

ADALARA KARAÜSTÜ VE DENİZÜSTÜ RÜZGÂR ENERJİ SANTRALİ (RES) MİKROKONUMLANDIRMA ÇALIŞMASI VE ENERJİ ÜRETİM ANALİZİ

Yunus Uraltaş¹, Zehra Yumurtacı²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Programı
yunusuraltas@hotmail.com

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Beşiktaş, İstanbul 34349, Türkiye,
zyumur@yildiz.edu.tr

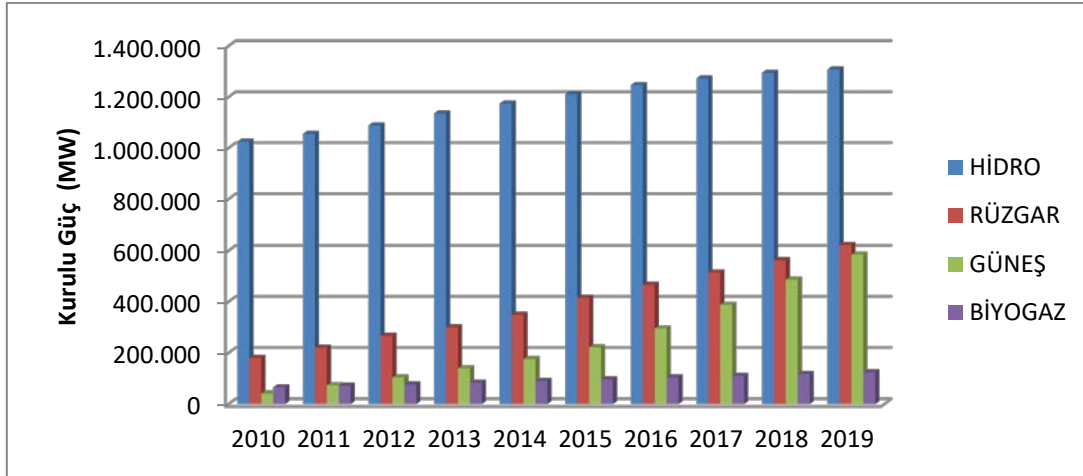
ÖZET

İstanbul'un Adalar İlçesinin rüzgâr enerji potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda Büyükkada Meteoroloji İstasyonu ve Adalar Şamandıra İstasyonundan 2017-2019 yılları arası rüzgâr hız değerleri elde edilmiştir. WINDSIM programı kullanılarak rüzgâr türbini mikro konumlandırma ve enerji üretim analizi yapılmıştır. Deniz üstü rüzgâr santralının yıllık enerji üretimi 445,70 GWh/yıl kapasite faktörü %41, kara üstü rüzgâr santrali yıllık enerji üretimi 4,20 GWh/yıl kapasite faktörü %23,90 olarak tespit edilmiştir. Adanın 2019 yıllık elektrik tüketimi 171GWh/yıldır. Dolayısı ile Adanın elektrik ihtiyacının açık deniz rüzgâr santralleri sayesinde% 93,3 oranında karşılanabileceği tespit edilmiştir. Büyükkada rüzgâr santralının bir değere indirgenmiş elektrik üretim maliyeti 0,110 \$/kWh, Demokrasi ve Özgürlük Adası açık deniz rüzgâr santrali elektrik üretim maliyeti 0,027 \$ / kWh olarak hesaplanmıştır. Ada bazlı yenilenebilir Enerji Kaynaklarından elektrik üretim çalışmalarının yatırımcıya ekonomik avantaj sağlayacağı görülmüştür.

1. GİRİŞ

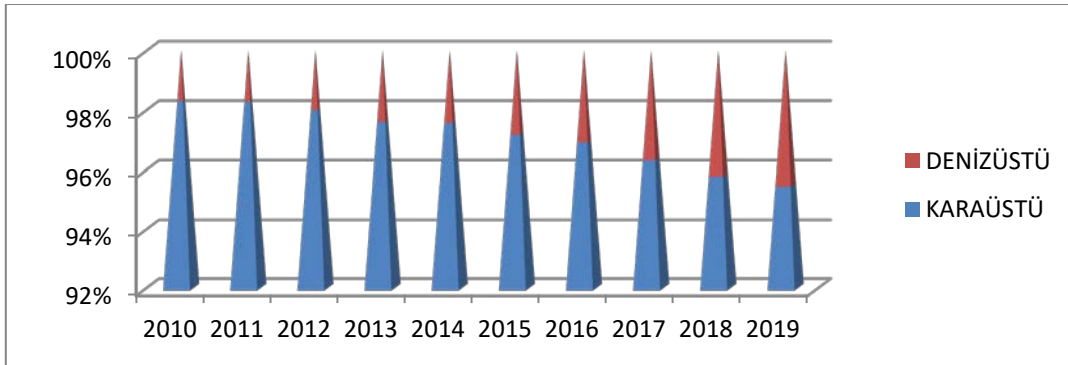
Fosil yakıtların emisyon değerleri yüksek olduğu için küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. İklim hızla değişmekte ve küresel ısınma nedeniyle yaşam kalitesi düşmektedir [1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç son yıllarda her geçen gün artmaktadır [2,6]. Bunun en büyük nedeni, insanların yaşadığı çevrede sağlıklı yaşam koşulları için daha temiz havaya ihtiyaç duyulmasıdır. Devletler, Paris iklim anlaşması uyarınca küresel sıcaklık artışını 2 ° C'nin altında tutmayı taahhüt etmişlerdir[3]. Avrupa Komisyonu, emisyon değerlerini 1990 düzeyine kıyasla 2030 yılına kadar% 80 -% 95 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir[4].

Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücü, Şekil 1'de görüldüğü gibi son on yılda iki kattan fazla artmıştır [5]. Önümüzdeki yıllarda bu artışın hızlanarak devam edeceği tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün artmasının en önemli nedenlerinden biri, RES (Rüzgâr Enerjisi Santrali) ve GES (Güneş Enerjisi Santrali) santrallerindeki kurulu gücün son on yılda neredeyse üç kat artmasıdır. Örneğin Danimarka 2019'da elektrik talebinin% 50'sinden fazlasının Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılama hedefine ulaşmıştır [6].



Şekil 1. Kurulu Güç Bakımından Dünyada ki Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı[5]

Rüzgâr enerjisi önde gelen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir [7,8]. Şekil 2'de görüldüğü üzere dünyada karada ve denizde elektrik santralleri olmak üzere iki tür RES kurulmuştur. Son on yılda, açık deniz rüzgâr çiftliğinin toplam kurulu kapasite içindeki payı neredeyse iki katına çıkmıştır.



Şekil 1. Kurulu Güç Bakımından Dünyada ki Deniz üstü ve Kara üstü Rüzgâr Santrali Dağılımı[5]

Rüzgâr enerjisi de dünya da ki gelişmelere paralel olarak ülkemizde önemli bir artış kaydetmiştir. Türkiye de yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları son on yılda ivme kazanmıştır. 2020 yılı itibarı ile kurulu güç bakımından neredeyse yarısını yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı santrallerden oluşmaktadır.



Şekil 2. Türkiye de 2008-2019 Yılları Arasında Kurulan Rüzgâr Santrali Güçleri [9]

Büyükada için E. Leblecioğlu rüzgâr santral mikro konumlandırma çalışmasını Windsim programı kullanarak yapmıştır. Büyükada ya iki adet 2 MW türbin seçimi yapmıştır. Kapasite faktörünü %24 olarak hesaplamıştır [10].

A. Gülay, 2019 yılında ki çalışmasında Gökçeada ve Gaziköy için deniz üstü rüzgâr çiftliği tasarımı yapmıştır. Meteoroloji gözlem istasyonundan aldıkları veriler ışığında “VESTAS V116-2.0 MWIEC IIB” rüzgâr türbininin bölge için en uygun türbin olduğunu bulmuştur. Yaptığı çalışma sonucunda Gökçeada'nın deniz üstü rüzgâr santrali için uygun olduğunu bulmuştur [11].

Ioannis Kougiyas ve arkadaşları 2019 yılında, Rhodes, Lesvos, Chios, Karpathos, Patmos adalarının şebeke elektrik bağlantısı olmadığını tespit etmişleridir. Bu adalar elektrik ihtiyacının büyük çoğunluğunu fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Yaptıkları çalışmada adaların 2016-2036 arası elektrik ihtiyacını “Harmony Search Algoritması ile tespit etmişleridir. Adaların her birini kendi özelinde değerlendirmek suretiyle rüzgâr, güneş ve depolama seçeneklerini çalışmışlardır, en uygun enerji kaynağının rüzgâr olduğunu bulmuşlardır [12].

O. Turhanlar 2018 yılında, Bozcaada deniz sahasında deniz üstü potansiyel rüzgâr santrali planı yapmıştır. Deniz üstü trafiği, denizin derinliği tespit edilmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda “VESTAS V116-2.0 MWIEC IIB” rüzgâr türbininin bölge için en uygun türbin olduğunu tespit etmiştir [13].

Z. Yumurtacı ve A. M. Özdim 2017 yılında, Türkiye de denizüstü rüzgâr türbini kurulabilecek alanları ve potansiyel elektrik üretimini hesaplamışlardır. En uygun seçilebilecek bölgenin Bozcaada olduğuna tespit etmişleridir. Kurulacak rüzgâr santralının yıllık net getirisi 57.381 milyon Euro, geri ödeme süresi ise 8,7 yıl olarak hesaplamışlardır.[14]

B. Güzel ve arkadaşları 2012 yılında, Bozcaada ve Gökçeada da çevresinde açık denizde potansiyel enerji üretim imkânlarını incelemişleridir. Açık denizde kurulabilecek off-shore (deniz üstü) rüzgâr santralının elektrik üretme kapasitesini ve ekonomik etüdünü yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada Bozcaada bölgesi için “1,8 MW Vestas” 100 m gövde yüksekliğinde türbin seçildiğinde ve yerli üretim yapılması durumunda, yatırım için uygun olacağını tespit etmişleridir [15].

R. Ahshan ve arkadaşları mikro rüzgâr türbini uygulamalarını hayata geçirmişler, buna göre türbinin kendini geri ödeme süresinin 1 kW'ın altındaki yerlerde hızlı olduğunu, ev elektriğini karşılamaya yeterli olduğunu belirlemişleridir [16].

M. Shafiq ve arkadaşları, beş farklı bölgedeki küçük, orta ve büyük ölçekli türbinlerin yıllık enerji üretimi ve kapasite faktörlerini incelemişleridir [17].

Literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında, Adalar bölgesi ile ilgili kapsamlı bir rüzgâr potansiyeli belirleme çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenle rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim analizi ile literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada İstanbul iline bağlı Adalar ilçesine deniz üstü ve kara üstü rüzgâr potansiyeli belirlenmesine çalışılmıştır. Mevcut potansiyel üzerinden RES tasarım optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Adalar ilçesine bağlı Büyükada, Heybeliada, Kınalıada, Burgazada mahallerinin elektrik ihtiyacının RES santrali ile karşılanması düşünülmüştür.

Bu çalışmada, farklı rüzgâr hızlarında deniz üstü ve kara üstü rüzgâr türbinlerinin kapasite faktörünü belirleyerek, bölgeye uygun rüzgâr türbinlerinin seçilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca rüzgâr türbini santrallerinin yatırım geri ödeme süresi ve LCOE değerinin hesaplanması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Şekil 1 de görüldüğü üzere Adalar ilçesi beş mahalleden oluşmaktadır bunlar Maden, Nizam, Büyükada, Heybeliada, Kınalıada ve Burgazada mahalleridir. Bunların yanında henüz yerleşim yeri oluşmamış Demokrasi ve Özgürlük Adası, Sivriada adacıkları vardır. Adanın yüz ölçümü yaklaşık olarak 16 km² dir, nüfusu 15.238 kişidir bunun ile birlikte bahar aylarından itibaren nüfus artarak 72.000 civarına ulaşmaktadır. Adalar ilçesi turistik bir yer olduğundan günü birlik ziyaretçiler ile nüfusu 140.000 civarına ulaşmaktadır.



Şekil 4. Adalar İlçesi Genel Görünümü

Tablo 1, Adalar'ın 2019 yılı elektrik tüketim değerlerini göstermektedir. En yüksek tüketim Büyükada bölgesindedir. Onu sırasıyla Heybeliada, Kınalıada ve Burgazada izlemektedir. Adaların elektrik tüketimi 2019 yılında yaklaşık 171 GWh idir [18].

Tablo 1. Adalar İlçesi Mahalle Bazlı 2019 Yılı Toplam Elektrik Tüketimi

Yıl	İlçe	Mahalle	Nüfus	Nüfus Oranı	Yıllık Toplam Elektrik Tüketimi (kWh/gün)	Yıllık Toplam Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)
2019	Adalar	Maden Mah,	4.330	28,42%	133.201	48.618.492
2019	Adalar	Heybeliada Mah,	4.253	27,91%	130.833	47.753.914
2019	Adalar	Nizam Mah,	3.470	22,77%	106.746	38.962.163
2019	Adalar	Kınalıada Mah,	1.758	11,54%	54.080	19.739.332
2019	Adalar	Burgazada Mah,	1.427	9,36%	43.898	16.022.769
2019	Adalar	Bütün İlçe	15.238	100,00%	468.758	171.096.670

Ortalama rüzgâr hızı (m/s) değerleri ve rüzgâr yönleri Büyükada Meteoroloji Gözlem İstasyonundan elde edilmiştir (Rakım: 165m enlem:40,85 boylam:29,11) Adalar Gözlem İstasyonu (Yükseklik: 2m enlem:40,93 boylam:28,94). Bu değerler 2017-2019 yıllarını kapsamaktadır [19].

Kara üstüne RES santrali tasarlanırken başlıca düşünülmesi gereken faktörler; havanın yoğunluğu, (kg/m^3) uzun yıllar rüzgâr hız değeri (m/s) , rüzgâr yönü, rüzgâr alanı pürüzlülük yüzeyi, rüzgâr dağılım faktörü (k) , türbin gövde yüksekliği, rotor çapı, türbinler arası mesafe, izdüşüm kayıpları, trafo merkezine uzaklık, arazinin mülkiyet yapısı, topografik yapı, arazi eğimi ve yüksekliğidir [20].

Ayrıca boru hatlarına ve fay hatlarına uzaklığın düşünülmesi gerekmektedir. İzdüşümü kayıpları hesaplamaları için Jensen Modeli kullanıldı[21]. “SRTM worldwide Elevation Data” setlerinde yüzey yükseklik değerleri elde edildi. “Corine Land Cover Europe 2006”dan yüzey pürüzlülük değerleri elde edildi. Türbin güç eğrileri “VESTAS” firmasından elde edildi [22].

Deniz üstüne RES santrali tasarlanırken başlıca düşünülmesi gereken faktörler; kara üstüne düşünülmesi gereken faktörlerin dışında deniz suyu derinliği kıyıya uzaklık, ve deniz trafik güzergahlarıdır [23,28].

RES tasarımı tasarım ve enerji üretim analizinde karşılaştırma yapılmasına olanak sağlayan WINDSIM programı tercih edilmiştir WINDSIM programı 6 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar sırası ile Bölge, Rüzgâr alanı, Objeleri, Rüzgâr Kaynakları ve Enerji dir [24].

Rüzgâr türbine gelen rüzgârın gücünü eşitlik 1'e göre hesap edilmektedir [25].

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

Burada, P (watt cinsinden) güç, A=pervanenin taradığı alan ($A = \pi r^2$, r pervane yarıçapı) ve V (m/s) de rüzgâr hızıdır. (Burada $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ havanın deniz seviyesindeki yoğunluğudur.

Türbinin gövdesine gelen rüzgârın hesaplamasında eşitlik 2 kullanılmaktadır.

$$\frac{U_{hub}}{U_{anem}} = \frac{\ln\left(\frac{z_{hub}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{anem}}{z_0}\right)} \quad (2)$$

U_{hub} = Türbin gövde yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s) , U_{anem} = ananometre yüksekliğindeki rüzgâr hızı [m/s], z_{hub} = türbin gövde yüksekliği (m), z_{anem} = ananometre yüksekliği (m), z_0 = yüzey pürüzlülük uzunluğu (m)

Weibull dağılımı fonksiyonu eşitlik 3'e göre hesaplanmaktadır

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

v= rüzgâr hızı [m/s], k= the Weibull şekil faktörü, c= the Weibull skalası [m/s]

İzdüşümü kayıpları eşitlik 4'e göre hesaplanmaktadır.

$$\delta V = (1 - \sqrt{(1 - CT)}) / (1 + \left(\frac{2kx}{D}\right)^2) \quad (4)$$

CT = itme kuvveti (-) , $k = \frac{A}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}$ (Zayıflama Faktörü) $A = 0.5$ h = gövde yüksekliği (m) z_0 = sürtünme yüksekliği (m) x= türbinler arası mesafe (m) olarak gösterilmektedir.

RES yıllık kapasite faktörü eşitlik 5 e göre hesaplanmaktadır;

$$Kapazite Faktörü = \frac{SANTRAL ENERJİ ÜRETİMİ \left(\frac{MWh}{yıl}\right)}{SANTRAL KAPASİTE (MWH) \times 8760} \quad (5)$$

HOMER programı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı mikro şebeke sistemlerinde ve hibrit sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ekonomik analiz modeli için Homer programı tercih edilmiştir.

$$i = \frac{i^1 - f}{1 + f} \quad (6)$$

Gerçek iskonto oranı “i” olarak tanımlanmaktadır, i¹ = nominal iskonto oranı (borçlanma faiz oranı), f = beklenen enflasyon oranı

$$CRF(i, N) = \frac{i \times (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (7)$$

C_{NPC} = Net bugünkü değer (\$)

$$C_{NPC} = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (8)$$

R_t = Net nakit akışı (\$/Year), t = zaman dilimleri sayısı, CRF=Sermaye geri kazanım faktörü, N = yıl sayısı,

$$C_{ann, tot} = CRF \times (i, R_{proj}) \times C_{NPC, tot} \quad (9)$$

C_{ann, tot} = Toplam yıllık maliyet, toplam net mevcut maliyetin yıllık değeridir. (\$/year), R_{proj} = Proje ömrü

$$COE = \frac{C_{ann, tot} \left(\frac{\$}{year}\right)}{E_{served} \left(\frac{kWh}{year}\right)} \quad (10)$$

Sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyeti olarak bir değere getirilmiş enerji maliyeti (LCOE). (\$ / kWh), E_{served} = Toplam elektrik yükü (kWh/Year)

$$C_{operating} = C_{ann, tot} - C_{ann, capital} \quad (11)$$

$$C_{ann, capital} (\$/Year) = C_{ann, tot} \times CRF \quad (12)$$

$$f_{renewable} = 1 - \frac{E_{nonrenewable} \left(\frac{kWh}{year}\right)}{E_{served} \left(\frac{kWh}{year}\right)} \quad (13)$$

f_{renewable} = Toplam enerji üretimi içerisinde ki yenilenebilir enerji oranıdır.

$$E_{nonren} = E_{produce} - E_{renewable} \quad (14)$$

3. RES SANTRAL TASARIMI

3.1 Karaüstü RES Tasarımı

Tablo 2, analiz edilecek alanın sınırlarını göstermektedir.

Tablo 2. Koordinat sistemine atıfta bulunan dijital arazi modelinin koordinatları, uzantıları ve çözünürlüğü: UTM, Bölge: 35, Veri: WGS84

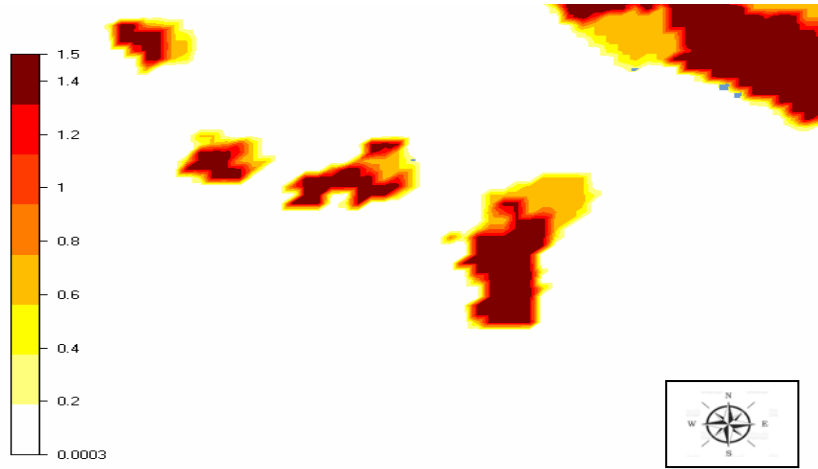
Koordinat	Min (m)	Max (m)	Uzantı (m)	Arazi Verilerinin Çözünürlüğü (m)
Doğu (m)	669694.2	684318.9	14624.7	38.1
Kuzey (m)	4518043.0	4531754.0	13711.0	38.1

Tablo 3 te rüzgar pürüzlülük yüzey değerleri gösterilmektedir. Pürüzlülük yüzeyi bakımından kentin dolayları ve ormanlık alanda kaldığı görülmektedir.

Tablo 3. Yüzey Pürüzlülük Değeri

Bölge Tanımı	Yüzey Pürüzlülük (m)
Pürüzsüz Yüzey, Buz	0,00001
Sakin Açık Deniz	0,0002
Esintili Yüzey	0,0005
Seyrek Ağaç	0,1
Pek Çok Ağaç, Birkaç Ev	0,25
Ormanlık	0,5
Kentin Dolayları	1,5
Şehir Merkezi	3

Şekil 6'da yüzey pürüzlülük değeri görülmektedir, beyaz renkli alanlar sürtünme değerinin 0 olduğunu, açık sarı alanlarda yüzey pürüzlülüğünün 0,2-1 arasında olduğunu göstermektedir. Koyu kırmızı alanlar pürüzlülük değerinin yüksek olduğunu, açık kahverengi renk pürüzlülük değerinin 1-1,5 arasında olduğunu göstermektedir. Arazi orman içinde olduğu için pürüzlülük değeri 1,4 ile 1,5 arasındadır. Görüldüğü üzere pürüzlülük değerinin görece düşük olduğu yerler yerleşim yerleri gibi görünmektedir. Pürüzlülük değerinin hemen hemen hiç olmadığı alan deniz seviyesidir ve rüzgâr türbini kurulumu için en uygun alandır.

**Şekil 6.** Yüzey Pürüzlülük Değeri

Rüzgâr santrali yer seçiminde dikkat edilecek hususlar;

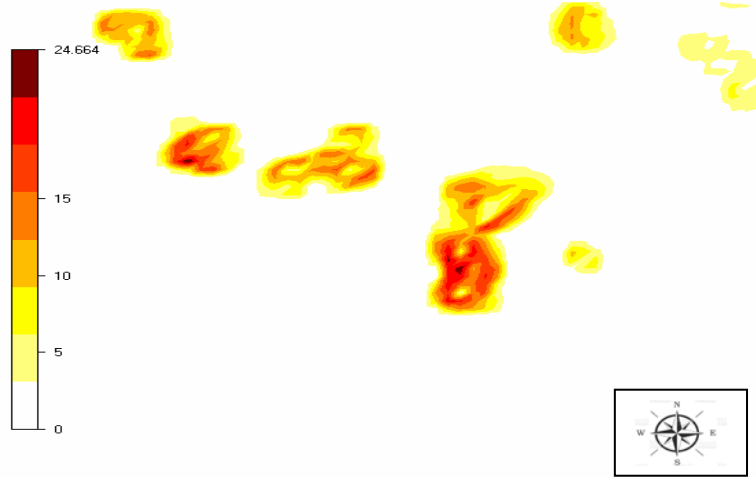
- Türkiye’de ki mevzuata göre rüzgâr santrali ile yerleşim yeri arasında azami 300 m güvenlik mesafesi muhafaza edilmelidir [26]. Bu mesafenin temel amacı rüzgâr türbininin neden olduğu gürültü seviyesini en aza indirmektir.
- Rüzgâr türbinlerinin trafo merkezine yakınlığı maliyetler açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.
- RES sahası arazisinde RES inşasını engelleyecek doğal sit alanı veya kültürel alan gibi herhangi bir kısıtlayıcı durum olmamalıdır.

Şekil 7’de arazi eğim değeri gösterilmektedir. Beyaz renkli alanlar eğimin 0, sarı renkli alanların% 5-% 15 arasında ve turuncu ve koyu kırmızı alanların eğimin% 15 ile % 25 arasında olduğunu göstermektedir.

- Rüzgâr çiftliklerinin eğimi yüzde 5’in üzerinde olan arazilere kurulması tavsiye edilmemektedir.

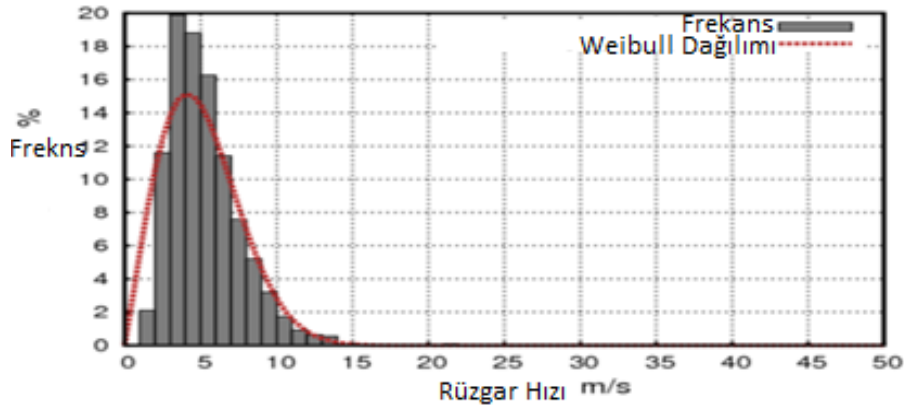
Bütün bu hususlar dikkate alındığında, Büyükada’nın güneyinde sarı gösterilen arazi türbin kurulumuna uygundur. Bu alanın küçük olmasından dolayı sadece bir türbin konumlandırılabilir.

Onun dışında kalan Heybeliada, Kınalıada, Burgazada, Sedefadası bölgeleri rüzgâr türbini kurulumu için yeterli alana sahip değildir.



Şekil 7. Arazi Eğim Değeri

Şekil 8’de Büyükada gözlem istasyonundan elde edilen veriler doğrultusunda rüzgâr hızı frekans grafiği ve Weibull dağılımı görülmektedir. En yoğun rüzgâr hızı dağılımının 4-6 m/s arasında olduğu görülmektedir. Büyükada Meteoroloji gözlem istasyonundan 2017-2019 yılları arasında yapılan ölçümler sonucunda ortalama rüzgâr hızı 12 m yükseklikte 5,27 m/s olarak ölçülmüştür. Rüzgâr dağılım faktörü denklem (3) kullanılarak (k):2,04 olarak hesaplanmıştır.



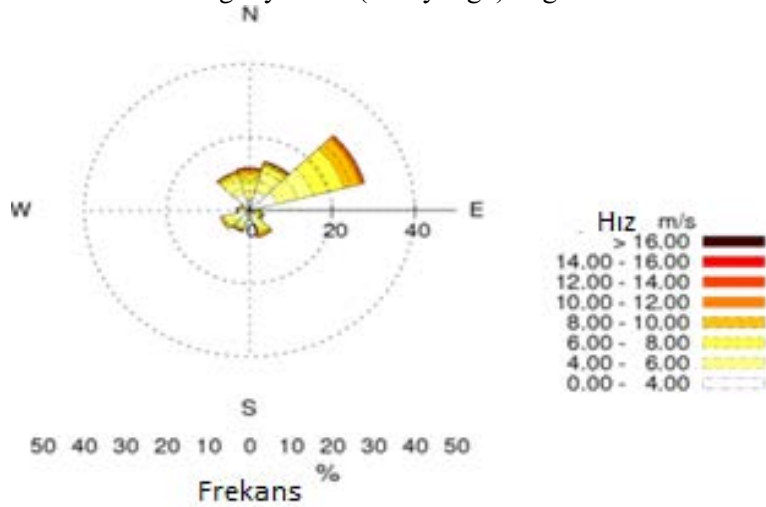
Şekil 8. Büyükada Meteoroloji Gözlem İstasyonu Frekans Dağılım Tablosu

Şekil 9'da, rüzgâr hızları açısından sarı, 4-8 m/s'yi, turuncu rengi 8-12 m/s'yi, kırmızı rengi 12-16 m/s'yi ve koyu kırmızı, 16 m/s'den yüksek hızları temsil etmektedir.

Rüzgâr şiddeti açısından rüzgârın yaklaşık% 30'u kuzeydoğu yönünden esmektedir.

- Maksimum fayda için türbin gövdesi, rüzgâr türbinlerini konumlandırırken hakim rüzgâr yönüne doğru konumlandırılmalıdır.

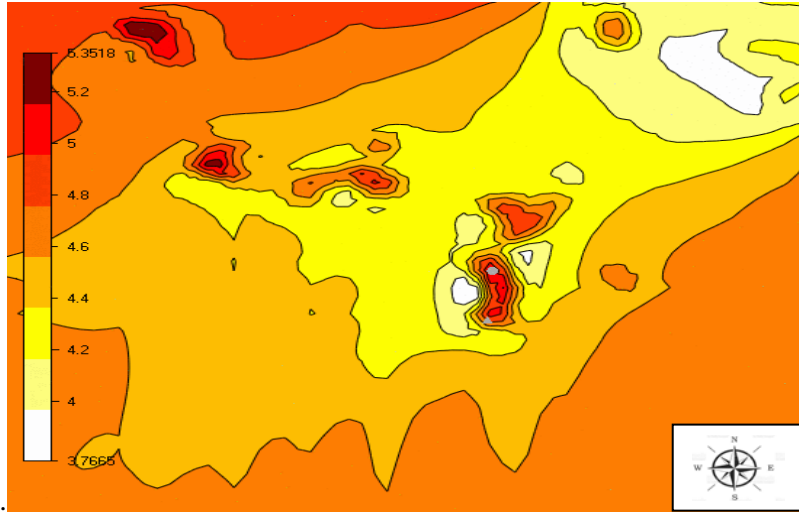
Bu tasarımda türbinler hakim rüzgâr yönüne (kuzeydoğu) doğru konumlandırılmıştır.



Şekil 9. Büyükada Meteoroloji Gözlem İstasyonu Rüzgâr Yön ve Yoğunluğu Dağılımı

Şekil 10'da türbin gövde yüksekliğine (119 m) göre rüzgâr hızı dağılımını göstermektedir. Daire ile gösterilen alan, ölçüm istasyonu, üçgen olarak gösterilenler rüzgâr türbinini temsil etmektedir. Beyaz renkli alanlarda rüzgâr hızı 1,5-4 m/s arasındadır. Sarı bölgelerde rüzgâr hızı 4 m/s civarındadır. Sarıdan koyu kırmızıya değişen alanlarda rüzgâr hızı 4,2-5 m/s arasındadır.

- Rüzgâr türbinleri, rüzgâr hızlarının yüksek olduğu ve aynı zamanda arazinin eğimine uygun alanların bulunduğu yerlere yerleştirilmelidir. Şekil 7'ye göre rüzgâr türbinini yerleşimi kontrol edilmelidir. Bu bakımdan araziye sadece bir türbin konumlandırılabilir ve rüzgâr hızı dağılımına göre en uygun mikro konumlandırma çalışması yapılmıştır.



Şekil 10. Türbin gövde yüksekliğine göre (119m) Rüzgâr hız dağılımı

IEC Rüzgâr Türbini sınıflandırması, rüzgâr türbini seçimi için önemli bir göstergedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızına (maks) göre dört tür sınıflandırma vardır:

- IEC 1 (Yüksek Rüzgâr) 10 m/s,
- IEC 2 (Orta Rüzgâr) 8,5 m/s,
- IEC 3 (Düşük Rüzgâr) 7,5 m / s
- IEC 4 (Çok Düşük Rüzgâr) 6 m/s [27].

Rüzgâr hızının düşük olduğu bölgelerde IEC 4 tip sınıflandırmasına sahip türbinler kullanılmaktadır dolayısı ile bu bölge için IEC 4 tipi rüzgâr türbini seçilmelidir.

Tabloda 3 tip türbin gösterilmektedir. Bu 3 tip türbinin kapasite faktörleri karşılaştırılmıştır.

Yapılan analizde kapasite faktörleri denklem (1,4,5)'e göre hesaplanmıştır.

Rotor çapı arttıkça yıllık elektrik üretimi ve kapasite faktörünün doğrusal olarak arttığı görülmektedir.

Dolayısı ile bölge için en uygun türbin tipinin "VESTAS 2,0 MW V120" olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Elektrik Üretim ve Kapasite Faktörlerinin Türbin Tiplerine Göre Analizi

Türbin Tipi	V90	V110	V120
Güç (MW)	2	2	2
Rotor Çapı (D)	90	110	120
Elektrik Üretimi İzdüşümü Kayıpları İle (GWh/y)	2,47	3,76	4,2
Kapasite Faktörü (%)	14,09	21,4	23,9

Tablo 4’de RES'deki net enerji üretim değerlerini göstermektedir. Ortalama türbin göbeği yüksekliğine gelen rüzgâr hızı denklem (2) kullanılarak 4,79 m/s olarak hesaplanmıştır. Yıllık elektrik üretimi İzdüşümü kayıpları ile denklem (1,4) kullanılarak 4,20 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Kapasite faktörü denklem (5) kullanılarak %23,90 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. RES Elektrik Üretim Değerleri

Türbin Tipi	Gövde Yüksekliği (m)	Türbin Sayısı	Kapasite (MW)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Elektrik Üretimi İzdüşümü Kayıpları İle (GWh/y)	Kapasite Faktörü (%)
V120	119.0	1,00	2,00	4,80	4,20	23,90

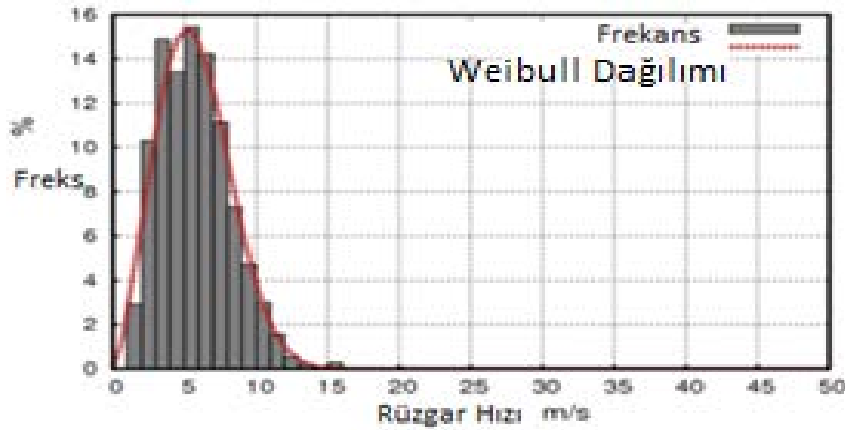
3.2 Offshore WPP Design

Tablo 5, analiz edilecek alanın sınırlarını göstermektedir.

Tablo 5. Koordinat sistemine atıfta bulunan dijital arazi modelinin koordinatları, uzantıları ve çözünürlüğü: UTM, Bölge: 35, Veri: WGS84

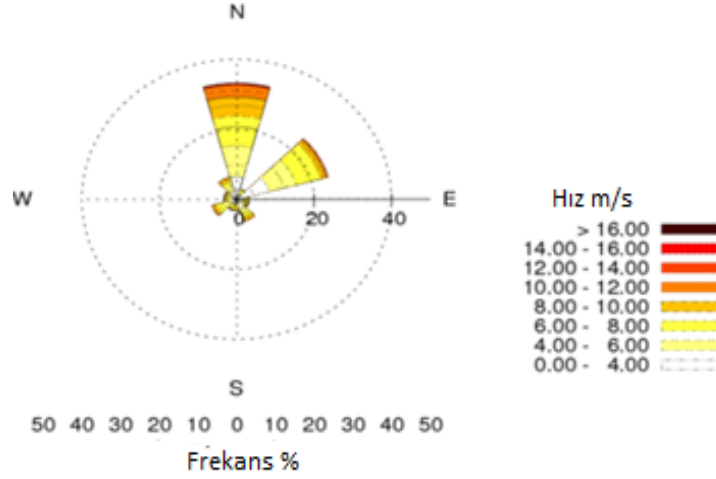
Koordinat	Min (m)	Max (m)	Uzantı (m)	Arazi Verilerinin Çözünürlüğü (m)
Doğu (m)	659026,9	674555,9	15529	38,1
Kuzey (m)	4518785	4533173	14387,5	38,1

Şekil 11’de Adalar Şamandıra meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilen veriler doğrultusunda rüzgâr hızı frekans grafiği ve Weibull dağılımı görülmektedir. En yoğun rüzgâr hızı dağılımının 5-7 m/s arasında olduğu görülmektedir. 2017-2019 yılları arasında Adalar Şamandıra İstasyonundan yapılan ölçümler sonucunda ortalama rüzgâr hızının 2 m’de 5,72 m/s olduğunu, Rüzgâr dağılım faktörü denklem (3) kullanılarak (k):2,44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. Adalar Şamandıra Meteoroloji Gözlem İstasyonu Frekans Dağılımı

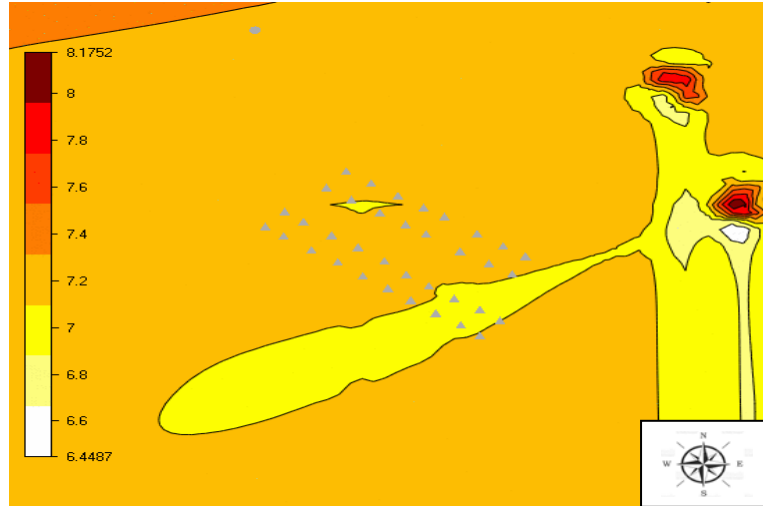
Şekil 12’de rüzgâr yoğunluğunun yönlere göre dağılımını gösterilmektedir. Hakim rüzgâr yönün kuzeyden olduğu tespit edilmiştir ardından rüzgâr en yoğun kuzey doğu yönünden esmektedir. Türbin konumlandırırken, en yoğun rüzgâr yönünde konumlandırılması gerekmektedir dolayısı ile türbinler bu çalışmada kuzeye bakacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 12. Adalar Şamandıra Meteoroloji Gözlem İstasyonu Rüzgâr Yön ve Yoğunluğu Dağılımı

Şekil 13'de türbin gövde yüksekliğine (120 m) göre rüzgâr hızı dağılımı gösterilmektedir. Beyaz alanlarda rüzgâr hızı 6,44-6,70 m/s arasındadır. Sarı alanlarda rüzgâr hızı 6,70-7,1 m/s civarındadır. Turuncu renkli alanlarda 7,1-7,5 m/s, turuncu ve koyu kırmızı alanlarda 7,5-8,17 m/s arasında rüzgâr hızları hesaplanmıştır.

Rüzgâr hızı dağılımına göre en uygun mikro konumlandırma çalışması yapılmıştır. Daire ile gösterilen alan, ölçüm istasyonu olarak gösterilmektedir. Üçgen olarak gösterilenler rüzgâr türbinini temsil etmektedir. Rüzgâr türbinleri ağırlıklı olarak rüzgâr hızının 7,10 m/s civarında olduğu alanlara yerleştirilmiştir. Rüzgâr hızının 7,06 m/s olduğu bölgelerde az sayıda türbin bulunmaktadır.



Şekil 13. Türbin gövde yüksekliğine göre (120 m) Rüzgâr hız dağılımı

Türbin gövdesine gelen rüzgâr hızına göre bu bölge için IEC 3 tipi türbin kullanılmalıdır. Bu açıdan yüksek rotor çapına ve ortalama güç üretim kapasitesine sahip bir türbin seçilmelidir. Tablo 6'da 3 farklı türbin tipi için kapasite faktörü ve elektrik üretim analizi yapılmıştır. 36 türbin referans alınarak yapılan bu analizde, saha koşullarında her bir türbinin kapasite faktörü ve elektrik üretim değerleri görülmektedir.

Görüldüğü üzere türbin rotor çapı arttıkça kapasite faktörünün arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu bölge için en yüksek kapasite faktörüne sahip türbin tipi "VESTAS 3.45 MW V136" olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Elektrik Üretim ve Kapasite Faktörlerinin Türbin Tiplerine Göre Analizi

Türbin Tipi	V90	V112	V136
Güç (MW)	3	3	3,45
Rotor Çapı (D)	90	112	136
Elektrik Üretimi İzdüşümü Kayıpları İle (GWh/y)	244,6	329,7	445,7
Kapasite Faktörü (%)	22,48	30,29	41

Tablo 7’de türbinler arasındaki mesafeye göre rüzgâr çiftliği kapasite analizini göstermektedir. Bu bölge için 9,18 ve 36 adet, “V136” tipi türbinlerin farklı mesafelerde elektrik üretim miktarı ve yıllık kapasite faktörleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Görüldüğü üzere, türbinler arasındaki mesafe azaldıkça izdüşüm kayıpları artmaktadır. Bu durum santralin kapasite faktörünün kısmen azalmasına neden olmaktadır. Kapasite faktöründeki azalmaya rağmen daha fazla türbin ile elektrik üretim kapasitesinin arttığı görülmüştür. Bu durumda kapasite faktörleri yatırımcı için iyi olduğu için 3 senaryo da uygulanabilir.

Bu çalışmada, elektrik üretim kapasitesi daha yüksek olan 36 türbine göre elektrik üretim analizi yapılmıştır.

Tablo 7. Türbinler Arası Mesafeye Göre Rüzgâr Santrali Kapasite Analizi

Türbin Tipi	V136 3,45 MW		
Türbin Adet	9	18	36
Hâkim Rüzgâr Yönüne Göre Türbinler Arası Paralel/Yatay Mesafe (m)	2184/1120	2184/600	720/600
İzdüşüm Kayıpları %	0,8	3,5	10,83
Elektrik Üretimi İzdüşümü Kayıpları İle (GWh/y)	122,9	241,4	445,7
Kapasite Faktörü (%)	45,2	44,4	41

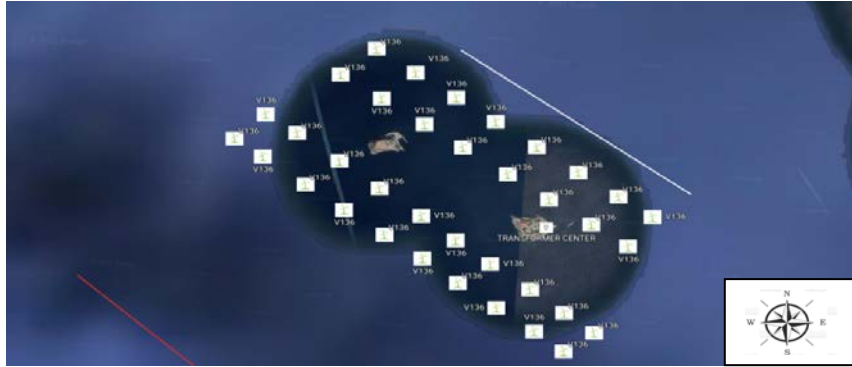
Denizüstü Rüzgâr santrali yer seçiminde dikkat edilecek hususlar;

- Denizin derinliğine bağlı olarak maliyet artmaktadır. [29]
- Ayrıca kıyıdan uzaklığa bağlı olarak türbin kurulum maliyetleri artmaktadır. [29]
- Açık deniz RES santral sahası fay hatları, boru hatları ve deniz yolları üzerinde olmamalıdır.
- Kara RES’lerde olduğu gibi, açık deniz rüzgâr santralleri yerleşim yerleri ve rüzgâr santralleri arasında azami 300 m güvenlik mesafesi bırakılmalıdır.

Şekil 14'de görüldüğü üzere, bu bölge için maksimum 30 m derinlik için bir türbin tasarlanmıştır. Bu nedenle sahile olan optimum mesafe belirlenmeye çalışılmıştır. Santral sahasının kıyıya uzaklığı 870 m olarak ölçülmüştür.

Kırmızı ile gösterilen çizgi, kuzey Anadolu fay hattını temsil etmektedir. Santral sahası Kuzey Anadolu fay hattından yaklaşık 4 km uzaklıktadır [30]. Beyazla gösterilen çizgi BOTAS'a ait boru hattını temsil etmektedir. Santral sahası denizaltı çelik boru hattından [31] yaklaşık 1,7 km uzaklıktadır.

Bölgeden geçen en yakın deniz yolu beyaz bulanık çizgilerle gösterilmiştir. Demokrasi ve Özgürlük Adası'nda çok sayıda trafo merkezi vardır, RES buradan yaklaşık 1 km uzaklıktadır. Mikrokonumlandırma çalışmasında tüm bu veriler dikkate alınmıştır.



Şekil 14. Denizüstü Rüzgâr Santrali Yerleşimi

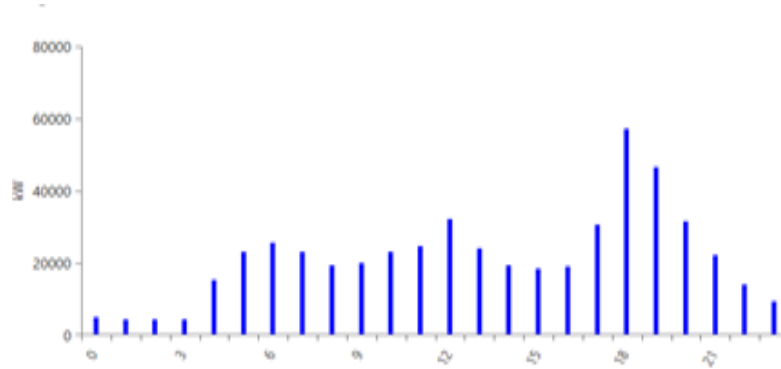
Tablo 8'de RES'deki net enerji üretim değerlerini göstermektedir. Ortalama türbin göbeği yüksekliğine gelen rüzgâr hızı denklem (2) kullanılarak 7,10 m/s olarak hesaplanmıştır. Yıllık elektrik üretimi İzdüşümü kayıpları ile denklem (1,4) kullanılarak 445,70 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Kapasite faktörü denklem (5) kullanılarak %41 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Yıllık Enerji Üretimi

Türbin Tipi	Gövde Yüksekliği (m)	Türbin Sayısı	Kapasite (MW)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	İzdüşüm Kayıpları (%)	Elektrik Üretimi İzdüşümü Kayıpları İle (GWh/y)	Kapasite Faktörü (%)
V136	120,0	36,00	124,20	7,10	10,80	445,70	41,0

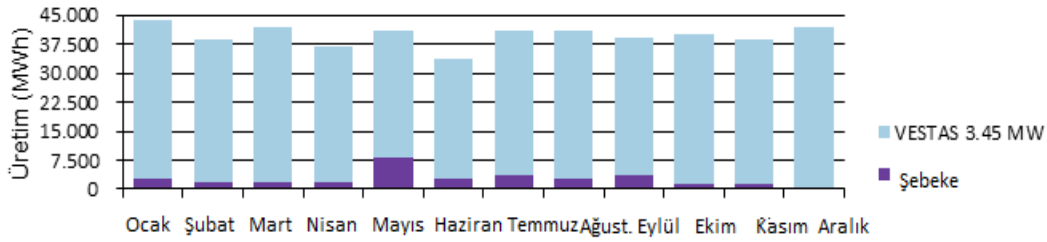
3.3. Adaların Elektrik İhtiyacının Karaüstü ve Denizüstü Rüzgâr Santrallerinden Karşılanması

Şekil 15'de, adalar ilçesinin bahar mevsimine göre baz alınmış günlük elektrik yükü dağılımı görülmektedir. Görüldüğü gibi akşam 18:00 ile 20:00 saatleri arasında elektrik yükü 60.000 kW seviyelerine çıkmaktadır, sabah 06:00 ile 12:00 saatleri arasında elektrik yükü 20.000 kW civarında elektrik yükü gerçekleşmektedir. Gece 00:00 ile 03:00 arasında elektrik yükü 5000 kW civarında olmaktadır.



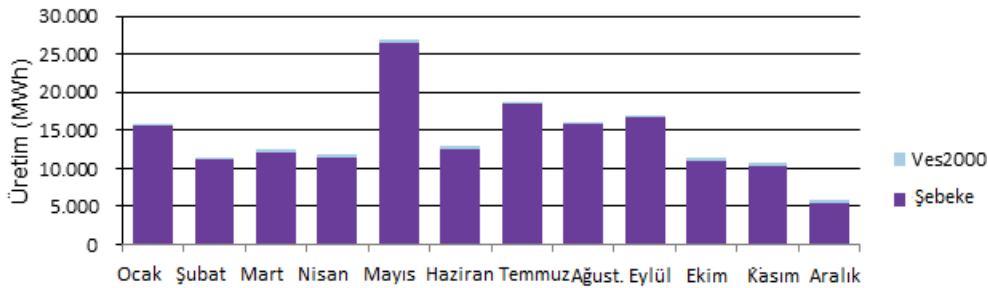
Şekil 15. Adalar İlçesinin Günlük Elektrik Yük Profili

Şekil 16’da Denizüstü RES ve elektrik şebekesi tarafından adalara sağlanan elektrik yüklerinin aylar içindeki oransal dağılımını göstermektedir. Aralık ayında yenilenebilir enerji den sağlanan elektrik miktarı en yüksek değerine ulaşmıştır, bunun temel nedeni Aralık ayındaki yüksek rüzgâr hızından kaynaklanmaktadır. Mayıs ayında yenilenebilir enerjiden sağlanan elektrik miktarı yıl içinde ki en düşük düzeydedir bunun en önemli nedenleri Mayıs ayında rüzgâr hızları nispeten düşüktür ayrıca adanın elektrik talebi pik noktalara ulaşmıştır. Adaların elektrik ihtiyacının% 93,3’ünün açık deniz RES ile karşılanabileceği, kalan% 6,7’nin ise elektrik şebekesinden karşılanacağı denklem (13,14) kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 16. Adaların Denizüstü RES Ve Şebeke Tarafından Karşılanan Aylık Elektrik İhtiyacı

Şekil 17’de görüldüğü üzere Adaların elektrik ihtiyacının% 2,49’unun kara üstü RES ile karşılanabileceği, kalan% 97,51’inin elektrik şebekesinden karşılanabileceği denklem (13,14) kullanılarak hesaplanmıştır. Adaların elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerjiden sağlanması düşük seviyelerdedir. Bunun nedeni kapasite faktörünün düşük olması ve santralin toplam kurulu gücünün düşük olmasıdır.



Şekil 17. Adaların Karaüstü RES Ve Şebeke Tarafından Karşılanan Aylık Elektrik İhtiyacı

3.4. RES Elektrik Üretimi Maliyet Analizi

Bir projenin doğru bir ekonomik analizi, o projenin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Doğru bir analiz için o günün ekonomik koşulları değerlendirilerek projenin tüm girdi ve çıktıların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bakımdan tüm girdiler net bugünkü değer yöntemine göre hesaplanmalı ve buna göre karşılaştırmalar yapılmalıdır.

Proje değişkenleri ile girdiler ve çıktılar aşağıda gösterilmiştir;

- Beklenen enflasyon oranı (f) :%0
- Borç alma faizi i^t : %6

Gerçek iskonto oranı denklem (6) ya göre hesaplanmıştır: %6

- Proje Ömrü (R_{proj}): 25 yıl
- Şebeke Elektrik Fiyatı : 0,112 \$/kWh
- Şebekeye Geri Satış Fiyatı :0,049 \$/kWh
- Karaüstü RES Kurulum Maliyeti : 939.224 \$/MW [5]
- Denizüstü RES Kurulum Maliyeti : 1.995.881 \$/MW [31]

Tablo 9'da Net Bugünkü Değer Analizi Karaüstü ve denizüstü rüzgâr türbini sistemleri için karşılaştırılmıştır.

- Kara RES ve Şebeke Sistemi için; 2 MW RES için sermaye maliyeti 1.878.478 \$ olarak hesaplanmıştır.
- İşletme ve bakım maliyeti, türbini çalıştırmanın ve bakımının yıllık maliyetidir (tipik olarak sermaye maliyetinin% 2'si) [32]. O&M maliyeti 37.568 \$/yıl olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü üzerinden 480.245 \$ denklem (8) kullanılarak hesaplanmıştır.
- Şebeke işletme maliyeti denklem (10,11) kullanılarak 17.628.107 \$/Yıl olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü üzerinden denklem (8) kullanılarak 238.867.147 \$ hesaplanmıştır.
- Kara RES sistemi şebeke toplam net bugünkü maliyet 241.225.841 \$ olarak hesaplanmıştır.

Denizüstü RES + Şebeke Sistemi için;

- Denizüstü RES için sermaye maliyeti 247.880.420 \$ olarak hesaplanmıştır.
- O&M maliyeti 4.957.768 \$ / yıl olarak hesaplanmıştır, Proje ömrü boyunca denklem (8) kullanılarak 63.376.914 \$ hesaplanmıştır.
- Şebeke işletme maliyeti denklem (10,11) kullanılarak -10.767.186 \$/Yıl olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü üzerinden denklem (8) kullanılarak -145.889.219 \$ hesaplanmıştır.
- Denizüstü RES + Şebeke sistem toplam net bugünkü maliyeti 165.358.114 \$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9. Net Bugünkü Değer Analizi

SENARYO	SİSTEM	Sermaye Maliyeti (\$)	O&M(\$)	TOPLAM(\$)
Denizüstü + Şebeke	Şebeke	\$0,00	\$145.889.219 (-)	\$145.889.219 (-)
	Vestas V136-3,45	\$247.880.420	\$63.376.914	\$311.257.334
	Sistem	\$247.880.420	\$78.442.652,13	\$165.358.114
Karaüstü +Şebeke	Şebeke	\$0,00	\$238.867.147,05	\$238.867.147,05
	Vestas V120-2.0	\$1.878.448	\$480.245	\$2.358.693
	Sistem	\$1.878.448	\$239.347.393	\$241.225.841

Tablo 11’de sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyeti olarak iki senaryo ile genel maliyet analizini göstermektedir.

- Denizüstü + Şebeke sistemi için bir değere indirgenmiş maliyeti (LCOE) denklem (6,7,9,10) kullanılarak 0,027 \$ / kWh olarak hesaplanmıştır.
- Kara + Şebeke sistemi için bir değere indirgenmiş maliyeti (LCOE) (6,7,9,10) kullanılarak 0,110 \$ /kWh olarak hesaplanmıştır.
- Şebeke için bir değere indirgenmiş maliyeti (LCOE) (6,7,9,10) kullanılarak 0,112 \$ / kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. Karaüstü ve Denizüstü RES İçin Maliyet Analizi

Yapı	Maliyet		Sistem	
	Net Bugünkü Değer (NPC) \$	Bir Değere İndirgenmiş Maliyet (LCOE) \$/kWh	Yenilenebilir Oranı (%)	Üretim (kWh/year)
Denizüstü(124,20MW) + Şebeke	165 M	0,027	93,3	445.702.626
Karaüstü(2MW) + Şebeke	241 M	0,110	2,49	4.205.244
Şebeke	245 M	0,112	0	

4. SONUÇLAR

Adalar ilçesinin rüzgâr potansiyeli tespit edilmiştir. Büyükada sırtlarına ve Demokrasi ve özgürlük adası açıklarına Rüzgâr enerji santrali tasarımı yapılmıştır. Rüzgâr potansiyeline uygun olarak türbin seçimi, mikro konumlandırma ve enerji üretim analizi yapılmıştır.

Adanın yıllık toplam elektrik tüketimi yaklaşık olarak 171 GWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. Mevcut rüzgâr potansiyeli değerlendirilğinde, kara üstüne bir adet rüzgâr türbini konmuştur yıllık enerji üretimi yaklaşık 4,25 GWh/yıl dır. Kapasite faktörü %23,90 bulunmuştur, kapasite faktörü göreceli olarak düşük çıkmıştır. Bunun nedeni bölgede rüzgâr hızının düşük olması ve arazinin pürüzlülük seviyesinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Deniz üstüne 36 adet rüzgâr türbini konmuştur yıllık enerji üretimi yaklaşık 445,70 GWh/yıl dır. Kapasite faktörü %41 bulunmuştur. Kapasite faktörü yatırımcı açısından iyi bir seviyededir. Düşünüldüğünde sadece deniz üstü rüzgâr santrali ile adanın elektrik ihtiyacı rahatlıkla karşılanmaktadır bunun yanı sıra fazla elektriği şebekeye satış veya ısınma ihtiyacının elektrik ile karşılanması düşünülmelidir.

2019 yılında kişi başına elektrik tüketiminin 3800 kWh/yıl olduğu dikkate alındığında [35], Denizüstü RES santralinin 117.290 kişinin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabileceği tespit edilmiştir. Kara RES tesisi, 1.606 kişinin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabilmektedir.

Bir değere indirgenmiş elektrik üretim maliyet analizi sonucunda karaüstü rüzgâr santrali için 0,110 \$/kWh, de rüzgâr santrali için 0,027 \$ / kWh olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde birim kWh konutlar için elektrik satış tarifesi 0,112 \$/kWh'dir dolayısıyla bu avantaj yatırımcı açısından değerlendirilmelidir.

Şu durum da görülmelidir ki 2021 yılı itibari ile devlet YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) destekleri ile elektrik alım garantisi vermektedir bu

destekler rüzgâr için 0,040 \$/kWh olarak açıklanmıştır ilave 0,010 \$/kWh yerli katkı desteği verilmektedir [36]. Mevcut destek miktarı bu çalışma için yeterlidir.

Yapılan çalışma Adanın rüzgâr potansiyelini belirlemeye ve değerlendirmeye yöneliktir bunun ile birlikte adanın güneş enerjisi, biyogaz ve enerji depolama seçenekleri enerjisi değerlendirilmelidir.

REFERANSLAR

- [1] M. Beken, B. Hangün, Ö. Eyecioğlu, “Classification of Turkey among European Countries by Years in Terms of Energy Efficiency, Total Renewable Energy, Energy Consumption, Greenhouse Gas Emission and Energy Import Dependency by Using Machine Learning “ 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications Brasov, (ICRERA), Nov. 3-6, 2019
- [2] E. Bekiroglu et al., “Analysis of Grid Connected Wind Power System” 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Nov 3-6 ,2019
- [3] E. Karakaya, “Paris Climate Agreement: An Assessment On The Content And Turkey” Adnan Menderes University, Journal of Institute of Social Sciences, Vol.3, No: 1 pp. 1-12 ,2016
- [4] Long-term climate change targets of the European Union , the European Union Delegation Turkey, pp. 1-4,2016
- [5] Renewable energy statistics report, IRENA, pp. 1-2, 2020
- [6] K. L. Jørgensen, H. R. Shaker, “Wind Power Forecasting Using Machine Learning: State of the Art, Trends and Challenges”, IEEE 8th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa, ON, Canada, 12-14 Aug. 2020
- [7] M. Liu, W. Pan, G. Yang, “A new calculation method of short-circuit currents contributed by doubly-fed wind turbines cluster” IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), San Diego, CA, USA, 5-8 November, 2017
- [8] A. Harrouz, I. Colak, K. Kayisli, “Energy Modeling Output of Wind System based on Wind Speed” 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Nov 3-6 ,2019
- [9] Turkish Wind Energy Statistic Report, Turkish Wind Energy Association, 2019
- [10] E. Leblecioğlu, “An On-shore Wind Farm Design in Büyükada”, International 100% Renewable Energy Conference (IRENEC), İstanbul, Turkey, 2020
- [11] A. Gulay, “Potential off-shore wind farm on Gaziköy and Gökçeada”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul ,2019
- [12] I. Kougias, S. Szabo, A. Nikitas, N. Theodossiou “Sustainable energy modelling of non-interconnected mediterranean islands” Elsevier Renewable Energy, Greece. April 2019 DOI: 10.1016/j.renene.2018.10.090, Vol.133, pp. 930-940
- [13] O. Turhanlar, “A Potential Off-shore Wind Farm Arrangement Off The Bozcaada” , Master Thesis, İ.T.Ü. Institute of Science, İstanbul ,2018
- [14] Z. Yumurtacı, A. M. Özdilim, " Technical and Economic Analysis of Wind Power Plants Above Sea that can be installed in Turkey, "Chamber of Mechanical Engineers, pp.15-22, 2017
- [15] B. Guzel, “Open Sea Wind Energy Feasibility Steps and Case Study in Bozcaada and Gökçeada”, Master Thesis, İ.T.Ü. Institute of Science, İstanbul, 2012
- [16] R. Ahshan, A. Al-Badi, N. Hosseinzadeh, M. Shafiq “Small Wind Turbine Systems for Application in Oman”, IEEE 5th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), Kitakyushu, Japan 23-25 April, 2018
- [17] R. Ahshan, A. Al-Badi, N. Hosseinzadeh, M. Shafiq “Distributed Wind Systems for Moderate Wind Speed Sites”. IEEE 5th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA), Al Ain, UAE, 25-28 Feb., 2018

- [18] Ayedaş Prencess Islands Electricity Consumption Report , AYEDAŞ 2019
- [19] General Headquarter of Meteorology 2017-2019 between Monthly Average Wind Speed Report, March 2020
- [20] U. Yılmaz , A. Demirören ,L. Zeynelgil “Investigation of Renewable Energy Sources and Electric Energy Production Potential in Gökçeada”, Politeknik Journal, Vol.13 , Issue 3, pp. 215-223,2010
- [21] F. González-Longatt “Wake effect in wind farm performance: Steady-state and dynamic behavior”, Science Direct Vol. 39, Issue 1, pp. 329-338 March 2012
- [22] VESTAS Turbine Performance specification V100-2MW and V112-3MW Document no.: 0051-0208 V06 ,2020
- [23] Europe’s on-shore and off-shore wind energy potential: an assessment of environmental and economic constraints. European Environment Agency. EEA Technical report No 6, .pp. 10-59,2009
- [24] C. Meissner,WindSim Getting Started 11th Edition. December 2017
- [25] A. Coronado, M. Gámez, O. Peñaloza,”Adaptive control of variable-speed variable-pitch wind turbines for power regulation”,IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA),San Diego, CA, USA,5-8 Nov. 2017
- [26] Official Gazette ,Regulation On The Technical Evaluation Of Applications For Wind-Based Electricity Generation Date: Law No: 29508,2015.
- [27] IEC 61400-1 cited in wind energy handbook tony borton et al John Wiley & Sons UK 2001,ISBN:0-471-48997-2, pp. 210
- [28] E. Çetin, “Electricity Production Wind Power Plants” , pp 1-10, 2019
- [29] K.Oh, W. Nam,M.S. Ryu,J. Kim,B. Epureanu “A review of foundations of offshore wind energy convertors: Current status and future perspectives” Renewable and Sustainable Energy Reviews , pp.16–36, 2018
- [30] ”North Anatolian Fault Line”, Boğaziçi University Kandilli Observatory Earthquake Research Center,Web 10 April 2021, <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqmap/osmap.asp>
- [31] ”Istanbul Steel Natural Gas Pipelines”,IGDAS, In-house Web 10 April 2021,<https://igabisweb.igdasc.com.tr/igabis-m/>
- [32] ”Turbine O&M Cost Specification”,Web 10 April 2021, https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.14/wind_turbine.html
- [33] “Average electricity consumption per person”,Web 10 April 2021, <https://www.enerjiatlasi.com/elektrik-tuketimi/>
- [34] Official Gazette, Electricity Generation from Renewable Energy Resources Presidential Decision Law No:31380 ,2021