

ANTAKYA KÖRFEZİ DENİZ ÜSTÜ RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYEL ARAŞTIRILMASI

¹Cem ÖKSEL, ²Ali KOÇ, ³Yıldız KOÇ, ⁴Hüseyin YAĞLI

^{1,2,3,4}İskenderun Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, HATAY
¹cemoksel@gmail.com, ²alidikoc59@gmail.com, ³ykoc@mku.edu.tr, ⁴hsyn.yagli@gmail.com

(Geliş/Received: 12.06.2015; Kabul/Accepted in Revised Form: 15.09.2015)

ÖZ: Bu çalışmada, deniz üstü rüzgâr enerjisindeki temel faktörler incelenmiş ve Dünya'daki güncel durum belirtilmiştir. Türkiye'de hali hazırda bir deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali bulunmamaktadır ve kurulması planlanan bir tesis için yatırım öncesi yapılacak olan fizibilite çalışmasında ele alınması gereken konular ve izlenilecek adımlar detaylıca incelenmiştir. Bu adımlar ışığında, deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli en yüksek illerimizden Hatay'da bulunan Antakya körfezi için WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) yazılımından yararlanılarak örnek çalışma yapılmıştır. WAsP'ta kullanılmak üzere Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Samandağ meteoroloji istasyonuna ait 2013-2015 tarihleri arasındaki saatlik rüzgâr hızı ve yönü verileri temin edilmiştir. Türbin yerleşimi ve ileri analizler için bölgeye ait sayısal topografik haritalar Global Mapper programında ilgili yerin 3 ark saniyelik topografik haritasının vektörel hale dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Minimum hata payı için bu verilere ek olarak bölge pürüzlülük ve ölçüm istasyonu yakın çevresi engel bilgileri de programa aktarılmış olup çalışmanın sonucunda kurulacak tesis için geri ödeme süresi ortalama 6.6 yıl olarak bulunup bölgenin rüzgâr verimliliğinin deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, deniz üstü, rüzgâr, türbin, WAsP

OFF-SHORE WIND ENERGY POTENTIAL RESEARCH FOR ANTAKYA BAY

ABSTRACT: In this study, the key factors associated with Off-shore wind energy have been examined with the aim of assessing off-shore wind-energy potential in Antakya. Currently, there are no nationally-agreed procedures and practices on how to construct off-shore wind farms or how to conduct feasibility study as there is no installed off-shore wind farm in the boundaries of Turkey. To that end, this paper aims to contribute to a better understanding of off-shore wind power plants and introduces a case study for planning, designing and implementing wind turbines on Antakya bay, Turkey. A software package called Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), which is a standard tool in wind energy industry, was used in the case study for analysing and modelling wind climate in the studied area. The outputs of WAsP were created based on quantitative wind data (e.g., hourly wind speed and direction) recorded at Samadağ meteorological station between 2013-2015. A geographic information program called Global Mapper was employed for advanced analysis and turbine placement by means of converting topographic maps of selected areas into vector format. Additionally, roughness measurements and information on the presence of obstacles in the surrounding environment were entered to the software in order to reduce the error rate. Based on the estimations and outputs of WAsP software package, cost-benefit analysis was conducted to examine whether it is economically feasible to install wind energy turbines in Antakya. The results showed that the break-even point comes in 6.6 operational years, which lead to the conclusion that the placement of off-shore wind energy turbines is economically wise. Moreover, it was concluded in case study that the installation of wind energy farm in

DOI: 10.15317/Scitech.2016116092

Antakya bay is also favorable in terms of wind power density of this region.

Key Words: *Energy, Off-Shore, wind, turbine, WAsP*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerji ihtiyacının hızla artmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önde gelen enerji kaynaklarından biridir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında lokomotif görevi gören rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi 90'lı yıllardan itibaren büyük bir hızla artış göstermiştir. 2014 yılının ilk yarısı itibariyle dünyada rüzgâr enerjisinin kurulu kapasitesi 336 GW'ı geçmiş bulunmaktadır ve rüzgâr enerjisi dünyanın elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %4'ünü karşılamaktadır (GWEO, 2014). Rüzgâr enerjisi son 3 yılda gösterdiği %50'lik büyüme hızıyla hızlı büyüyen enerji kaynaklarından biri olmuştur (WWEA, 2014). Günümüzde 103 ülke rüzgâr enerjisini elektrik üretiminde kullanmakta ve Türkiye bu ülkeler arasında kurulu güç bakımından 16. Sırada yer almaktadır (WWEA, 2014).

Rüzgâr enerjisinin hızla gelişmekte olan uygulama alanlarından birisi de deniz üstü rüzgâr enerjisidir. Deniz üstü rüzgârları karaya göre genellikle daha güçlü ve düzenli olmasının yanı sıra lojistik olarak da avantaj sağlamaktadır. Dünyada kurulu güç bakımından rüzgâr enerjisinin %2'lik kısmını deniz üstü rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. İlk açık deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali 1991'de denemiş ve 2000'li yıllarda bu alanda patlama yaşanmıştır. Günümüzde toplam 8 GW açık deniz rüzgâr enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır ve yaklaşık 2.9 GW daha kurulum aşamasında bulunmaktadır. Ortalama kurulum derinliği 2014 sonu itibari ile 22.4 metre, ortalama kıyıya olan uzaklık ise 32.9 km'dir (EWEA, 2014).

Türkiye 2013 yılı sonu itibariyle, toplam elektrik üretiminin %43.7'si doğalgazdan, %26.5'i kömürden, %24.7'si hidrolik kaynaklardan, %2'si sıvı yakıtlardan, %3.15'i rüzgârdan ve %0.47'si jeotermal ve biyogazdan sağlamaktadır. 2012 yılında Türkiye'nin enerji arzının, petrolde %92, doğalgazda %99, taş kömüründe %95 olmak üzere toplamda %73.4'lük bölümü ithalat ile karşılanmıştır (EÜAŞ, 2013). Tüm bu veriler göz önünde bulundurulduğunda enerji talebi bakımından Türkiye'nin dışa bağımlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, ülkelerin enerji politikalarında arz güvenliğinin sağlanması için yerli kaynaklara yönelerek enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi kaçınılmazdır. Bundan dolayı, yenilenebilir enerji kaynakları ve deniz üstü rüzgâr enerjisi önemli bir seçenek oluşturmaktadır. Türkiye'de ilk rüzgâr enerji santrali İzmir'de 1998 yılında üretime geçmiştir. Bunu takiben yapılan düzenlemeler ile birlikte Türkiye'de özellikle 2014 yılında devreye giren 803 MW'lık sistemler ile kurulu güç hızlı bir şekilde artmış ve toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü Nisan 2015 itibariyle 3397 MW'a ulaşmıştır (EPDK, 2015).

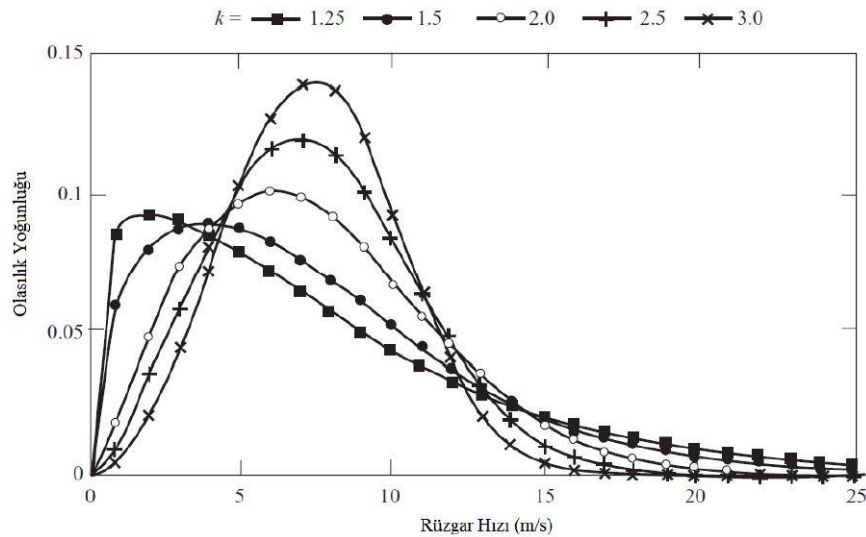
İlk kurulum maliyeti açısından değerlendirildiğinde rüzgâr enerjisi ile elektrik üreten tesisler hala oldukça pahalıdır. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi kullanarak elektrik üreten tesislerin yapımından önce maliyet analizlerinin yapılmasında, kurulum lokasyonundaki rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılması önemlidir. Bu çalışmada, Antakya körfezinde kurulması hedeflenen olası deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali fizibilite analizinin yapılmasına olanak sağlayan WAsP programı tanıtılmış, bu program kullanılarak Antakya körfezi bölgesine ait son iki yıllık rüzgâr verileri analiz edilmiş ve kurulması planlanan türbinlerin konumları tespit edilmiştir. Ayrıca, seçilen bölgeye deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali kurulumu simüle edilmiş ve elde edilen güç doğrultusunda bir fizibilite çalışması yapılarak bölgenin deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali kurulumuna uygunluğu araştırılmıştır.

WAsP (WAsP)

WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) programı, belirli girdileri analiz ederek rüzgâr ikliminin yatay ve dikey ekstrapolasyonu ile istenilen bölgenin rüzgâr atlasını çıkarmaktadır (WAsP, 2015). Aynı zamanda programa bütünleşmiş bulunan güncel rüzgâr türbin tipleri sayesinde vektör harita üzerinde deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali yerleşimi yapabilmekte ve bu santrallerin detaylı analizinin sonuçlarını sunabilmektedir. Tüm bu işlemler için gereken çeşitli modüller programda yüklü halde bulunmaktadır. Programın çalışma yöntemi beş ana işlem bloğundan oluşmaktadır:

- 1.Ham veri analizi,
- 2.Rüzgâr atlası oluşturma,
- 3.Rüzgâr iklimi oluşturma,
- 4.Rüzgâr enerjisi potansiyeli oluşturma,
- 5.Deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali üretimi hesaplama.

WAsP yazılımı, veri analizlerini yaparken rüzgâr hız verilerinin iki parametrelili Weibull fonksiyonuna uygun bir dağılım gösterdiğini varsaymaktadır (Deaves ve ark., 1997). Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu, rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemede en çok kullanılan istatistiksel dağılımlardan biridir (Genç ve ark., 2005). Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna ait örnekler Şekil 1’de görülebilmektedir. Değişik k değerlerine göre eğri de değişmektedir; k değeri arttıkça eğri daha dik bir tepe noktasına sahip olmaktadır, bu da daha düşük rüzgâr hızı değişimini belirtmektedir (Manwell ve ark., 2002).



Şekil 1. Weibull olasılık dağılım fonksiyonu (Weibull probability distribution function)

WAsP, dört farklı girdiyi kendine ait alt modellerinde değerlendirmeye alarak, bölgesel rüzgâr haritası istatistiklerini hesaplamaktadır (WAsP, 2015). WAsP yazılımının yararlandığı başlıca veriler şunlardır:

- 1.Belli periyotlarla ölçülen rüzgâr hızları ve yönleri bilgileri,
- 2.Bölgeye ait pürüzlülük verileri,
- 3.Yakın çevreye ait engel bilgileri,
- 4.Bölgenin topografik verileri.

ENERJİ POTANSİYELİ ve MALİYET ANALİZİ (ENERGY POTENTIAL and COST ANALYSIS)

Kullanılan Veriler ve Parametreler (Datas and Parameters)

Bu bölümde çalışmada kullanılan parametreler özetlenmiştir.

Rüzgâr Verisi

Örnek çalışma için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü DMİ'nün Antakya körfezi (Samandağ) meteoroloji istasyonuna ait 10m'lik yükseklikten ölçülüp kaydedilmiş olan 2013-2015 tarihleri arasındaki saatlik rüzgâr hızı ve yönü verileri temin edilmiştir. Bu veriler makro ile düzenlenip programa aktarılabilir hale getirilmiştir (Tumas).

Yakın Çevre Engelleri

Yakın çevre engellerinin programa aktarılması ölçümün diğer bölgelere doğru olarak taşınması açısından çok önemlidir ve bu sebepten dolayı ölçüm yapılan yerdeki rüzgâr hızına etki eden engeller belirlenmiş ve de WAsP programına girişi yapılmıştır.

Topoğrafya ve Pürüzlülük Bilgileri

Global Mapper programından elde edilen Antakya körfezine ait 3-ark saniyelik topografik haritanın vektörel hale dönüştürülmüşü olan nicel haritalardan faydalanılmıştır (Global Mapper, 2015).

Rüzgâr Türbinleri

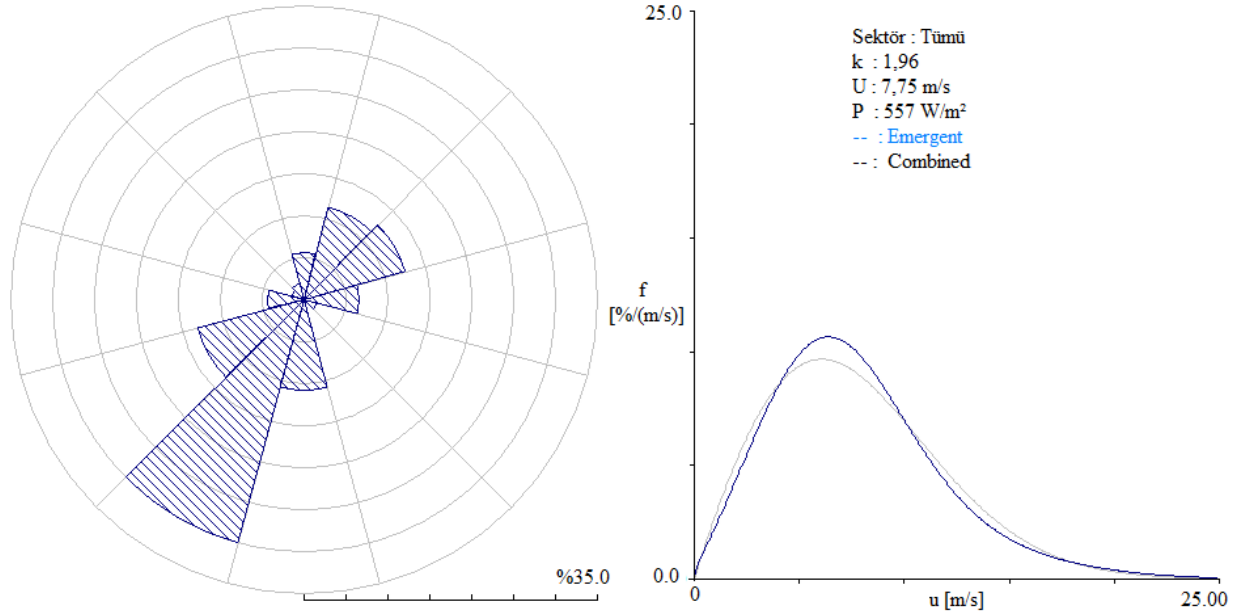
Simülasyonlar için Vestas marka 80m yüksekliğe sahip 3MW gücünde rüzgâr türbinleri seçilmiştir. Çizelge 1'de kullanılan tribüne ait özellikler gösterilmektedir (Vestas, 2015).

Çizelge 1. Vestas V90-3,0 MW rüzgâr türbini özellikleri (Vestas V90-3,0 MW wind turbine properties)

Rüzgâr Türbini Özellikleri	
Model	Vestas V90-3,0 MW
Kapasite	3,000 kW
Hub yüksekliği	80 m
Kanat genişliği	44 m
Rotor	
Çapı	90 m
Tipi	Upwind
Dönüş yönü	Saat yönünde
Kanat sayısı	3
Süpürme alanı	6,362 m ²
Rotor hızı	Değişken 8,6-18,4 tur/dakika
Jeneratör	4 kutup asenkron değişken hızlı
Başlama hızı	3,5 m/s
Kesme hızı	25 m/s
Nominal rüzgâr hızı	15 m/s

Rüzgâr İklimi Analizi (Wind Climate Analysis)

Simülasyonun ilk adımı olarak DMİ'den alınan belirli zaman serilerine sahip ham rüzgâr verileri WAsP Climate Analyst programı kullanılarak analiz edilip, weibull dağılımına göre düzenlenip, hâkim rüzgâr yönleri ve bu bölgelerdeki rüzgâr güçleri şeması çıkarılmıştır. Şekil 2'de sol tarafta bölgeye ait rüzgârların yönlere göre dağılımı gösterilmiştir. Program sonucu oluşan rüzgârgülüne göre bölgede hâkim rüzgâr yönü güneybatı olarak görülmektedir.



Şekil 2. Rüzgâr hızlarının ve güçlerinin yönlere göre dağılımı (sol) ve Weibull dağılımı ile görselleştirilmesi (sağ) (*distribution of wind speed and power with direction (left) and projection with weibull distribution (right)*)

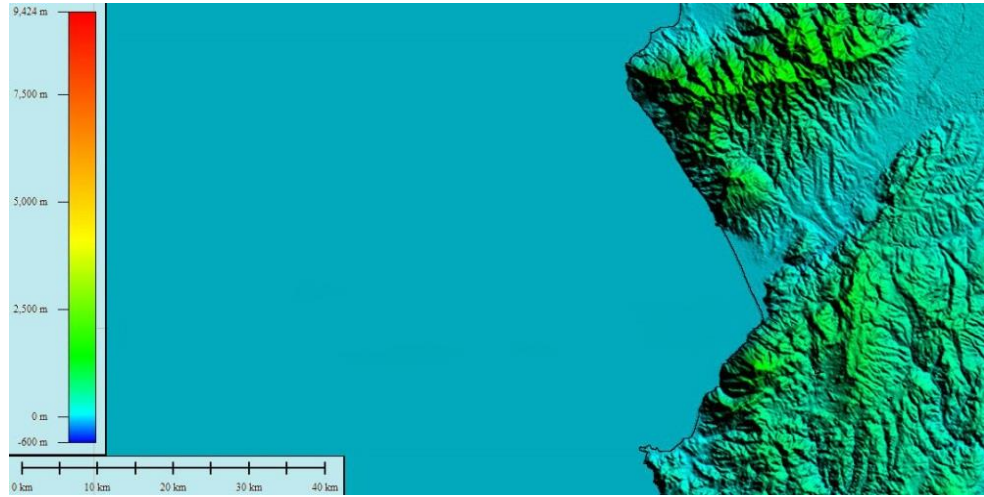
Şekil 2'den de anlaşılacağı gibi ölçüm istasyonundan alınan verilerin WAsP programı ile analizi sonucunda 2013-2015 tarihleri arasında ait 10m yükseklikten elde edilebilecek güç yoğunluğu (P) tüm sektörler için toplam 557 W/m² olarak bulunmuştur. Program weibull parametresi olan " k " değerini 1,96 olarak hesaplamıştır. Ortalama hız değeri olan " U " ise ölçüm istasyonundan alınan verilerden elde edilmiştir.

WAsP programı sayesinde herhangi bir yükseklikteki güç yoğunluğunu kullanarak istenilen yükseklikteki güç yoğunluğunu hesaplanabilir. Şekil 3'deki rüzgâr atlasında 10, 25, 50, 100 ve 200 metrelerdeki rüzgâr hızları ve güç yoğunlukları çeşitli pürüzlülük katsayılarına göre gösterilmiştir. Su yüzeyleri için pürüzlülük katsayısı 0'dır (WAsP, 2015). Kurulması planlanan tesis deniz üstünde olduğundan bölge pürüzlülük değerinde $R=0,000$ değerine dikkat edilmelidir.

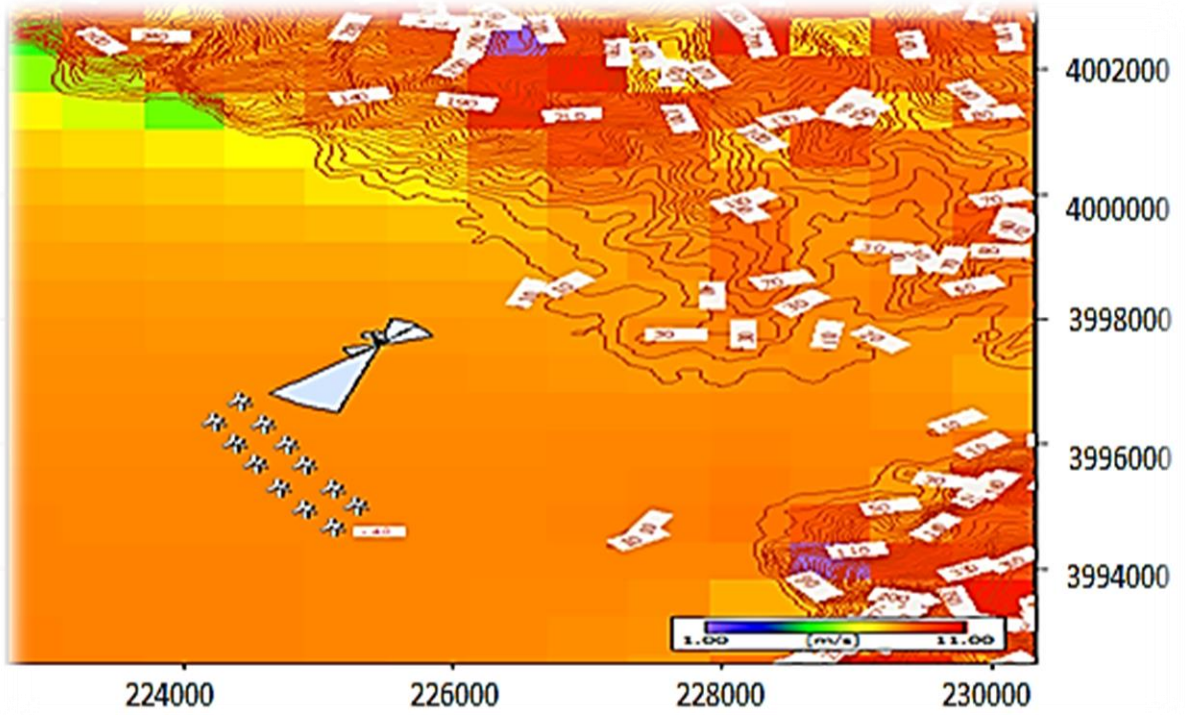
		R-class 0 (0,000 m)	R-class 1 (0,030 m)	R-class 2 (0,100 m)	R-class 3 (0,400 m)	R-class 4 (1,500 m)
Height 1 (z = 10 m)	U [m/s]	7,75	5,61	4,86	3,79	2,51
	P [W/m ²]	557	230	151	73	21
Height 2 (z = 25 m)	U [m/s]	8,47	6,66	5,95	4,95	3,77
	P [W/m ²]	714	364	264	156	69
Height 3 (z = 50 m)	U [m/s]	9,07	7,60	6,90	5,92	4,79
	P [W/m ²]	857	503	385	252	136
Height 4 (z = 100 m)	U [m/s]	9,78	8,81	8,06	7,05	5,93
	P [W/m ²]	1073	725	564	390	238
Height 5 (z = 200 m)	U [m/s]	10,65	10,49	9,59	8,45	7,26
	P [W/m ²]	1400	1189	925	655	422

Şekil 3. Çalışma bölgesindeki rüzgâr hızlarının ve güçlerinin yükseklik ve pürüzlülük katsayılarına göre değişimi (*Variation of wind speed and power at the operation place with the height and roughness factors*)

Çalışma alanı için vektör haritalar Global Mapper programı vasıtası ile elde edilmiştir (Global Mapper, 2015). Programa ayrıca ilgili bölgenin su kütleleri dosyaları da yüklenmiştir. Su kütlesi dosyaları suya sınırı olan tüm kara parçalarının dijital sınırlarını içermektedir ve çalışmada planlanan tesis deniz üstüne yapılacağından bu dosyaların temini çalışma için çok önemlidir. Çalışma bölgesinin Global Mapper programındaki hali Şekil 4’de, elde edilen rüzgâr gücü haritası ise Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 4. Antakya körfezine ait 3-ark saniyelik topografik haritanın Global Mapper’deki hali (*Global Mapper visualization of 3-arc second topographic map of Antakya bay*)

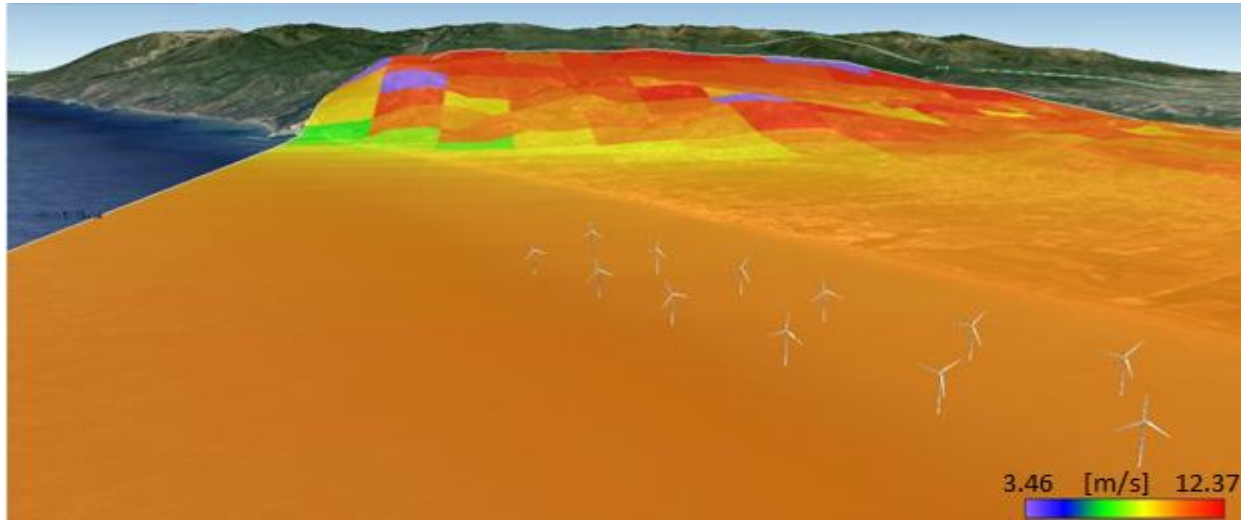


Şekil 5. Antakya körfezine ait rüzgâr hızları haritası ve eş yükselti eğrileri (Wind speed and contour map for Antakya bay)

Türbin Yerleşimi (Turbine Settlement)

Çalışmada muhtemel toplam enerji üretimini hesaplayabilmek için Çizelge 1’de özellikleri gösterilen Vestas marka V90 model 3 MW gücündeki 12 adet rüzgâr türbini kullanılmıştır. Güncel teknolojiler belirli bir derinliğe kadar türbin kurulumuna izin vermektedir. Derinlik arttıkça temel için gerekli malzeme ve iş gücü de artacağından maliyet yükselmektedir. Günümüzde ekonomik olarak 45 metreye kadar Açık Deniz türbin kurulumu yapılmaktadır (Malhotra, 2010).

Bu bilgiler ışığında kurulum için 45m’den sığ derinlik kategorisine sahip alan seçilmiştir. Bunun için Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığından edinilen bölgeye ait derinlik haritalarından yararlanılmıştır (SHODB).



Şekil 6. Antakya körfezi olası türbin yerleşimi Google Earth izdüşümü (*Google Earth projection of probable wind turbine settlement at Antakya bay*)

Türbin yerleşimi yapılırken deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali menüsündeki iz değerleri ve veri haritası eş zamanlı olarak kullanılıp, hem türbin sayısı hem de türbin başına düşen enerji üretimi optimize edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda türbinler arası olması gereken mesafe göz önünde bulundurularak, türbinlerin iz etkisini minimize ederek üretimi arttırmak için rüzgâra karşı yanal dizilimle 5 rotor çapı, dikey dizilimle 10 rotor çapı mesafeye dizilmiştir.

Optimum türbin yerleşim noktaları belirlendikten sonra türbin senaryosu için yıllık üretilen güç WASP aracılığı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Türbin bölgesine uyarlanmış veriler (*Datas that are adapted to the turbine settlement location*)

Yerleşim	Lokasyon [m]	Türbin	H [m]	Rakım [m]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	h[m]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Samandağ 1	(224453,9, 3996570,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,6	2,3	8,52	646	80	9,509	11,33
Samandağ 2	(224617, 3996199)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,6	2,3	8,54	652	80	9,504	11,89
Samandağ 3	(224797,3, 3995861,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,56	656	80	9,739	10,11
Samandağ 4	(224932,5, 3995545,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,58	661	80	9,733	10,55
Samandağ 5	(225135,4, 3995162,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,59	663	80	9,665	11,38
Samandağ 6	(225315,7, 3994892,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,6	664	80	9,687	11,34
Samandağ 7	(224247,8, 3996225,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,6	2,3	8,54	652	80	10,399	3,58
Samandağ 8	(224409,3, 3995887,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,56	656	80	10,379	4,15
Samandağ 9	(224555,5, 3995556,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,58	660	80	10,429	4,05
Samandağ 10	(224732,5, 3995171,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,59	663	80	10,52	3,54
Samandağ 11	(224924,8, 3994833,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,6	665	80	10,432	4,53
Samandağ 12	(225132,5, 3994540,0)	Vestas V90 (3 MW)	100	-40	9,7	2,3	8,61	666	80	10,551	3,58

Çizelge 3. Kurulacak rüzgâr türbinlerinden elde edilebilecek yıllık net ve brüt enerji miktarı (*Annual net and gross energy quantity that can be obtained from the wind turbines*)

Parametre	Toplam	Ortalama	Minimum	Maximum
NET AEP [GWs]	120,546	10,046	9,504	10,551
Brüt AEP [GWs]	130,315	10,86	10,724	10,943

Maliyet Analizi (Cost Analysis)

Rüzgâr enerjisi hali hazırda üretim teknolojileri kullanılarak Watt başına yüksek sermaye gerektiren ancak işletme maliyeti düşük olan bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr türbinlerinin Watt başına kurulu güç maliyeti 0.9-1.1 €/W'dır (EWEA, 2015). Çalışmada bu değer ortalama 1.0 €/W olarak işleme alınmıştır. Büyük güçlü rüzgâr türbinlerinde maliyet dağılımı ve kurulması düşünülen rüzgâr türbini tesisine uyarlanmış hali Çizelge 4 'de gösterilmiştir (EÜAŞ, 2013).

Çizelge 4. Maliyet analizi tablosu (*Cost analysis table*)

Maliyet Analizi Tablosu					
Elemanlar	Toplam Maliyetteki Payı [%]	Toplam Kurulu Güç [kW]	Birim Enerji Maliyeti €/kW	Kurulum Maliyeti €	Toplam Maliyet €
Türbin	78	36.000	1.000	28.080.000,00 EUR	36.000.000,00 EUR
Temel	3			1.080.000,00 EUR	
Elektrik Bağlantısı	7			2.520.000,00 EUR	
Şebeke Bağlantısı	5			1.800.000,00 EUR	
Danışmanlık	1			360.000,00 EUR	
Arazi	3			1.080.000,00 EUR	
Finansal Maliyetler	2			720.000,00 EUR	
Yol Yapımı	1			360.000,00 EUR	

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin 5346 numaralı kanun ile belirtildiği üzere rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesislerince üretilen elektriğin devlet tarafından alım garantisi Watt başına 0.055 Euro cent' dir (Altuntaşoğlu, 2011).

Çizelge 5'deki geri ödeme süresi hesabında işletme maliyeti 0.01 €/kWs olarak alınmıştır (Ertuğrul ve Kurt, 2007). Yapılan hesaplamalar sonucunda türbinleri geri ödeme sürelerinin 6.3 ile 7 yıl arasında değiştiği gözlenmiştir. Geri ödeme oranı %100 olarak hesaba katılmış ve geri ödeme süresi hesaplanırken aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\text{Geri Ödeme Süresi (YIL)} = \frac{\text{Türbin Başına Maliyet}}{\text{Yıllık Gelir} - \text{Yıllık İşletme Maliyeti}}$$

Çizelge 5. Rüzgâr Türbini Tesisi Geri Ödeme Süresi Hesapları (*Payback calculations for wind turbine plant*)

Geri Ödeme Süresi							
Türbin Adı	Toplam Maliyette ki Yüzdesi [%]	Türbin Başına Maliyet [€]	Üretilen Yıllık Enerji [kWh]	Brim Satış Fiyatı [€/kWh]	Yıllık Gelir [€]	İşletme Maliyeti [€/YIL]	Geri Ödeme Süresi [YIL]
Samandağ 1	8,30%	3.000.000,00 EUR	9509000	0,055	522.995,00 EUR	95.090,00 EUR	7,0
Samandağ 2	8,30%	3.000.000,00 EUR	9504000	0,055	522.720,00 EUR	95.040,00 EUR	7,0
Samandağ 3	8,30%	3.000.000,00 EUR	9739000	0,055	535.645,00 EUR	97.390,00 EUR	6,8
Samandağ 4	8,30%	3.000.000,00 EUR	9733000	0,055	535.315,00 EUR	97.330,00 EUR	6,8
Samandağ 5	8,30%	3.000.000,00 EUR	9665000	0,055	531.575,00 EUR	96.650,00 EUR	6,9
Samandağ 6	8,30%	3.000.000,00 EUR	9687000	0,055	532.785,00 EUR	96.870,00 EUR	6,9
Samandağ 7	8,30%	3.000.000,00 EUR	10399000	0,055	571.945,00 EUR	103.990,00 EUR	6,4
Samandağ 8	8,30%	3.000.000,00 EUR	10379000	0,055	570.845,00 EUR	103.790,00 EUR	6,4
Samandağ 9	8,30%	3.000.000,00 EUR	10429000	0,055	573.595,00 EUR	104.290,00 EUR	6,4
Samandağ 10	8,30%	3.000.000,00 EUR	10520000	0,055	578.600,00 EUR	105.200,00 EUR	6,3
Samandağ 11	8,30%	3.000.000,00 EUR	10432000	0,055	573.760,00 EUR	104.320,00 EUR	6,4
Samandağ 12	8,30%	3.000.000,00 EUR	10551000	0,055	580.305,00 EUR	105.510,00 EUR	6,3

SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi kapasitesinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan WAsP programı hakkında bilgi verilmiş ve örnek uygulama olarak Hatay Samandağ'da bulunan Meteoroloji ölçüm istasyonunda ait saatlik periyotlarla ölçülmüş ve kaydedilmiş rüzgâr yönleri ve hız verileri kullanılarak Antakya körfezi için rüzgâr türbini simülasyonu yapılmıştır. Uygulama sonucu olarak rüzgâr türbinine ait olası yıllık enerji üretimi 120546 GW saat olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucu türbinlerin ortalama 6.6 yılda kendini amorti ettiği anlaşılmıştır. Türkiye'deki rüzgâr enerjisi ve diğer yenilenebilir enerjiye yönelik alım teşvikleri arttırıldığı takdirde bu geri ödeme süreleri belli oranda azalma gösterecektir. Yapılan bu çalışma sonucunda bölgenin rüzgâr türbini kurulması açısından hem rüzgâr potansiyeli hem de kurulum alanı bakımından uygun olduğu görülmüştür.

Türkiye, gerek konumu gerek coğrafi yapısı ile rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi yapan tesislerin tatbiki için uygun durumdadır. Özellikle Hatay ilinin güney batısı yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu bölge haricinde kalan diğer bölgelerde de uygun rüzgâr enerjisi potansiyeli mevcuttur. Bu potansiyelden fayda sağlanabilmesi, gerekli fizibilite çalışmalarının yapılmasına ve devlet teşviklerinin arttırılmasına bağlıdır.

Bu çalışmanın deniz üstü rüzgâr enerjisi üretimine bir örnek olarak Antakya körfezinde gerçekleştirilen fizibilite çalışmasının bu alanda yapılacak yatırımlara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altuntaşoğlu, Z.T., 2011. "Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi, Mevcut Durum, Sorunlar", Mühendis ve Makina Cilt: 52 Sayı: 617, s. 56-63
- Deaves, D.M., Lines, I.G., 1997, "On the Fitting of Low Mean Wind Speed Data to the Weibull Distribution", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 66, No. 3, pp. 169-178.
- EPDK, 2015. <http://lisans.epdk.org.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml> Alındığı Tarih :11.04.2015
- Ertuğrul Ö.F., Kurt M.F., "Yenilenebilir enerji kaynakları maliyet analizi ve sürdürülebilirlik uygulamaları", V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, 37-41, 19-21 Haziran 2009.
- EÜAŞ, 2013. Elektrik Üretim Sektör Raporu, Elektrik Üretim Anonim Şirketi
- EWEA, 2014. The European Offshore Wind Industry Key Trends and Statistics 2014, European Wind Energy Association. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-European-Offshore-Statistics-2014.pdf>
- EWEA, 2015. Wind Energy The Facts An Analysis of Wind Energy in the EU-25s <http://www.ewea.org>
- Genç, A., Murat, E., Pekgör, A., Oturanc, G., Hepbaşlı, A., Ülgen, K., 2005, "Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution", Energy Sources, Vol. 27, No. 9, pp. 809-822.
- Global Mapper, 2015. <http://www.globalmapper.com>
- GWEO, 2014. Global Wind Energy Outlook, 2014. http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014_WEB.pdf
- Malhotra, S., 2010. "Design and Construction Considerations for Offshore Wind Turbine Foundations" New York Issue No. 65, Volume XXII PB Network. http://www.pbworld.com/pdfs/publications/pb_network/pbnetwork65.pdf
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers, A.L., 2002. "Wind Energy Explained- Theory, Design and Application", John Wiley & Sons Ltd University of Massachusetts, Amherst, USA.
- Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı <http://www.shodb.gov.tr>
- TUMAS, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü Veri Alma Servisi <http://www.tumas.mgm.gov.tr>
- Vestas Vestas Wing Energy, 2015 <http://www.vestas.com>
- WAsP, 2015. "Wind Atlas Analysis and Application Program" <http://www.WAsP.dk>
- WWEA, 2014. "World Wind Energy Half-Year Report 2014", World Wind Energy Association. http://www.wwindea.org/webimages/WWEA_half_year_report_2014.pdf