınlaşmıştır. Bu tip türbinlerin tercih edilmesindeki başlıca nedenleri; bunlarda dönme momentinin daha düzgün olması, kanat uç hızının 70 m/s altında olmasından dolayı gürültünün ve sarsıntı düzeyinin daha düşük olması olarak sayılabilmektedir. (Şekil 1.12)



Şekil 1.12. Üç kanatlı rüzgar türbin örneği (Anonim 2019b)

1.3.1.5. Çok kanatlı türbinler

Bu türbinler rüzgar türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalarında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi için çok kanatlı olarak üretilmiştir. (Şekil 1.13)



Şekil 1.13. Çok kanatlı rüzgar türbin örneği (Anonim2019c)

1.3.1.6. Dikey eksenli türbinler (DERT)

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşey yapıdadır. (Şekil 1.14) Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin üstünlüğü rüzgarı her yönden kabul edebilmesidir. Bu türbinler rüzgarı sürüklemekte veya kaldırmaktadırlar. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'dir. Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için geliştirilmiştir. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da arttırdığı için yüksek rüzgar hızlarında verimleri de çok düşük olmaktadır. Rotor çapı 5 m olan bir türbinden yaklaşık 0,5 kW güç elde edilebilmektedir. Bunların zemine bağlanabilmesi için çelik halatlara ihtiyaç duyulmaktadır (Nurbay ve Çınar 2005).



Şekil 1.14. Dikey kanatlı rüzgar türbin örneği (Anonim 2019d)

1.3.1.7. Eğik eksenli türbinler

Dönme eksenleri düşey ile rüzgar yönünde bir açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. (Şekil 1.15)



Şekil 1.15. Eğik eksenli rüzgar türbin örneği (Anonim 2019e)

1.4. Rüzgar Enerji Potansiyelinin Hesaplanması İçin Kullanılan Bilgisayar Programları

1.4.1. WAsP

WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program=Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı) yazılımı, rüzgar atlasına yönelik istatistiklerin elde edilmesi için Danimarka Meteoroloji Teşkilatı tarafından Riso Meteoroloji Laboratuvarında hazırlanmış ve geliştirilmiş olan bir yazılımdır. Bu yazılım; Avrupa Rüzgar Atlasının (European Wind Atlas) ve Türkiye rüzgar atlasının hazırlanmasında da kullanılmış olup halen günümüzde rüzgar enerjisi ile ilgili birçok çalışmada kullanılmaya devam edilmektedir. WAsP yazılımı ile rüzgar verilerinin analizleri, rüzgar atlası oluşturma, rüzgar hızının tahmini, rüzgar tarlası enerji hesaplamaları ve türbin yerleşim işlemleri gibi işlemler gerçekleştirilmektedir.

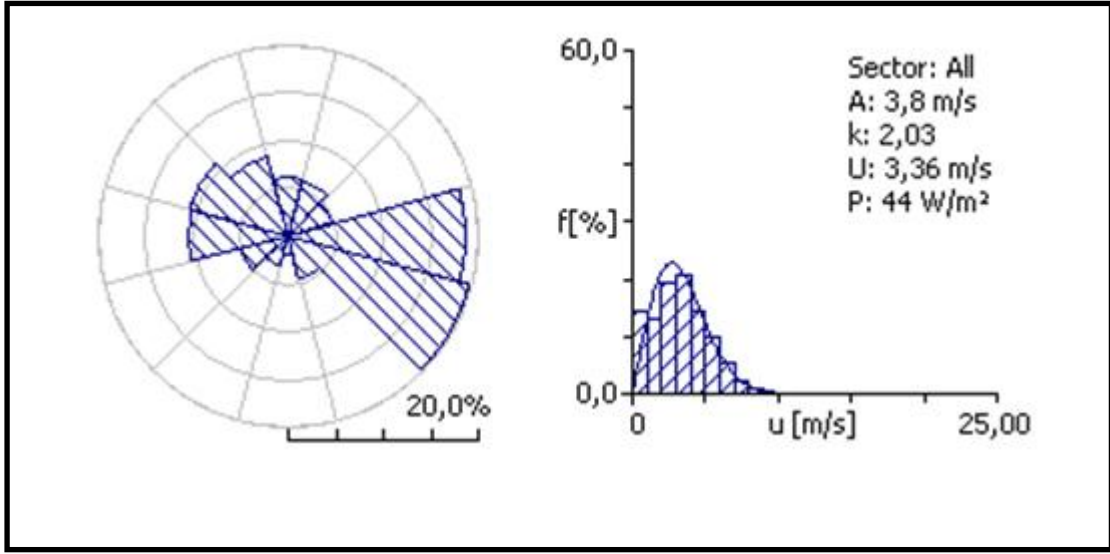
WAsP yazılımı ile yapılan veri analizlerinde, rüzgar hız verilerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılım gösterdiği varsayılmaktadır. WAsP ile dört değişik girdi bilgisi kendi alt modellerinde değerlendirilmekte ve bölgesel rüzgar atlası istatistikleri saptanmaktadır (Şekil 1.16).

WAsP yazılımı aşağıda belirtilen temel bilgileri kullanmaktadır:

- Saatlik rüzgar verileri,
- Bölgenin pürüzlülük bilgileri,
- Yakın çevrede bulunan engellere yönelik bilgiler,
- Bölge topoğrafyasına yönelik bilgiler

WAsP yazılımı bir bütündür fakat belirtilen bu temel bilgilerin değerlendirilmesinde çeşitli alt modelleri kullanmaktadır. Bu yazılım temel olarak beş hesaplama bloğundan meydana gelmiştir (Hocaoğlu ve ark. 2008). Bu hesaplama bloklarında yapılan işlemler aşağıda özetlenmiştir.

- Zamana göre sıralı olan verilerin analiz edilmesi,
- Rüzgar atlası verilerinin üretilmesi,
- Rüzgar rejiminin tahmin edilmesi,
- Rüzgar gücü potansiyelinin tahmin edilmesi ve kurulacak olan rüzgar tarlasının toplam enerji üretiminin hesaplanması.



Şekil 1.16. Rüzgar hızının yönlere göre değişimi ve Weibull dağılımı kullanılarak modellenmesi (Hocaoğlu ve ark. 2008)

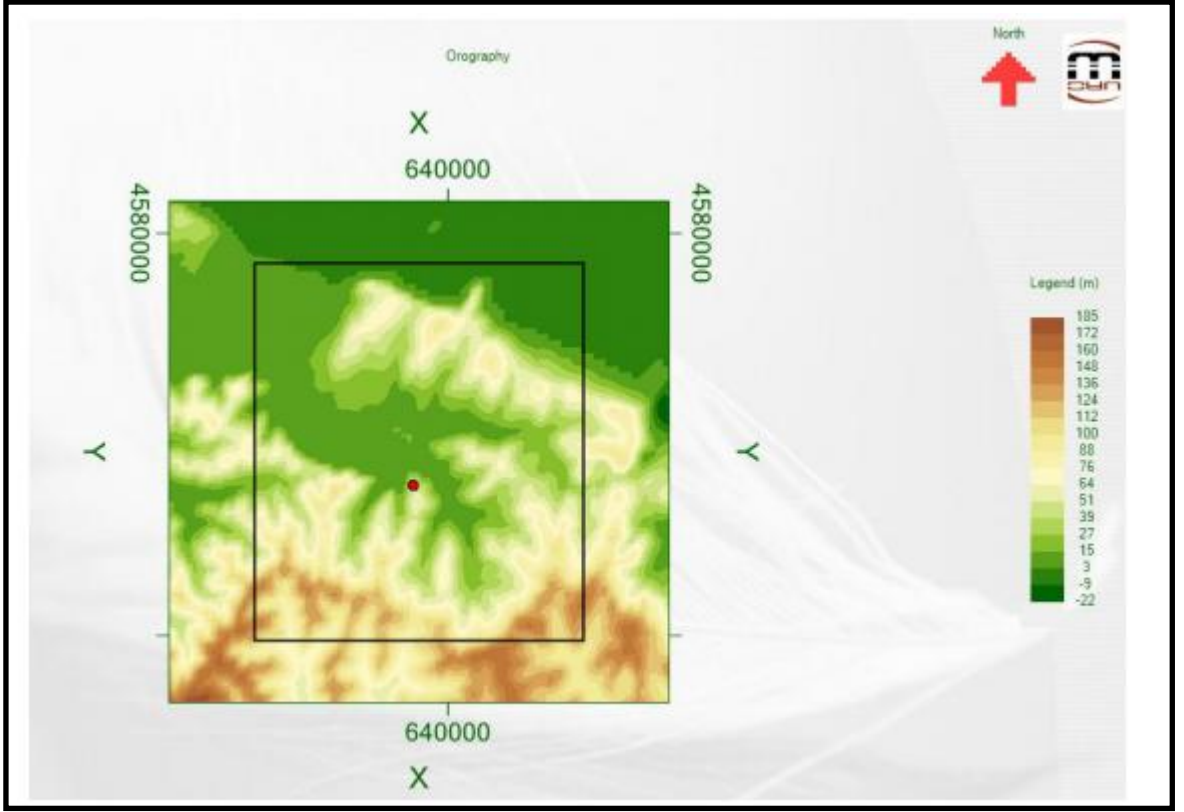
Araştırmalar sırasında Meteoroloji istasyonlarından belli aralıklarla ölçülen ve kayırl edilen veriler WAsP yazılımına girilerek bölgeye ait rüzgar potansiyeli, ortalama rüzgar hızı ve farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızları gibi pek çok parametre elde edilebilmektedir. Böylece çalışılan bölge için hem hız hem de güç bakımından rüzgar atlasları oluşturulabilmektedir. Oluşturulan bu rüzgar atlasları, kullanılması düşünülen türbin verileri yardımıyla ister türbin üretimi amacıyla ister de rüzgar tarlası üretimi değerlerinin bulunmasında kullanılmaktadır.

1.4.2. METEODYN (Meteorology & Dynamics)

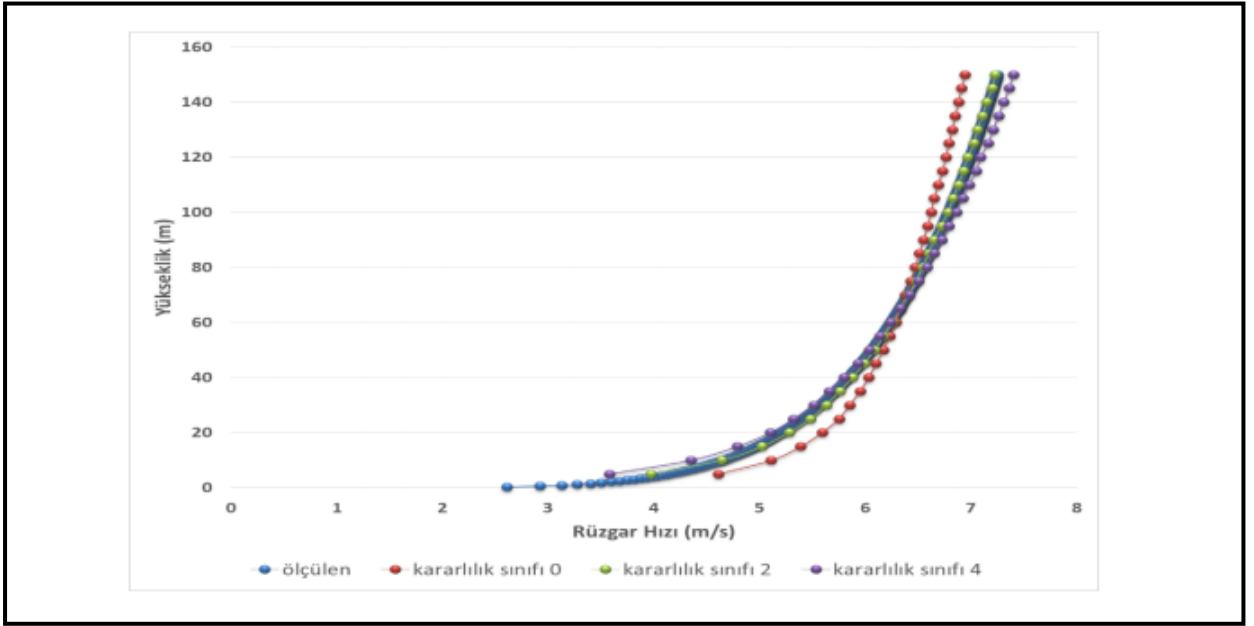
Meteodyn programı rüzgar ile ilgili çalışmalarda kullanılan bir CFD modeldir. Bu modelde, Reynolds averaged Navier Stokes (RaNS) türbülanslı akış metodu kullanılmakta ve üç boyutta momentum ve kütle korunumu denklemleri kullanılarak rüzgar hızı vektörünün u, v ve w bileşenleri tahmin edilmektedir (Pereira ve ark. 2010). Şekil 1.17-1.18-1.19'da bu program kullanılarak elde edilmiş olan digital harita görüntüsü, düşey rüzgar kayması grafiği ve türbülans yoğunluğu haritası görülmektedir (Pereira ve ark. 2010).

Yıllık enerji üretimi (AEP) değerlendirmesi, saha uygunluğu, türbin yerleşim analizi, enerji üretim optimizasyonu, bakım maliyetleri ve türbin ömür boyu validasyonu için akış

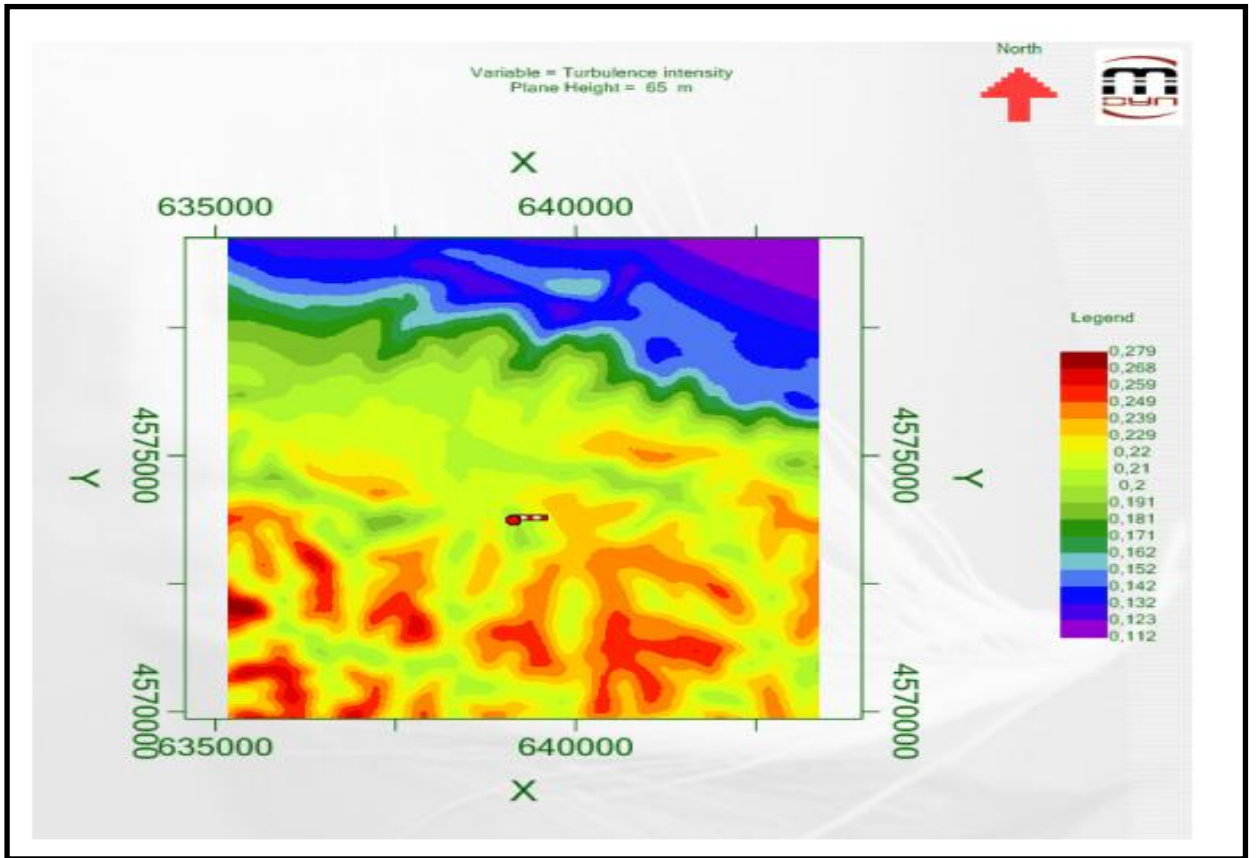
modelleme rüzgar kaynağı değerlendirme yazılımı. Birçok rüzgar çiftliği geliştiricisi, danışmanı, üreticileri, rüzgar çiftliği operatörleri ve yatırımcılar Meteodyn WT'yi kullanıyor.



Şekil 1.17. Digital harita MeteodynWT görüntüsü (Pereira ve ark. 2010)



Şekil 1.18. Düşey rüzgar kayması grafiği (Pereira ve ark. 2010)



Şekil 1.19. MetodynWT türbülans yoğunluğu haritası (Pereira ve ark. 2010)

1.4.3. WindSim

Yerel rüzgar alanları yerel topoğrafyadan oldukça etkilenmiştir. WindSim için giriş temeli, incelenen fenomene göre, uygun uzunluk ölçeğinde bir dijital arazi modelinden oluşur. WindSim, ayrıntılı mikro yerleşimden büyük mezo ölçekli rüzgar kaynağı değerlendirmelerine kadar çeşitli uzunluklarda kullanılabilir. WindSim, zemine doğru inceltilmiş, vücuda takılmış koordinatları kullanır.

Dijital arazi modeline ek olarak, arazi pürüzlülüğü ile benzer bir model sağlanmalıdır. Arazi pürüzlülüğünün zemine doğru belirli bir etkisi vardır.

Son olarak, WindSim modellenen alan içinde en az bir noktadan meteorolojik veriye ihtiyaç duyar. Bu birincil girdilerle, tüm alan için rüzgar kaynakları hesaplanabilir, herhangi bir sayıda rüzgar türbininden enerji üretimi elde edilebilir ve 3D interaktif görselleştirme modülünde altyapıya sahip alan görselleştirilebilir.

Meteorolojik girdi verilerinin kalitesi, sayısal sonuçların kalitesi için çok önemlidir. Eğer meteorolojik veriler kısa bir zaman aralığında toplanmışsa, bu veriler bölgede uzun vadeli rüzgar iklimini temsil etmek için yakın çevredeki istatistiksel verilerle ilişkilendirilmelidir. Meteorolojik girdi verileri, tüm hesaplama alanı için de temsil edilmelidir. Son olarak, sayısal modelin ölçeği ile uyumlu olmalıdır, yani sayısal modelde çözümlenlerden daha küçük veya daha büyük ölçeklerden etki içermemelidir.

1.4.4. WindPRO

WindPro programı, bir rüzgar çiftliği alanının optimizasyonu, rüzgar verilerine göre kurulabilecek rüzgar çiftliğinin veya tesisinin kapasitesini, bu tesisin fizibilitesini bilgisayar ortamında kullanıcıya sunan bir programdır. WindPro yazılımları ile santral sahasından üretilebilecek enerji miktarının tespiti ve optimum tarla tasarımının değerlendirilmesi açısından incelenmektedir.

WindPRO, WASP'a benzer şekilde rüzgar data analizleri, enerji üretimi, rüzgar çiftliği hesaplamaları, şebeke analizleri, çevresel etkiler, ekonomik analizler vb. işlemler için temelde beş farklı yapıdan (enerji, çevre, ekonomi, elektrik, animasyon) ve toplamda ise yaklaşık yirmi modülden oluşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tüm dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan mevcut fosil kaynakların sınırlı olması ve gün geçtikçe azalmaları ve bir gün tükenecek olmaları nedeniyle, bir yandan elektrik enerjisi tasarruf çalışmaları sürdürülürken diğer taraftan da yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi üzerinde çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Bu kapsamda dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi ve verilerin analizi amacıyla çeşitli istatistik, ölçüm, benzetim ve tahminleme yöntemlerinin, ve yapay zeka tekniklerinin kullanımına yönelik çok sayıda çalışmalar yapılmıştır.

Yayla (2005), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Alanının Rüzgar Enerji Potansiyelini belirlemiştir. Rüzgar yönü, hızı ve diğer atmosferik veriler 2 farklı yükseklik için (10 ve 30 m) bir yıl boyunca kaydedilmiştir. Elde edilen veriler WASP programı yardımıyla değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, rüzgar hızı 10 m ‘de 3.17 m/s ve 30 m’de 3.87 m/s olarak, güç yoğunlukları ise 10 m için 46 W/m² ve 30 m için 78 W/m² olarak saptanmıştır.

Hocaoğlu ve ark. (2008), kurulması planlan rüzgar sistemleri ve kurulacakları yerlerin uygun şekilde seçilmesi için WASP programının kullanıldığını belirterek, Eskişehir’de Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsünde ölçülmüş olan rüzgar hızları ve yön verilerini kullanarak bu verileri Weibull dağılımı modellemişler ve rüzgar türbini simülasyonu yapmışlar ve belirlenen rüzgar türbininin enerji üretiminin 849.421 MWh olduğunu hesaplamışlardır.

Ko ve ark. (2009), Kore Jeju adasında bulunan Hangwon bölgesinin rüzgar potansiyelini belirlemişlerdir. Rüzgar verilerini WASP programı ile analiz etmişlerdir. Çalışma sonunda rüzgar potansiyelinin doğrusal bir eğilim göstermediğini ve yıllara göre farklılıklar gösterdiğini belirlemişlerdir. Küresel olarak 2006 yılındaki kurulu rüzgar gücü üretiminin 75.000 MW olduğunu belirtmişlerdir. WASP programında arazi pürüzlülüğü ve engel durumunun yeterince yumuşak olması durumunda program analizinin gerçek verileri yüksek oranda (%10’luk sapma ile) sağladığı belirtilmiştir.

Talayoğlu (2010), Denizli ilinin Tavas ilçesi için 10 m ve 30 m yüksekliklerdeki 2004 ve 2005 tarihleri arasında rüzgar hız ve yön verilerini saptamıştır. Elde edilen bu verilerin analizi için WASP programı kullanmış, rüzgar dağılımları ve Helman katsayılarına göre

frekans dağılımlarını belirlemiştir. Sonuç olarak, Tavas ilçesine ait hakim rüzgar yönünün 30° olarak kuzey doğu, ortalama rüzgar hızının 2.95 m/s ve ortalama güç yoğunluğunun 45 W/m² olduğu belirtilmiştir.

Gülersoy ve Çetin (2010), İzmir ili Menemen ilçesinin rüzgar enerji potansiyeli belirlenmiştir. Bu amaçla Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü Menemen Meteoroloji istasyonu tarafından 2008–2009 tarihleri arasında saatlik rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Rüzgar hız verilerinin Weibull ve Rayleigh fonksiyonlarına uyumu saptanmıştır. Sonuç olarak, Weibull modeli ile elde edilen değerlerin daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Araştırma sonucunda Menemen ilçesi için k (şekil parametresi) 1.838 ve 1.869 ve c (ölçek parametresi) ise 5.629 ve 5.898 olarak saptanmıştır.

Himri ve ark. (2010), araştırmalarında WAsP kullanılarak Cezayir'de bulunan Tindouf bölgesi için 5 yıllık süre için saptanmış olan rüzgar hızlarının istatistiksel analizini yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, ortalama güç yoğunluğunun 318- 458 W /m², ortalama rüzgar hızlarının 7.19-7.95 m/s ve sahadaki k ve c yıllık değerlerinin sırasıyla 2.85 ve 3.23 ve 8.0-8.9 m / s arasında değiştiği belirlenmiştir.

İmal ve ark. (2012), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ana yerleşkesinde 10 ve 40 m yükseklikten Ekim 2010-Nisan 2012 tarihleri arasında elde ettikleri rüzgar değerlerini analiz etmişlerdir. 10 m yüksekliğinde ortalama rüzgar hızı 4,7 m/s olarak, 40 m yükseklikteki ortalama değer 4,82 m/s olarak saptanmıştır. 45 metre göbek yüksekliğinde ve 600 kW'lık bir türbin seçilmesi durumunda yıllık ortalama üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı ise yaklaşık 852 MWh olarak hesaplanmıştır.

Yalçın (2010), İstanbul ili Terkos bölgesinde kurulması planlanan bir rüzgar enerji santrali için enerji üretim potansiyelini araştırmıştır. Bölgede 52 m. yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda rüzgar şiddeti ortalaması 6,44 m/s olarak tespit edilmiş, kullanılan türbinlerin 80 m. 'lık göbek yüksekliğinde ise 7,52 m/s ile 8,83 m/s arasında değiştiği hesaplanmışlardır. 52 m. 'de alınan ölçümlerin WAsP programında analiz edilmesiyle bölgede güç yoğunluğu 343 W/m², türbin göbek yüksekliğinde ise güç yoğunluğunun 501 W/m² ile 862 W/m² arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu durumda 52 m. 'de iyi, türbin göbek yüksekliklerinde ise yer yer çok iyi güç yoğunluğuna sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Altınsoy (2013), Aksaray bölgesinde yenilenebilir enerji potansiyelini araştırmışlardır. Rüzgar enerji potansiyelini hesaplarken Aksaray Meteoroloji İstasyonunda kaydedilen son 10

yıla ait ortalama rüzgar verilerini kullanarak, Rayleigh olasılık yoğunluk yardımıyla güç yoğunluk hesaplamaları yapmışlardır. 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar şiddetini 2,53 m/s, güç yoğunluğunu ise 10 m yükseklik için 11,52 W/m² olarak hesaplamışlardır. Bu, rüzgar enerji potansiyelinin az olduğunu ve rüzgar potansiyelinin daha sağlıklı belirlenebilmesi için yeni rüzgar ölçüm istasyonlarına ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir.

Çekirdek ve Turgut (2014) çalışmalarında, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe Yerleşkesi'nde rüzgar hız ve yön verilerini 5 ve 80 m yüksekliklerden ölçmüşler ve bu verileri kullanarak bu sahanın rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir. WAsP ve WindPro yazılımlarını kullanarak yapılan analizler sonucunda 5 metre ölçüm yüksekliğinde ortalama rüzgar hızını 3,72 m/s, ortalama güç yoğunluğunu 80,3 W/m² olarak saptamışlardır. Aynı sonuçları 80 metre yükseklik sırasıyla 7 m/s ve 438 W/m² olarak hesaplamışlardır. Farklı türbin markaları ve farklı güçler için kapasite faktörü değerleri belirlemişlerdir. Sonuç olarak en yüksek kapasite faktörünü %38,4 olarak saptamışlardır. Bu sonuçlar göz önüne alınarak belirtilen bölgede rüzgar santrali kurulmasının ekonomik olacağını belirtmişlerdir.

Mert ve ark. (2014) çalışmalarında, Hatay ili Antakya bölgesindeki 2002-2009 yılları arasındaki 8 yıllık dönem boyunca 1 saatlik aralıklar ile kaydedilen rüzgar verilerini Bölge Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin etmişlerdir. Zeminden 10 m yükseklikte yapılan ölçümler neticesinde yüksek rüzgar hızları yaz aylarına denk gelen Haziran ve Eylül ayları arasında ortalama 3m/s ile 4.6 m/s olarak; aralık ayında ise ortalama 1.3 m/s ve 1.4 m/s gibi düşük değerlerde gözlemlenmişlerdir. Ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli gözlem yapılan bölge itibari ile ortalama en yüksek değer 11,9 W/m² olarak hesaplamışlardır. Rüzgarın en güçlü olduğu yönleri ise kuzey, kuzeydoğu, kuzey/kuzeydoğu ve güney/güneybatı olarak bildirmişlerdir.

Özkan (2015), Muğla Bölgesinin rüzgar enerji potansiyelini incelemişlerdir. Bu amaçla, Muğla Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden, 2010 ve 2013 yıllarını kapsayan 10 m. yükseklikten elde edilen rüzgar verileri bölgedeki 4 farklı istasyon (Datça, Fethiye, Marmaris, Köyceğiz) için alınmış ve bu veriler Weibull dağılım metodu ve WAsP rüzgar analiz programı kullanılarak incelemişlerdir. Yıllık ortalama rüzgar hızı 10m. yükseklikte 4 yıl için Datça istasyonunda 3,81 m/s ve 4,36 m/s arasında, güç yoğunlukları ise 80,55 W/m² ile 200,35W/m² arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Diğer 3 istasyonun ortalama rüzgar hızı değeri 3 m/s' nin ve güç yoğunlukları ise 20 W/m²'nin altında kaldığını, bu değerlerin oldukça düşük olduğunu bildirmişlerdir.

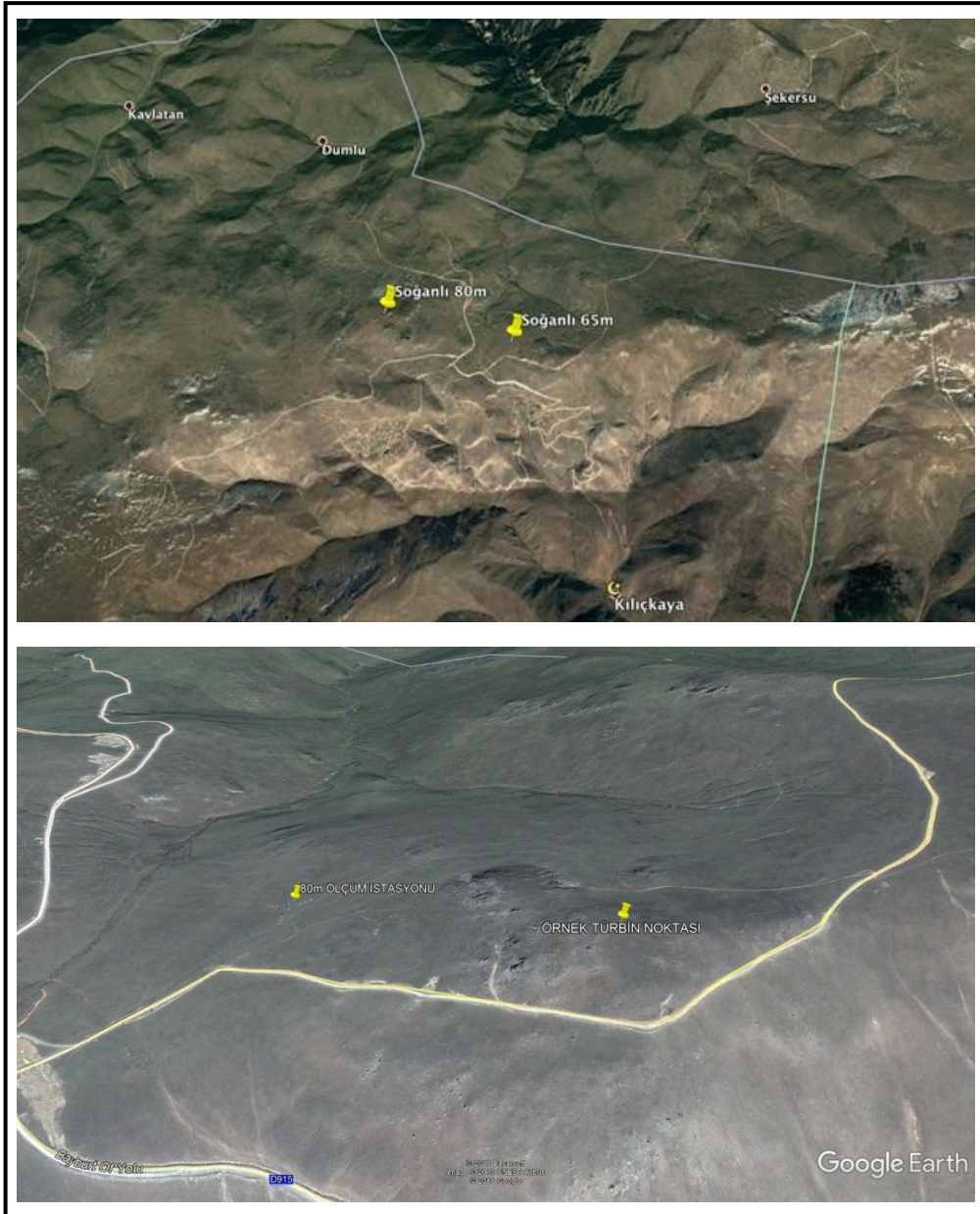
Al-Yahyai ve ark. (2016) Umman'ın Al Duqm şehrinin rüzgar potansiyelini belirledikleri çalışmalarında rüzgar ölçüm istasyonunun 2000 ile 2012 yılları arasında ölçülmüş verileri WAsP programı kullanarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelinin yerden 80 metre yükseklikte 3 GWh olduğunu saptamışlardır. Bölgede yerden 10 m yükseklikte 13 yıllık verilere göre ortalama rüzgar hızı 6 m/s olarak bulunmuştur. Çalışmada farklı yükseklikler için rüzgar hızı profilleri saptanmıştır. Araştırma sonucunda, Al Duqm şehrinde rüzgar potansiyelinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bayramoğlu (2018), Bayburt'ta yenilenebilir enerji potansiyeli ve etkilerini araştırmışlardır. Rüzgar enerjisi açısından, Bayburt ili için Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlasından (REPA) anlaşılacağı üzere rüzgar enerjisi üretecek rüzgar gücü ve hızının tespit edilemediğini belirtmişlerdir. Toplam teorik potansiyelin 115.281 MW olduğunu ancak toplam teorik potansiyelin ancak % 11 gibi küçük bir kısmının kullanılabilirliğini bildirmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

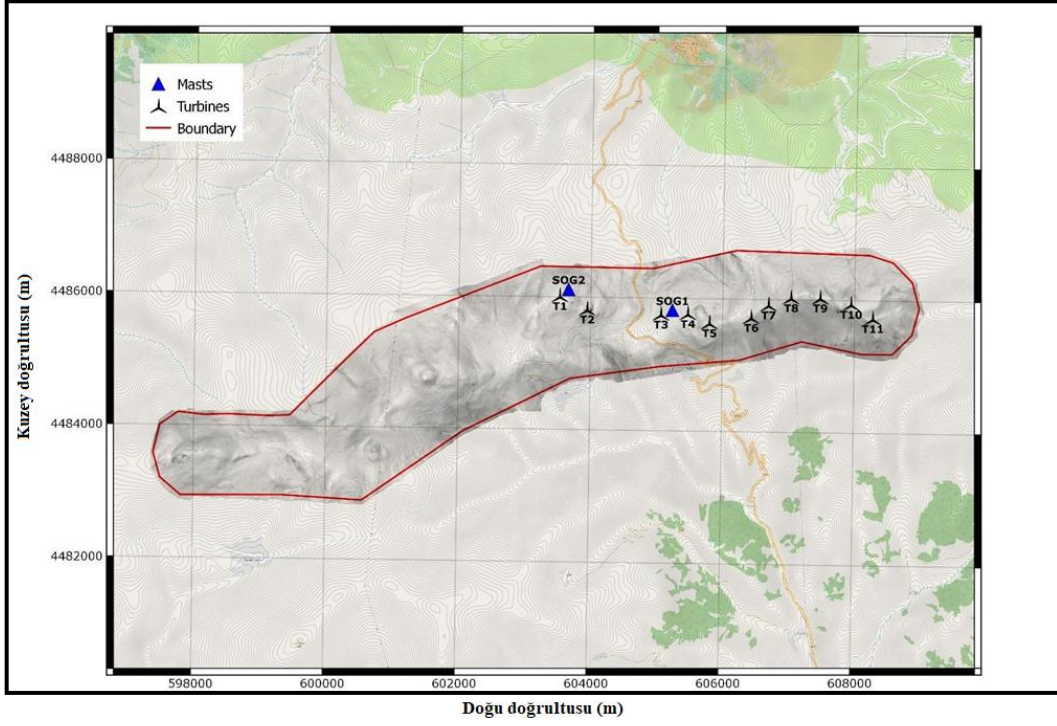
3.1. Çalışmanın Uygulama Alanı

Rüzgar ölçüm istasyonu Bayburt İli, Kılıçkaya Köyü, Soğanlı Dağında 40,51508 enleminde ve 40,241113 boylamında kurulmuştur (Şekil 3.1). Soğanlı 80 m olarak belirtilen bölge ölçüm istasyonunun bulunduğu bölge olup (SOG2), Soğanlı 65 m olarak belirtilen bölge ise örnek türbin noktası (SOG1) olarak alınmıştır. Rüzgar hız, yön ve basıncına ait veriler ile hava sıcaklığı ve nemine ilişkin verilerinin elde edileceği istasyon kodu 2370 metredir.



Şekil 3.1 Çalışma alanı lokasyonu

Çalışma sahası engebeli bir alanda olup (Şekil 3.2), alanın yaklaşık 6 km kuzeyinde yoğun ormanlık bir bölge mevcuttur. Çalışma sahasının panoramik görüntüsü Şekil 3.3' te görülmektedir.



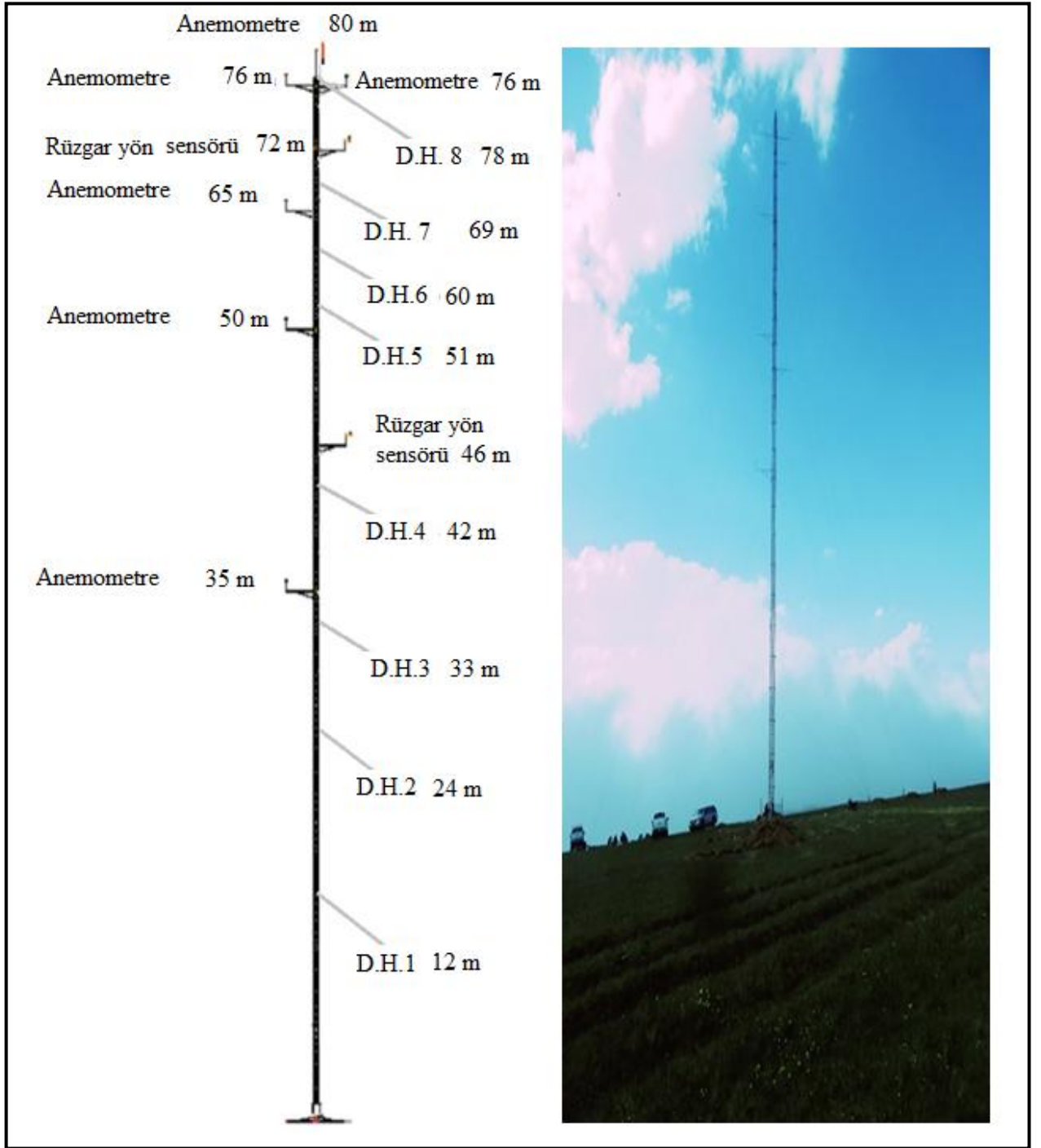
Şekil 3.2 Çalışma sahası engebeliğini gösteren harita



Şekil 3.3. Çalışma sahasının panoramik görünümü

3.2. Çalışma Sahasında Kullanılan Araçlar

Rüzgar hız, yön, basıncına ait veriler ile hava sıcaklığı ve nemine ilişkin verilerin saptanması için içinde bulunan ölçüm cihazlarının farklı yüksekliklerde konumlandırıldığı veri ölçüm istasyonu (Şekil 3.1'de Soğanlı 80 m, Şekil 3.2'de SOG2 olarak kodlanmış olan istasyon) kullanılmıştır. Bu ölçüm istasyonunun şematik şekli Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu veri ölçüm istasyonunda; 80 metre, 76 metre (2 adet), 65 metre, 50 metre ve 35 metre yüksekliklerde olmak üzere 6 adet Anemometre (Thies Clima firmasının üretimi) kullanılmıştır (Şekil 3.5, 3.6). Bu anemometrelerin ölçüm aralıkları 0.3-75 m/s olup, -50 ile 80°C sıcaklık aralığında çalışmaktadırlar. Bu ölçüm istasyonunda; rüzgar basıncının ölçümü 300...1100 hPa ölçüm aralığına sahip barometre (Thies Clima firmasının üretimi), hava sıcaklığının ve neminin ölçümünde sırasıyla %0-100 ve -50 ile 100 °C ölçüm aralığına sahip (Rotronic firması üretimi) cihaz kullanılmıştır. Basınç, nem ve sıcaklık değerlerinin ölçümü 8 metre yükseklikten alınmıştır. Rüzgar hâkim yön tayinini bulabilmek için de 46 ve 72 metre yüksekliklere konumlandırılmış 2 adet rüzgar yön sensörü (Thies Clima firmasının üretimi) kullanılmıştır (Şekil 3.7). Elde edilen verilerin kayıt altına alınabilmesi için kayıt aralığı 10 dakika (minimum ve maksimum değer), server hassasiyeti 1 saniye olan veri kayıt cihazı (Datalogger) kullanılmıştır (Ammonit firması üretimi, Meteo-4 model). Ölçüm istasyonuna ve ölçüm alınan yüksekliklere ilişkin bilgiler aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.



Şekil 3.4 Rüzgar ölçüm istasyonu şematik şekli ve gerçek görünüm (D.H.: Destek halat)



Şekil 3.5. Çalışma sahasında kullanılan 3 Anemometre (80 m – 76 m – 76 m)



Şekil 3.6. Çalışma sahasında kullanılan 3 Anemometre (65 m– 50 m – 35 m)



Şekil 3.7. Çalışma sahasında kullanılan rüzgar yön sensörleri (72 m – 46 m)

Ölçüm istasyonunun kurulum aşamasında öncelikle, ölçüm direği için seçilen noktada iş makinası yardımıyla derin bir çukur kazılmış ve rüzgar ölçüm direğinin, sağlam bir malzemeden üretilmiş 3 ayak şeklinde betona gömülmüş profile bağlantısı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8). Daha sonra montajı tamamlanan direk çelik halatlar ile zemine sabitlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8 Rüzgar ölçüm istasyonu montajı – 1



Şekil 3.9. Rüzgar ölçüm istasyonu montajı - 2

3.3. Bölgesel Rüzgar Atlas Verilerinin Saptanması (Potansiyel Analiz)

Rüzgar potansiyelinin saptanması için kullanılan modeller analitik ve sayısal model olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada analitik model olarak WASP ve sayısal model olarak da bununla çalışan WindPRO kullanılmıştır.

Bayburt İli, Kılıçkaya Köyü, Soğanlı Dağında ölçüm istasyonundan elde edilen rüzgar verileri öncelikle WASP yazılımı (versiyon 11) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu program, rüzgar hız verilerinin iki parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılıma sahip olduğunu varsaymaktadır ve analizler buna göre yapılmaktadır. WASP programı bölgedeki ortalama rüzgar verisi, bölgenin pürüzlülüğü, yakın çevredeki engeller ve bölge topografyasını alt modellerinde değerlendirmekte, bu değişkenlerin rüzgar verileri üzerine olabilecek etkilerini bunlara ilişkin kullandığı modeller aracılığıyla o bölgenin rüzgar atlasını çıkartmaktadır (Çekirdek ve Turgut 2014).

Planlanan rüzgar enerji santralini oluşturacak türbinlerin mikro-yerleştirme işleminin yapılması için WASP yazılımı ile birlikte çalışabilen ve ara yüz bakımından kullanım kolaylığına sahip olan WindPRO yazılımı kullanılmıştır.

3.3.1. Weibull dağılımı

Weibull dağılımı ölçülen rüzgar verilerinin istatistiksel analizinde yaygın olarak kullanılmakta olan ve WAsP yazılımında da kullanılan iki parametrelili bir dağılım gösteren bir yöntemdir. Bu yöntemde, biçim (k) ve ölçek (c) parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametrelerin kullanımı ile rüzgar hızı frekansı hassas olarak tahmin edilebilmektedir (Bilgili ve ark. 2010). Rüzgarın herhangi bir hız değerinde esme sıklığını gösteren fonksiyon 1 numaralı eşitlikte verilmiştir (Çekirdek ve Turgut 2014).

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

k ve c parametrelerinin bulunmasıyla birlikte ortalama rüzgar hızı 2 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$v_m = c\Gamma(1 + 1/k) \quad (2)$$

Bu eşitlikte $\Gamma(\cdot)$ gamma fonksiyonudur. Kanat süpürme alanına (A) bağlı olarak rüzgar türbininin v hızında oluşturabileceği rüzgar gücü potansiyeli (P) ve dağılım için ortalama güç yoğunluğu (Pw) ise sırasıyla 3 ve 4 numaralı eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır. Eşitlikte verilmiş olan ρ değeri havanın yoğunluğudur (kg/m^3).

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

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (4)$$

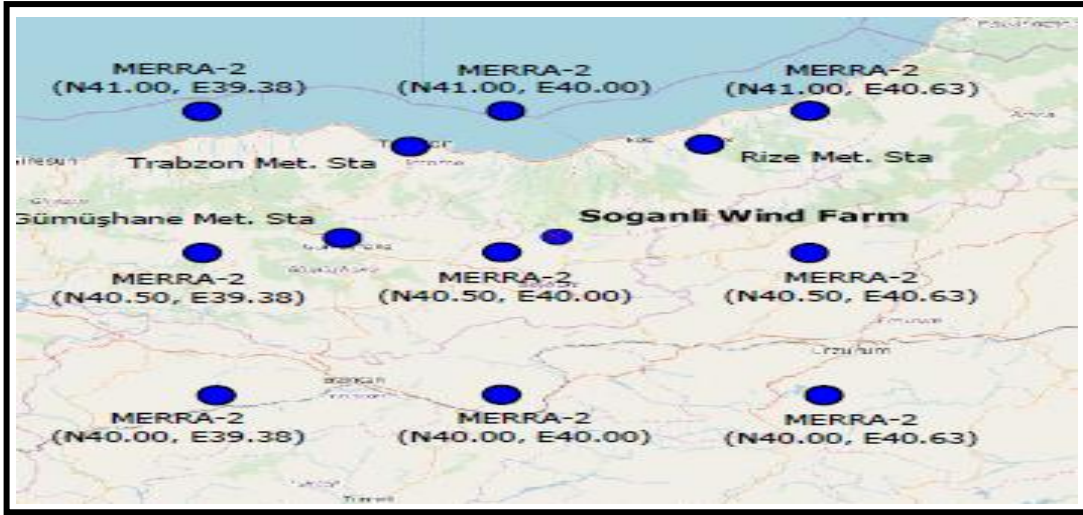
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bölgesel Rüzgar Atlas Verileri

Bayburt İli, Kılıçkaya Köyü, Soğanlı Dağında 40,51508 enleminde ve 40,241113 boylamında 2370 m rakımda kurulan rüzgar ölçüm istasyonunun 05.07.2017- 06.07.2018 tarihleri arası bir yıllık ölçüm periyodundaki meteorolojik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm istasyonundan alınan veriler, uzun dönem uydu dataları ve Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de belirtilmiş olan çevredeki meteorolojik istasyonlar ile kıyaslanarak WindPRO yazılımı yardımı ile korelasyon yapılarak çok yönlü karşılaştırma ile uzun dönem verileri araştırılmıştır.

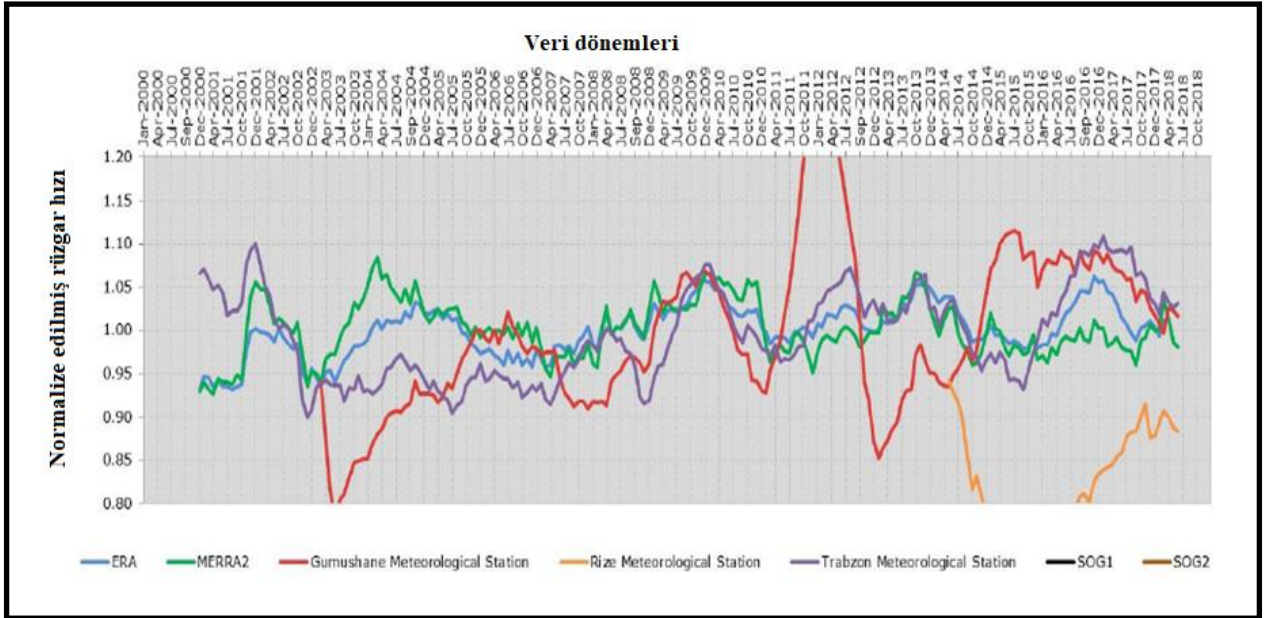
Çizelge 4.1. Çalışılan saha verileri ile ilgili referans veri setleri ve veri alım tarihleri

Meteorolojik Veri Kaynağı	Bölgeden Uzaklığı	Veri Aralığı
MERRA-2 Uzun Dönem Datası	-	01.2000 – 03.2018
ERA Uzun Dönem Datası	-	01.2000 – 06.2018
DNVGL Gemi Sınıflandırma Enerji Mühendislik Hizm. Ltd. Şti., MERRA 2 tabanlı Soğanlı 1 (SOG1) bölgesi	-	07.2017 – 07.2018
DNVGL Gemi Sınıflandırma Enerji Mühendislik Hizm. Ltd. Şti., MERRA 2 tabanlı Soğanlı 2 (SOG2) bölgesi	-	07.2017 – 07.2018
Gümüşhane Meteoroloji İstasyonu	67 km batı	01.2000 – 06.2018
Trabzon Meteoroloji İstasyonu	70 km kuzeybatı	03.2002 – 06.2018
Rize Meteoroloji İstasyonu	61 km kuzeydoğu	02.2008 – 06.2018



Şekil 4.1. Planlanan Soğanlı rüzgar çiftliğinin ve yakın bölgedeki veri kaynaklarının lokasyon bilgisi

Herbir referans veri kaynaklarının tutarlılığı bölgesel trendlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.2 herbir referans veri kaynağı için ortalama rüzgar hızlarının değişimi grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.3. Referans verileri: mevsimsel olarak normalize edilmiş 12 aylık ortalama rüzgar hızları

Soğanlıda (SOG1) farklı yüksekliklerde saptanmış olan meteorolojik verilere ilişkin sonuçlar Çizelge 4.2' de verilmiştir. 80, 76, 65, 50 ve 35 m yüksekliklerden alınmış olan bu veriler incelendiğinde bölgede mevsime ve ölçüm yüksekliğine bağlı olarak rüzgar hızının 4.8

m/s ile 9.6 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak kış mevsiminde, aralık ile mart ayları arasında rüzgar hızının çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.2. Soğanlı 1 (SOG1) bölgesinde saptanan ortalama hız verileri

Ay	80.0 m	76.0 m 1	76.0 m ²	65.0 m	50.0 m	35.0 m
Temmuz-17	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.0
Ağustos-17	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0	5.8
Eylül-17	5.4	5.3	5.3	5.3	5.2	5.1
Ekim-17	7.4	7.2	7.2	7.2	7.2	6.9
Kasım-17	7.2	7.2	7.2	7.1	6.9	6.8
Aralık-17	7.3	8.5	8.2	7.2	8.3	8.0
Ocak-18	-	8.8	8.8	-	8.4	8.2
şubat-18	-	6.9	6.9	-	6.7	6.6
Mart-18	-	9.9	9.6	-	8.9	8.7
Nisan-18	-	6.6	6.6	-	6.2	6.1
Mayıs-18	-	5.4	5.4	-	-	5.1
Haziran 18	-	5.0	5.0	-	-	4.8
Temmuz-18	-	7.7	7.7	-	-	7.5

- 1 Anemometre 270 ° batıya doğru yönlendirilmiş durumda .
- 2 Anemometre 90° doğuya doğru yönlendirilmiş durumda.

Rüzgar lm istasyonundan 10 dakika aralıkla 5 farklı yükseklikten (35, 50, 65, 76, 80 m) alınan rüzgar hız verilerinin frekans dağılımları elde edilerek veri analiz işlemleri yapılmıştır. Bu frekans dağılımı yardımıyla hangi rüzgar hızı değerlerinin hangi sıklıkta gözlendiği belirlenmiştir. Bu amaçla WindPRO yazılımının Meteo modülü kullanılmış olup, rüzgar ortalama hızının ve esme yönünün aylara göre değişimleri elde edilmiştir. Soğanlı 1 (SOG1) bölgesi için rüzgar ölçüm istasyonunda 80 m yükseklikte alınan veriler kullanılarak saptanmış olan uzun dönem rüzgar hızı ve frekans dağılımı (izelge 4.3) ve aylık ortalama rüzgar hızı verileri (izelge 4.4) saptanmıştır. Ölçümlerde, bir yıl içerisinde 43.934 geçerli rüzgar verisi ve 43.820 geçerli rüzgar yn veri sayısı kaydedilmiştir. Ortalama hızlar incelendiğinde özellikle sonbahar ve kış aylarında daha yüksek rüzgar hızlarının görüldüğü, mart ayında bu değerin ortalama 9 m/s'ye ulaştığı görülmektedir. hıza sahiptir. En düşük ortalama değer ise haziran ayında 5 m/s olarak hesaplanmıştır. lm istasyonu koordinatlarında uzun dönemde ortalaması yani tüm ayların ortalaması 6.8 m/s olarak belirlenmiştir.

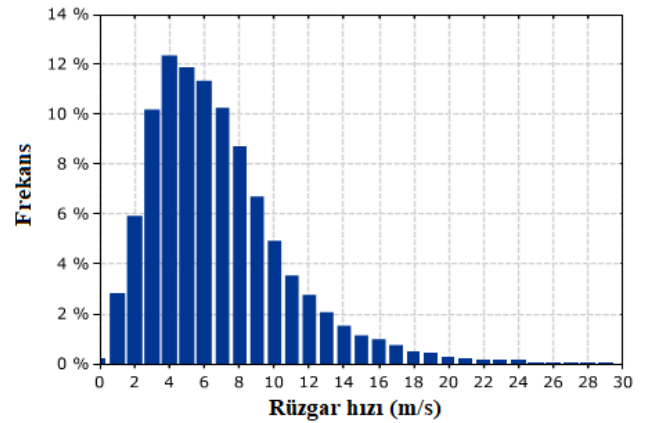
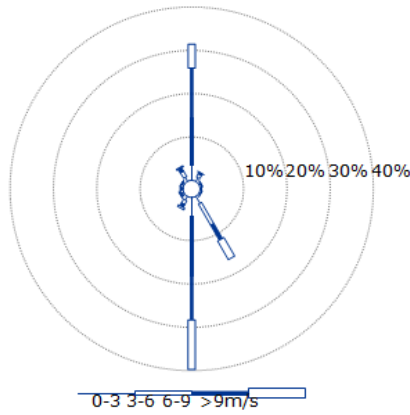
Çizelge 4.3. Soğanlı 1 (SOG1) bölgesi için 80 m yükseklikte uzun dönem rüzgar hızı ve frekans dağılımı

Rüzgar hızı (m/s)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Yön yok	Toplam (%)
0	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03		0.20
1	0.56	0.28	0.12	0.07	0.13	0.28	0.48	0.28	0.14	0.08	0.12	0.30		2.85
2	1.42	0.41	0.08	0.04	0.08	0.77	1.96	0.42	0.17	0.07	0.11	0.37	+	5.91
3	2.69	0.38	0.06	0.01	0.05	1.51	4.08	0.52	0.12	0.08	0.11	0.50	0.07	10.18
4	3.49	0.32	0.04	0.02	0.02	2.08	5.14	0.30	0.13	0.08	0.09	0.57	0.05	12.33
5	4.04	0.27	0.04	0.01	0.02	1.98	4.31	0.31	0.10	0.12	0.09	0.56	0.05	11.89
6	4.41	0.20	0.03	0.01	0.02	1.72	4.08	0.26	0.06	0.08	0.03	0.40	0.03	11.32
7	4.30	0.15	0.03	+	0.02	1.35	3.63	0.27	0.07	0.04	0.02	0.38	0.03	10.28
8	3.62	0.10	0.01		0.01	1.21	3.21	0.24	0.05	0.02	0.02	0.19	0.01	8.69
9	2.48	0.06	0.01		0.01	1.05	2.66	0.23	0.06	0.01	0.01	0.13	0.01	6.73
10	1.79	0.03	0.01	+	+	0.82	1.95	0.15	0.04	0.02	+	0.09		4.90
11	1.11	0.01	0.01	+	+	0.67	1.59	0.07	0.02	0.02	+	0.04		3.53
12	0.68	+	0.01		+	0.55	1.39	0.06	0.01	0.01		0.02		2.74
13	0.39	+			+	0.48	1.09	0.03	+	+		0.03		2.03
14	0.15					0.38	0.93	0.02	+			0.03		1.50
15	0.11					0.31	0.72	0.01	0.01			+		1.16
16	0.05					0.33	0.60	+				0.01		0.99
17	0.02					0.31	0.45	+				0.01		0.79
18	0.01					0.19	0.34	+				+		0.54
19	+					0.18	0.27							0.46
20						0.08	0.18							0.26
21						0.05	0.13							0.18
22						0.03	0.11							0.15
23						0.02	0.12							0.14
24						+	0.10							0.10
25						+	0.07							0.08
26						+	0.04							0.05
27							0.01							0.01
28							0.01							0.01
29							+							+
30														
30+														
Total [%]	31.32	2.23	0.45	0.17	0.38	16.40	39.71	3.19	0.98	0.65	0.61	3.64	0.26	100.00
Ortalama hız	6.44	3.99	3.59	2.16	2.89	7.52	7.46	5.25	4.57	4.46	3.34	4.93	4.79	6.79

Çizelge 4.4. Soğanlı 1 (SOG1) bölgesi için 80 m yükseklikte saptanmış verilere göre ortalama rüzgar hız değerleri

Aylar	Rüzgar hızı (m/s)	Geçerli rüzgar hızı veri sayısı	Geçerli rüzgar yön veri sayısı
Ocak	8.5	1708	1708
Şubat	6.8	3124	3124
Mart	9.0	3429	3417
Nisan	6.3	4038	4038
Mayıs	5.3	4384	4384
Haziran	5.0	4320	4320
Temmuz	6.3	4464	4464
Ağustos	6.0	4458	4458
Eylül	5.3	4319	4319
Ekim	7.2	3806	3704
Kasım	7.1	3135	3135
Aralık	8.4	2749	2749
Yıllık	6.8		

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirmeleri yapılırken en önemli olan faktör, atmosferik olaylar içerisinde oldukça değişken ve öngörülmesi en zor olan rüzgar hızıdır (Şahin 2001). Verilerin alındığı yıl boyunca ölçülen rüzgâr hızlarının frekans değerleri Şekil 4.4' de görülmektedir. Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde 4, 5 ve 6 m/s'lik hız verileri için frekans değerinin diğer hızlarınkine kıyasla daha yüksek olduğu ve toplam değerlerin %35.54' ünü oluşturduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4. Soğanlı 1 (SOG1) bölgesi için 80 m yükseklikte saptanmış verilere göre rüzgâr hızlarının frekans değerleri

4.2. Türbinlerin Üretebilecekleri Enerji Miktarları

Günümüzde, farklı firmalara ait, değişik güç ve kapasitelerde türbin imalatları yapılmaktadır. Bu türbinler farklı hub (göbek) yüksekliklerine ve rotor çaplarına dolayısıyla güç ve kapasite faktörü değerlerine sahip olabilmektedirler. Aynı çap ve göbek yüksekliklerine sahip olup güç ve kapasite faktörü değerlerinin değiştiği türbinlerde bulunmaktadır. Elde edilen rüzgar verilerinden yararlanılarak WindPro yazılımının WASP Interface modülü kullanılarak olası türbin konfigürasyonlarının üretebilecekleri güç değerleri analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmiştir.

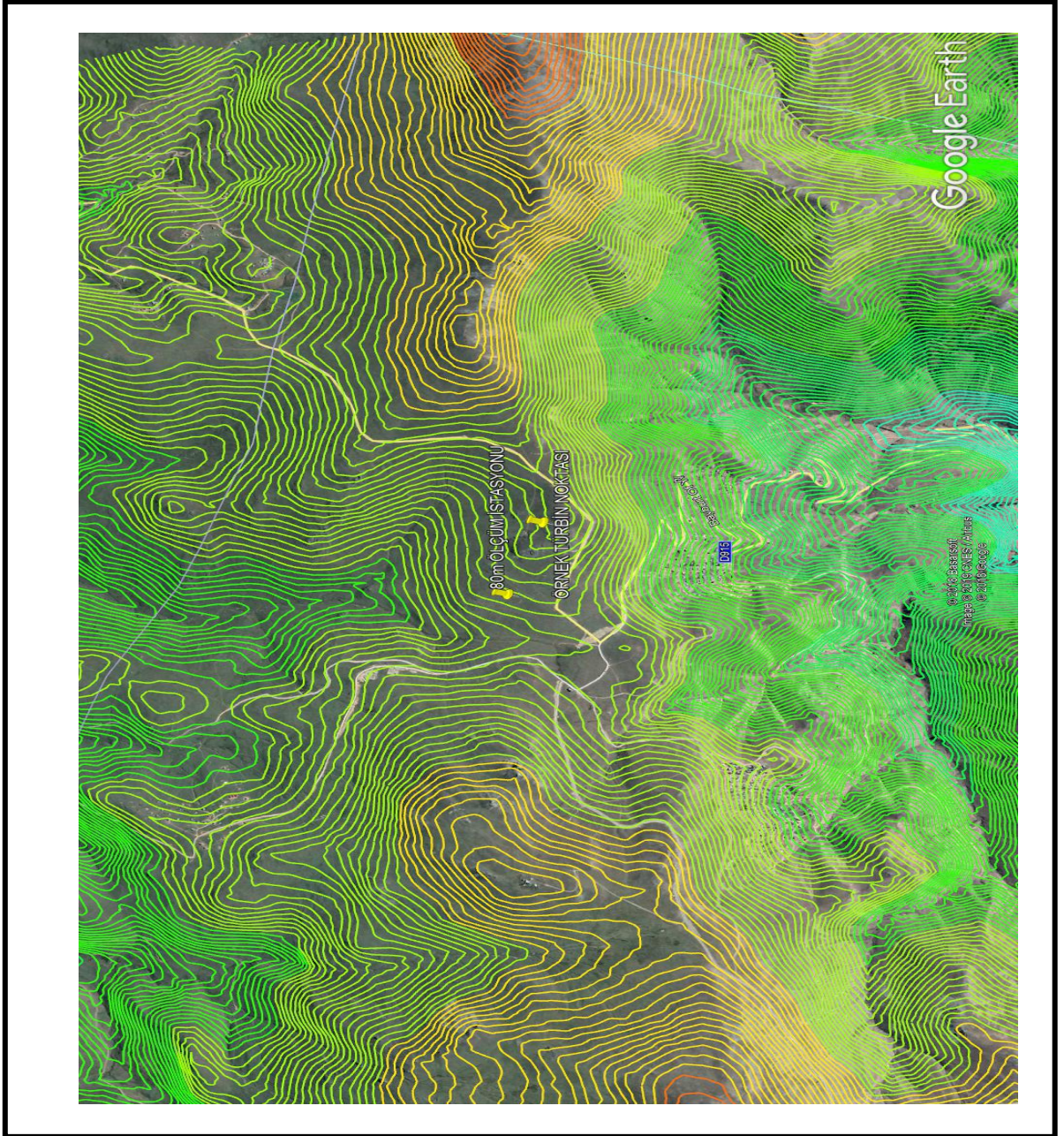
Çizelge 4.5. Soğanlı projesi için kullanılabilir türbin modellerine ilişkin parametreler

Türbin modeli	Güç [kW]	Göbek yüksekliği [m] ve Rotor çapı (m)	Maks. güç katsayısı [Cp]	Hava yoğunluğu [kg/m ³]	Türbilans yoğunluk yüzdesi [%]	Yıllık Enerji üretimi (GWh/yıl)
Nordex N131/3600	3600	84.0 ve 131	0.47	0.925	9-20	10.2
Nordex N149/4.0	4000	105.0 ve 149	0.46	0.925	9-20	11
Nordex N149/4.5	4500	105.0 ve 149	0.46	0.925	9-20	11.9
Vestas V136-3.6 MW	3600	82.0 ve 136	0.46	0.950	6-12	10.6
Vestas V150-4.0 MW	4000	105.0 ve 150	0.46	0.950	6-12	11.7
GE 3.8-130	3800	85.0 ve 130	0.45	1.020	5-15	--

Türbin modellerine ilişkin en yüksek güç katsayısı değerleri incelendiğinde tüm bu türbinlerin modern rüzgar türbinleri olarak kabul edilebileceğini göstermektedir. Türbilans yoğunluk değeri rüzgar hızına ilişkin standart sapma değerinin rüzgar hızına oranlanmasıyla elde edilmiş olup bu değer kayıplara bağlı olarak türbin performansının modellenmesi ve türbin kurulacak sahanın uygunluğuna yönelik çalışmalarda gerekli bir parametredir. Türbin modelleri seçilirken; kullanılan datalar ve arazi şartları ve konumları dikkate alınarak elde edilen sonuçlar ticari kıyaslama gibi bir emsal teşkil etmemekle birlikte noktasal bazda ekonomik kriterler, fiyat/performans gibi bir çok kriter daha göz önünde bulundurularak birbirlerine göre daha tercih edilebilir hale gelebilmektedirler.

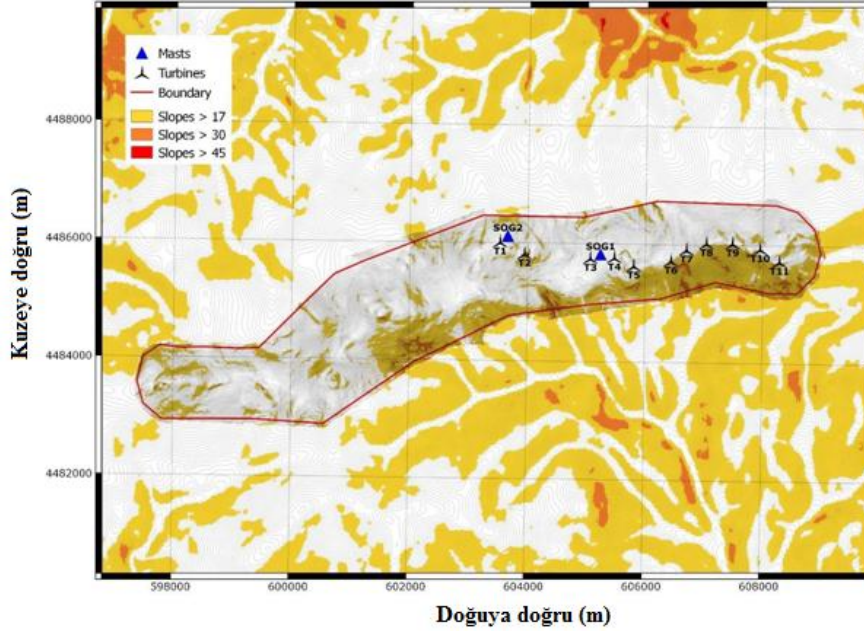
Ölçüm noktasına göre örnek bir türbin noktası belirlenerek birbirine yakın farklı modeller ile örnek uzun dönem ortalama enerji üretim hesapları yapılmıştır. Hesaplama noktası olarak ölçüm istasyonuna yakın, 580 m uzaklıkta hakim bir tepe seçilmiştir. 40.513259° Enlem , 40.248586° boylamında 2430 m yüksekliğinde bir nokta belirlenmiştir.

Bölgeye ait eşyüksekti eğrilerinin görüldüğü harita da yükseklikleri gösteren renklerden (Şekil 4.5); mavi tonları 1.000-1.500 m, turkuaz tonları 1.500–2.000 m, yeşil tonları 2.000–2.500 m, sarı tonları 2.500-2.650 m ve turuncu tonları 2.650–2.800 m yükseklikleri göstermektedir.



Şekil 4.5. Türbin kurulacak bölgeye ait eşyüksekti eğrileri

WindPRO programı ile seçilen sahanın eğim durumu ve türbin konumları belirlenmiştir. Saha iki bölgeye ayrılmış olup, Soğanlı 2 bölgesinde 2 türbin, Soğanlı 1 bölgesinde ise 9 türbin olmak üzere toplam 11 türbinden oluşan çiftlik tasarımı Şekil 4.6'da verilmiştir.



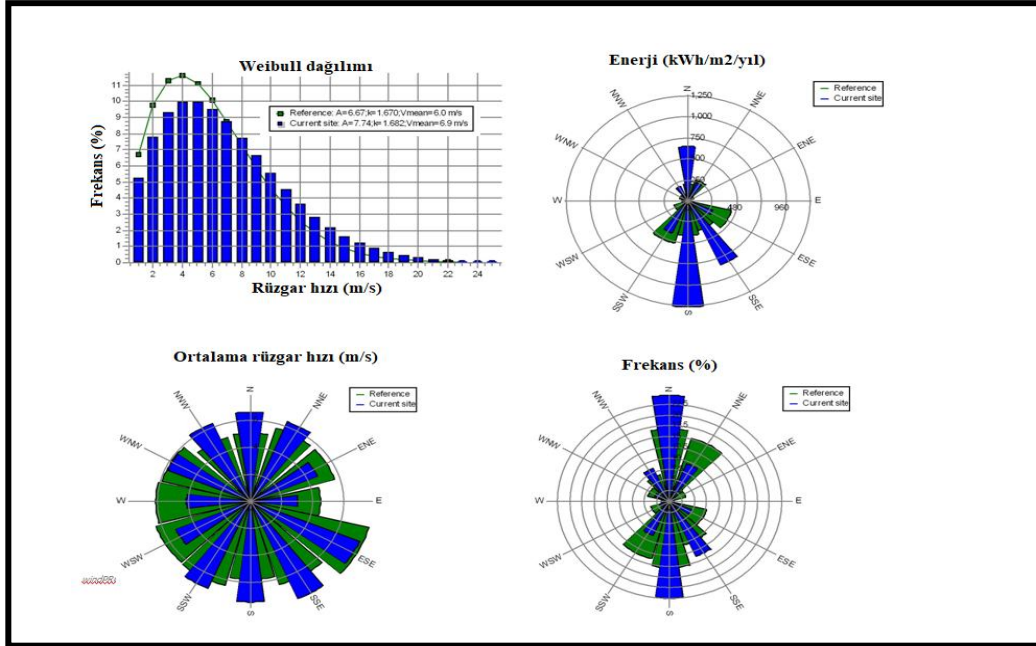
Şekil 4.6. Seçilen bölgede kurulabilecek rüzgar çiftliği için olası türbin tasarımı

Vestas marka türbin için WAsP kullanılarak 105 m göbek yüksekliğine sahip Vestas V150-4 MW model türbin için rüzgar verileri Weibull dağılımına uyarlanmış ve Weibull parametreleri yani ölçek ve biçim parametreleri (sırasıyla c ve k) Soğanlı 1 ve Soğanlı 2 bölgeleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Soğanlı 1 bölgesi için Weibull verileri Çizelge 4.6' da, Weibull dağılımı, üretilen özgül enerji (kWh/m²/yıl), ortalama rüzgar hızının ve hız değerlerinin sıklık oranının (%) yönler göre değişimi (istasyon verilerinden yararlanılarak) Şekil 4.7' de verilmiştir. Programda analizler gerçekleştirilirken sahanın pürüzlülük sınıfının 1 olduğu kabul edilmiştir. Pürüzlülük sınıfı yükseldikçe, rüzgar hızı ve buna bağlı olarak üretilen enerji miktarı azalmaktadır. Yükseklik arttıkça ise, rüzgar hızı ve üretilen enerji miktarı da artış göstermektedir (Çekirdek ve Turgut 2014). İstasyonun bulunduğu bölgenin, düşük oranda ormanlık alana ve pürüzlü alana sahip olması ve düz alana sahip olması nedeniyle pürüzlülük sınıfı 1 olarak seçilmiştir. Mevcut saha için yönler bağlı olarak, ölçek parametresi c 3.05-8.77 m/s arasında değişirken, biçim parametresi k ise 0.99-2.271, ortalama rüzgar hızı v_m 3,06-7.85 m/s arasında değişmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi elde edilecek en yüksek özgül enerji miktarları rüzgar esme yönleri ve rüzgar esme frekansına bağlı olarak

güney (1250 kWh/m²/yıl) ve güney-güneydoğu (yaklaşık 800 kWh/m²/yıl) doğrultusunda elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.6. Soğanlı 1 bölgesi için Weibull verileri

Yön	Mevcut saha				Referans: Pürüzlülük sınıfı 1		
	c (m/s)	Rüzgar hızı (m/s)	k	Frekans (%)	c (m/s)	k	Frekans (%)
0Kuzey	7.50	6.65	2.271	24.5	5.77	2.284	16.8
1Kuzey-Kuzeydoğu	7.22	6.39	2.131	9.4	6.41	2.164	15.3
2Doğu-Kuzeydoğu	5.30	4.71	1.795	1.6	6.38	1.887	3.5
3 Doğu	3.05	3.06	0.990	0.4	4.76	1.159	0.7
4 Doğu-Güneydoğu	8.56	7.66	1.635	4.9	8.84	1.686	7.7
5 Güney-Güneydoğu	8.77	7.85	1.643	13.8	7.22	1.607	10.5
6 Güney	8.33	7.49	1.553	22.4	6.46	1.548	15.3
7 Güney-Güneybatı	7.80	7.03	1.510	8.5	7.16	1.510	13.7
8 Batı-Güneybatı	5.83	5.27	1.482	2.0	7.04	1.467	3.9
9 Batı	4.56	4.14	1.443	1.1	6.74	1.397	1.6
10 Batı-Kuzeybatı	6.58	5.83	1.967	3.2	6.66	2.063	4.5
11 Kuzey-Kuzeybatı	7.13	6.31	2.225	8.3	5.62	2.218	6.5
Hepsi	7.74	6.91	1.682	100.0	6.67	1.670	100.0



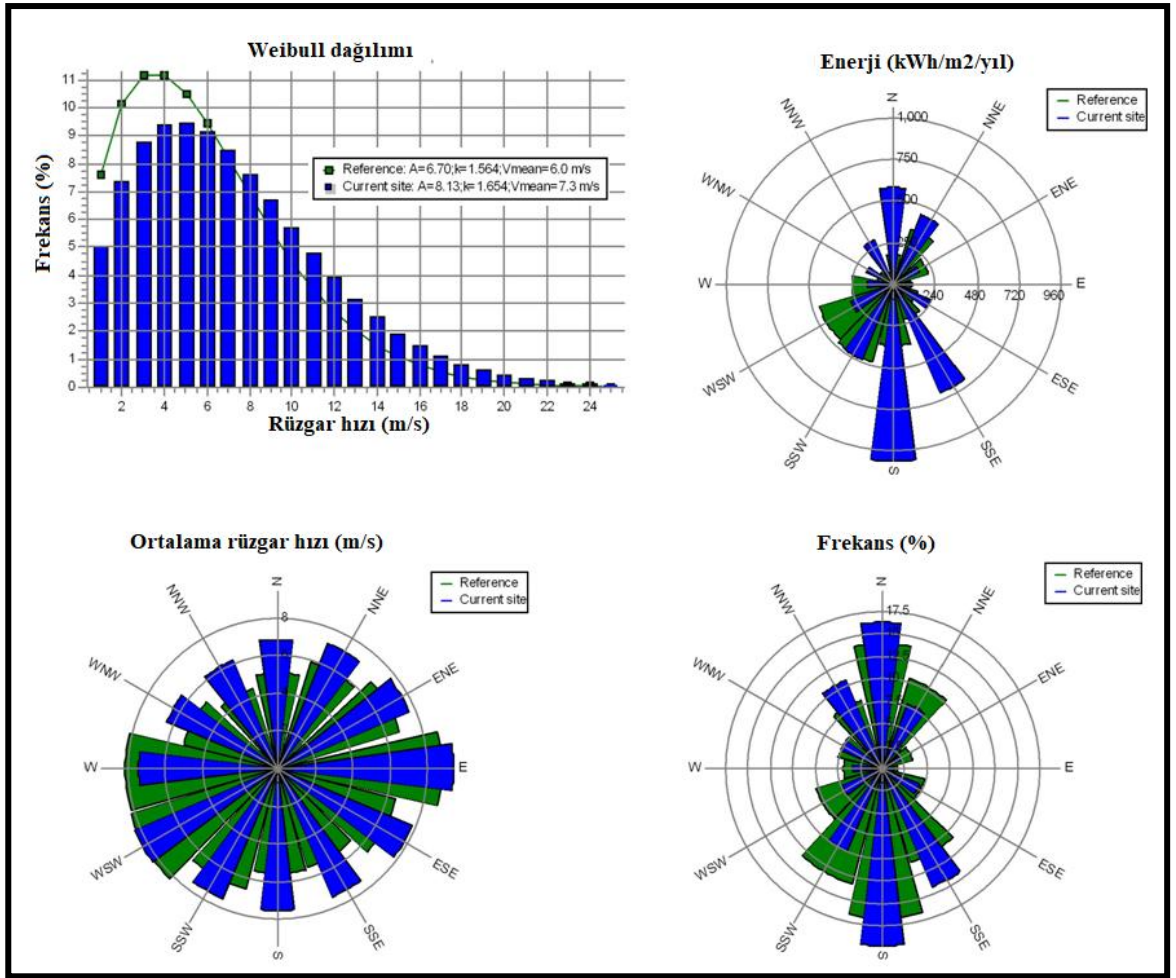
Şekil 4.7. Soğanlı 1 bölgesi için Weibull dağılımı, üretilen özgül enerji değeri (kWh/m²/yıl) ve ortalama hız ve hız değerlerinin frekansının (%) yönlere göre değişimi

Soğanlı 2 bölgesi için Weibull verileri Çizelge 4.7' de, Weibull dağılımı, üretilen özgül enerji (kWh/m²/yıl), ortalama rüzgar hızının ve hız değerlerinin sıklık oranının (%) yönler göre değişimi (istasyon verilerinden yararlanılarak) Şekil 4.8' de verilmiştir. Sahanın pürüzlülük sınıfı Soğanlı 1 bölgesinde olduğu gibi 1 olarak kabul edilmiştir. Mevcut saha için yönler göre bağli olarak, ölçek parametresi c 7.01-10.63 m/s arasında değişirken, biçim parametresi k ise 1.104-2.139, ortalama rüzgar hızı v_m 6.23-9.41 m/s arasında değişmiştir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi elde edilecek en yüksek özgül enerji miktarları rüzgar esme yönleri ve rüzgar esme frekansına bağli olarak Soğanlı 1 bölgesinde olduğu gibi güney (yaklaşık 1100 kWh/m²/yıl) ve güney-güneydoğu (yaklaşık 700 kWh/m²/yıl) doğrultusunda elde edilebilmektedir.

Sonuçlar, Soğanlı 1 ve Soğanlı 2 bölgesinin oluşturduğu bölgenin enerji potansiyelinde, güney yönlü rüzgarların diğer yönlerde oluşan rüzgarlara göre daha etkili bir role sahip olduğunu göstermektedir.

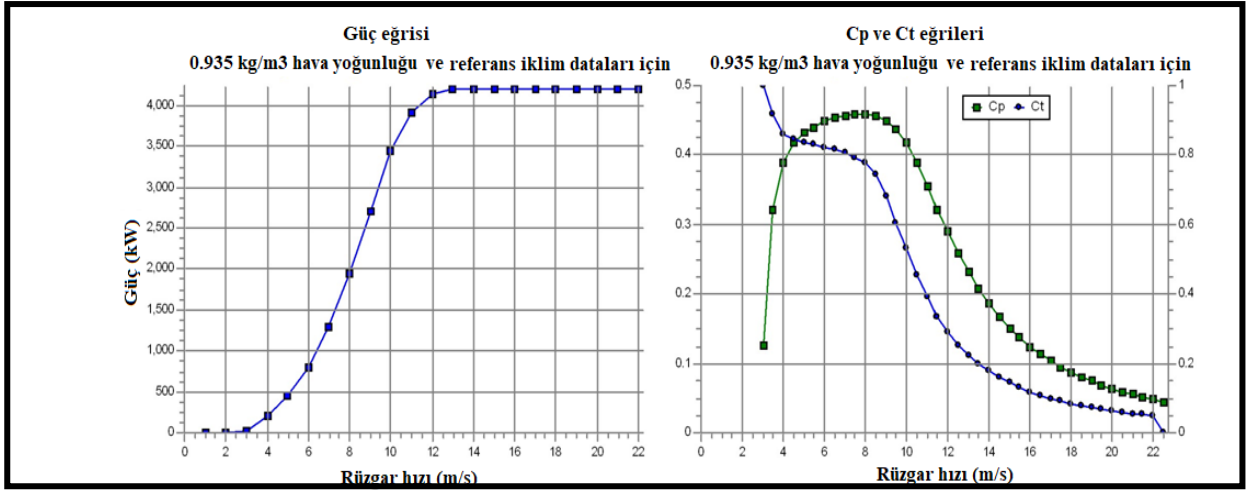
Çizelge 4.7. Soğanlı 2 bölgesi için Weibull verileri

Yön	Mevcut saha				Referans: Pürüzlülük sınıfı 1		
	c (m/s)	Rüzgar hızı (m/s)	k	Frekans (%)	c (m/s)	k	Frekans (%)
0Kuzey	7.74	6.88	1.846	16.3	5.72	2.055	13.9
1Kuzey-Kuzeydoğu	7.82	7.17	1.357	7.7	6.52	1.400	10.4
2Doğu-Kuzeydoğu	7.94	7.65	1.104	2.2	7.02	1.084	3.5
3 Doğu	10.63	9.41	2.139	1.3	9.93	2.095	1.7
4 Doğu-Güneydoğu	8.78	7.81	1.811	4.5	7.31	1.790	4.8
5 Güney-Güneydoğu	8.32	7.43	1.693	14.3	6.16	1.692	10.8
6 Güney	8.45	7.55	1.650	19.7	6.24	1.630	16.6
7 Güney-Güneybatı	8.46	7.53	1.783	10.0	7.43	1.661	13.1
8 Batı-Güneybatı	9.38	8.31	2.064	4.9	9.26	1.884	7.7
9 Batı	8.36	7.43	1.842	3.4	9.19	1.916	4.4
10 Batı-Kuzeybatı	7.16	6.42	1.604	5.1	5.73	1.517	5.1
11 Kuzey-Kuzeybatı	7.01	6.23	1.818	10.6	5.01	1.801	8.0
Hepsi	8.13	7.26	1.654	100.0	6.70	1.564	100.0



Şekil 4.8. Soğanlı 2 bölgesi için Weibull dağılımı, üretilen özgül enerji değeri (kWh/m²/yıl) ve ortalama hız ve hız değerlerinin frekansının (%) yönler göre değişimi

Şekil 4.9' da Vestas marka V150-4 MW model 105 m göbek yüksekliğine sahip türbin için farklı rüzgar hızlarında elde edilecek güç eğrisi ile güç katsayısı (C_p) ve tork katsayısı (C_t) eğrileri verilmiştir. Bu şekilden anlaşılacağı gibi, rüzgar türbini çıkış gücü 13 m/s rüzgar hızından sonra sabit devir için maksimum değere (4500 kW) ulaşmıştır. Maksimum güç katsayısı (C_p), kanatlar tarafından rüzgardan elde edilen gücün rüzgar gücüne oranı olarak ifade edilmektedir ve C_p rüzgar hızının artmasıyla artmış, 8 m/s rüzgar hızında maksimum değere (0.46) ulaşarak bu hızdan sonra hız artışıyla azalma eğilimi göstermiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi tork katsayısı (C_t) ise rüzgar hızının artışıyla sürekli bir düşme eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.9. Vestas marka V150-4 MW model 105 m göbek yüksekliğine sahip türbinde rüzgar hızına bağlı olarak elde edilecek güç, güç katsayısı (C_p) ve tork katsayısının (C_t) değişimi

WASP ve WindPro programları kullanılarak yapılan analizler sonucunda ele alınan sahada tasarlanan rüzgar tarlası olasılıklarında; farklı göbek yüksekliklerine sahip iki farklı model türbinin kullanımı durumunda elde edilebilecek enerji çıkışı değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de verilmiştir. Rüzgar çiftliğinde Vestas V136-3.6 MW model türbinlerin kullanımı durumunda elde edilebilecek toplam enerji miktarı 101.9 (GWh/yıllık) olarak saptanırken, Vestas V150-4 MW model türbinlerin kullanımı durumunda elde edilebilecek toplam enerji miktarı ise 106.0 (GWh/yıllık) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Vestas V136-3.6 MW model 82 metre göbek yüksekliğinde türbinlerin kullanımı durumunda enerji çıkış miktarları

Türbin	Türbin Model	Göbek Yüksekliği (m)	Başlatma Direği	Kot (m)	Uzun Vadeli Rüzgar Hızı (m/sn)	Enerji Çıkışı (GWh/yıllık)	Türbin verimlilik (%)
T1	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG2	2552	7.3	9.2	99.9
T2	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG2	2511	7.2	9.1	99.7
T4	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2399	7.1	9.3	99.8
T5	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2436	7.6	10.2	99.8
T6	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2447	7.6	10.0	99.7
T7	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2485	7.7	10.2	99.2
T8	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2558	8.3	11.3	99.7
T9	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2557	8.2	11.2	99.9
T10	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2584	7.8	10.4	99.3
T11	Vestas V136-3.6 MW	82.0	SOG1	2620	8.0	10.9	99.8
Ortalama				2515	7.7	10.2	99.7
Toplam						101.9	

Çizelge 4.9. Vestas V150-4 MW model 105 metre göbek yüksekliğinde türbinlerin kullanımı durumunda enerji çıkış miktarları

Türbin	Türbin Model	Göbek Yüksekliği (m)	Başlatma Direği	Kot (m)	Uzun Vadeli Rüzgar Hızı (m/sn)	Enerji Çıkışı (GWh/yıllık)	Türbin verimlilik (%)
T1	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG2	2552	7.3	10.7	99.9
T2	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG2	2511	7.2	10.5	99.6
T5	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2436	7.6	11.7	100.0
T6	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2447	7.5	11.4	99.6
T7	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2485	7.7	11.8	99.1
T8	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2558	8.2	12.8	99.7
T9	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2557	8.1	12.8	99.8
T10	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2584	7.7	11.9	99.1
T11	Vestas V150-4 MW	105.0	SOG1	2620	7.9	12.4	99.7
Ortalama				2528	7.7	11.8	99.6
Toplam						106.0	

2018 yılında Bayramoğlu'nun yaptığı araştırmada Bayburt ilinde rüzgar enerjisinin tespit edilemediği teorik potansiyelin de ancak %11' inin kullanılabileceği bunun da düşük bir veri olduğunu bildirmektedirler. Yapılan çalışmada bölgeden alınan verilerin analizi sonrası bölgenin rüzgar çiftliği kurulumu için ideal verilere sahip olduğu, kurulacak bir rüzgar çiftliğinin de ülke ekonomisi ve yerli enerji konusunda katkı sağlayacağı ön görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rüzgar enerji sektörü dünyada olduğu gibi ülkemizde de en hızlı gelişen sektörlerdendir. Bu çalışmada ülkemizin en önemli doğal kaynaklarından olan rüzgar potansiyelinin Bayburt İli Kılıçkaya Köyü, Soğanlı Dağı bölgesi için belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla tüm dünyada yaygın olarak kullanılan WASP ve WindPro programları kullanılarak rüzgar verilerinin analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar verilmiştir.

Bayburt ili Aydıntepe ilçesi Soğanlı Dağına 80 metre yükseklikte kurulan ölçüm istasyonundan alınan 10 dakika aralıkla kaydedilen Temmuz 2017-Haziran 2018 döneminde ortalama rüzgar hızı 6,8 m/s olarak ölçülmüştür. En düşük rüzgar hızı Haziran ayında 5 m/s, en yüksek rüzgar hızı da Mart ayında 9 m/s olarak ölçülmüştür. Bu değerler, bölgenin konumu ve özellikleri göz önüne alındığında bölgenin rüzgar çiftliği kurulumu için ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Kayıt altına alınan rüzgar ortalamaları ve diğer veriler WindPro programına girilerek yapılarak analiz edilmiş, analizler sonrası örnek 2 adet rüzgar çiftliği oluşturulmuştur. İlk örnek Vestas marka V136-3,6MV model 10 adet rüzgar türbininden oluşmaktadır. Bu rüzgar çiftliğinin enerji çıkışı 101.9 GWh/yıllık olarak hesaplanmıştır. İkinci örnek olarak da Vestas marka V150-4MV model 9 adet rüzgar türbininden oluşmaktadır. Bu çiftliğinde enerji çıkışı 106 GWh/yıllık olarak hesaplanmıştır. Bu iki örnek rüzgar çiftliğinden en ekonomik ve bölge coğrafyasına en iyi uyum sağlayacak rüzgar çiftliği Vestas marka V150-4MV model 9 adet rüzgar türbininden oluşan rüzgar çiftliğidir.

Yapılan hesaplamalarda elde edilen uzun dönem ortalama üretim hesaplarından da görüleceği üzere, rüzgar türbinlerinin göbek yükseklikleri, rotor çapları, jeneratör güçleri arttıkça üretilen enerji miktarı da artmaktadır.

Bir bölgede enerji üretimi yapmanın ilk aşaması o bölgedeki potansiyelin belirlenmesidir. Bölgede daha önce böyle bir çalışmanın yapılmamış olması ve yapılan bu çalışmanın bölgenin potansiyelini belirlemede daha sonraki çalışmalara kaynak olacağı ön görülmektedir. Bu sebeple özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yapılan potansiyel belirleme çalışmaları yaygınlaşmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Altuntaşoğlu T Z (2013). Rüzgâr Türbinlerinde Yerli Üretim, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği Yayınları.
- Altınsoy A (2013). Aksaray Bölgesi Rüzgar Enerjisi Potansiyelin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Al-Yahyai S, Tan C S, AL-Hatmi Y, Al-Badi A (2016). Wind Resource Assessment Over Al Duqm Industrial Area in Oman. Arabian Journal of Geosciences. 9: 296-303.
- Bilgili M, Şahin B, Şimşek E (2010). Türkiye'nin Güney, Güneybatı Ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi. 30(1): 1-12.
- Anonim (2018a). <http://gwec.net/> Erişim Tarihi: 15.05.2018
- Anonim (2019a). www.reshaber.com Erişim Tarihi: 09.05.2019
- Anonim (2019b). www.kuark.org Erişim Tarihi: 09.05.2019
- Anonim (2019c). www.3de3enerji.com Erişim Tarihi: 09.05.2019
- Anonim (2019d). <https://halb.com> Erişim Tarihi: 09.05.2019
- Anonim (2019e). <https://egitim448.wordpress.com> Erişim Tarihi: 09.05.2019
- Avcıoğlu AO (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri.
- Bayramoğlu T (2018). Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Ve Etkileri: Bayburt Örneği. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi. (1): 1-16.
- Çalışkan M (2010). Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyeli. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.
- Çekirdek M, Turgut A (2014). Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi: Tınaztepe Yerleşkesi Örneği. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. 11(4): 11-20.
- Çorbacı A (2012). Türkiye'de Kamu Harcamalarının Yenilenebilir Enerji Yatırımları Konusundaki Rolü.
- Gülersoy T, Çetin NS (2010). Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması. Politeknik Dergisi. 13 (3): 209-213.

- Himri Y, Himri S, Stambouli AB (2010). Wind Power Resource in the South-Western Region of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 554–556.
- Hocaoğlu FO, Kurban M, Filik ÜB (2008). WAsP Yazılımı ile Rüzgar Potansiyeli Analizi ve Uygulama. AÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir.
- IEA (2019). Key World Energy statics (2012) <https://www.iea.org/publications/freepublications/> Erişim Tarihi: 15.05.2019
- İmal M, Şekkeli M, Yıldız C (2012). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ana Kampüste Rüzgar Enerji Potansiyeli Araştırması ve Değerlendirmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 15(2): 11-16.
- Kıncay O, Yumurtacı Z, Bekiroğlu N (2013). Rüzgâr Enerjisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Ko K, Kang M, Huh J (2009). Year-to-Year Variation in Wind Resource and Assessment of WAsP Prediction for Wind Machine Power. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 23: 750-757.
- Mert İ, Karakuş C, Peker F (2014). Antakya Bölgesi Rüzgar Karakteristiğinin İncelenmesi. *Mühendislik Dergisi*, 5: 13-22.
- Nurbay N, Çınar A (2005). Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleri ile Karşılaştırılması
- Özkan R (2015). Muğla Bölgesi'nin Rüzgar Potansiyelinin belirlenmesi ve Rüzgar Enerjisi Analizinin yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Talayoğlu S (2010). Denizli İlinin Tavas İlçesine ait Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması ve Ekonomik Analiz (yüksek lisans tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pereira R, Guedes R, Santos CS (2010). Comparing WAsP and CFD wind resource estimates for the ‘Regular’ User. European Wind Energy Conference: Wzrsaw, Poland.
- Şahin, A. D. (2001). Türkiye rüzgarlarının alan-zaman modellemesi (Doctoral dissertation).
- Şenel MC, Koç E (2015). Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*. 56(663): 46-56.

Tavman İH, Önder TK (2001). Türkiye’de Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Kullanımı. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 316-323, İzmir.

Yalçın Y (2014). İstanbul Terkos Bölgesi’nde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji üretim potansiyeli Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Yayla S (2005). Van Gölü Kıyısının Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

TEŐEKKÜR

Prof. Dr. Tőrkan AKTAŐ' a çalıőmalarım sırasında gőstermiő olduğu kolaylıklar ve bilimsel bir çalışmanın ve dőőünmenin temellerini öğrettiği için teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalıőmalarımın tüm aőamalarında sabırla beni destekleyen sevgili eőim Duygu ÇETİNKAYA' ya, değerli anne ve babama minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bu tez çalıőmam sırasında gerekli izin ve özveride bulunan baőta Bayburt İl Tarım ve Orman Müdürüm Sayın Abdulkadir Karabulut ve Őube Müdürüm Sayın Abdurrahman MÜFTÜOğLU' na teőekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Edirne’de doğmuştur. Babası Şoför, annesi ev hanımıdır.

Ergene İlköğretim Okulu (2004), Muzaffer Atasay Anadolu Lisesi (2008), Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi (2013) bitirmiştir.

2009 yılında Uzunköprü Halk Eğitim Merkezi’nden 160 saatlik Bilgisayar İşletmenliği Sertifikası almıştır. Aralık 2009’den beri B sınıfı ve Kasım 2014 yılından beri de E sınıfı sürücü belgesi bulunmaktadır.

Askerliğini 2014-2015 yılları arasında İstanbul’da Deniz Muhafız Piyade Er olarak yapmıştır.

2015 yılı Ağustos-Ekim ayları arasında Mert Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.’nde üretim sorumlusu olarak çalışmıştır. Kasım 2015-Nisan 2016 tarihleri arasında Karataş Tarımcılık A.Ş’de saha sorumlusu olarak çalışmıştır. Eylül 2017’den beri Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde mühendisi unvanı ile çalışmaktadır.

Yürüyüş yapmayı, seyahat etmeyi sevmektedir.

Evlidir.