

SAMSUN ONDOKUZ MAYIS İLÇESİ RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa KESKİN¹

Ondokuz Mayıs Üniversitesi /Yenilenebilir Enerji
ve Uygulamaları A.B.D., Samsun

Gökhan AHMET²

Samsun Üniversitesi/Havacılık ve Uzay
Bilimleri Fakültesi, Samsun

ÖZET

Bu çalışmada düşük rüzgar hızlarında kullanılabilecek uygun bir türbin seçerek küçük ve orta ölçekli kullanım alanları için mikro düzeyde bir rüzgar santrali yapılabilirliği ve oluşturulan santralin fizibilite değerlendirmesi hedeflenmektedir. Genel görüşün aksine ortalama rüzgar hızlarının çok yüksek olmadığı bölgelerde de rüzgardan kısmi olarak ihtiyacı karşılayabilecek miktarda enerji üretilebilirliği araştırılacaktır. Seçilen coğrafya için gözlem verileri geçmiş 33 yıl için saatlik olarak hayali ölçüm direklerinde meteorolojik tahmin üreten bir firmadan temin edilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği yöntemi kullanılarak, seçilen coğrafya üzerinde farklı türbin modelleri için yıllık enerji üretimini hesaplayan Windsim programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek seçilen türbinlerin ve belirlenen arazilerin enerji kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji ihtiyacını karşılamak ve dışa bağımlılığı azaltmak için enerji yatırımlarına ciddi önem veren ülkemizde yenilenebilir enerjiye, özellikle güneş ve rüzgar enerjisine duyulan ilgi giderek artmaktadır. Ayrıca karbon temelli yakıtların enerji üretimi için kullanımının küresel iklim değişikliğine olan etkilerinden ötürü, her geçen yıl alternatif enerji üretimi arayışları ve mevcut yöntemlerin kullanımı önemini artırmaktadır.

Rüzgar enerjisi fosil yakıtlara dayalı enerji üretimlerine kıyasla son derece çevre dostudur. Temel olarak güneşin gezegenimiz üstündeki ısı etkileri ve dünyanın dönüşünden kaynaklanan rüzgarın, karbon temelli yakıtlar gibi tükenme riski bulunmamaktadır.

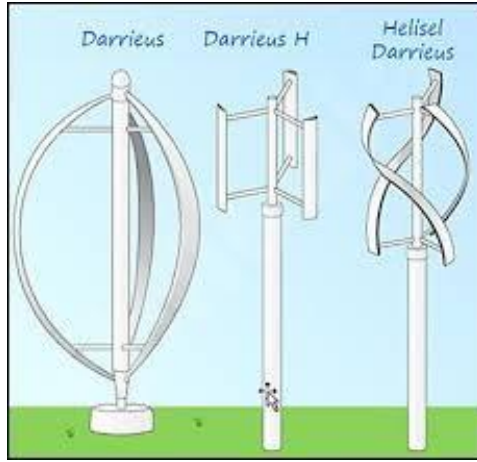
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının sunduğu verilerle göre [<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, 09.03.2018, 20:10] ülkemizde üretilen toplam elektrik üretiminin %34 'ü doğal gazdan, %31'i kömürden, %24'ü hidrolik enerjiden, %6'sı rüzgardan, %2'si jeotermal enerjiden ve %3'ü diğer kaynaklardan elde edilmektedir. Doğalgaz ve kömürün büyük bir kısmının ithal edildiği düşünülürse, karbon temelli bu yakıtların hem çevreye hem de ülke ekonomisine büyük bir yük getirdiği sonucuna varılabilir.

Düşük rüzgar hızlarının olduğu sahalarda standart yatay eksenli türbinler yerine iyileştirilmiş [<http://www.windtronics.eu.com/wp-content/uploads/International-Catalog.pdf>, 16.03.2018, 14:30] BTPS 6500 tipi türbinler gibi düşük hızlarda enerji üretebilen veya enerji üretimine daha düşük hızlarda başlayabilen düşey eksenli savonious, darrieus yada bu ikisinin hibritlenmesi ile üretilen türbinler tercih edilmektedir. Diğer yandan farklı yaklaşımlarla enerji üretmeyi hedefleyen firmaların

¹ Makine Müh., keskin.mustafa.5591@gmail.com

² Dr. Öğretim Üyesi, Uçak ve Uzay Müh. Böl., gokhanahmet@omu.edu.tr

sunduğu ilgi çeken çözümler de bulunmaktadır. Wind Tree [<http://newworldwind.com/wind-tree/> 12.03.2018 22:20] gibi tasarımların estetik bir görünüme sahip olmasının yanında ve enerji ihtiyacını da belli ölçüde karşılayabilmesi hedeflemektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. (a) Darrieus türbin [Elibüyük U., Üçgül İ., 2014], (b) savonius türbin [http://www.hopefulenergy.com/products_detail/productId=44.html, 03.07.2018, 22:30], (c) yatay eksenli türbin [<https://enerjiteknolojileri.wordpress.com/2015/04/16/ruzgar-enerjisi/>, 24.07.2018, 20:30]



(a)

(b)

Şekil 2. (a) Wind tree [<http://www.goodshomedesign.com/artificial-wind-tree-uses-micro-turbine-leaves-to-generate-electricity/>, 19.06.2018, 23:08], (b) BTPS 6500 [<http://www.windtronics.eu.com/wp-content/uploads/International-Catalog.pdf>, 16.03.2018, 14:30]

Kılıç ve Çay [2011] çalışmalarında yapmış oldukları savonius tip türbini deneysel yöntemlerle test etmiştir. Düşük ve orta dereceli rüzgar hızlarına sahip konumlar için umut veren sonuçlar olarak, 2,5 m/s ve 4,5 m/s hızlar için 25W ile 102W arasında enerji üretim potansiyelleri elde etmişlerdir. [Kılıç F., Çay Y., 2011]

Atılğan ve Dede Altan, çalışmalarında savonius türbininin performans geliştirilmesi ve karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmalarında savonius tip türbinlerinin dış kısmına yapılacak rüzgar toplayıcı geliştirmeler ile veriminin artırıldığı ve düşük rüzgar hızlarında olumlu sonuçlar elde edildiği ve fayda sağlanacağı sonucuna varmışlardır. [Atılğan M., Dede Altan B.]

Şener [1995] yaptığı çalışmada Gelibolu modeli adında dikey türbinin performans artırımı için geliştirmeler yapmış, sabit kanatçıklarla rüzgarı yönlendirmenin performans artışı sağladığını göstermişlerdir.[Şener A.Y., 1995]

Akour , Al-Heymari , Ahmed ve Khalil [2017] çalışmalarında Birleşik Arap Emirlikleri gibi düşük rüzgar hızlarına sahip araziler için bir rüzgar kanat profili tasarımı yapmışlardır. Tasarladıkları türbinin gerçek ortamda test edip sonuçlarını değerlendirerek ticari olan türbinler ile karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda geliştirdikleri türbinin piyasayla rekabet edebilecek düzeyde olduğunu açıklamışlardır.[Akour S.N., Al-Heymari M., Ahmed T. ve Khalil K.A., 2017]

Erikson , Bernolf ve Leijon [2006] çalışmalarında yatay eksenli türbin ile dikey eksenli iki türbini - darrieus ve h rotor çeşidini- karşılaştırarak incelemişlerdir. Sonuç olarak h rotorların darrieus türbinlerinden daha avantajlı olduğu sonucunu ulaşımlardır. H rotorlu türbinlerde yapılacak iyileştirmelerle yeni araştırma önerileri getirmişlerdir.[Erikson S., Bernolf H. ve Leijon M., 2006]

Barista , Melicio , Mendes , Calderon ve Ramiro [2015] çalışmalarında darrieus türbin için kanat geliştirilmesi ve sistem iyileştirmesi yapmayı amaçlamışlardır. Sonuç olarak yapmış oldukları iyileştirmeler ve tasarımlarla geliştirdikleri türbini 1.25 m/s hızlarda ekstra parçalara ihtiyaç duymadan çalıştırmayı başarmış ve 25 m/s için stabil davranışlı sonuçlar elde etmişlerdir.[Barista N.C., Melicio R., Mendes M.V.F., Calderon M. ve Ramiro A., 2015]

Douaka , Aouachriab , Rabehic ve Allamb [2018] çalışmalarında düşük hızlarda çalışmaya başlayan bir darrieus türbinin optimizasyonunu yaparak, kendi kendine harekete geçebilecek bir sistem olmasını amaçlamışlardır. Çalışmalarının sonucunda düşük hızlarda türbinin hareketini sağlayabilmişlerdir. Ayrıca kanat profili ile ilgili performans geliştirici önerilerde bulunmuşlardır.[Douaka M., Aouachriab Z., Rabehic R. ve Allamb N., 2018]

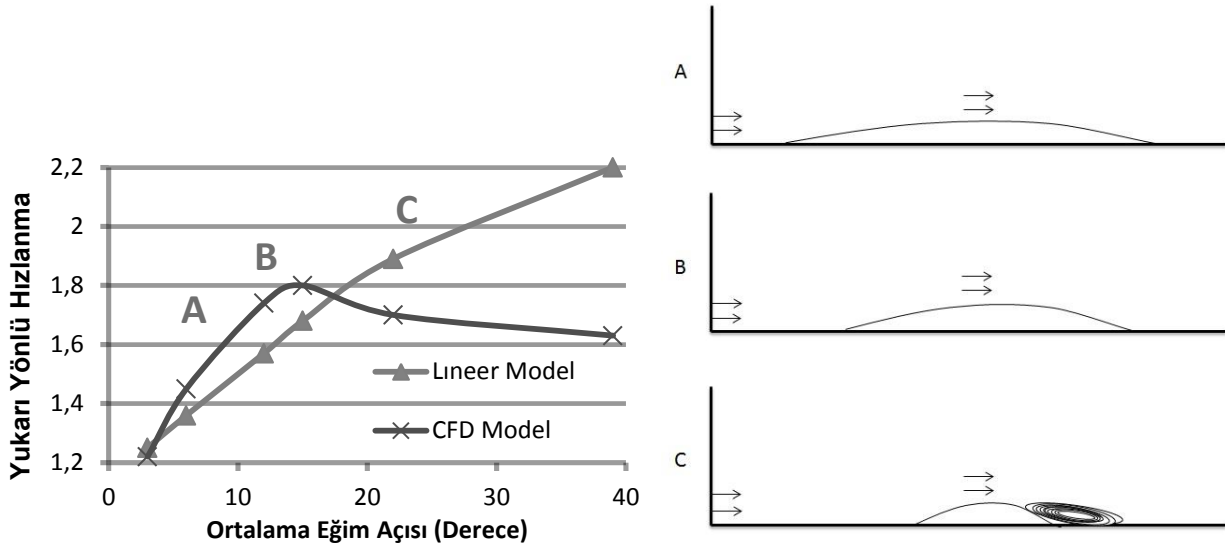
Doğru türbin seçimi ve doğru konumlandırma ile kurulacak küçük ölçekli bir rüzgar çiftliği için; temin edilen geriye dönük anlık rüzgar verileri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümlerinde kullanılacak, üretilebilecek yıllık enerji miktarı hakkında öngörüye sahip olunacaktır. Bu veriler ile ilgili sahaya küçük ölçekli bir rüzgar çiftliğinin kurulabilmesi tartışılabilir. Böylece büyük ölçekli türbinlerin kullanıldığı rüzgar enerjisi bakımından yüksek potansiyele sahip arazilerin dışında kalan bölgelerde de rüzgar gücünün kullanılabilirliği araştırılacak, elde edilecek enerjinin, ihtiyacı hangi ölçüde karşılayabileceği değerlendirilecektir.

YÖNTEM

Çalışmada temel hesaplamaların yürütüldüğü Windsim yazılımı, sınırları belirlenen bir alan için, hesaplamalı akışkanlar mekaniği yöntemlerini kullanarak üç boyutlu akış hesabı yapan bir rüzgar analizi programıdır. Bu tür programlar rüzgar çiftliği enerji üretimini optimize etmek ve türbinlere gelebilecek yükleri makul seviyede tutmak için kullanılır. Bununla beraber türbinlerin doğru konumlandırılması ve böylelikle yüksek verimlilikte çalışan çiftlik oluşturulmasında kolaylık sağlamaktadır. Yapılan tüm çalışmalar nümerik olarak modellenmiş arazi ve sayısal verilere bağlı iklim verilerinin birleşmesi ile gerçekleştirilir. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği yöntemi kullanması sebebiyle engebeli arazilerde oldukça başarılı sonuçlar elde edilebilir.

Rüzgar hareketlerinin analizinde lineer yöntemler kullanılabildiği gibi, özellikle karmaşık arazilerde hesaplamalı akışkanlar yöntemleri de kullanılabilmektedir. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği uygulamalarının bir çoğunda akışkanların temel hareketleri Navier-Stokes denklemleri kullanarak açıklanmaktadır. Şekil 2. de görüldüğü gibi lineer model tepe üstünde akış hızının giderek arttığını göstermekte iken CFD çözümlerinde 20° 'yi aşan eğimlerde (Şekil 2-C) akış ayrılması nedeniyle rüzgar hızının yatay bileşeninde azalmaların olabileceği ve kayıpların yaşanabileceği görülebilmektedir. Reynolds Average Navier- Stokes denkleminde (RANS) türbülans terimleri için

akışa uygun türbülans modelleri kullanılmaktadır. Windsim'in[Windsim Getting Started user guide] temel işleyiş şekli altı başlık altında incelenebilir. Bunlar arazi, rüzgar sahası, nesneler, sonuç, rüzgar kaynağı ve enerji olarak sıralanabilir



Şekil 2. CFD ile Doğrusal Modelin Yukarı Akış Hızı Karşılaştırması [Windsim Getting Started user guide]

Çalışmada ilk olarak enlem, boylam, yükseklik ve yüzey bilgilerini içeren topografya verisi, UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonuna çevrilerek üzerinde yapıları ızgaralar oluşturulmuştur.

Topoğrafya üzerinde çayır, orman, deniz ya da yerleşim yeri gibi yüzeyi tanımlayan bilgiler (Land Cover) yüzey pürüzlülük katsayısı kullanılarak tanımlanabilmektedir. Çalışmada yüzey pürüzlülük katsayıları ilgili koordinatlar için uluslararası veri tabanından temin edilerek yazılıma yüklenmesi ile oluşturulmuştur.

Arazi yapısı fazlasıyla engebeli ve aşırı şekilde iniş çıkışlı olduğunda hesap kolaylığı açısından ızgara yumuşatma yapılabilir fakat bu da arazinin bölgesel olarak yüksekliğinde değişikliklere sebep verebilmektedir.[Windsim Getting Started user guide] Bu sebeple seçilen arazinin aşırı engebeli olmaması nedeniyle yumuşatma yapılmamıştır.

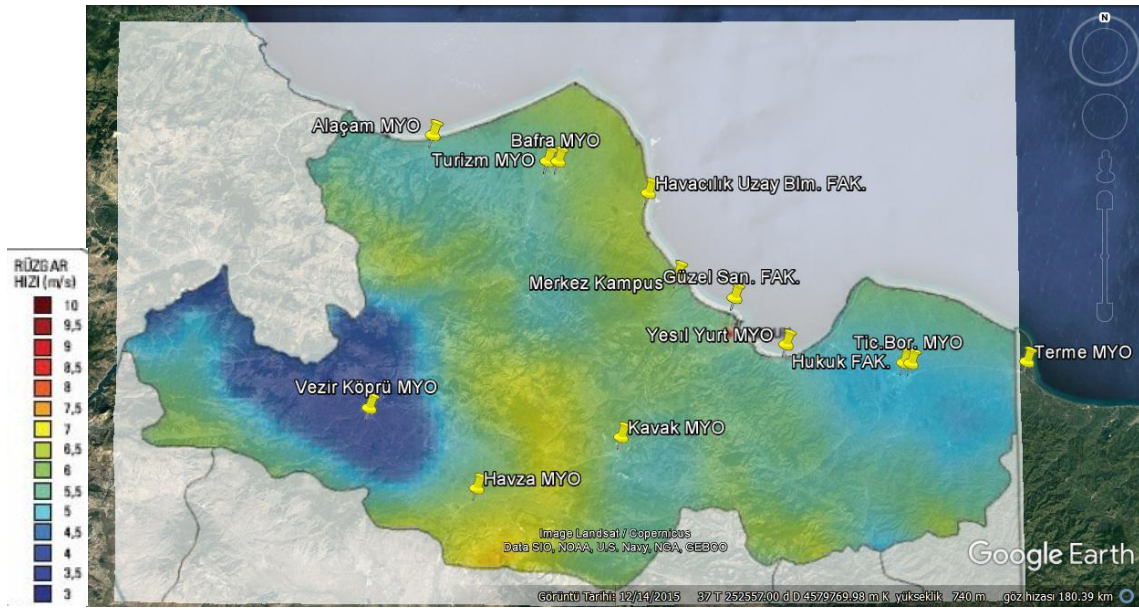
İlgili programda ızgaralara bölünen alan rüzgar simülasyonu için hazırlanıp ve rüzgar alanı Reynolds Ortalama Navier-Stokes denklemlerini (RANS) kullanılarak çözülmüştür. Türbülans modeli olarak standart k-ε modeli kullanılmıştır. Çözülen denklemler doğrusal olmadığı için iteratif olarak nümerik çözümleme yapılmıştır.[Windsim Getting Started user guide]

Rüzgar hesaplaması için sınır şartlar, çözüm alanını sektörlere bölerek tayin edilir. Sıfır dereceden başlayıp 330 derecede toplamda 12 parçaya bölerek rüzgar estiği varsayılır ve bu şartlara göre farklı sektör çözümleri oluşturulur. Yapılan çözümlemeler belirlenen doğruluğa yakınsadığında iteratif çözüm tamamlanmış olur.

Sonraki aşamada ölçüm direğinden alınan veriler simülasyona dahil edilir ve varsayıma dayalı sınır koşulları için elde edilen akış alanları ile ölçüm direğinden alınan veriler birbiri ile korele edilir. Tek bir noktadan temin edilen gözlem verisi kullanılarak elde edilen tüm sahanın rüzgar verileri incelenir ve türbinlerin nereye yerleştirileceği araştırılır. Çözümü yapılan alan için enerji miktarı, iki boyutlu hız haritası oluşturulur. Böylece seçilen arazi için olası elektrik üretiminde tahminde bulunulabilir.[Windsim Getting Started user guide]

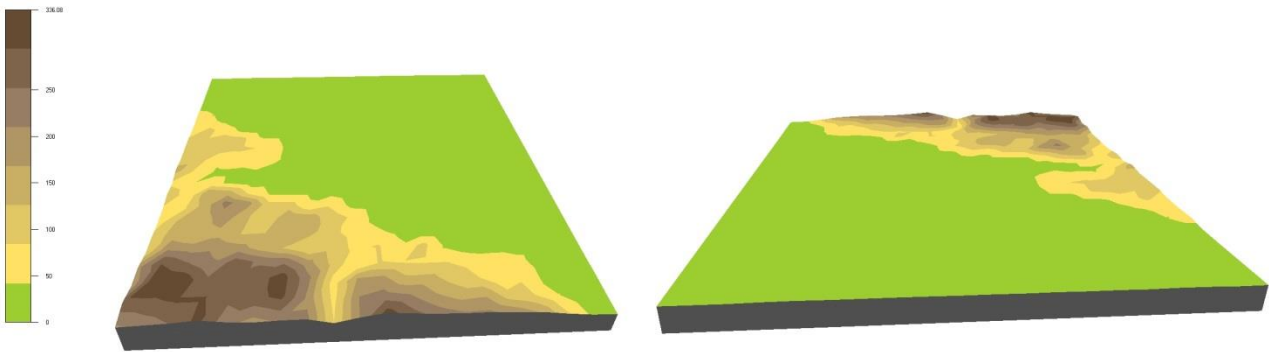
UYGULAMALAR

Çalışmada öncelikle YEGM'nün (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Eski Adı EİE Elektrik İşleri Etüd İdaresi) sunduğu REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası) [http://www.eie.gov.tr/yekrepa/repa-duyuru_01.html, 27.11.2017, 16:15] dan elde edilen veriler kullanarak harita üzerinde il ve ilçe bazında rüzgar potansiyelleri hakkında genel bir fikir edinilmiştir. Şekil 3.'de Samsun ilinin 50 metre yükseklikte ortalama rüzgar hızları genel hatlarıyla incelendiğinde büyük ölçekli rüzgar santrali kurulumuna uygun alanların sınırlı olduğu görülmektedir. Samsun ilinde en verimli bölgenin 7,5 m/s ile hali hazırda santrallerin bulunduğu Havza yöresidir. Çalışmada odaklanılması planlanan Havacılık ve Uzak Bilimleri fakültesinin bulunduğu Ondokuz Mayıs ilçesi için 50 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızının 6,5-7 m/s civarında olduğu görülmektedir. Bu bilgiler ışığında rüzgar potansiyeli belirlenmesi için konumu ve ulaşımı itibari ile Havacılık ve Uzak Bilimleri Fakültesinin bulunduğu araziye yoğunlaşmıştır.



Şekil 3. REPA Samsun 50m Yükseklikte Ortalama Rüzgar Hızı Haritası

REPA ile ön bilgi elde edilen Ondokuz Mayıs ilçesi için topografya verileri USGS (U.S. Geological Survey) veritabanı kullanılarak ASTER GDEM (the product of NASA and METI)[<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>, 10.03.2018, 23:10] veri setinden temin edilmiştir. Yüzey pürüzlülük verileri ise CORINE [<https://land.copernicus.eu/pan-european/satellite-derived-products>, 10.03.2018, 23:30] veri setinden alınmıştır. Elde edilen topoğrafya ve pürüzlülük verisi kullanılarak Şekil 4'teki gibi çözüm alanı oluşturulmuştur.



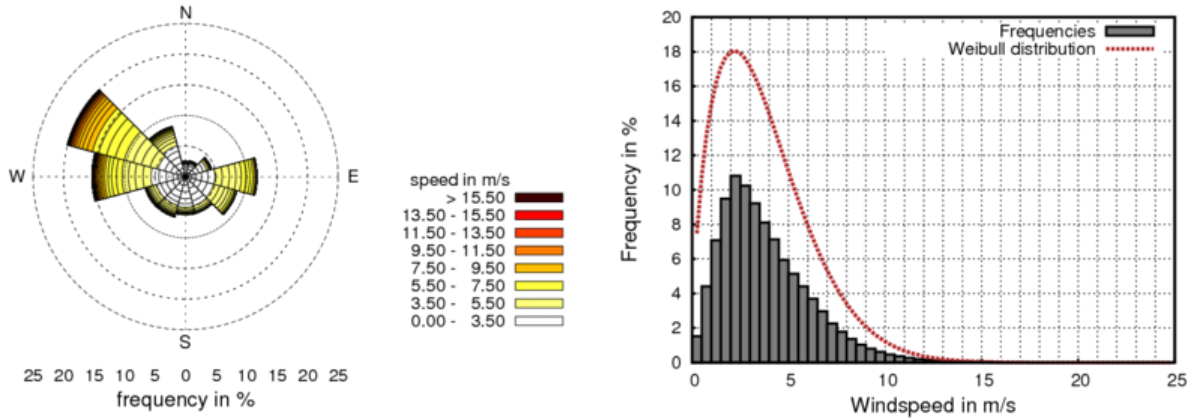
Şekil 4. Örnek Çözüm Alanı Yükseltisi

Seçilen bölge yakınında uzun süreli rüzgar gözlem verisi temin edilemediği için geçmişe dönük meteorolojik tahminlere dayalı hayali ölçüm direği verisi kullanılmıştır. Meteoroloji ve rüzgar enerjisi sektörüne hizmet veren çeşitli ticari firmalarla irtibata geçilerek, odaklanılan araziye ait geriye dönük 33 yıllık rüzgar verisi temin edilmiştir. Veriler 10m ve 80m yükseklikde türetilmiş rüzgar verileridir. Klimatoloji verileri rüzgar hızı frekanslarına göre rüzgar gülü çıkarılmış ve weibul eğrisi ile ifade edilmiştir.

İklim bilgisi-1 (10m yükseklikte)

Period, # kayıt	31.12.1984 21:00 - 21.12.2017 21:00	289032	
Konum: doğu, kuzey, z (yükseklik)	259651.7	4599379.5	10.0
Ortalama rüzgar hızı, Weibull k, A	3.83	1.57	4.18

Tablo 1. Ortalama rüzgar hızı (m / s), Weibull şekli (k) ve ölçek (A) parametreleri

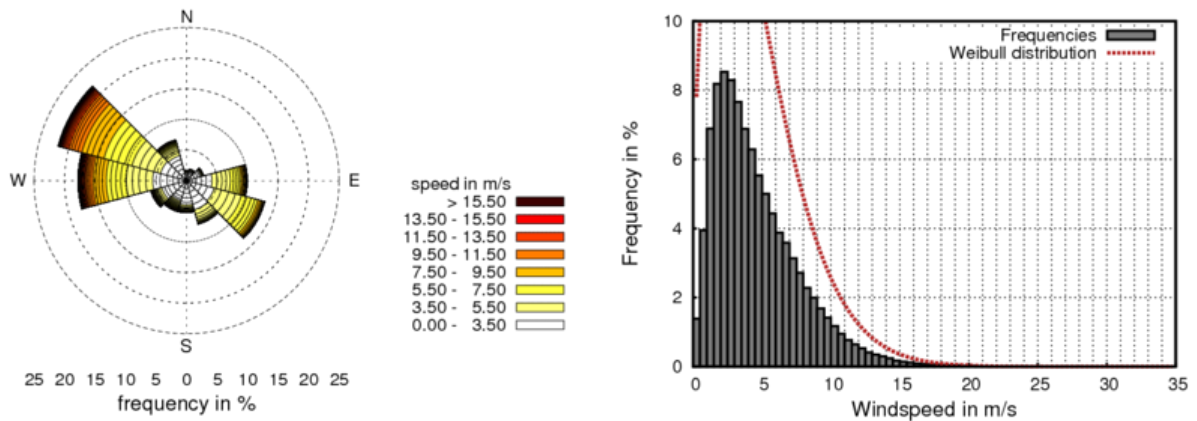


Şekil 5. Weibull dağılımı (sağ) ile rüzgar gülü (solda) ve frekans dağılımı

İklim bilgisi-2 (80m yükseklikte)

Period, # kayıt	31.12.1984 21:00 - 21.12.2017 21:00	289032	
Konum: doğu, kuzey, z (yükseklik)	259651.7	4599379.5	80.0
Ortalama rüzgar hızı, Weibull k, A	4.59	1.43	4.97

Tablo 2. Ortalama rüzgar hızı (m / s), Weibull şekli (k) ve ölçek (A) parametreleri

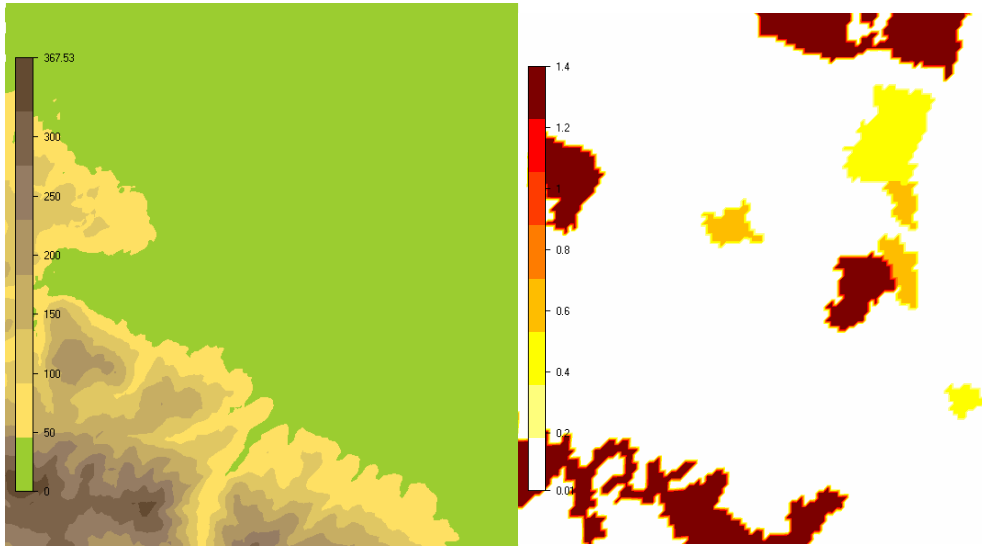


Şekil 6. Weibull dağılımı (sağ) ile rüzgar gülü (solda) ve frekans dağılımı

Şekil 5 ve şekil 6 da rüzgar yönleri batı ve kuzey batı yönlü olduğu görülmüş ve bu bilgi kullanılarak türbin konumlandırılması yapılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2 de yıllık ortalama rüzgar karakteristiği sunulmuştur. Verilen klimatoloji verileri Tablo 3 te sınırları ve topografya detayları belirlenen alan için çözüme hazır hale getirilmiştir.

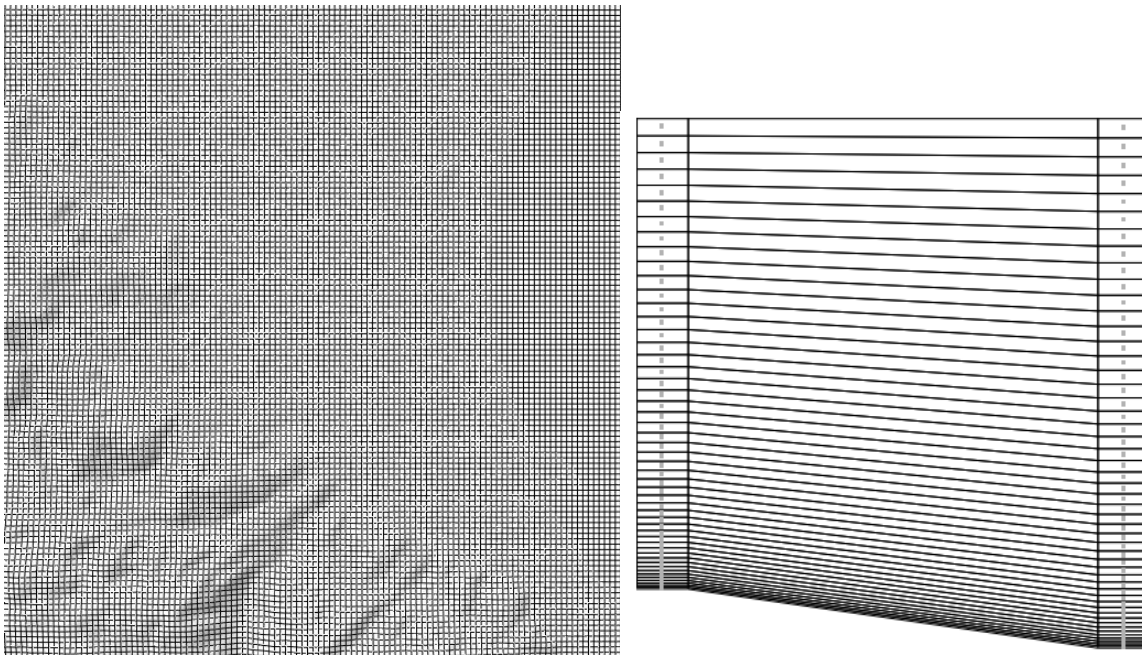
	Min (m)	Max (m)	Uzunluk (m)	Arazi verilerinin çözünürlüğü (m)
Doğu (m)	252340.0	261460.0	9120.0	20.0
Kuzey (m)	4592190.0	4601870.0	9680.0	20.0

Tablo 3. UTM Koordinatlarında çözüm alanı ve veri çözünürlüğü (Bölge:37 Veri:ED50)



Şekil 7. Arazi yüksekliği (m) (solda) ve pürüzlülük (m) (sağda)

Sahadaki karmaşıklık, yükseklik ve pürüzlülükteki değişikliklere bağlıdır. Şekil 7’de arazinin yükselti ve pürüzlülük görseli mevcuttur. Bu veriler kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu akış alanı, değişken dikey ve yatay çözünürlüğe sahip ızgaralara bölünerek Şekil 8’de sunulan çözüm ağı oluşturulmuştur.



Şekil 8. Yatay ızgara çözünürlüğü (solda) ve dikey ızgara çözünürlüğünün şematik görünümü (sağda)

	Doğu	Kuzey	Z(yükseklik)	Toplam
Izgara aralığı (m)	80.0- 80.0	80.0- 80.0	Variable	-
Hücre sayısı	114	121	50	689700

Tablo 4. Izgara aralığı ve hücre sayısı

Tablo 4.'te Izgara aralığı ve kullanılan hücre sayısı verilmiştir. Çözüm ağı 2932 (m) yüksekliğe uzanır ve Şekil 8.'deki gibi zemine doğru sıklaştırılır. Verilen aralıklar hücre merkezleri arasındaki mesafe olarak sunulmuştur.

Oluşturulan ağ Reynolds Ortalama Navier - Stokes denklemlerinin standart k- ϵ türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür. Her 30 derecelik sektör, 3 boyutlu rüzgar dağılımlarına sahip olmak amacıyla toplam 12 simülasyonda çözülmüştür. Her bir sektör için yapılan çözümleme zamanı ve yineleme sayısı Tablo 5'de verilmiştir.

Sektör	Simülasyon zamanı	İterasyon	Sektör	Simülasyon zamanı	İterasyon
0	01:09:37	505	180	03:13:43	1500
30	00:30:05	216	210	01:06:42	504
60	00:19:44	130	240	01:02:52	504
90	00:27:24	183	270	01:06:27	504
120	01:06:03	504	300	00:18:15	112
150	01:06:15	504	330	00:19:50	125

Tablo 5.Simülasyon zamanı ve iterasyon sayıları

Yapılan çözümlemeler 10^{-3} kriterine yakınsatılmış ve seçilen türbin modelleri programa tanıtılarak çözüme devam edilmiştir. Türbin konumları belirlenirken hakim rüzgar yönüne dik gelecek şekilde arazi şartlarına göre seçilmiş ve beş türbinlik hayali bir rüzgar çiftliği kurulmuştur.



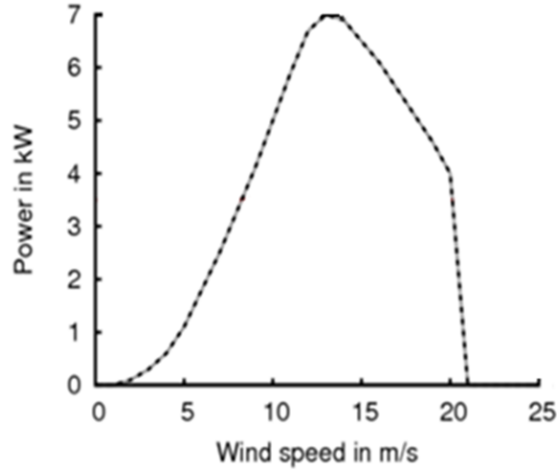
Şekil 9.Türbin Konumları

Şekil 9’da görünen konumlara yerleştirilen türbinler arası mesafe itki kaybına neden olmaması için için 5xD (D= türbin çapı) esas alınarak yerleştirilmiştir. Farklı türbin modelleri kullanılarak yıllık enerji üretim miktarları karşılaştırılmıştır. 1 numaralı türbin karakteristiği ve güç verileri Tablo 6’ da ve Tablo 7’de verilmiştir.

Türbin Tipi	T1-5KW
Anma rüzgar hızı (m/s)	10
Başlangıç rüzgar hızı (m/s)	3
Durma rüzgar hızı (m/s)	25
Kanat çapı (m)	6.00
Hava yoğunluğu (kg/m3)	1.222

Tablo 6. Türbin 1 özellikleri

Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)	Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)
0.00	0.00	13.00	7.00
1.00	0.00	14.00	6.90
2.00	0.10	15.00	6.50
3.00	0.30	16.00	6.10
4.00	0.60	17.00	5.60
5.00	1.10	18.00	5.10
6.00	1.80	19.00	4.60
7.00	2.50	20.00	4.00
8.00	3.30	21.00	0.00
9.00	4.10	22.00	0.00
10.00	5.00	23.00	0.00
11.00	5.90	24.00	0.00
12.00	6.70	25.00	0.00



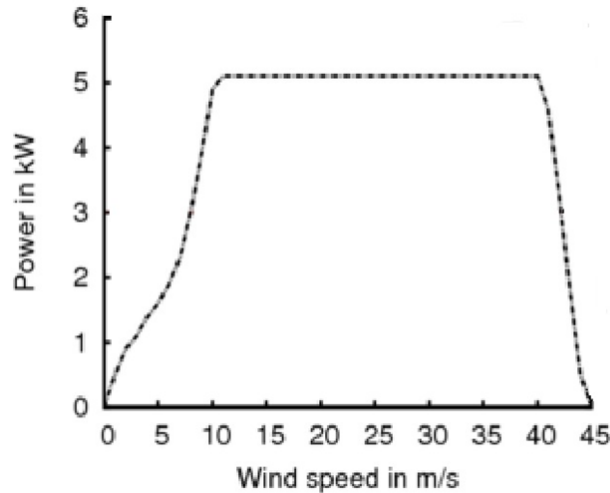
Tablo 7. Türbin 1 rüzgar hızlarına göre güç tablosu ve grafiği

Tablo 8 ve Tablo’9 da 2 numaralı türbinin karakteristiği ve güç eğrisi görülmektedir.

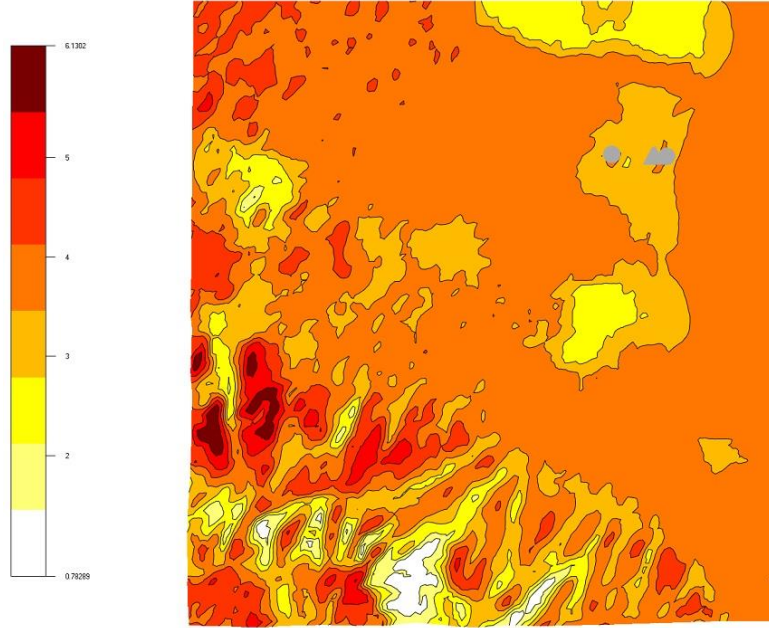
Türbin Tipi	T2-5KW
Anma rüzgar hızı (m/s)	10
Başlangıç rüzgar hızı (m/s)	2
Durma rüzgar hızı (m/s)	45
Kanat çapı (m)	5.00
Hava yoğunluğu (kg/m3)	1.225

Tablo 8. Türbin 2 özellikleri

Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)	Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)
0.00	0.00	13.00	5.10
1.00	0.50	14.00	5.10
2.00	0.90	15.00	5.10
3.00	1.10	16.00	5.10
4.00	1.40	17.00	5.10
5.00	1.60	18.00	5.10
6.00	1.90	19.00	5.10
7.00	2.30	20.00	5.10
8.00	3.00	21.00	5.10
9.00	3.90	22.00	5.10
10.00	4.90	23.00	5.10
11.00	5.10	24.00	5.10
12.00	5.10	25.00	5.10



Tablo 9. Türbin 2 rüzgar hızlarına göre güç tablosu ve grafiği



Şekil 11. Bölgenin 12m yükseklikteki rüzgar hızı potansiyeli

Arazinin rüzgar potansiyeli Şekil 11'de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak türbinlerin konum güç ve yıllık toplam güç değerleri Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

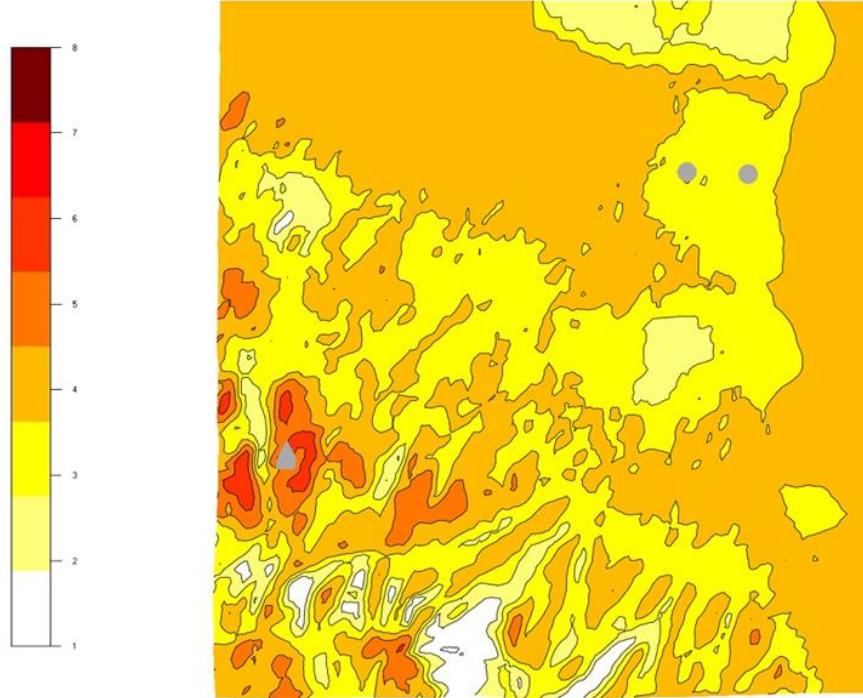
Türbin İsmi	Türbin Tipi	Doğu	Kuzey	Hub yüksekliği	Türbin Kapasitesi (KW)	Hava yoğunluğu (kg/m3)	Toplam yıllık enerji potansiyeli (MWh/y)	Tam çalışılan saat (hours)	Kapasite Faktörü (%)
Türbin 1	T1-5KW	259422	4599381	12.0	5.0	1.222	5.0	1100.000	
Türbin 2	T1-5KW	259434	4599389	12.0	5.0	1.222	5.0	1100.000	
Türbin 3	T1-5KW	259448	4599397	12.0	5.0	1.222	5.0	1100.000	
Türbin 4	T1-5KW	259462	4599405	12.0	5.0	1.222	5.0	1100.000	
Türbin 5	T1-5KW	259475	4599412	12.0	5.0	1.222	5.0	1100.000	
Toplam					25.0		25.0		12.6

Tablo 10. Türbin 1 kullanılması durumunda elde edilen enerji miktarı tahmini

Türbin İsmi	Türbin Tipi	Doğu	Kuzey	Hub yüksekliği	Türbin Kapasitesi (KW)	Hava yoğunluğu (kg/m3)	Toplam yıllık enerji potansiyeli (MWh/y)	Tam çalışılan saat (hours)	Kapasite Faktörü (%)
Türbin 1	T2-5KW	259422	4599381	12.0	5.0	1.222	9.0	1820.000	
Türbin 2	T2-5KW	259434	4599389	12.0	5.0	1.222	9.0	1820.000	
Türbin 3	T2-5KW	259448	4599397	12.0	5.0	1.222	9.0	1820.000	
Türbin 4	T2-5KW	259462	4599405	12.0	5.0	1.222	9.0	1820.000	
Türbin 5	T2-5KW	259475	4599412	12.0	5.0	1.222	9.0	1820.000	
Toplam					25.0		45.0		20.8

Tablo 11. Türbin 2 kullanılması durumunda elde edilen enerji miktarı tahmini

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Türbin 1 yerine Türbin 2'nin kullanılmasına karar verilmiştir. Türbin 2 için daha yüksek rüzgar potansiyeline sahip alanlar araştırılmış en yüksek 2 bölge seçilerek bu bölgelerde kurulabilecek 9 türbinlik bir rüzgar çiftliği için enerji üretim tahminleri yapılmıştır. Şekil 12'de seçilen birinci bölgede Türbin 2 kullanılarak kurulabilecek bir çiftliğin yerleşimi sunulmuştur.

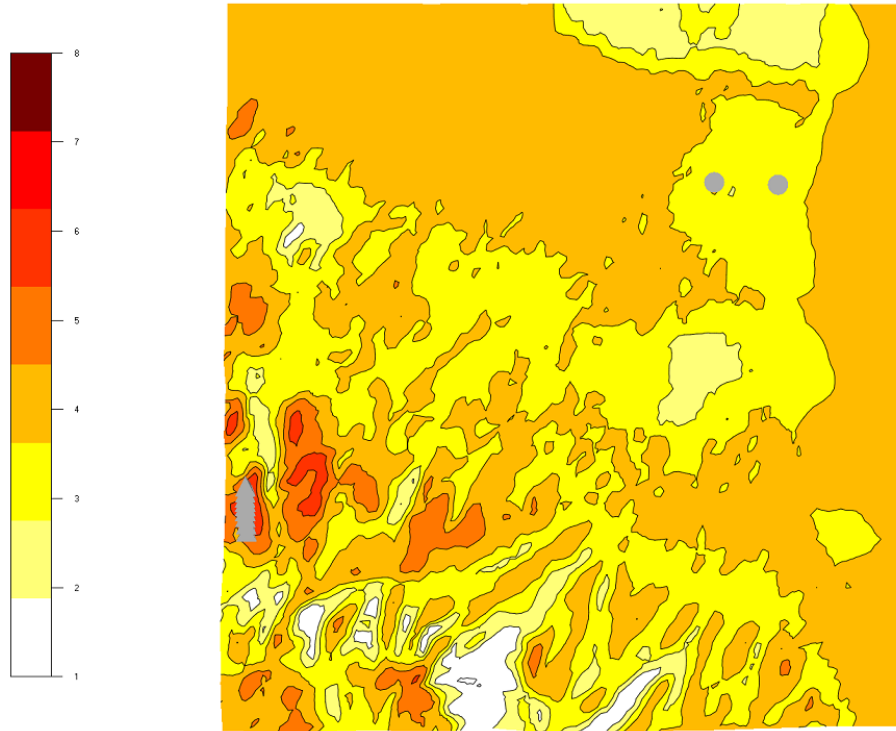


Şekil 12 . Birinci bölge yerleşimi

Türbin İsmi	Türbin Tipi	Doğu	Kuzey	Hub yüksekliği	Türbin Kapasitesi (KW))	Hava yoğunluğu (kg/m3)	Toplam yıllık enerji potansiyeli (MWh/y)	Tam çalışılan saat (hours)	Kapasite Faktörü (%)
Türbin 1	T2-5KW	253415	4595558	12	5.0	1.199	17.0	3440.000	
Türbin 2	T2-5KW	253408	4595538	12	5.0	1.199	17.0	3400.000	
Türbin 3	T2-5KW	253402	4595521	12	5.0	1.199	17.0	3360.000	
Türbin 4	T2-5KW	253415	4595579	12	5.0	1.199	18.0	3500.000	
Türbin 5	T2-5KW	253416	4595592	12	5.0	1.199	18.0	3520.000	
Türbin 6	T2-5KW	253418	4595607	12	5.0	1.199	18.0	3520.000	
Türbin 7	T2-5KW	253419	4595626	12	5.0	1.199	18.0	3500.000	
Türbin 8	T2-5KW	253419	4595639	12	5.0	1.199	17.0	3480.000	
Türbin 9	T2-5KW	253420	4595649	12	5.0	1.199	17.0	3480.000	
Toplam					45.0		157.0		39.6

Tablo 12. Birinci bölgede türbin 2 için elde edilen tahmini enerji miktarı

Tablo 12'de birinci bölgede kurulabilecek bir rüzgar çiftliği için enerji üretim miktarları sunulmuştur. Çalışmanın başında öngörülen Havacılık ve Uzay bilimleri fakültesi yanına kurulabilecek bir çiftlikle kıyaslandığında bu sahanın daha yüksek bir enerji üretimine sahip olduğu görülmektedir. Oluşturulan potansiyel haritasına bakıldığında dikkat çeken diğer bölge ise 2. Bölge adıyla Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13 . İkinci bölge yerleşimi

Türbin İsmi	Türbin Tipi	Doğu	Kuzey	Hub yüksekliği	Türbin Kapasitesi (KW))	Hava yoğunluğu (kg/m3)	Toplam yıllık enerji potansiyeli (MWh/y)	Tam çalışılan saat (hours)	Kapasite Faktörü (%)
Türbin 1	T2-5KW	252741	4595459	12.0	5.0	1.206	18.0	3660.000	
Türbin 2	T2-5KW	252740	4595384	12.0	5.0	1.205	18.0	3620.000	
Türbin 3	T2-5KW	252738	4595320	12.0	5.0	1.206	18.0	3540.000	
Türbin 4	T2-5KW	252739	4595266	12.0	5.0	1.206	18.0	3520.000	
Türbin 5	T2-5KW	252737	4595210	12.0	5.0	1.207	17.0	3480.000	
Türbin 6	T2-5KW	252738	4595143	12.0	5.0	1.206	17.0	3480.000	
Türbin 7	T2-5KW	252741	4595064	12.0	5.0	1.206	17.0	3420.000	
Türbin 8	T2-5KW	252753	4594975	12.0	5.0	1.205	17.0	3420.000	
Türbin 9	T2-5KW	252760	4594878	12.0	5.0	1.205	17.0	3340.000	
Toplam					45.0		157.0		39.9

Tablo 13. İkinci bölgede türbin 2 için elde edilen tahmini enerji miktarı

Her iki bölgenin Tablo 12 ve Tablo 13 deki değerleri incelendiğinde iki bölge için değerler birbirine ne kadar yakın olsa da ikinci bölgenin enerji üretim potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Elde edilen veriler doğrultusunda Samsun gibi rüzgar enerjisi üretim potansiyeli yüksek olmayan bölgelerde de rüzgar'dan enerji üretilebileceği görülmektedir.

Kampüs alanında düşük kapasite faktörüyle de olsa enerji üretilebilmektedir. Kapasite faktörünün piyasa şartlarında kabul gören[Akkaş A.A., 2001] %20- %35 değeri arasında olmaması nedeniyle Türbin 1 uygun değildir. Bu sebeple olası bir çiftlik için Türbin 2 değerlendirilmelidir.

Havacılık ve Uzay bilimleri Fakültesi yanında seçilen bölge yerine çalışmada iki farklı alternatif bölgenin enerji üretim potansiyelleri araştırılmıştır. Bu bölgeler incelendiğinde 2. Bölgeye, Türbin 2 modeli ile kurulabilecek bir çiftliğin daha yüksek enerji üretebileceği görülmüştür. Ancak 2. Bölge, çözüm alanının sınırına çok yakın olduğu için nümerik sonuçların doğruluğunun sağlanmasının yapılması gerekmektedir.

YAPILACAK ÇALIŞMALAR

Kapasite faktörü %20 'nin altında kalmayarak daha yüksek enerji üretimi yapabilen türbin modelleri araştırılacak, alternatif türbin kullanımıyla yeni çözümler üretilecektir. Birinci ve ikinci bölge olarak tanımlanan rüzgar potansiyeli açısından daha yüksek alanlara yoğunlaşarak benzer bölgeler araştırılacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada ODTÜ-RÜZGEM (Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi) altyapısı ve yazılımları kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan sanal ölçüm direği verisi METEOBLUE “www.meteoblue.com” firmasından temin edilmiştir.

Kaynaklar

Akkaş A.A., 2001, *Rüzgar Enerjisi Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi*, Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, 5 – 7 Nisan, s:75

Şener A.Y., 1995, “*Gelibolu Modeli*”Rüzgar Türbinlerinde Verimlilik Parametrelerinin Arttırılması, TÜBİTAK, MİSAG-7

Kılıç F., Çay Y., 2011, *Helezonik Savonius Türbini İmalatı ve Deneysel Olarak İncelenmesi*, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi , Cilt.8, no:1, s.79-85

<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>, 10.03.2018, 23:10

<https://enerjiteknolojileri.wordpress.com/2015/04/16/ruzgar-enerjisi/>, 24.07.2018, 20:30

<http://newworldwind.com/wind-tree/>, 12.03.2018, 22:20

<https://land.copernicus.eu/pan-european/satellite-derived-products>, 10.03.2018, 23:30

http://www.eie.gov.tr/yekrepa/rep- duyuru_01.html, 27.11.2017, 16:15

<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, 09.03.2018, 20:10

<http://www.goodshomedesign.com/artificial-wind-tree-uses-micro-turbine-leaves-to-generate-electricity/>, 19.06.2018, 23:08

http://www.hopefulenergy.com/products_detail/productId=44.html 03.07.2018 ,22:30

<http://www.windtronics.eu.com/wp-content/uploads/International-Catalog.pdf>, 16.03.2018, 14:30

Atılğan M., Dede Altan B., *Savonius Rüzgar Çarklarının Performansının Geliştirilmesi Ve Karşılaştırılması*, Mühendis ve Makina, Cilt: 45, Sayı: 533.

- Douaka M., Aouachriab Z., Rabehic R. ve Allamb N., 2018 , *Wind Energy Systems: Analysis of The Self-Starting Physics of Vertical Axis Wind Turbine*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science Direct
- Barista N.C., Melicio R., Mendes M.V.F., Calderon M. ve Ramiro A., 2015, *On a Self-start Darrieus Wind Türbine : Blade Design And Field Tests*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science Direct
- Erikson S., Bernolf H., Leijon M., 2006, *Evaluation Of Different Turbine Concepts For Wind Power*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science Direct
- Akour S.N., Al-Heydari M., Ahmed T. ve Khalil K.A., 2017, *Experimental And Theoretical Investigation Of Micro Wind Turbine For Low Wind Speed Regions*, Renewable Energy, Elsevier
- Elibüyük U., Üçgöl İ.,2014, “Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yekarum E-Dergi, Sayı3 ,Cilt 2
- Windsim Getting Started user guide