

# ORTALAMA GEÇMİŞ RÜZGAR VERİLERİ ÜZERİNDEN RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN ÖN FİZİBİLİTE YAPILMASI : GEDİZ ÜNİVERSİTESİ 100 kW RÜZGAR ENERJİSİ UYGULAMASI

Doç. Dr. Selim SOLMAZ<sup>1</sup>, Öğr. Gör. R. Altuğ TURAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Gediz Üniversitesi

<sup>1</sup>selim.solmaz@gediz.edu.tr, <sup>2</sup>altug.turan@gediz.edu.tr

## ÖZET

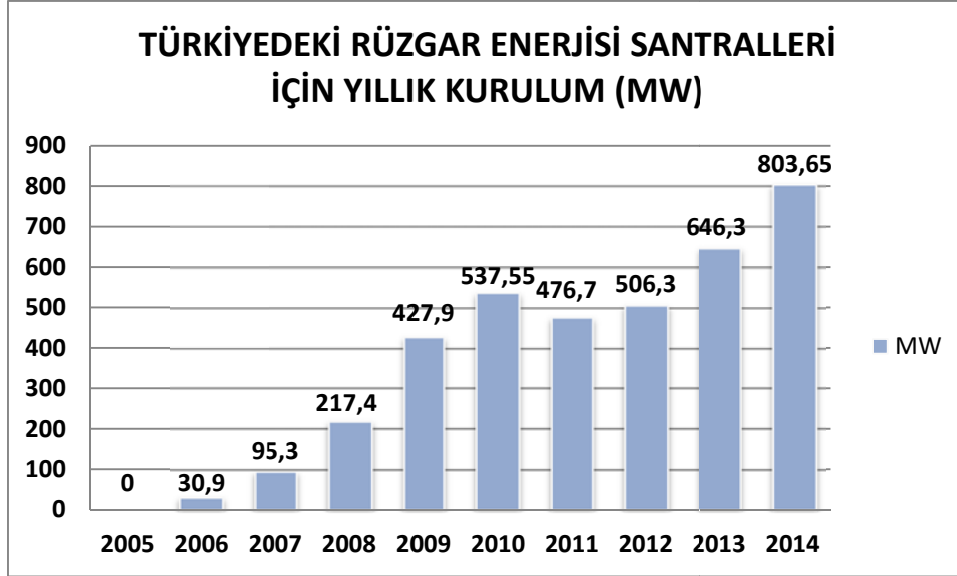
Bu çalışmada Gediz Üniversitesi kampüsünde kurulumu kısa bir süre önce tamamlanmış olan 100kW gücünde rüzgar türbini için üretim tahmini ve ön fizibilite çalışması yapılmıştır. Öncelikli olarak ele alınan türbin modeli üzerinden güç üretimini etkileyecek olan lokasyon coğrafi ve iklimsel şartlarından başlanmıştır. Belirtilen noktanın iklimsel özellikleri, ortalama rüzgar gücü, esme yönü gibi ortalama değerlere ulaşılmıştır. Bu aşamadan sonra elde edilen veriler sistem özellikleri üzerinden hesaplanmış ve sistemin potansiyel yıllık güç üretimine ulaşılmıştır. Daha sonrasında sistemin kurulum maliyeti, kW satış bedeli üzerinden sistemin kendisini ne kadar sürede amorti edeceği ve yine sistemin içsel karlılığı gibi finansal araçlar kullanılarak yatırım analizi sonlandırılmıştır.

## 1. GİRİŞ

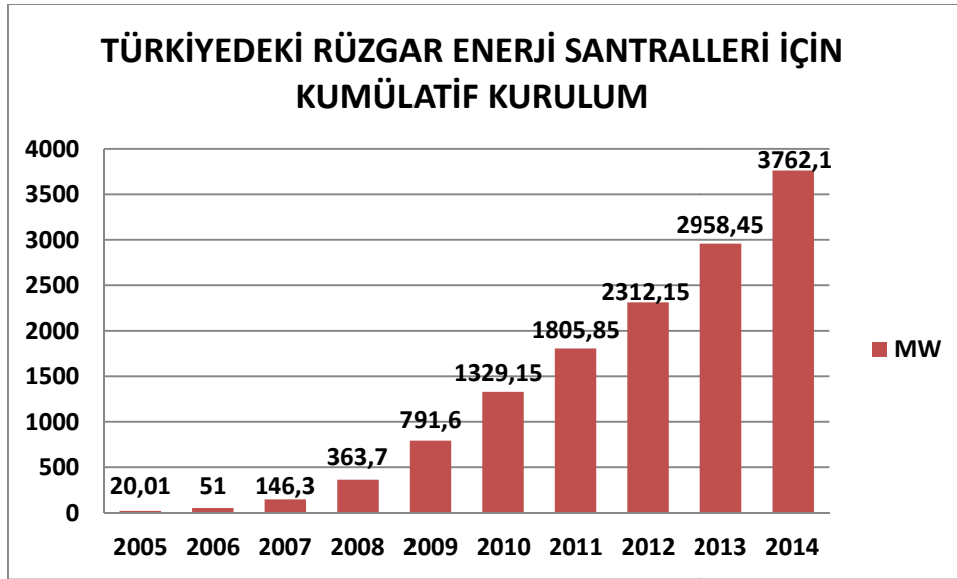
Günümüz dünyasında küreselleşme ve artan nüfus paralelinde daha fazla konut, sanayileşme, otomasyon ve hayatı kolaylaştırmaya yönelik teknolojik ürünlerin artmasına yol açmıştır. Tüm bunlar enerji ihtiyacımızın gün ve gün artacağını göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre enerji talebinin mevcut durumu koruması halinde 2030 yılına kadar enerji ihtiyacında %40 artış olması beklenmektedir. Bu artış kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtların yanı sıra nükleer ve yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar ve güneş santralleri ile karşılanacaktır. Bu talebin karşılanması için öncelik her ne kadar kaynakları sınırlı olan kömür, doğalgaz ve petrol olsa da 20 yüzyıl itibariyle özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların hızla arttığı gözlenmektedir.

Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC) istatistiksel verilerine göre 2014 yılında yapılan 51.477 MW rüzgar enerjisi kurulumu ile dünyada toplam 369.553 MW rüzgar enerjisi gücüne ulaşılmıştır [1].

Dünya istatistiklerinde görülen bu trend Türkiye içinde artarak ilerlemektedir. Türkiye’de ilk RES (Rüzgar Enerjisi Santrali) 1998 yılında 1.5 MW gücünde Çeşme’ye kurulmuştur. Daha sonrasında yenilenebilir enerji santralleri ülkemizde 2005 yılı tarihli ve 5246 nolu ‘Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’ ile önem kazanmıştır. Bundan dolayı ülkemizde rüzgar enerjisi santral kurulumları hızla artmaya başlamıştır. Türkiye’de 2005 – 2014 yılları arasında rüzgar enerjisi kurulu gücündeki artış Şekil 1’de verilmiştir. Türkiye’de yıllara göre kümülatif kurulu güç Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. TÜREB-Türkiye yıllara göre rüzgar santrali kurulumu istatistik raporu



Şekil 2. TÜREB-Türkiye kümülatif rüzgar gücü dağılımı istatistik raporu

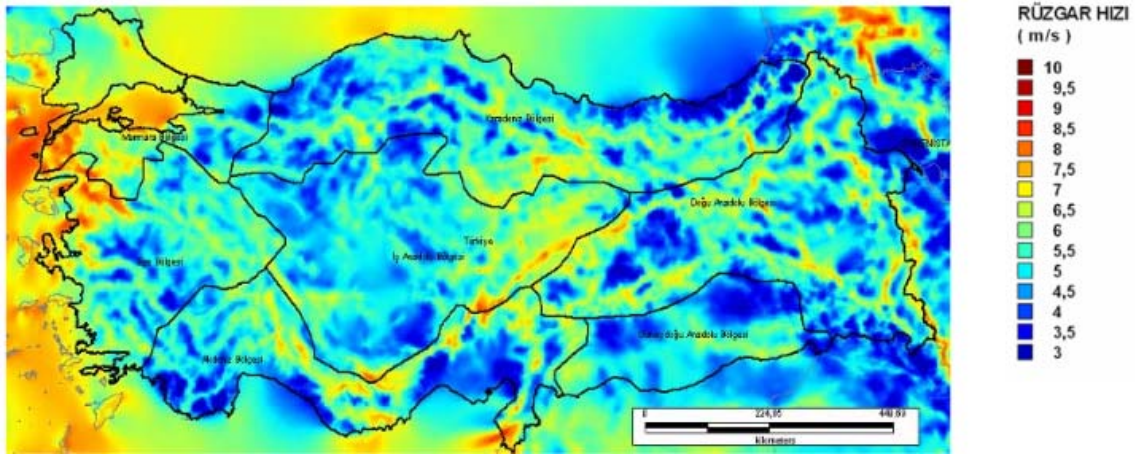
Rüzgar enerjisinin bu kadar önem kazanmasının sebebi ise, üretim maliyetlerinin sabit olması ve düşük fiyatlı olması fosil yakıtların fiyat dalgalanmalarına karşı önlem almaya çalışan enerji üreticileri için alternatif bir çözüm yaratmış olmasıdır.

Bunların yanı sıra yenilenebilir enerji santralleri, neredeyse sabit fiyat avantajıyla birlikte doğal, tükenmeyen, radyoaktif özelliği olmayan, CO<sub>2</sub> salınımı olmayan bundan dolayı atmosferik ısınmaya yol açmayan, doğayı ve insan sağlığını tehdit etmeyen, gelecek için üretim gücü tahmin edilebilen yatırımlardır. Tüm bu olumlu özelliklerin yanında geçmiş yıllarda olarak kanıtlanamamış olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Bunlar; gürültü, görsel kirlilik, radyo frekanslarında parazit kuş ölümleri gibi özelliklerdir. Ancak teknolojinin ilerlemesiyle özellikle gürültü açısından önemli bir azalma sağlanmıştır [2,3,4].

Yenilenebilir enerji piyasasındaki bu artan trend yatırımcı için önu açık ve aynı zamanda talep olan cazip bir sektör haline gelmiştir. Bu noktada yatırımcı için en önemli soru işareti yatırımın ne kadar sürede kendisini amorti edeceğini bilmektir. Bunun için rüzgar ölçüm direği veya geçmiş uzun yılların ortalama verilerinin alınmasıyla yapılan ön fizibilite çalışmaları vardır. Bu çalışmada Gediz Üniversitesi Seyrek kampüsüne kurulan 100kW gücünde bir rüzgar türbini için ön fizibilite raporunun hazırlanması amaçlanmıştır.

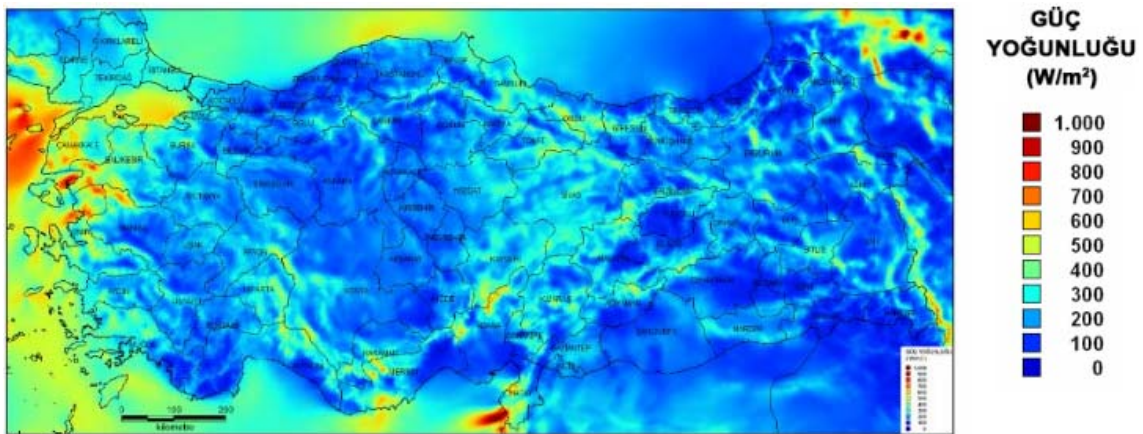
## 2. TÜRKİYE’DE RÜZGAR GÜCÜ

Türkiye jeopolitik konumu itibarıyla rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanılabilecek ülkelerden birisidir. YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) üzerinden alınan bilgilere göre özellikle Marmara ve Ege bölgesi ciddi rüzgar potansiyeline sahip bölgelerdir. Bundan dolayıdır ki rüzgar enerjisi kuruluşları bu bölgelerde ağırlık kazanmıştır. Şekil 3’te verilen REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası) Türkiye’de 50 metre yükseklikte seyreden rüzgar hızı dağılımını vermektedir [5].



Şekil 3. Türkiye’de 50 metre yükseklikte ortalama rüzgar hızı haritası (REPA)

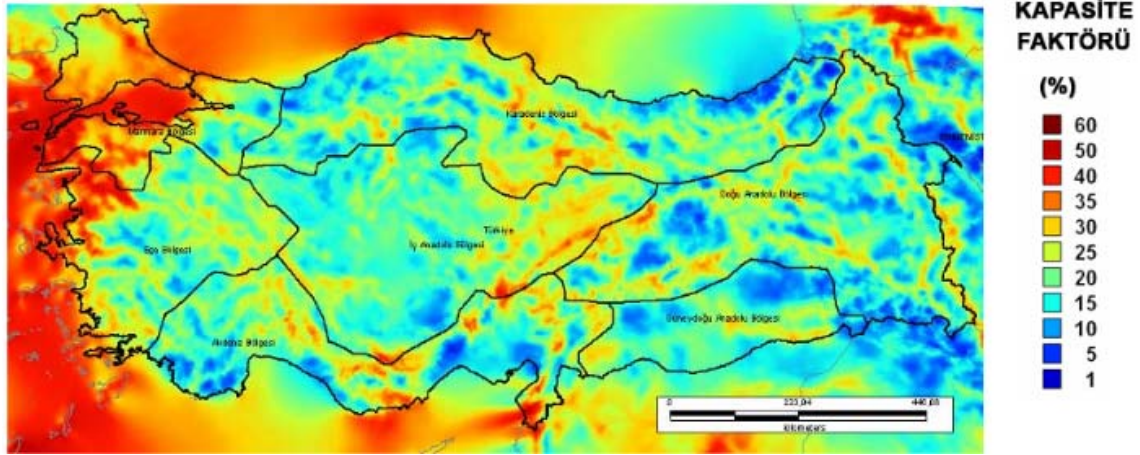
Rüzgar hızı haritasında görüldüğü gibi özellikle Marmara ve Ege bölgelerinin kıyı kesimleri rüzgar türbini için gerekli olan 7m/s rüzgar esme hızına sahip bölgelerdir. Rüzgar enerjisi santralleri için yapılan fizibilite çalışmalarında sadece rüzgar hızının belirlenen limitlerde olması yeterli değildir. Rüzgar hızıyla birlikte rüzgar yoğunluğu ve kapasite faktörü bilinmesi gereken diğer değişkenlerdir. Şekil 4’te Türkiye rüzgar güç yoğunluğu dağılımı verilmiştir [6].



Şekil 4. Türkiye’de 50 metre yükseklikte rüzgar güç yoğunluğu (REPA)

Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritasında görüldüğü gibi diğer bölgelere göre Marmara ve Ege bölgelerinde rüzgar yoğunluğu daha yüksektir. Bu sayede herhangi iki bölgede rüzgar hızı aynı olsa bile rüzgar santralinden elde edilecek enerjiyi bu haritada belirtilen rüzgar güç yoğunluğu belirlemektedir. Yoğunluğun fazla olduğu bölgelerde RES kanatları daha fazla itme gücüyle dönmektedir. Böylece dönüş hızı ve tur sayısı değişmektedir.

Yine RES kurulumu yapılacak olan bölgelerde yatırım öncesi dikkat edilmesi gereken diğer bir değişken kapasite faktörüdür. Şekil 5'te 50 metre yükseklikte 1MW gücünde kurulu güce sahip bir emsal türbin için (Suzlon 1MW) Türkiye kapasite faktörü dağılımı verilmiştir.



Şekil 5. Türkiye’de 50 metre yükseklikte kapasite faktörü haritası (REPA)

Kapasite faktörü RES fizibilite raporları hazırlanırken hesaplamalar sonucun ilk değerlendirilen çıktıdır. Teorik olarak ve YEGM verilerine göre kurulum yapılacak olan RES için kapasite faktörünün ekonomik olarak %35 civarında ve üzerinde olması beklenmektedir. Yine Türkiye kapasite faktörü haritasına bakıldığında rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğu haritalarında olduğu gibi kapasite faktörünün en yüksek olduğu bölgeler Marmara ve Ege bölgeleri olarak gözlenmektedir.

Tüm bu sonuçlar Türkiye’de kurulu RES oranlarını destekler niteliktedir. Rüzgar enerjisi kurulum İstatistiklerine bakıldığında Türkiye 7 bölge üzerinden değerlendirilmiş ve buradan elde edilen sonuç rüzgar enerjisi santrallerinin %61.4’ü Marmara ve Ege bölgeleri sahil şeritlerinde bulunmaktadır. Bunların %23.5’lik oranını sadece Çanakkale ve Balıkesir oluşturmaktadır [7].

### 3.TAHMİNİ YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ LİTERATÜR TARAMASI:

RES kurulumları için en önemli kısım kurulum yapılmadan önce yapılacak kurulumla dair ön fizibilite raporunun oluşturulmasıdır. İşte tam bu noktada kurulacak tribünün yıllık üreteceği enerji miktarının hesaplanması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda bu konuda dünya çapında kullanılan bazı programlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunlardan en yaygın olanları WASP (Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı) ve WindRose programlarıdır. WASP programı RISO ulusal laboratuvarında geliştirilmiştir. Bu program çok fonksiyonlu geliştirilmiştir. İçeriğinde birbirine bağlı farklı modüller bulundurmaktadır. Bunlar rüzgar gücü tarlalarının planlanması, rüzgar verilerinin değerlendirilmesi, konumlandırma ve yıllık tahmini üretimin hesaplanması gibi fonksiyonlardır [8]. Diğer kullanımı yaygın olan WindRose programı Visual Basic diline sahip olup kullanıcı ara yüzü Excel olarak sunulmaktadır.

Kullanıcıların kolay kullanabildiği bir program olup rüzgar gücü girdilerinin yapılmasıyla tahmini yıllık enerji üretim miktarını hesaplamaktadır [9].

Rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık tahmini üretimini hesaplamak için öncelikli olarak rüzgar türbininin güç eğrisinin olması gerekmektedir. Güç eğrileri her türbin için kanat ve mekanik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bunun yanında bölgede hakim rüzgar hızı ‘v’ ve ‘k’, ‘a’ değişkenlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

**k parametresi:** rüzgar sıklığını gösteren parametredir. Şekil parametresi olarak adlandırılmaktadır. Rüzgar hızına bağlı olarak değişir eğer rüzgar hızı ortalama sabit bir değerle esiyorsa k parametresi büyük değer alır. Böylece bu parametre üzerinden bölge için ortalama rüzgarın ağırlıklı olarak estiği yorumu yapılabilir. K parametresi dağılım aralığı ağırlıklı olarak 1,5 – 3 değerleri arasında değişmektedir.

**a parametresi:** ölçek parametresi olarak adlandırılmaktadır. Bağlı kümülatif rüzgar hızı frekansını göstermektedir. Buna göre eğer ortalama rüzgar hızı yüksekse a parametre değeri yüksektir. ‘a’ parametresi kimi kaynaklarda ‘c’ olarak geçmektedir.

Bu parametreler genellikle rüzgar hızının alındığı kaynaklardan direk elde edilmektedir [10]. Bunların dışında k ve a parametreleri hesaplamak için arazinin rüzgar verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler üzerinden aşağıdaki denklemler ile parametre değerlerine ulaşılmaktadır.

$U$  = ortalama rüzgar hızı

$\sigma_u$  = rüzgar hızı standart sapması

$$k = \left(\frac{\sigma_u}{U}\right)^{-1.086} \quad (1)$$

$$a = U * \left(0,568 + \frac{0,433}{k}\right)^{-\frac{1}{k}} \quad (2)$$

Bu veriler üzerinden Weibull hesaplaması için bir denkleme daha ihtiyaç duyulmaktadır. Bu denklem rüzgar ağırlıklı olasılık dağılımını oluşturacaktır [11].

$$f(v) = \left(\frac{k}{a}\right) \left(\frac{v}{a}\right)^{k-1} * \exp\left(-\left(\frac{v}{a}\right)^k\right) \quad (3)$$

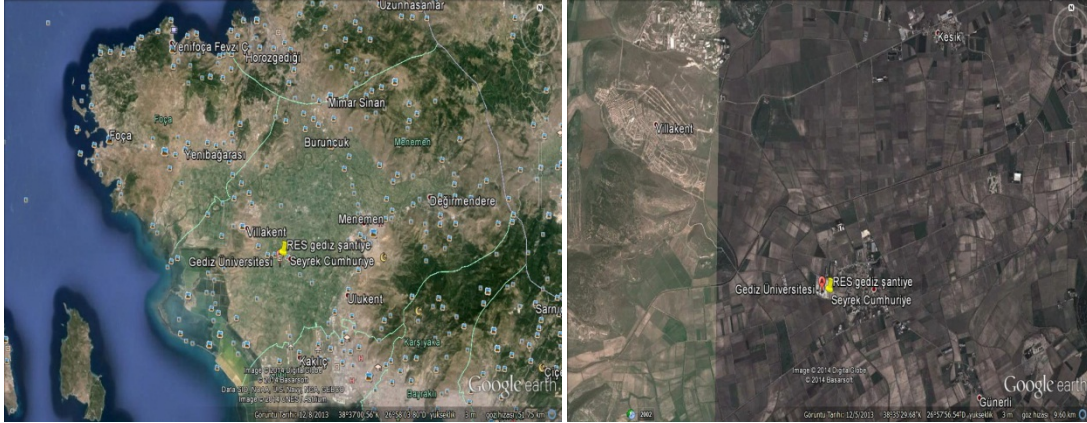
Denklem 3 üzerinde verilen ‘v’ değeri rüzgar hızının rüzgar türbinlerinde maksimum hız değerine kadar aldığı değerleri göstermektedir. Buna göre ‘v’ değişkeni türbin çalışma aralığında 0 ile 25 arası değerler almaktadır. Bu değerler arasında rüzgar olasılık dağılımı olan weibull dağılımı elde edilmektedir. Bu işlemler üzerinden elde edilen veriler ile türbin güç dağılım eğrisi işleme alınmaktadır. Bunun sonucunda üzerinde çalışılan türbin için yıllık üretilen enerji miktarı, kapasite faktörü gibi değerlere ulaşılmaktadır.

#### 4. GEDİZ ÜNİVERSİTESİ 100kW RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ FİZİBİLİTE ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu kısmı sırasıyla birden fazla adımdan meydana gelmektedir. Öncelikli olarak RES uygulamasının yapılacağı bölgenin çevresel iklimsel olarak değerlendirilmesi yapılacaktır. Ardından bölgede hakim olan rüzgar hızı ve diğer parametreler elde edilecek ve bunlar ile Weibull dağılımı oluşturulacaktır. Tüm bu işlemlerden sonra türbin yıllık üretim miktarı ve kapasite faktörü bulunacaktır.

#### 4.1. Gediz Üniversitesi RES Konumu

RES kurulum bölgesi Gediz Üniversitesi Seyrek kampüsünde yer almaktadır. Projenin uygulama noktası; İzmir ili, Menemen İlçesi, Gediz Üniversitesi Seyrek köyü kampüsüdür. Kampüs seyrek köyüne kuş uçuşu 500m uzaklıkta olup Menemen'inin takribi 9 km güneybatısında ve en yakın Ege denizi sahil şeridininin 12 km doğusunda yer almaktadır. 'Google Earth' üzerinden alınan veri ve görüntülere göre proje noktası 4 m rakımlı ve  $38^{\circ}34'31.01''$  Kuzey enlemi ile  $26^{\circ}57'42.79''$  Doğu boylamında bulunmaktadır. RES yerleşim noktası, 50 km ve 10 km irtifalarından görünümleri ile Şekil-6'da verilmiştir.



Şekil 6. Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama noktasının 50 km irtifadan (sol) ve 10 km irtifadan (sağ) görünümleri

Proje uygulama noktasının deniz seviyesinden 2 km ve 500 m irtifalarından temsili görünümü ve topoğrafik yerleşimi Şekil-7'de; uygulama noktasında çekilen kolaj fotoğraflar ise Şekil-8'de gösterilmiştir. Bu figürlerde muhtemel kurulum noktasının ve yakın çevresinin coğrafi özellikleri açıkça görülebilmektedir.



Şekil 7. Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama noktasının deniz seviyesine göre 2 km (sol) ve 500 m (sağ) irtifadan görüşleri



**Şekil 8.** Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama noktası kolaj fotoğrafları

Topoğraf verilerinden ve coğrafi haritalardan anlaşıldığı üzere RES uygulama noktasının ağaçlık vasıfta ve tarımsal alanların bulunduğu bir bölgede konumlandığı tespit edilmiştir. Bölgedeki bitki örtüsü kısa otsu bitkilerden ve seyrek düzende ağaçlardan oluşmaktadır. Yetiştirilen tarım ürünleri ağırlıklı olarak pamuk, ayçiçeği, ıspanaktır. Ağaçlar tarım amacıyla olmayıp Gediz Üniversitesi peyzaj çalışmaları neticesinde dikilen yüksekliği 10 metreyi geçmeyen çam ve palmye cinslerindedir.

Bölgenin arazi yapısı ele alındığında kot farkı olmayan tarlalardan oluşan düz açık bir alana sahiptir. Google Earth üzerinden yapılan araştırmalara göre bölgenin 5 km kuzey batısında kot farkı 75 metre olan bir tepe olduğu gözlemlenmiştir. Bunların yanında uygulama noktası yakınında ve çevresinde DSİ (Devlet Su İşleri) sulama kanalları dışında herhangi bir akarsu gölet bulunmamakta ve deniz kıyısına uzaklığı 12 km civarındadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü üzerinden alınan verilere göre bölgenin iklim yapısı genel anlamda ılıman iklim kuşağı özelliklerine sahiptir. Akdeniz iklimi özelliği gösterir. Yıllık ortalamalara göre yağışlar ilkbahar ve özellikle kış aylarında yoğunlaşmaktadır. Kışlar genellikle ılıman ve yağışlı, yazlar sıcak geçmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 600–1200 mm'dir.

Tüm bunların yanında RES kurulumları için önemli olan bir diğer durum bölge elektrik nakil hatlarıdır. Kurulum noktasında bulunan seyrek köyü sebebiyle bölgede nakil hatlarına yönelik hali hazırda bir alt yapı bulunmaktadır. Ayrıca kurulum noktasının altında yada yakınında sistemi tehlikeye sokabilecek herhangi bir kanalizasyon, doğalgaz ve su arterleri bulunmamaktadır.

Yapılan arazi, iklim ve alt yapı araştırmalarına göre elde edilen sonuçlar bölgede RES kurulumunu ve türbin çalışma koşullarını engelleyecek bir durum olmadığı sonucunu çıkarmaktadır.

#### **4. 2. Rüzgar Potansiyeli ve Türbin Verilerinin Değerlendirmesi**

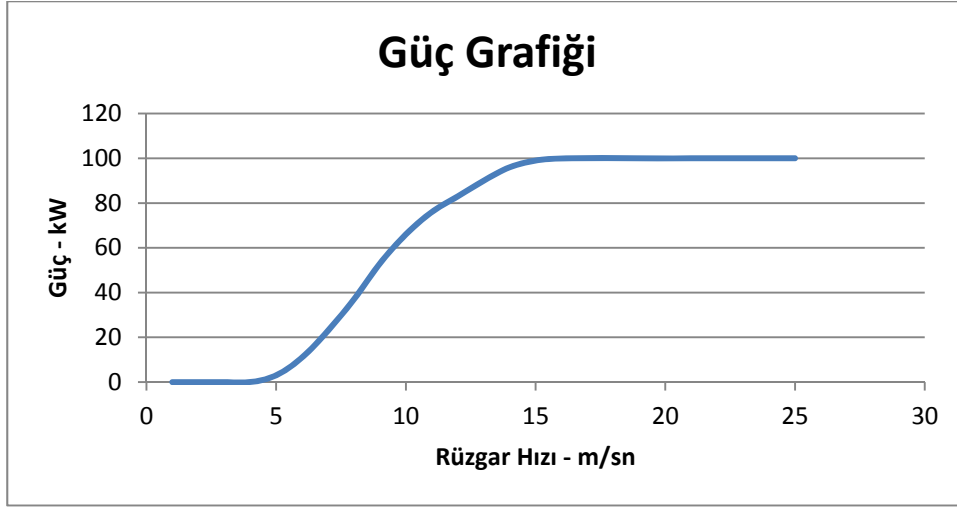
Çalışmanın bu kısmında kurulacak olan türbinin teknik özellikleri incelenmektedir. Bunun yanında bölgede hakim olan rüzgar gücü ve yönü gibi rüzgar enerjisi üretim potansiyelini etkileyen girdiler incelenecektir.

##### **4.2.1. 1x100kW Türbin Özellikleri**

Gediz Üniversitesi RES kurulumu için kullanılacak olan türbin Northel Enerji firmasının 100 kW gücünde yerli üretim VİRA 150K-100KW modeli rüzgar türbinidir. İlgili türbinin teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- 3 kanatlı ve yatay eksenli konfigürasyonda;
- Kuyruksuz ve otomatik yön bulma sistemine sahip;
- Kule yüksekliği 24 m olan;
- Türbin kanat çapı 18 m olan;
- 100kW- 14m/s performansa sahip

bir rüzgar türbin sistemidir. 100kW'lık türbinine ait dizayn analizi sonucunda elde edilen rüzgar hızı-elektriksel çıkış gücü tablosu ve buna karşı gelen değişim eğrileri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Bu veriler rüzgar türbininin 24 m yüksekliğine göre ele alınmıştır.



Şekil 9. Vira 100kW güç dağılım grafiği

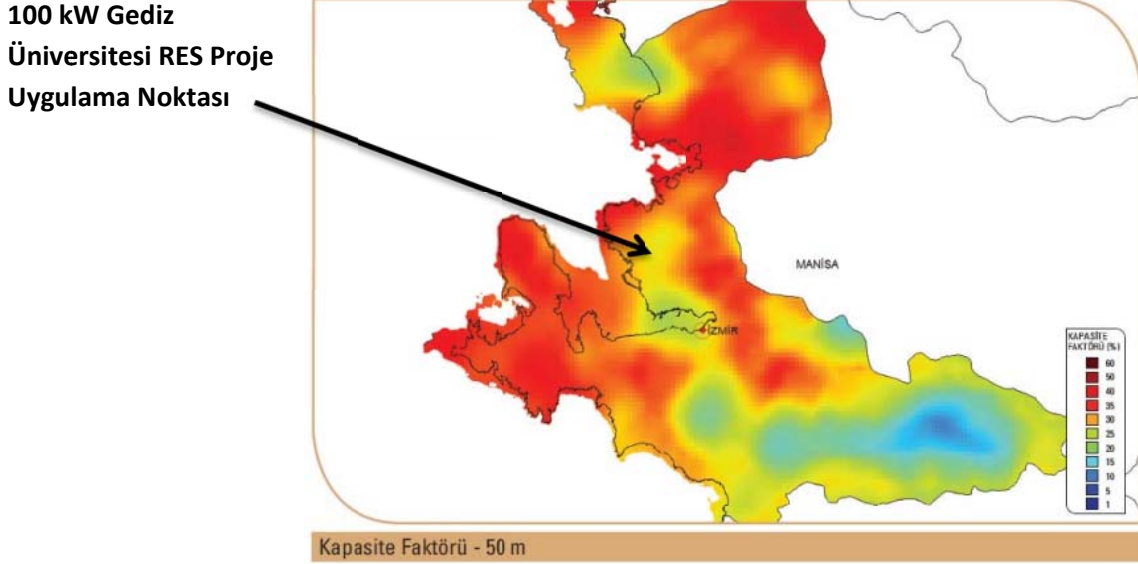
VİRA 100 kW	
Rüzgar Hızı V (m/sn)	Elektriksel Çıkış Gücü P(kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	3
6	11
7	23
8	37
9	53
10	66
11	76
12	83
13	90
14	96
15	99
16	100
17	100
18	100
19	100
20	100
21	100
22	100
23	100
24	100
25	100

Şekil 10. Vira 150K-100kW rüzgar hızı-güç değişim tablosu



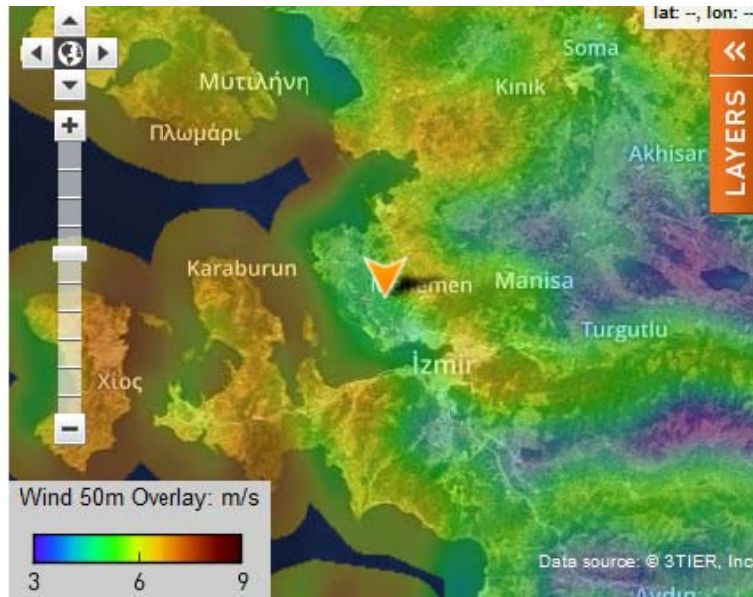
#### 4.2.2. RES Kurulum Yeri için Rüzgar Potansiyeli Değerlendirmesi

RES kurulumları için yapılan ön fizibilite çalışmalarının en önemli kısmı bölgedeki rüzgar gücünün tahmin edilmesi ve bu rüzgar gücü üzerinden üretilecek enerjiyle kapasite faktörünün hesaplanmasıdır. Çalışmada rakamsal değerlere ulaşılmadan önce bölgenin 50 metre yükseklikte kapasite faktörü ve rüzgar hızı haritaları incelenmiştir. Uygulama noktasındaki kapasite faktörü Şekil 11’de REPA üzerinden alınan tahmini rüzgar kapasite faktörü haritasında gösterilmiştir.



Şekil 11. Gediz Üniversitesi RES kurulum noktası 50m yükseklikte kapasite faktörü

Şekil 11 üzerinden elde edilen rüzgar kapasite faktörünün %30 ile %35 mertebesinde olduğu gözlenmektedir. Bu oran çalışmanın en başında verilen %35 ekonomik rüzgar faktörü değerine yakın olması sebebiyle bölgenin rüzgar kapasitesinin beklenen değerde olduğu tespit edilmiştir. Bölgenin rüzgar hızı için ‘3 Tier’ internet sayfasından ulaşılan harita Şekil 12’de verilmiştir.



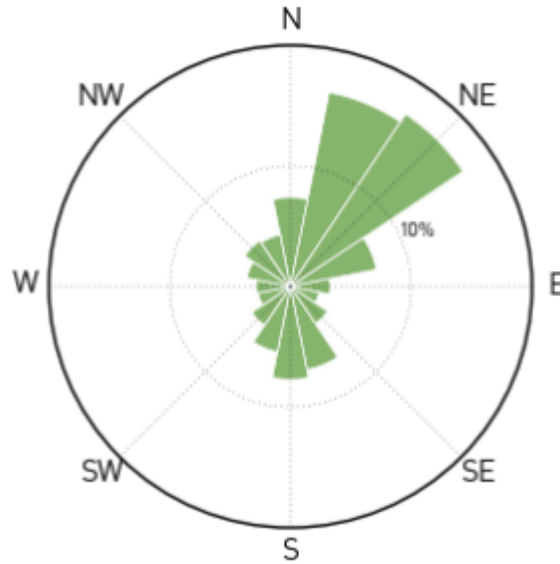
Şekil 12. Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama noktası ve yakın çevresinde ortalama rüzgar hızı haritası

Ege bölgesi kıyı kesimine ait son 10 yıllık ortalama rüzgar hızı haritası şekil 12’de gösterilmiştir. Bu harita 50 metre yükseklikte haritada ok ile belirtilmiş RES uygulama alanı için rüzgar hızının 7 m/sn mertebelerinde olduğunu göstermektedir.

Bilge için 50 metre yükseklikte ulaşılan bu rüzgar hızı çalışma başında meteoroloji genel müdürlüğü üzerinden alınan RES kurulumları için 50 metre yükseklikte beklenen rüzgar hızı olan 7 m/sn değeri ile yakınlık göstermektedir. Sonuç olarak bölgenin 50 metre yükseklikteki rüzgar kapasitesi ve rüzgar hızı standartlarda belirlenmiş değerlere yakınlık göstermesinden dolayı bölge için yapılan rüzgar kapasitesi ve rüzgar potansiyeli değerlendirmesi RES kurulumun doğru yerde yapıldığını göstermektedir.

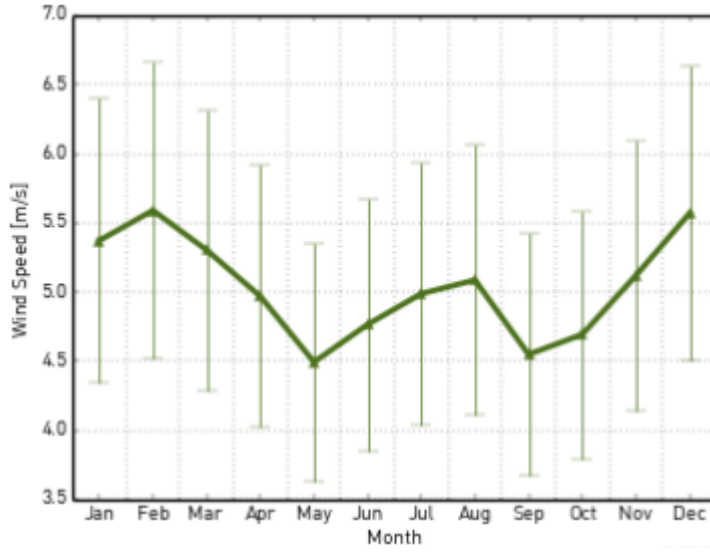
#### 4.3. RES Kurulum Noktası için Rüzgar Gücü, Yönü ve Weibull Dağılımları

Çalışmanın bu kısmında öncelikli olarak bölgenin rüzgar yönü ardından rüzgar gücü ve bu rüzgar gücünün Weibull dağılımlarına ulaşılabilecektir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ilgili koordinatlarda Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ölçümlerine ve tahminlerine dayanan REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası) verileri ile NASA Atmospheric Science Data Center’in istatistiksel tahminlerine dayanan verilerine göre, türbin kurulum yüksekliğinde senelik hakim rüzgar yönleri Şekil 13’te görülmektedir.



**Şekil 13.** Gediz Üniversitesi RES uygulama noktası 20 metre hub yüksekliğinde hakim rüzgar yönü

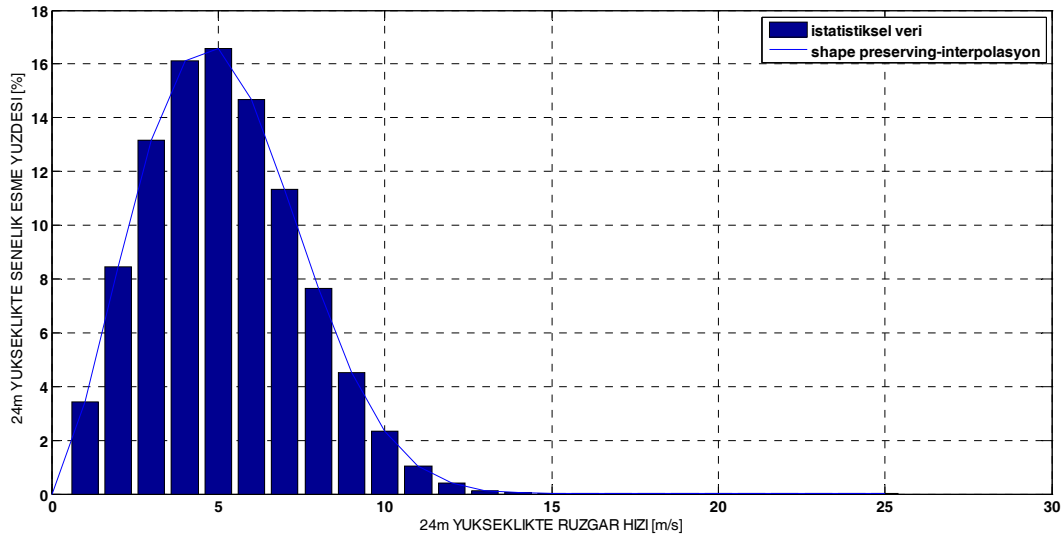
Buna göre hakim rüzgar yönünün %70-%80 mertebesinde kuzeydoğu doğrultusundan olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca ortalama rüzgar hızlarının aylara göre dağılımı Şekil 14’de verilmiş olup en yüksek rüzgarlı ayın Aralık, en düşük rüzgarlı ayın ise Mayıs ayı olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 14.** Gediz Üniversitesi RES uygulama noktası 20 metre hub yüksekliğinde aylık ortalama rüzgar hızları

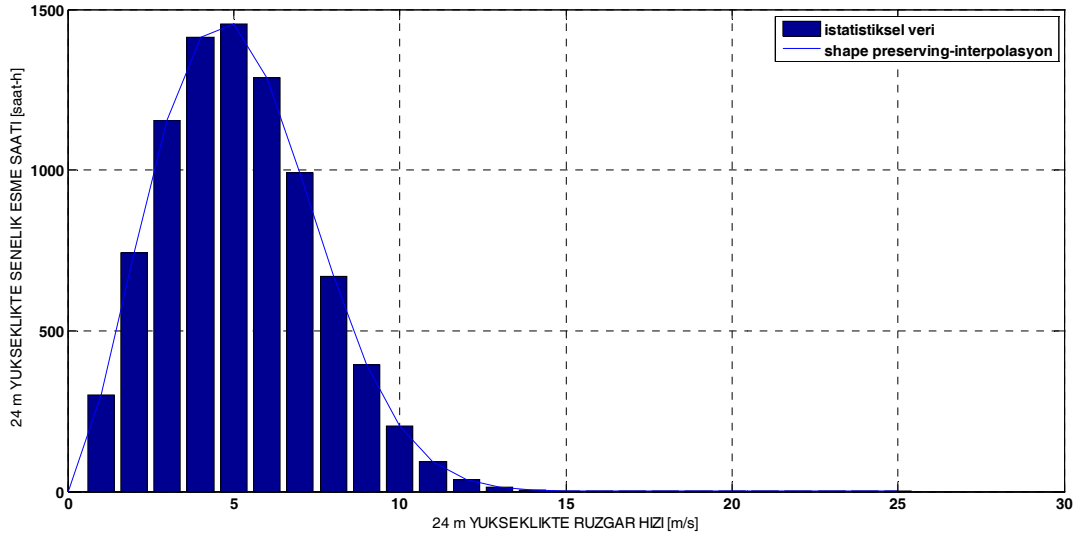
Tüm bu rüzgar yön ve aylara göre dağılım verilerinden sonra yine 3 Tier üzerinden RES uygulama noktasının enlem ve boylamlarına göre ulaşılan rüzgar hızı son 10 yıllık ortalamalara göre 24 metre hub (rüzgar türbini kanat göbek noktası) yüksekliği için **5.3m/sn** olarak bulunmuştur. Yine çalışmanın literatür kısmında belirtilen ve rüzgar üretilen enerjiyi hesaplamak için gerekli olan 'k' ve 'c' parametreleri 3Tier üzerinden **k=2.4** , **c= 5,85** olarak elde edilmiştir.

Bu veriler üzerinden 0-25 m/sn rüzgar hızları Weibull dağılımları şekil 15 ve şekil 16'da gösterilmiştir.



**Şekil 15.** Gediz Üniversitesi RES kurulumu 24 metre yükseklikte yıllık esme yüzdeleri

Şekil 15'te Matlab yazılım programı üzerinden literatür kısmında tanımlanan (3) fonksiyonu ile bölgenin yıllık esme yüzde dağılımına ulaşılmıştır. Yine fonksiyon ile Matlab üzerinden şekil 16'da görülen 0–25 m/sn aralığındaki rüzgar hızlarının her biri için senelik saatlik esme sürelerine ulaşılmıştır.

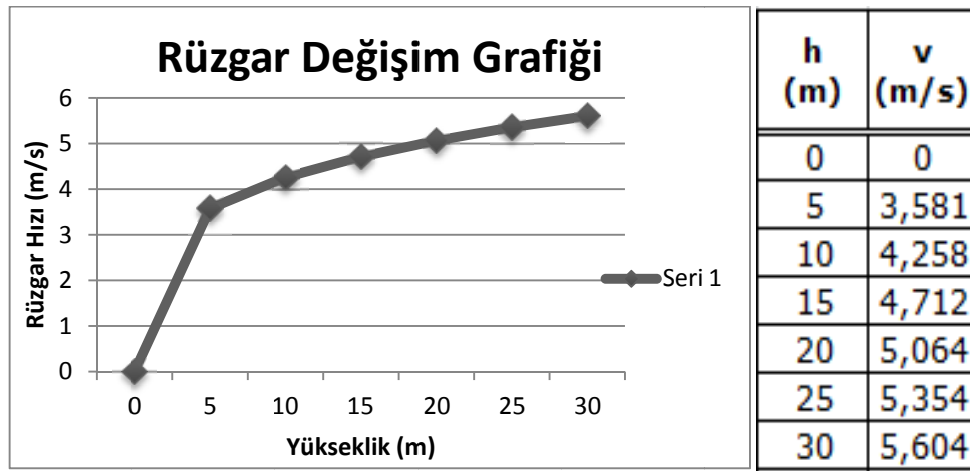


Şekil 16. Gediz Üniversitesi RES kurulumu 24 metre senelik saatlik esme süresi

Elde edilen  $k$  ve  $c$  parametreleri ile yöne bağlı esme oranları üzerinden 24 m irtifada hesaplanan yöne bağlı Weibull parametreleri aşağıda Şekil 17’de verilmiştir. Ayrıca yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı dağılımını gösteren ‘wind shear’ değişimi Şekil 18’de görülmektedir.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
%	7	20	21	7	4	2	4	6	7	5	3	2	2	3	4	3	100
c	0,41	1,17	1,23	0,41	0,23	0,12	0,23	0,35	0,41	0,29	0,18	0,12	0,12	0,18	0,23	0,18	5,85
k	0,17	0,48	0,50	0,17	0,10	0,05	0,10	0,14	0,17	0,12	0,07	0,05	0,05	0,07	0,10	0,07	2,40

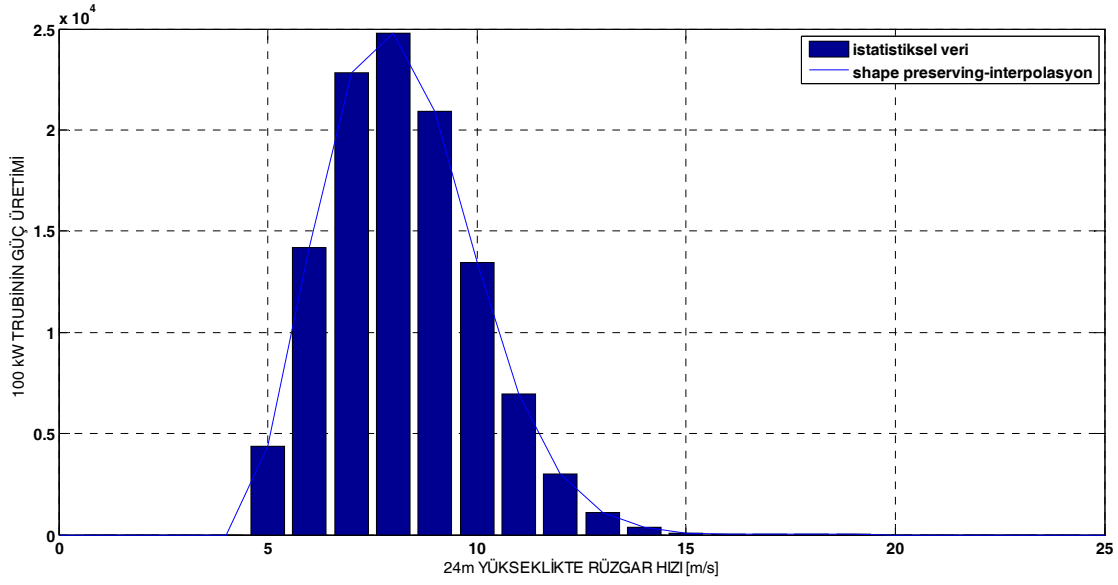
Şekil 17. Proje uygulama noktasında 24 m irtifada yöne bağlı Weibull parametreleri



Şekil 18. Proje uygulama noktasında 24 m yükseklikte rüzgâr değişim grafiği

#### 4.4. Üretilcek Rüzgâr Enerjisi ve Kapasite Faktörü Hesaplamaları

Bir önceki bölümde elde edilen değişim grafiklerine göre, özellikle Şekil 10 ve Şekil 16’da belirtilen verilerin füzyonu sonucunda elde edilen rüzgâr hızlarına bağlı yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli eğrisi Şekil-19’de gösterilmiştir.



Zaman Serisi Değerleri

Rüzgar hızı [m/s]	Senelik Ortalama Saatleri	Toplam Enerji Üretimi (kWh)
0,0	0,0	0,0
1,0	298,9	0,0
2,0	741,7	0,0
3,0	1154,4	0,0
4,0	1413,6	0,0
5,0	1453,6	4360,9
6,0	1287,5	14162,5
7,0	992,8	22834,8
8,0	669,4	24766,3
9,0	395,0	20933,3
10,0	203,8	13452,8
11,0	91,8	6979,9
12,0	36,0	2991,9
13,0	12,3	1106,3
14,0	3,6	348,7
15,0	0,9	91,8
16,0	0,2	20,4
17,0	0,0	3,8
18,0	0,0	0,6
19,0	0,0	0,1
20,0	0,0	0,0
21,0	0,0	0,0
22,0	0,0	0,0
23,0	0,0	0,0
24,0	0,0	0,0
25,0	0,0	0,0

Şekil 19. Proje kurulum noktası için rüzgar hızlarına bağlı yıllık elektrik enerjisi üretimi ve zaman serisi verileri

Hesaplanan rüzgar hızına bağlı yıllık enerji üretim verilerine dayanarak Northel VİRA 150K-100kW model türbin ile 1 yıl içerisinde elde edilecek ortalama elektrik enerjisi değeri 112054,15 kWh/yıl olarak elde edilmiştir.

Bu şartlar altında uygulama noktasında seçilen türbin için kapasite faktörü  $(C_F)_{100\text{ kW}}$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$(C_F)_{100\text{ kW}} = \frac{112054,15 \text{ kWh}}{[(365 \text{ gün}) \times (24 \text{ saat} / \text{gün}) + 6 \text{ saat}] \times 100\text{ kW}} = 0,12782814 \cong \%13$$

Bu hesaplama göre kapasite faktörünün 100 kW'lık türbin için yaklaşık olarak **%13** olduğu görülmektedir.

#### 4.5. Amortisman ve İç Karlılık Hesaplamaları

Çalışmanın bu bölümünde yukarıda yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen üretim miktarı üzerinden RES kurulumunun tahmini amortisman süresi (yatırımın başabaş noktası) ve içsel karlılığı hesaplanacaktır. Yapılacak hesaplamalar VİRA 100 kW türbin fiyatı ve yıllık bakım maliyetleri göz önünde bulundurularak anahtar teslim fiyatı üzerinden değerlendirilecektir. Hesaplama elektrik enerji fiyatlarının yıllık kümülatif olarak %14 arttığı varsayılmış ve belirtilen kapasitede türbin için öngörülen faydalı ömür olan 20 yıl süresince nakit akış çizelgeleri ekteki Tablo-1 ve Tablo-2'de verilmiştir. Karşılaştırma maksadı ile hesaplamalar 3 ayrı fiyat üzerinden yapılmıştır. Bunlar;

- Elektriğin tümünün şebekeye verildiği durumda mahsuplaşma bedeli 0.188 TL /kWh (=7.3 \$cent /kWh)
- Orta seviye mahsuplaşma bedeli olan 0.221 TL/kWh (=8.6 \$cent/kWh)
- Üretilen elektriğin tümünün kullanılması durumunda yüksek seviye mahsuplaşma bedeli 0.268 TL/kWh (=10.4 \$cent/kWh)

(Not: Yukarıda özetlenen ve detayları aşağıdaki bölümler ile Tablo-2 ve Tablo-3'te verilen amortisman hesaplamalarında karbon kredisi ve sera gazı azaltım gelirleri hariç tutulmuştur.)

Gediz Üniversitesi RES kurulumu için bölüm 4.4'te elde edilen ortalama yıllık elektrik enerjisi üretimi 112054,15 kWh/yıl olarak tahmin edilmiş olup, kapasite kullanım faktörü %13 civarında elde edilmiştir.

Kullanılan türbinin anahtar teslim fiyatı 141.600,00 € (=160.956,72 \$) bunun yanında türbin yıllık bakım giderleri (kurulum bedelinin %1.5) 2.124€ (=2.393 \$) olarak hesaplamalar yapılmıştır.

Yukarıda verilen mahsuplaşma bedellerine göre sistemin amortisman süresi, elektriğin tümünün şebekeye verildiği durumda 10 yıl 5 ay, orta seviye mahsuplaşma bedeli baz alındığında ise 9 yıl 4 ay ve elektriğin tümünün kullanılması durumunda ise 8 yıl 5 ay olarak tahmin edilmektedir. Bu sonuçlara ait tüm hesaplamalar Tablo 1'de gösterilmiştir.

YILLAR		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOPLAM NET GETİRİ (\$/20YIL)
TAMAMI ŞEBEKEYE VERİLİRSE	0.188TL/kWh 7.3\$ cent/kWh	-160.957	6.516,95	14.281,30	23.467,67	34.275,16	46.930,72	61.693,07	78.857,17	98.759,27	121.782,68	148.364,39	179.002,56	214.265,09	254.799,39	301.343,52	364.738,85	415.944,54	486.054,05	566.313,91	658.145,17	763.167,82	906.624,29
ORTA MAHSUPLAŞMA A BEDELİ	0.221 TL/kWh= 8.6\$cent/kWh	-160.957	8.103,66	17.676,85	28.925,30	42.083,56	57.419,00	75.236,41	95.883,29	119.755,74	147.305,36	179.046,95	215.567,38	257.535,69	305.714,59	360.973,55	424.303,78	496.835,26	579.856,18	674.835,04	783.445,96	907.597,43	746.640,71
TAMAMI KULLANILIRSA	0.268 TL/kWh= 10.04\$ cent/kWh	-160.957	9.861,24	21.438,07	34.970,67	50.732,86	69.036,78	90.238,27	114.742,98	143.013,37	175.576,64	213.033,79	256.069,96	305.466,21	362.112,95	427.025,26	501.360,32	586.437,30	683.760,08	795.043,07	922.240,69	1.067.581,01	906.624,29

Farklı mahsuplaşma bedelleri için amortisman süreleri 3 ayrı renkte belirtilmiştir.  
 Elektrik enerji fiyatındaki yıllık kümülatif artış %14 olarak kabul edilmiştir.  
 Kredi finansman maliyeti hariç tutulmuş ve yıllık bakım giderleri türbin bedelinin %1.5 mertebesinde kabul edilmiştir.  
 İnşaat esnasında gerekli alt yapı çalışmaları giderleri, arazi kira bedeline montaj ekipman kira masrafları kurulum bedeline dahildir.  
 Karbon vergisi ve sera gazı azaltım gelirleri hariç tutulmuştur.

Türbin maliyeti= 160.957 \$  
 Bakım maliyeti= 2.393 \$ (Not: İlk seneden itibaren hesaba katılmıştır)

Bölgede beklene yıllık enerji üretimi 122054,15

10 sene 5 ay  
 9 sene 4 ay  
 8 sene 5 ay

**Tablo 1.** Gediz Üniversitesi RES kurulumu Amortisman Süresi

Yukarıda belirtilen nakit akış hesabına göre elde edilecek nakit akışı ve iç verimlilik oranı (IRR) hesaplamaları ise Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre elektriğin tümünün şebekeye verildiği durumda mahsuplaşma bedeli olan 7.3 \$cent/kWh için IRR 13%; orta seviye mahsuplaşma bedeli olan 8.6 \$cent/kWh iken IRR 14%; ve son olarak yüksek seviye mahsuplaşma bedeli olan 10.04 \$cent/kWh fiyatları baz alındığında ise IRR 16% olarak elde edilmiştir.

(Not: TL/\$ paritesi 1\$ = 2.58TL, €/ \$ paritesi 1€ = 1.367\$ alınmıştır.)

YILLAR		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ROR
TAMAMI ŞEBEKEYE VERİLİRSE	0.188TL/kWh 7.3\$ cent/kWh	-160.957	6.516,95	14.281,30	23.467,67	34.275,16	46.930,72	61.693,07	78.857,17	98.759,27	121.782,68	148.364,39	179.002,56	214.265,09	254.799,39	301.343,52	364.738,85	415.944,54	486.054,05	566.313,91	658.145,17	763.167,82	13%
ORTA MAHSUPLAŞMA BEDELİ	0.221 TL/kWh= 8.6\$cent/kWh	-160.957	8.103,66	17.676,85	28.925,30	42.083,56	57.419,00	75.236,41	95.883,29	119.755,74	147.305,36	179.046,95	215.567,38	257.535,69	305.714,59	360.973,55	424.303,78	496.835,26	579.856,18	674.835,04	783.445,96	907.597,43	14%
TAMAMI KULLANILIRSA	0.268 TL/kWh= 10.04\$ cent/kWh	-160.957	9.861,24	21.438,07	34.970,67	50.732,86	69.036,78	90.238,27	114.742,98	143.013,37	175.576,64	213.033,79	256.069,96	305.466,21	362.112,95	427.025,26	501.360,32	586.437,30	683.760,08	795.043,07	922.240,69	1.067.581,01	16%

Türbin Maliyeti = 160.957 \$  
 Bakım Maliyeti = 2.393 \$

**Tablo 2.** Gediz Üniversitesi RES kurulumu İç Verimlilik Oranı

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Gediz Üniversitesi VİRA 100kW RES kurulumu için yapılan ön fizibilite analizine göre elde edilen sonuçlar yukarıdaki bölümlerde karşılaştırmalı fiyatlar ile verilmiştir. Elde edilen veriler ile piyasa standartlarında beklenen değerler kıyaslandığında türbinin geri dönüş süresinin uzun olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Piyasada ortalama geri dönüş süresi 5 ila 7 yıl mertebesinde olması halinde yatırıma uygun olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu çalışmada yatırımın en

erken geri dönüş süresi üretimin tamamının kullanılması halinde 8 yıl 5 ay'dır. Bunun dışında sistemin kapasite faktörü yine piyasa standartlarına göre düşük görülmüştür. Piyasada beklenen sistem kapasite faktörü değeri %20 ve üzeri olarak beklenmektedir.

Sonuç olarak kurulması planlanan RES türbini ekonomik ömrü boyunca kendi maliyetini karşılayabilmektedir. Ancak bölgenin rüzgar potansiyelinin yüksek olması sebebiyle türbin verimliliğinin daha iyi hale getirilebilmesi için iyileştirme çalışmalarına açık durumdadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] <http://www.ruzgarenerjisidergisi.com//haber/hizmetler/komur-ve-nukleerin-yerini-ruzgar-aliyor/205.html>
- [2] **Dereli S.** 2001 “Rüzgar enerjisi”. Tübitak Yayını, Ankara
- [3] <http://windeis.anl.gov/documents>, “Wind energy development programmatic environmental impact statement”, U.S. Department of the Interior.
- [4] <http://www.europa.eu.int>, The European Commission Website on Energy Research.
- [5] [http://www.enerjibroker.com/?title=ruzgar\\_haritalari\\_%28repa%29&m=Urunler&id=330&ek=5&ust=70](http://www.enerjibroker.com/?title=ruzgar_haritalari_%28repa%29&m=Urunler&id=330&ek=5&ust=70)
- [6] [http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2\\_Mustafa\\_CALISKAN\\_RITM.pdf](http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf)
- [7] **Baris, K., Kucukkali, S.**, 2012. Availability of renewable energy sources in Turkey: Current situation, potential, government policies and the EU perspective *Energy Policy* , *Proc. of ELSEVIER 2011*, s. 377-391.
- [8] <http://www.wasp.dk/Software>
- [9] <http://www.windrose.gr/>
- [10] <https://www.3tier.com/dashboard/ca-58f11f1a-7b63-4144-9bd4-5deb361942da/>
- [11] **J, Waewsak., C, Chancham., M, Landry., Y. Gagnon.,** 2011. An Analysis of Wind Speed Distribution at Thasala, Nakhon Si Thammarat, Thailand, *Journal of Sustainable Energy & Environment 2*, s. 51-55.