

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

Doç. Dr. Selim SOLMAZ
Gediz Üniversitesi
Makine Müh. Bölümü
selim.solmaz@gediz.edu.tr

Öğr. Gör. R. Altuğ Turan
Gediz Üniversitesi
Endüstri Müh. Bölümü
altug.turan@gediz.edu.tr

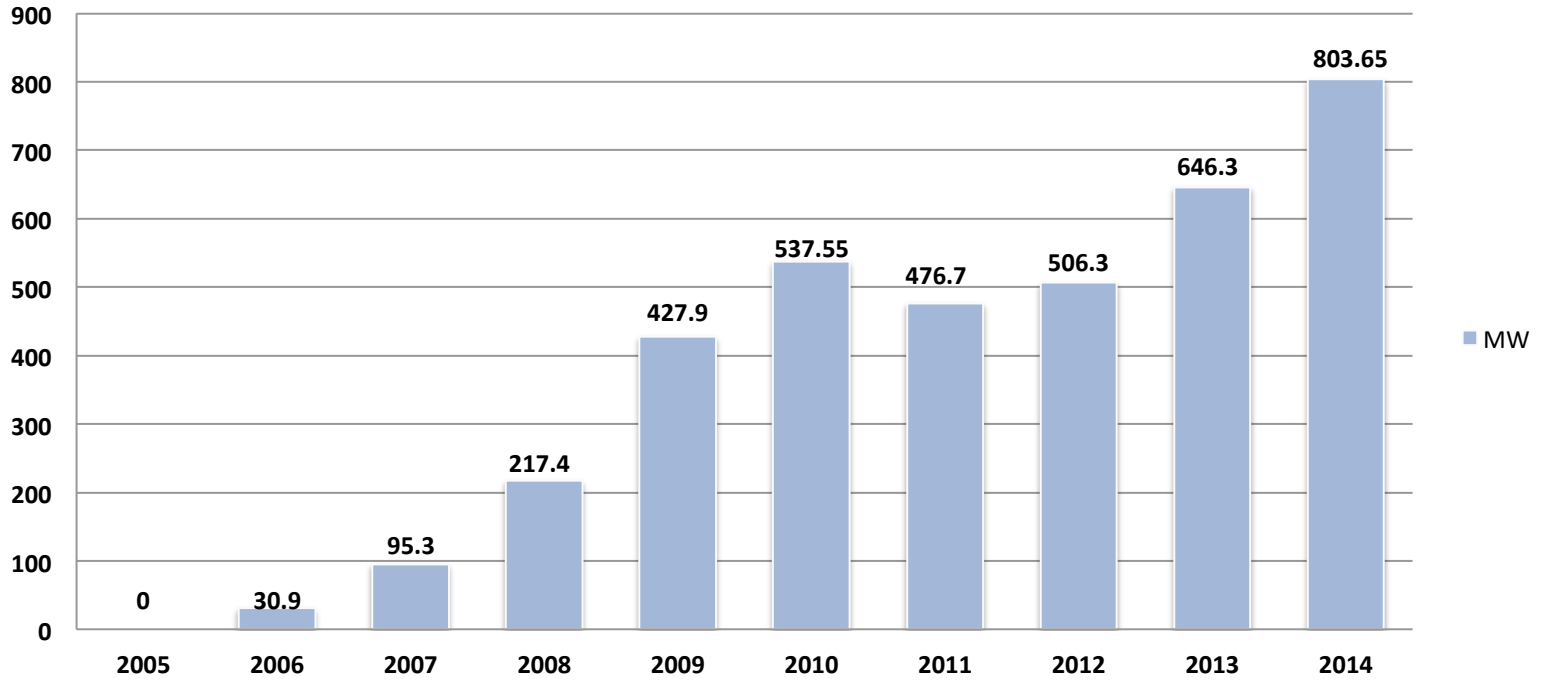
SUNUM PLANI

- Motivasyon
- Coğrafi ve topolojik analiz
- Rüzgar verilerinin değerlendirmesi
- Seçilen türbinin güç üretim analizi
- Ekonomik analiz
- Sonuçlar

Motivasyon

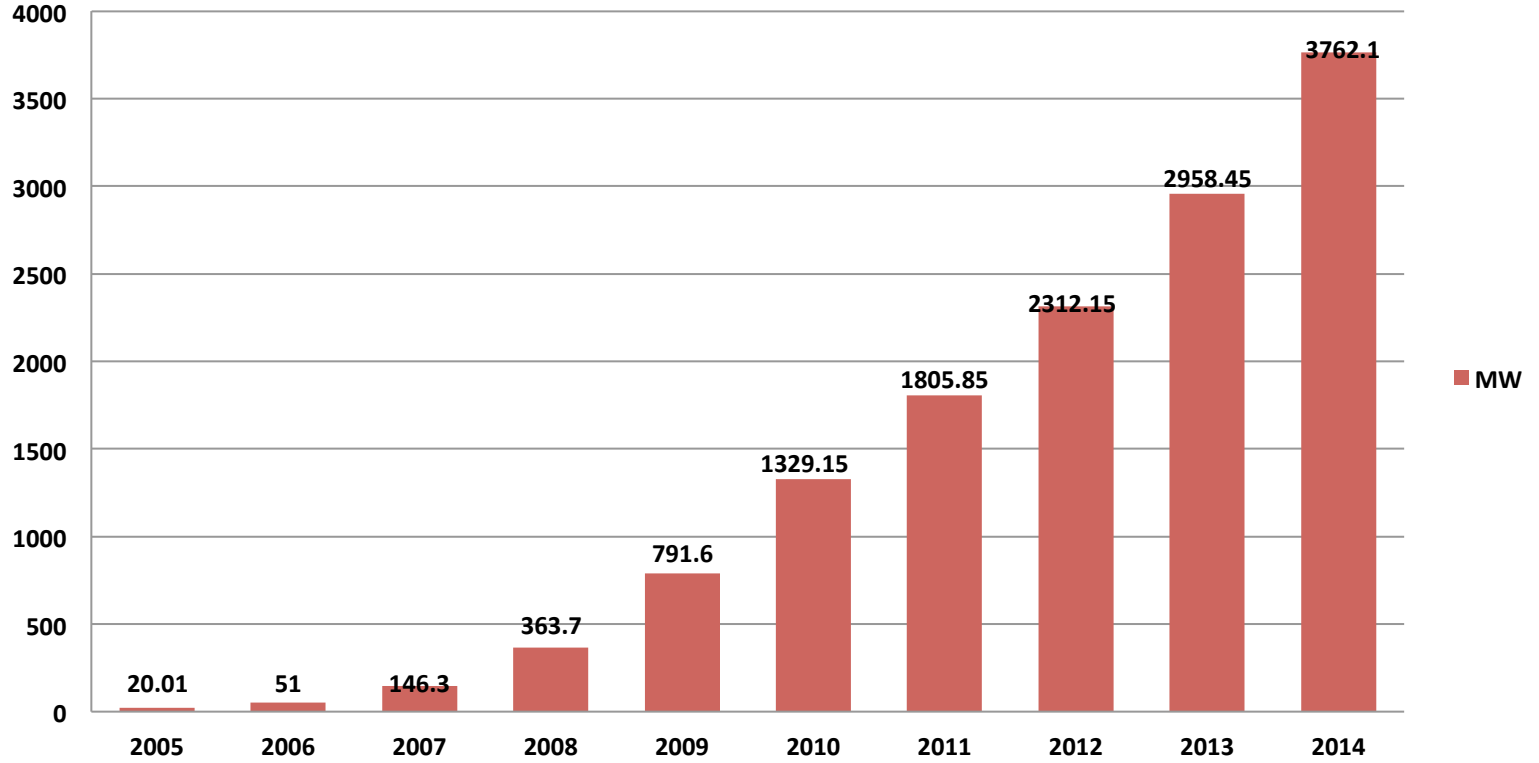
- GÜNÜMÜZ NÜFUSA VE TEKNOLOJİK GELİŞMELERE PARALEL OLARAK ENERJİ İHTİYACIMIZ ARTMAKTADIR.
- ULUSLARARASI ENERJİ AJANSI (IEA) VERİLERİNE GÖRE ENERJİ TALEBİNDE 2030'A KADAR %40 ARTIŞ OLMASI BEKLENMEKTEDİR.
- BU YÜZDEN 20. YÜZYIL İTİBARIYLA YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIMLARININ HIZLA ARTTIĞI GÖZLENMEKTEDİR.
- KÜRESEL RÜZGAR ENERJİSİ KONSEYİ (GWEC) İSTATİSTİKSEL VERİLERİNE GÖRE 2014 YILINDA YAPILAN 51.477 MW RES KURULUMU İLE DÜNYADA TOPLAM 369.553 MW RÜZGAR ENERJİSİ GÜCÜ KAPASİTESİNE ULAŞILMIŞTIR.
- DÜNYA İSTATİSTİKLERİNDE GÖRÜLEN BU ARTIŞ TRENDİ TÜRKİYE İÇİN DE BENZER ŞEKİLDE GÖRÜLMEKTEDİR.

TÜRKİYEDEKİ RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YILLIK KURULUM (MW)



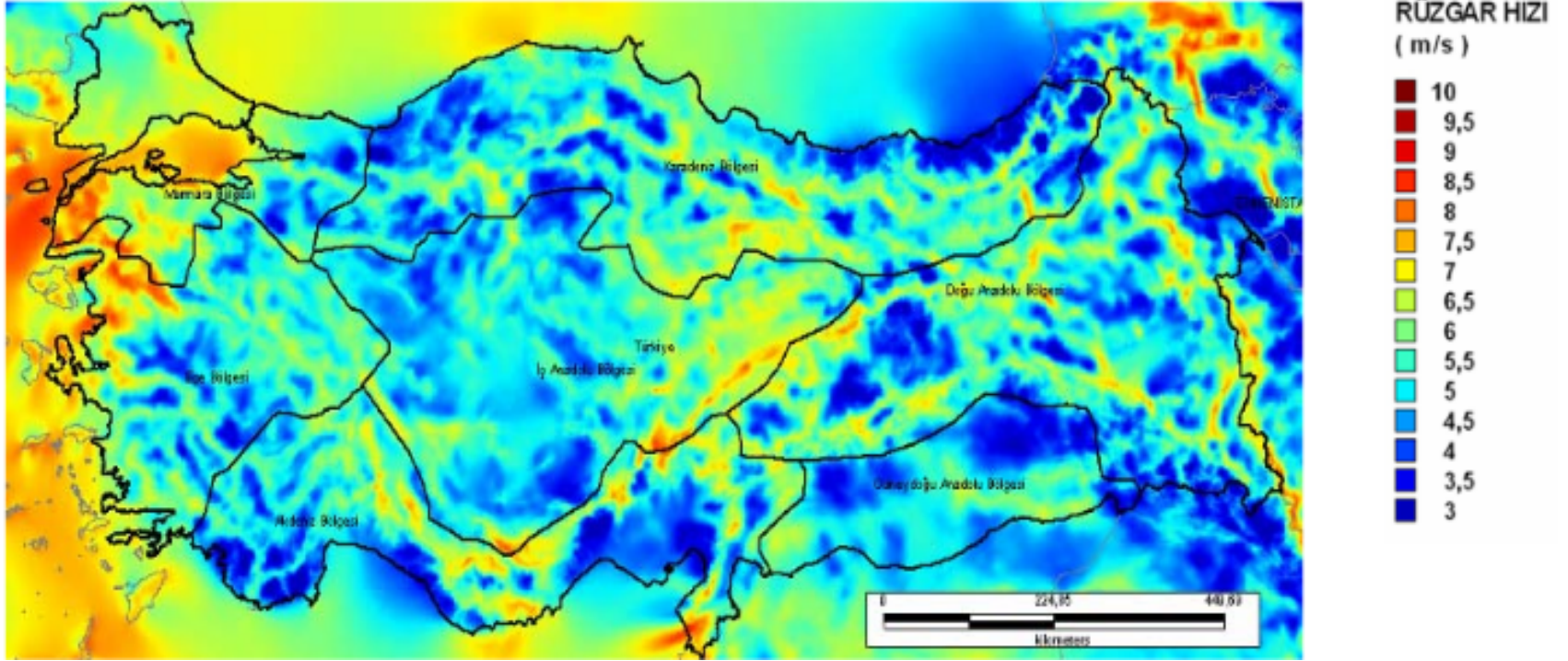
Türkiye yıllara göre rüzgar santrali kurulumu istatistik raporu [TÜREB]

TÜRKİYEDEKİ RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİ İÇİN KUMÜLATİF KURULUM

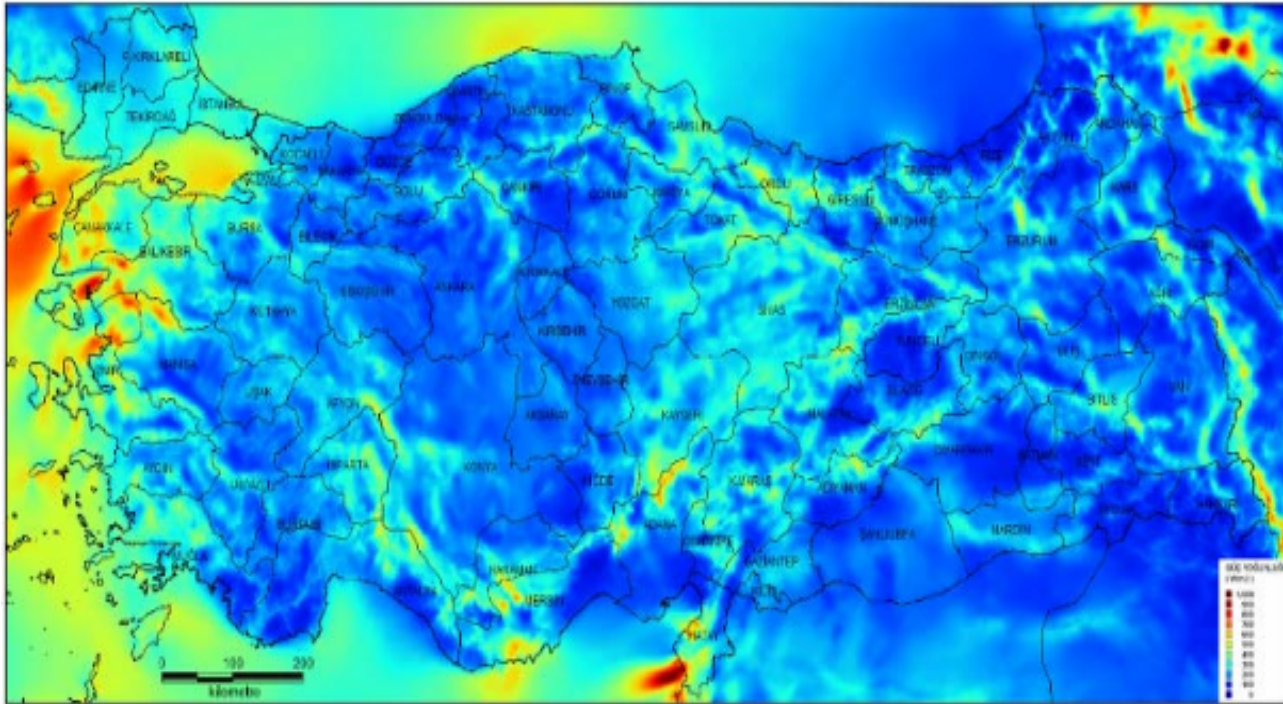


Türkiye kümülatif rüzgar gücü dağılımı istatistik raporu [TÜREB]

- Türkiye jeopolitik konumu itibariyle rüzgar ve güneş enerjisinden önemli ölçüde faydalanabilecek ülkelerden birisidir.
- YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) tarafından yapılan Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası (REPA) çalışmasına göre özellikle Marmara ve Ege bölgesi önemli derecede rüzgar enerji üretim potansiyeline sahiptir.
- YEGM REPA değerlendirmeleri; ortalama rüzgar hızı, rüzgar güç yoğunluğu ve kapasite faktörü tahminlerine dayanmaktadır.



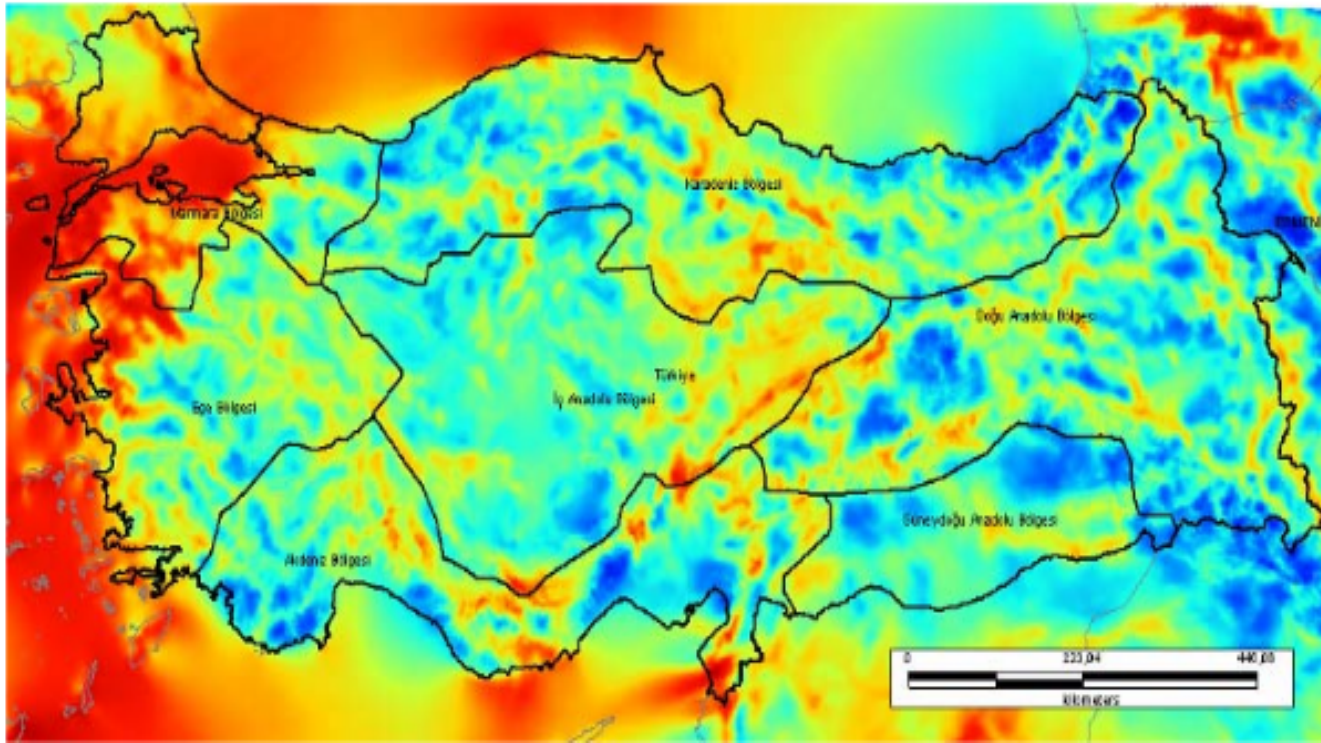
Türkiye’de 50 metre yükseklikte ortalama rüzgar hızı haritası - [YEGM]



**GÜÇ
YOĞUNLUĞU
(W/m²)**

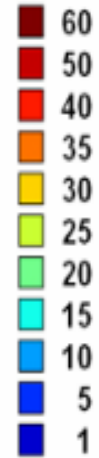


Türkiye’de 50 metre yükseklikte rüzgar güç yoğunluğu - [YEGM]



KAPASİTE FAKTÖRÜ

(%)



1MW kurulu güçte ve 50 metre yükseklikte bir türbin için kapasite faktörü haritası - [YEGM]

TÜRKİYE'DE RES İSTATİSTİKLERİ

- Rüzgar enerjisi kurulum istatistiklerine bakıldığında Türkiye 7 bölge üzerinden değerlendirilmiştir.
- Rüzgar enerjisi santrallerinin %61.4'ü Marmara ve Ege bölgeleri sahil şeritlerinde bulunmaktadır.
- Bunların %23.5'lik oranını sadece Çanakkale ve Balıkesir oluşturmaktadır [7].

YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIM KARAR ARACI OLARAK ÖN-FİZİBİLİTE

- RES kurulumları için en önemli karar noktası kurulum yapılmadan önce yapılacak projeye dair bir ekonomik ve teknik değerlendirme yapılmasıdır.
- 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.
- Ticari yazılımların birçoğu gerçek ölçüm verileri ile çalışmaktadır.
- Çalışmamızda bu yazılımlara ihtiyaç duymadan Matlab tabanlı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

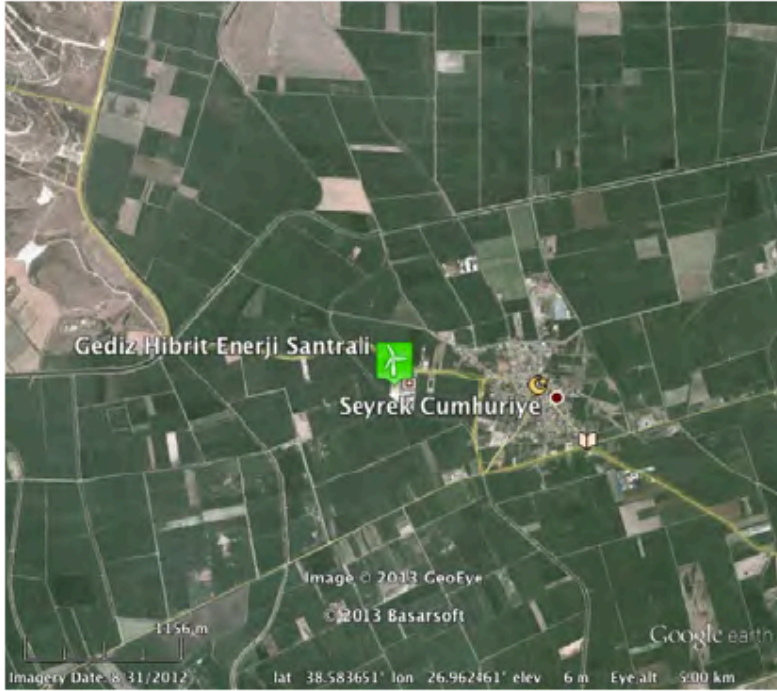
GEDİZ ÜNİVERSİTESİ 100kW RÜZGAR TÜRBİNİ İÇİN ÖN-FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

- Çalışmanın bu kısmında ilk olarak RES uygulamasının yapılacağı bölgenin çevresel iklimsel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır.
- Devamında bölgede hakim olan rüzgar hızı ve diğer parametreler elde edilmiş ve Weibull dağılımı oluşturulmuştur.
- Tüm bu işlemlerden sonra türbin yıllık üretim miktarı ve kapasite faktörü bulunmuştur.

Gediz Üniversitesi 100kW RES Konumu

- Projenin uygulama noktası, İzmir ili, Menemen İlçesi, Gediz Üniversitesi Seyrek köyü kampüsüdür
- Kampüs seyrek köyüne kuş uçuşu 500 m uzaklıkta olup Menemen ilçe merkezinin takribi 9 km güneybatısında ve en yakın Ege denizi sahil şeridinin 12 km doğusunda yer almaktadır.

Gediz Üniversitesi 100kW RES Konumu



Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama noktasının deniz seviyesine göre 2 km (sol) ve 500 m (sağ) irtifadan görünüşleri

Bölge İklim, Çevre ve Alt Yapı Analizi

- RES uygulama noktası tarımsal alanların bulunduğu bir bölgededir.
- Bölgenin iklim yapısı ılıman, Akdeniz iklim kuşağı özelliklerine sahiptir.
- Bölgede nakil hatlarına yönelik hali hazırda bir alt yapı bulunmaktadır.
- Yapılan analizler sonucunda türbin çalışma koşullarını engelleyecek bir durum olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Rüzgar Potansiyeli ve Türbin Verilerinin Değerlendirmesi

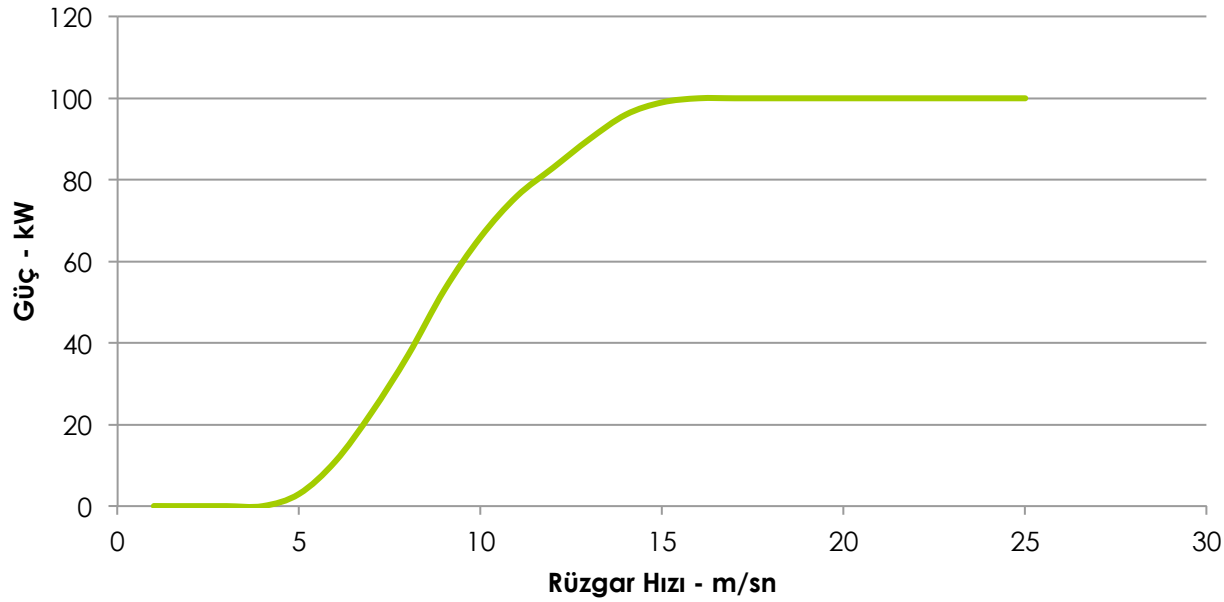
100kW Türbin Özellikleri:

- Türbin modeli: Northel Enerji VİRA 100KW
- 3 kanatlı ve yatay eksenli konfigürasyonda;
- Kuyruksuz ve otomatik yön bulma sistemine sahip;
- Kule yüksekliği: 24 m;
- Türbin kanat çapı 21 m;
- 14m/s nominal güç noktası.



Türbin Güç Eğrisi

Güç Grafiği

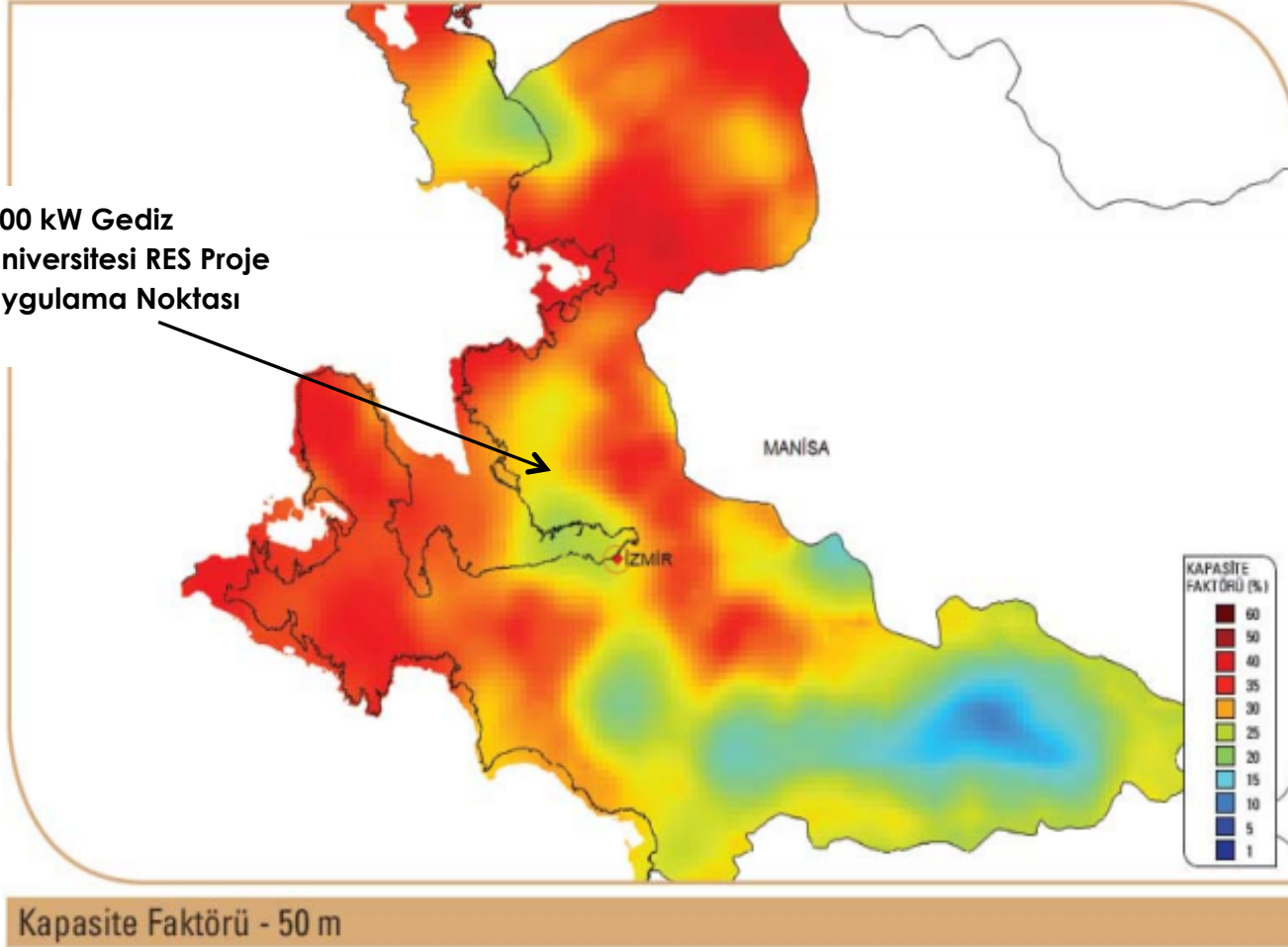


Vira 100kW rüzgar hızı-güç dağılım eğrisi

VİRA 100 kW

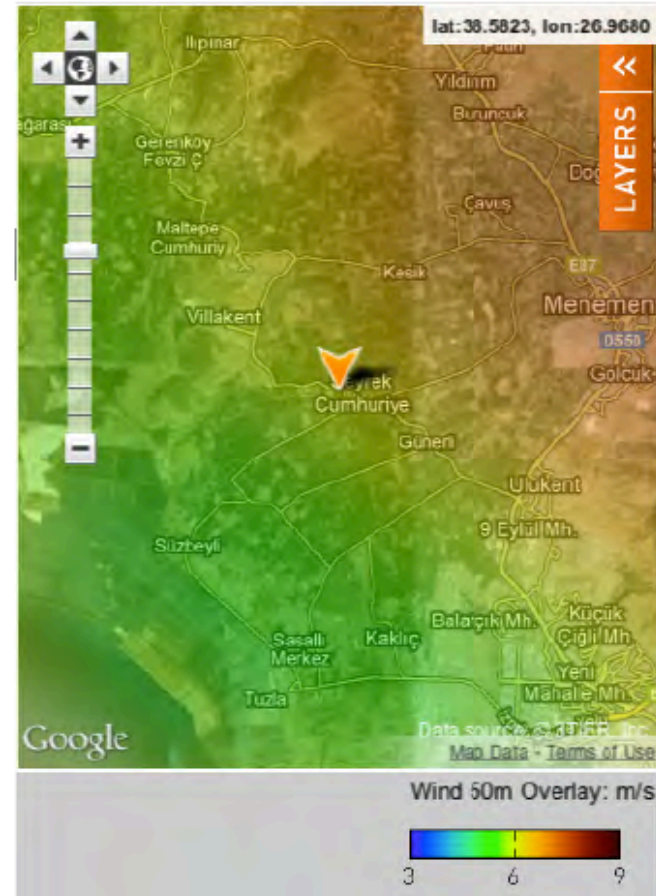
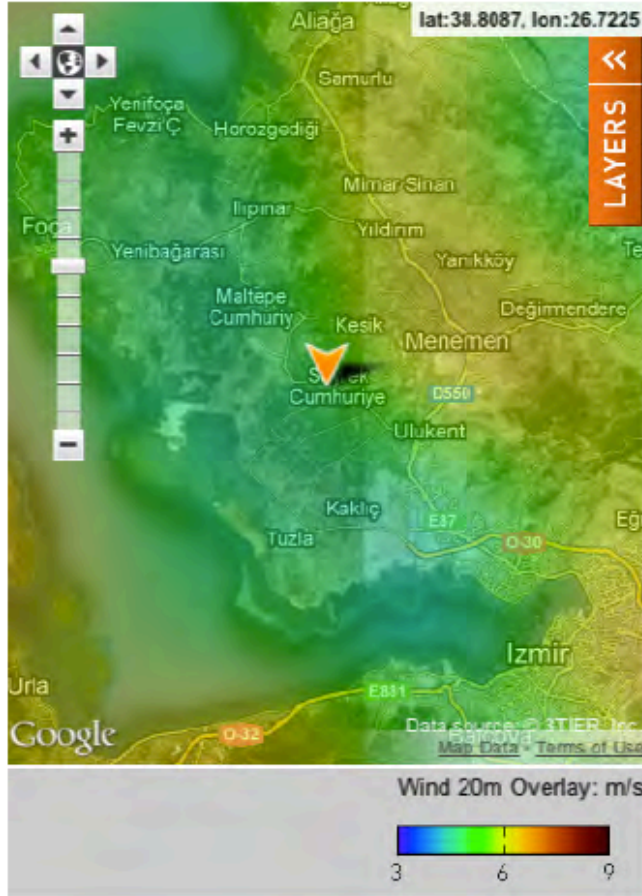
Rüzgar Hızı V (m/sn)	Elektriksel Çıkış Gücü P(kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	3
6	11
7	23
8	37
9	53
10	66
11	76
12	83
13	90
14	96
15	99
16	100
17	100
18	100
19	100
20	100
21	100
22	100
23	100
24	100
25	100

100 kW Gediz
Üniversitesi RES Proje
Uygulama Noktası



Gediz Üniversitesi RES kurulum noktası 50m yükseklikte kapasite faktörü \approx %30

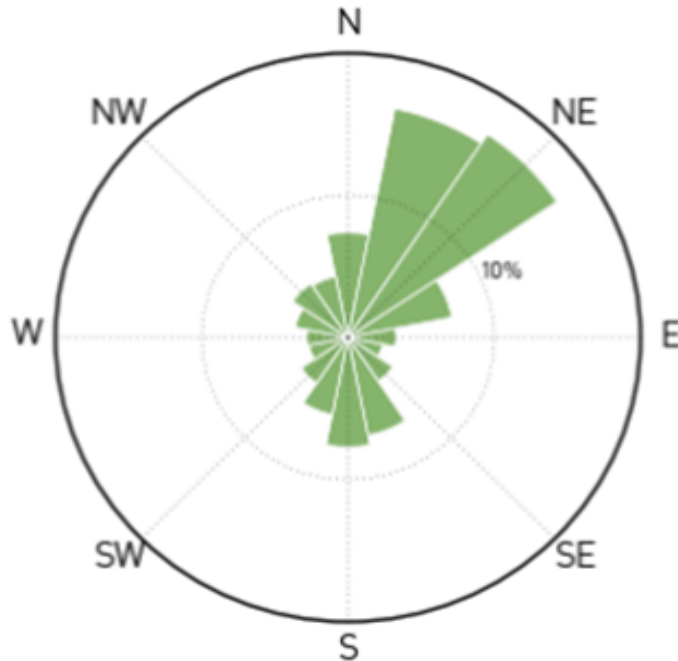
Rüzgar Haritası



Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama noktası ve yakın çevresinde ortalama rüzgar hızı ≈ 5.3 m/s @ 24 m

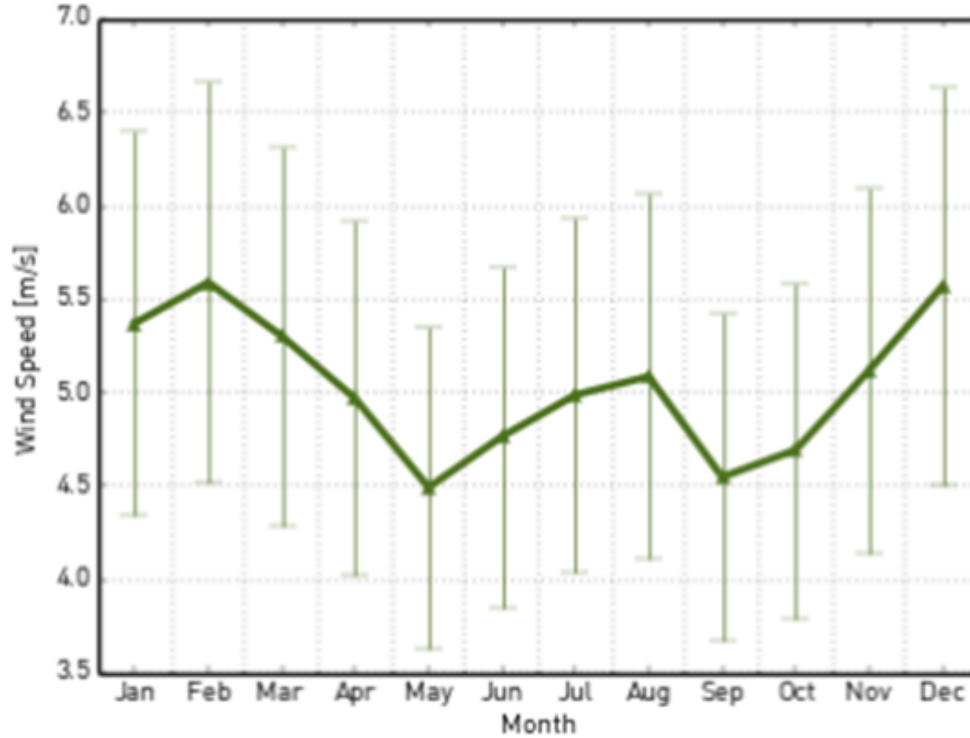
RES Kurulum Noktası için Rüzgar Gücü, Yönü ve Weibull Dağılımları

- Türbin kurulum yüksekliğinde senelik hakim rüzgar yönleri



Gediz Üniversitesi RES uygulama noktası 20 metre hub yüksekliğinde hakim rüzgar yönü

Aylara Göre Rüzgar Dağılımı

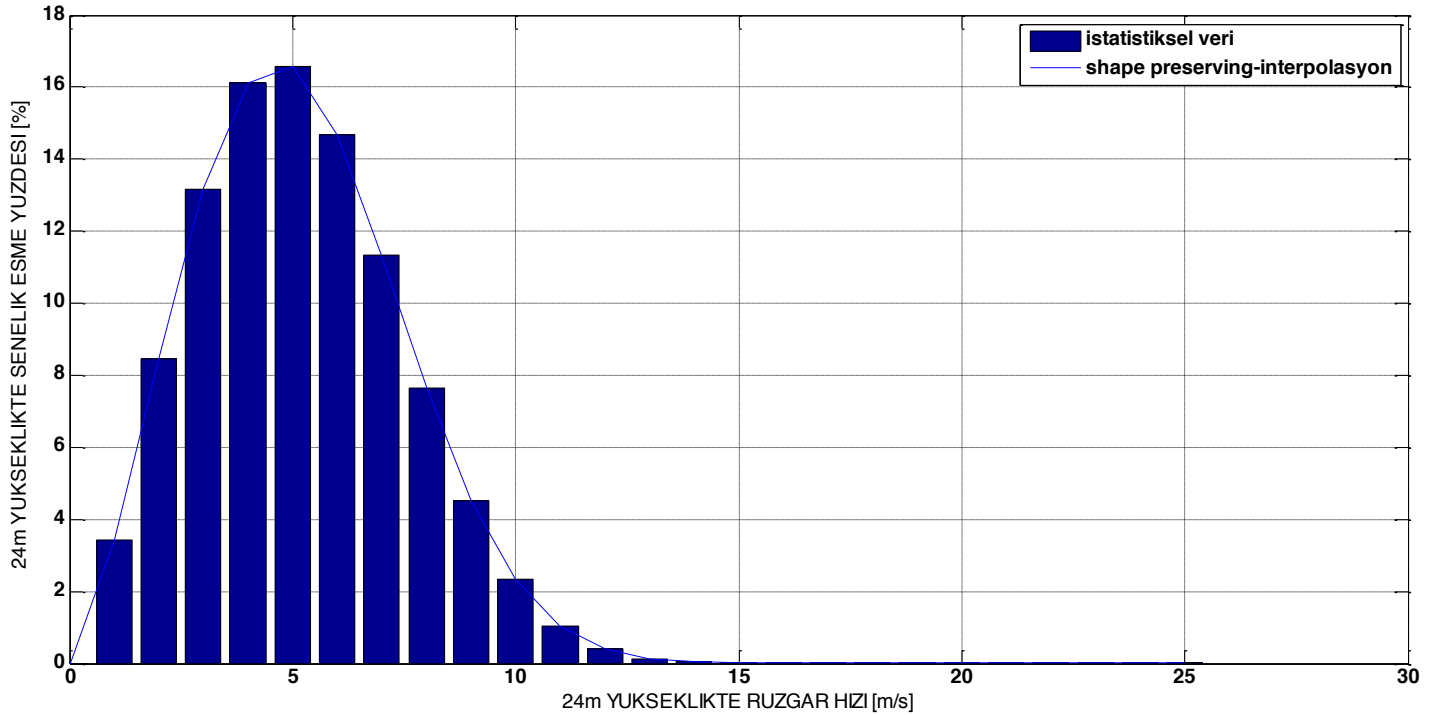


Gediz Üniversitesi RES uygulama noktası 20 metre hub yüksekliğinde aylık ortalama rüzgar hızları

Uygulama Noktası İçin Rüzgar Verileri

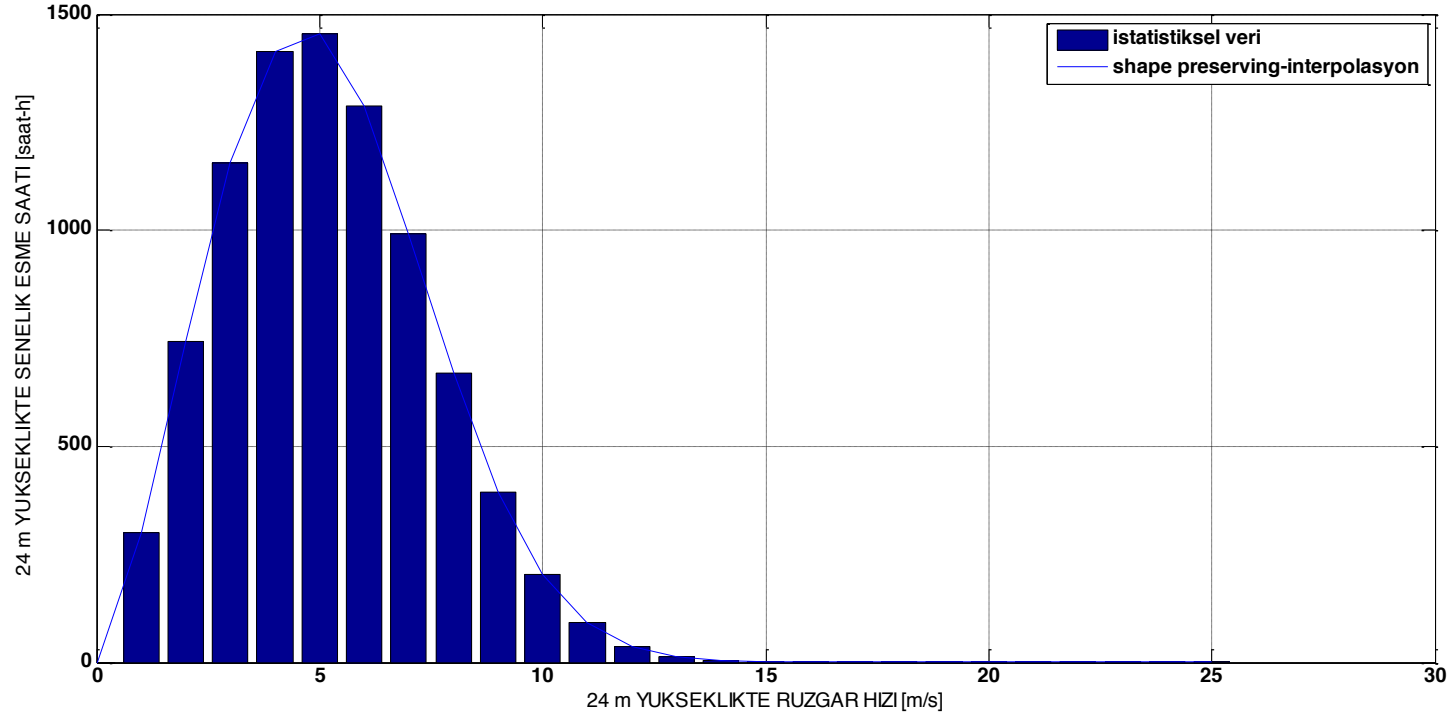
- Uygulama noktasının 10 yıllık ortalamalara göre 24 metre hub (rüzgar türbini kanat göbek noktası) yüksekliği için rüzgar hızı **5.3m/sn** olarak bulunmuştur.
- Yine bu yükseklik için Weibull 'k' ve 'c' parametreleri **k=2.4 c= 5,85** olarak elde edilmiştir.
- Bu veriler üzerinden 0-25 m/sn rüzgar hızları Weibull dağılımları hesaplanmıştır.

Uygulama Noktası Senelik Esme Yüzdeleri



Gediz Üniversitesi RES kurulumu 24 metre yükseklikte yıllık esme yüzdeleri

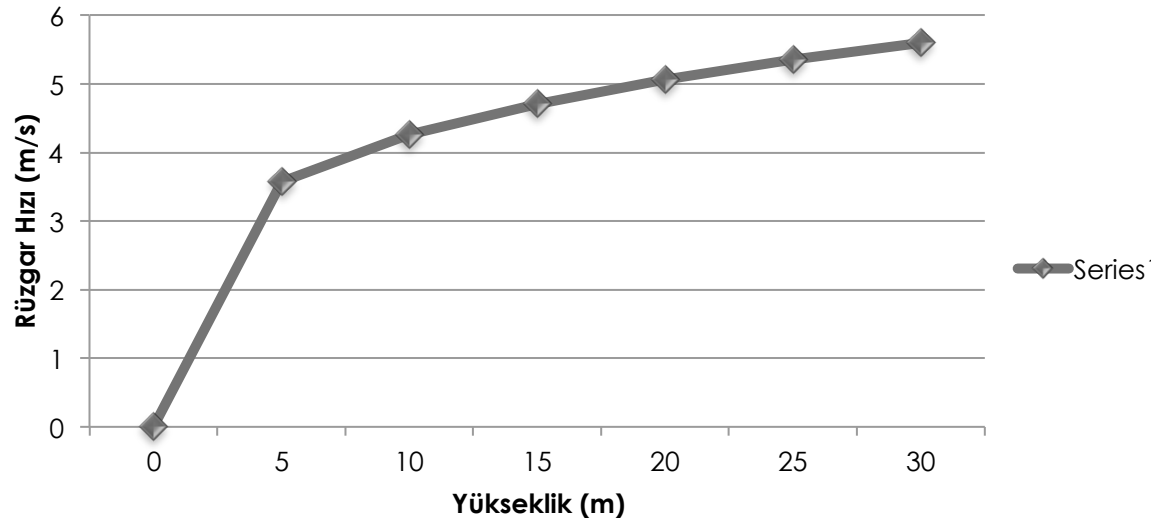
Uygulama Noktası Senelik Esme Saatleri



Gediz Üniversitesi RES kurulumu 24 metre senelik esme süreleri

Yükseklığe Göre Rüzgar Hızı Değişimi

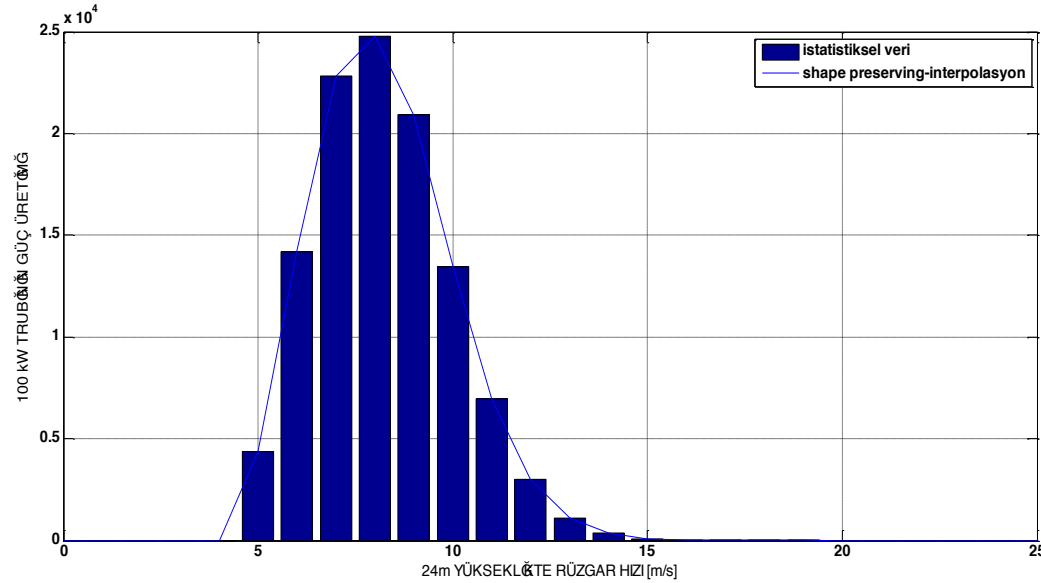
Rüzgar Değişim Grafiği



h (m)	v (m/s)
0	0
5	3,581
10	4,258
15	4,712
20	5,064
25	5,354
30	5,604

Proje uygulama noktasında yükseklik-rüzgar hızı değişim grafiği

Enerji Üretim ve Kapasite Faktörü Hesaplamaları



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

Yıllık Üretim ve Kapasite Faktörü Hesaplanması

Seçilen türbin için yıllık üretim miktarı **112.054,15 kWh/yıl** kapasite faktörü $(C_F)_{100\text{ kW}}$ %13 olarak hesaplanmıştır.

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

Amortisman ve İç Karlılık Hesaplamaları

- Çalışmanın bu bölümünde türbin fiyatı ve yıllık bakım maliyetleri göz önünde bulundurularak kurulum için amortisman süresi (yatırımın başa baş noktası) ve içsel karlılığı hesaplanacaktır.
- Hesaplama da elektrik enerji fiyatlarının yıllık kümülatif olarak %14 arttığı varsayılmış ve belirtilen kapasitede türbin için öngörülen faydalı ömür olan 20 yıl süresince nakit akış çizelgeleri hesaplanmıştır.
- Karşılaştırma maksadı ile hesaplamalar 3 ayrı fiyat üzerinden yapılmıştır.

Mahsuplaşma Değerleri

- 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: TL/\$ paritesi 1\$ = 2.58TL, €/ \$ paritesi 1€ = 1.367\$ alınmıştır.)

Türbin Amortisman (ROI) Süresi

- Kullanılan türbinin anahtar teslim fiyatı **141.600,00 € (=160.956,72 \$)** yıllık bakım giderleri (kurulum bedelinin %1.5) **2.124€ (=2.393 \$)**
- Amortisman süreleri, 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 takip eden yansılarda gösterilmiştir.

Amortisman (ROI) Tablosu

Tablo 1: 100 kW lık RES için Amortisman Süresi Hesabı

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/kW 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	354.738,85	415.944,54	486.054,05	566.313,91	658.145,17	763.167,82	602.211,10
ORTA MAHSUPLAŞMA A BEDELİ	0.221 TL/kW= 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	496.835,25	579.856,18	674.835,04	783.445,96	907.597,43	746.640,71
TAMAMI KULLANILIRSA	0.268 TL/kW= 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

Gediz Üniversitesi RES kurulumu Amortisman Süresi

Türbin İç Karlılık Oranı (IRR) Hesaplaması

- Nakit akış hesabına göre elde edilen iç verimlilik oranı (IRR) hesaplamaları ise Tablo 2'de verilmiştir.
- Buna göre;
 - elektriğin tümünün şebekeye verildiği durumda **7.3 \$cent/kWh** için IRR **13%**;
 - orta seviye mahsuplaşma bedeli olan **8.6 \$cent/kWh** için IRR **14%**;
 - Öz tüketim halinde **10.04 \$cent/kWh** için IRR **16%** olarak elde edilmiştir.

IRR Hesap Tablosu

Tablo 2: 100kW lık RES için iç Verimlilik Oranı (IRR) Süresi Hesabı

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/kw 7.35 cent/kWh	-160.957	6.516,95	7.764,35	9.186,37	10.807,49	12.655,56	14.762,35	17.164,10	19.902,10	23.023,41	26.581,71	30.638,17	35.262,53	40.534,31	46.544,13	53.395,33	61.205,69	70.109,51	80.259,86	91.831,26	105.022,66	13%
ORTA MAHSUPLAŞMA BEDELİ	0.221 TL/kw= 8.65cent/kWh	-160.957	8.103,66	9.573,19	11.248,46	13.158,26	15.335,44	17.817,42	20.646,87	23.872,46	27.549,62	31.741,59	36.520,43	41.968,31	48.178,89	55.258,96	63.330,23	72.531,49	83.020,91	94.978,86	108.610,92	124.151,47	14%
TAMAMI KULLANILIRSA	0.268 TL/kw= 10.04\$ cent/kWh	-160.957	9.861,24	11.576,83	13.532,61	15.762,19	18.303,92	21.201,49	24.504,71	28.270,39	32.563,27	37.457,15	43.036,17	49.396,25	56.646,75	64.912,31	74.335,05	85.076,98	97.322,78	111.282,99	127.197,63	145.340,31	16%
Türbin Maliyeti =	160.957	\$																					
Bakım Maliyeti=	2.393	\$																					

Gediz Üniversitesi RES kurulumu İç Verimlilik Oranı

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

- Piyasada ortalama geri dönüş süresi 5 ila 7 yıl ve Kapasite Faktörü min. %20 üzeri beklenmektedir.
- Ancak bu çalışmada yatırımın en erken geri dönüş süresi üretimin tamamının kullanılması halinde 8 yıl 5 ay ve kapasite faktörü %13'tür .
- Sonuç olarak kurulması planlanan RES türbini ekonomik ömrü boyunca kendi maliyetini karşılayabilmektedir. Ancak bölgenin rüzgar potansiyelinin daha iyi değerlendirilebilmesi için daha büyük güçte ve daha yüksek kule yüksekliğine sahip türbin kullanımı daha uygun olabilir.

Gediz RES Uygulaması Mevcut Durum



Gediz Üniversitesi RES projesi uygulama görüntüleri