

RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN UYDU VE YÜZEY VERİLERİNE DAYALI OLARAK BELİRLENMESİ VE ANALİZİ

Onur PAMUK*

Hava Harp Okulu
Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü
onurpamuk_84@hotmail.com

Zafer ASLAN

İstanbul Aydın Üniversitesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
zaferaslan@aydin.edu.tr

Geliş Tarihi: 01 Ağustos 2013, Kabul Tarihi: 31 Ocak 2014

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, gün geçtikçe değeri daha iyi anlaşılan yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin yüzey ve uydu gözlemlerine dayalı olarak saptanması ve analiz edilmesidir. Bu sayede, potansiyel belirleme çalışmalarında kullanılan klasik yöntemlerde gerekli zaman kaybını önlemek ve maliyetin düşürülmesi amacıyla, uydu teknolojilerine dayalı verilerin bu alanda kullanımının verimli olup olmayacağı tartışılmaktadır. Çalışmanın sonucunda, yüzey gözlemlerine halen daha ihtiyaç duyulduğu, ancak uydu verilerinin ön analiz aşamasında faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: yenilenebilir enerji, rüzgar, potansiyel, uydu, Meteosat, uzaktan algılama

DETERMINING AND ANALYZING WIND ENERGY POTENTIAL BASED ON SATELLITE AND GROUND DATA SETS

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to detect and analyze the potential of the wind energy, which is one of the renewable energy sources of which the importance is being understood better day by day, by using ground and satellite observations. Therefore, it is argued if the data acquired based on satellite technologies can be used in this field in order to prevent the time loss and reduce the cost required in classical measuring methods. In the end of the study, it is inferred that ground observations are still needed, however, satellite data may be useful at the pre-analyze stage.

Keywords: renewable energy, wind, potential, satellite, Meteosat, remote sensing

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki fosil yakıtların azalmakta olduğu gerçeği göz önüne alındığında, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimin artması kaçınılmaz bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya nüfusu hızla artarken konveksiyonel enerji kaynaklarındaki azalma ve küresel ekonominin de giderek daralması ile maliyetlerin önemli ölçüde artması, gelişmiş ekonomilere sahip ülkeleri gelecekteki enerji ihtiyaçlarının çoğunluğunu yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak için önemli adımlar atmaya sevk etmiştir.

Rüzgar enerjisinin belirlenmesinde kilit rol oynayan rüzgar şiddeti değerlerinin ölçülmesi, geleneksel olarak anemometreler ile gerçekleştirilmektedir. Rüzgar

atlasları temsil ettikleri bölge içerisindeki ortalama rüzgar şiddetini baz alan ve geniş ölçekte rüzgar dağılımını ortaya koyan grafiksel gösterimlerden oluşmaktadır. Bu ölçümler yerel meteoroloji istasyonlarından, mobil kule gözlemlerinden ve uzaktan algılama yöntemleri ile (LIDAR, SODAR, meteoroloji uyduları vb.) elde edilir. Rüzgar enerji santrali kurmak için bölgenin rüzgar rejimini en iyi şekilde analiz etmek ve verileri değerlendirmek, kurulacak olan rüzgar çiftliğinin etkin ve verimli bir şekilde işlevini devam ettirmesi için hayati önem taşır. Bölgeye en uygun rüzgar türbini seçimi için sadece bölgedeki rüzgarın ortalama şiddetinin dikkate alınması doğru bir yaklaşım değildir. Rüzgar şiddeti dağılımı ortaya konmalı ve rüzgarın hangi şiddet aralığında ne kadar sıklıkla estiği dikkate alınmalıdır.

* Sorumlu Yazar

Rüzgar hareket eden ve yer değiştiren hava kütlelerini ifade eder. Taşıdığı enerjiyi elde etmek için yapılan hesaplamalar hareket eden cisimlerin enerjisini ifade eden denklemden türetilmiştir, [1, 2];

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

Formülde E kinetik enerjiyi, m taşınan hava kütlelerini, v rüzgar şiddetini ifade etmektedir. Burada rüzgar kütleleri birim zamandaki hareket eden kütle, yani kütleli debi olarak alınmaktadır. Kütleli debiyi elde etmek için kullanılan denklem;

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (2)$$

Denklemden \dot{m} kütleli debiyi, A rotor süpürme alanını, ρ havanın yoğunluğunu göstermektedir. 1 numaralı denklemde yerine konduğunda, rüzgarın t süre boyunca taşıdığı kinetik enerjiyi belirten aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 \cdot t \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot t \end{aligned} \quad (3)$$

Böylece rüzgarın t süre boyunca taşıdığı enerji elde edilir. Bu eşitlikte $t=1$ alındığında, rüzgarın birim zamanda taşıdığı enerjiyi, yani gücünü watt (W) cinsinden vermektedir, [1];

$$P = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

Havanın yoğunluğu deniz seviyesinde ve 15,5 °C sıcaklık derecesinde 1,225 kg/m³ olarak kabul edilir. Ölçüm yapılan yükseklik değiştikçe buna bağlı olarak değişen sıcaklık ve basınç farkı sebebiyle havanın yoğunluğu da değişir[3]. Ancak bu çalışmada bu değişim ihmal edilmiş ve havanın yoğunluğu çalışma bölgesi için 1,225 kg/m³ alınmıştır.

Birim alana düşen güç anlamına gelen güç yoğunluğunu bulmak için ise, denklem (2.4)'ü alana bölerek güç yoğunluğu (W/m^2) cinsinden elde edilir;

$$P_y = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (5)$$

Rüzgardan elde edilecek gücün rüzgar şiddetinin küpüyle orantılı olduğunu göz önüne alındığında, rüzgar şiddetindeki küçük bir değişimin enerji üretimini büyük ölçüde etkilediği açıktır. Rüzgar şiddeti yüksekliğe bağlı olarak değişim gösterir ve söz konusu değişim şu formüle uygun olarak gerçekleşir, [3];

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (6)$$

Burada v_1 , h_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgar şiddetini; v_2 , h_2 yüksekliğinde tahmin edilen rüzgar şiddetini; α Hellman katsayısını ifade etmektedir.

Hellman katsayısı yüzeyin özelliğine ve atmosferin kararsızlığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Yüzeylerin genel özelliklerine göre α değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hellman katsayısı α , [3].

Yüzey Cinsi	Hellman Katsayısı, α
Göl, okyanus veya düz ve sert yüzey	0.10
Çimenlik alan	0.15
Uzun mahsuller, çit veya çalılıklar	0.20
Sık ağaçların olduğu ormanlık arazi	0.25
Az sayıda ağaç ve çalılık barındıran küçük şehirler	0.30
Yüksek binaların bulunduğu kentsel alanlar	0.40

2. 2'NCİ NESİL METEOSAT (MSG) UYDULARI

Rüzgarın enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi ve bu amaçla hedef bölgede mevcut potansiyelinin belirlenmesi konusunda, son dönemde uydu teknolojilerinin gelişmiş olduğu nokta vericidir. Uydu görüntülerinin incelenerek rüzgar vektörlerinin analiz edilmesinin, bir meteoroloji kulesi inşa edilerek rüzgar enerji potansiyelinin tespit edilmesinden çok daha düşük maliyetli olacağı açıktır. Bunun yanında uydudan yapılan ölçümler çok daha geniş bir alanı kapsayabiliyorken kule ölçümü yalnız noktasal bir değerlendirmeyi gösterebilmektedir, [4].

Bu çalışmada inceleme bölgesi olarak kıyıya yakın da olsa kara üzerinde konuşlanması muhtemel rüzgar türbinleri esas alınmış, bu amaçla pasif çalışma prensibine dayalı meteorolojik gözlem yapan, yerküre ile eşzamanlı yörüngedeki Meteosat uydu verileri kullanılmıştır.

MSG sistemi, yer eşzamanlı yörüngeden meteorolojik gözlemlerin devamlılığını sağlamak amacıyla Avrupa Meteoroloji Uydularından Yararlanma Kuruluşu (EUMETSAT) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ile işbirliği içerisinde çalışmaktadır.

2020 yılına kadar operasyonel işlevini sürdürecektir olan MSG sistemi, yer eşzamanlı yörüngede seyreden 4 seri meteorolojik uydu ve yer istasyonundan oluşur. MSG uyduları kullanımı çok etkin olan bir çift radyometre taşırlar. Bunlardan birincisi kısaca SEVIRI olarak adlandırılır. SEVIRI, yeryüzünü 12 spektral kanalda gözlemler ve hava tahminlerine temel oluşturan görüntülü veri sağlama kapasitesine sahiptir. Diğeriyse GERB adıyla anılır ve iklim çalışmalarını destekleyici veri sağlar, [5].

MSG sistemi, ana ekipmanı SEVIRI vasıtasıyla 12 spektral kanalda güvenilir görüntüleme verisi sağlayabilmektedir. Spektrumun görünür (VIS), yakın kızıl ötesi (NIR) ve kızıl ötesi (IR) (su buharı (WV) ile birlikte) bölgelerinde sağlanan görüntüler şu kanallardan yayınlanır: VIS 0.6µm, VIS 0.8µm, NIR 1.6µm, IR 3.9µm, WV 6.2µm, WV 7.3µm, IR 8.7µm, IR 9.7µm, IR 10.8µm, IR 12.0µm, IR 13.4µm ve HRV kanalı, [6]

Önceki sayısal hava tahmini modellerine kıyasla çok daha gelişmiş ve doğruluğu yüksek atmosfer verisi sağlayabilmektedir. Kanalların sekizi termal IR bantta olup aralıksız bulut, kara ve deniz yüzeyi sıcaklık verilerini elde etmede kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlükte görünür bantta yayın yapan HRV, diğer kanallar 3 km çözünürlüğe sahipken, 1 km'lik örneklem mesafesine sahiptir. Ozon, su buharı ve karbondioksit absorbe eden kanalları kullanarak, atmosferin 3 boyutlu görüntüsünü elde etmek mümkün olmakta ve atmosferik hava kütleleri analiz edilebilmektedir. Görünür bant spektral kanalı için tasarlanmış gelişmiş yatay görüntü çözünürlüğü (1 km), fırtınalı havanın başlangıç ve bitişini saptamak ve tahminde bulunmak için önemli faydalar sağlar.

Atmosferdeki hareketlilik; bulut hareketlerinin, bulutsuz alanlarda ise su buharı ve ozon gibi atmosfer bileşenlerinin izlenmesiyle uydu görüntülerinden saptanabilir. Bu hareketlerin uydu vasıtasıyla izlenmesiyle elde edilen veri grubuna atmosferik bulut hareket vektörleri adı verilir, [7].

Bu ürün bulutların veya diğer atmosferik bileşenlerin iki veya daha fazla görüntüleri incelenerek gerçekleştirildiği yer değiştirilmenin ölçülmesiyle elde edilir. İzlenen vektörün yerden yüksekliği, sıcaklık ile tanımlanır ve atmosferin sıcaklık-basınç profilinden yapılan çıkarım vasıtasıyla değerler bir basınç seviyesine çevrilir. Yarı saydam bulutlar, atmosferik absorpsiyon ve alçak seviye bulutları için bulut tabanında yapılan düzeltmeler de göz önüne alınır, [6].

AMV (Atmospheric Motion Vectors) verileri üretimi, Meteorolojik Ürün Çıkarım Birimi (MPEF)'nde gerçekleşmekte olup, aşağıda sıralanan kanallar yardımıyla sağlanmaktadır: VIS 0.8µm, IR 10.8µm, WV 6.2µm, WV 7.3µm ve HRVIS(HRV). VIS 0.6 kanalıdan da AMV verisi elde etmek mümkündür ancak bu özellik kullanılmamaktadır, [6].

AMV hesaplanmadan önce, bulut analizi ile elde edilen mevcut koşullar ve diğer bulut bilgileri, standart sapma ve ortalama değer için saptanması için kullanılır. Hedef bölgedeki tüm koşulların ortalamaları ve standart sapması hesaplanır, [7].

3. UYDU VERİLERİNE DAYALI RÜZGAR ŞİDDETİ ANALİZLERİ

MSG uydusuna ait veri grubu özellikle son dönemde potansiyel enerji kaynakları gündeme gelen KKTC'de bulunan Girne'de elde edilmiştir. Uydu verileri MSG uydusundan temin edilmiş olup, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) arşivinden elde edilmiştir.

Beş Parmak Dağları'nda bulunan Selvili Tepe'de ölçüm yapılan noktanın deniz seviyesinden yüksekliği 1018 m'dir. Burası, tipik Akdeniz iklimi özelliğini taşıyan bir coğrafyada yer aldığından dolayı, yazları sıcak ve kuru, kışları ılık ve az yağışlı geçer. Yakın Doğu Üniversitesi'nin yürütücülüğünü üstlendiği bir proje sonucunda KKTC ortalama rüzgar şiddetinin bilinen değer olarak 2.9 ile 3.2 m/s arasında olmadığı, bu değerler bölgelere göre 2.98 ile 6.56 m/s arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir, [8]. Selvili Tepe'nin konumu Şekil 1'de, bölgenin coğrafi özellikleri ise Tablo 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Selvili Tepe, [9].

Tablo 2. Selvili Tepe'nin Coğrafi Özellikleri.

Ölçüm yeri	Koordinatları	Rakım (m)	Ölçüm yüksekliği (m)	Gözlem dönemi	
				Yüzey	Uydu
Selvili Tepe, Girne	035° 19.173' N 033° 09.673' E	1018	1028	01 Aralık 2011-31 Kasım 2012 (10'ar dk'lık)	01 Ocak 2012-31 Ekim 2012

2012 yılı boyunca MSG uydusu tarafından elde edilen AMV verilerinin, EUMETSAT'a bağlı SAF (Satellite Application Facilities) birimleri tarafından üretilmiş olan HRW (High Resolution Winds) yazılımı tarafından analiz edilmesiyle ortaya çıkan sonuçlar, mevsimsel bazda incelenmek üzere her mevsimin ikinci ayı seçilerek değerlendirmeye alınmış ve karşılaştırılmıştır. Yüzey verilerinde olduğu gibi her ayın değerlendirilmeye alınmamasının sebebi, çok geniş bir veri grubu içerisinde inceleme bölgesine ait olan rüzgar şiddeti değerlerinin sayısının çok küçük olması, hatta bazı aylarda ihmal edilebilecek kadar az olmasıdır.

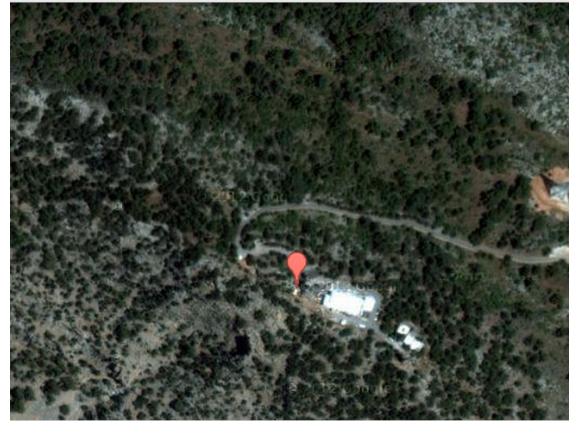
Selvili Tepe için Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında uydudan yapılan rüzgar şiddeti ölçümleri içerisinde değerlendirmeye uygun bulunan toplam 42 adet verinin olduğu kaydedilmiştir. Elde edilen bu veriler iki ayrı gruba ayrılarak, ilk grupta yüzey ve uydu verileri karşılaştırılarak model oluşturulmuş, ikinci grupta ise oluşturulan model test edilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken ölçümü yapılmış olan rüzgar şiddetinin ölçüm yüksekliği ve koordinatları baz alınmış, inceleme bölgesi olarak seçmiş olduğumuz noktalarla karşılaştırılabilir düzeyde olmasına dikkat edilmiştir. Yüzeyde uygulanan ölçüm yüksekliğinin 1028 m olması sebebiyle, Selvili Tepe meteoroloji istasyonunda elde edilen değerlerin bu kapsamda çok daha uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Uydu ve yüzey verilerini karşılaştırmak için oluşturulan tablo Tablo 3'de görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tablo 3'ün son sütununda görülen "Uydu Verilerinden Hesaplanan Rüzgar Şiddeti" değerleri, kule ölçümü sonucunda elde edilen rüzgar şiddeti ile yüzey ve uydu ölçüm yüksekliği değerlerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Bu hesap yapılırken, yukarıda belirtilmiş olan 6 numaralı denklem kullanılmıştır. Burada önemli olan diğer bir husus, denklemde yer alan Hellman katsayısının kaç alınması gerektiğidir.

Şekil 2'de uydu görüntüsü yer alan, Beşparmak Dağları'nın en yüksek noktası olan Selvili Tepe bölgesinin topografik yapısı incelendiğinde, şehir

merkezinde yer alan binaların etkisinden uzakta ve sık ağaçlarla çevrilmiş olduğu görülür. Hellman katsayısı tablosuna göre sık ağaçların olduğu ormanlık arazi kategorisine göre değerlendirilerek, Hellman katsayısının 0,25 alınmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır, [11]. Söz konusu değerlendirmenin yapılmasında etkili olan alan Şekil 2'de görülmektedir. Bu varsayımına göre yapılan uydu verisi hesaplamaları ile, uydudan direkt alınan ölçümlerin karşılaştırıldığı grafik Şekil 3'te verilmiştir.

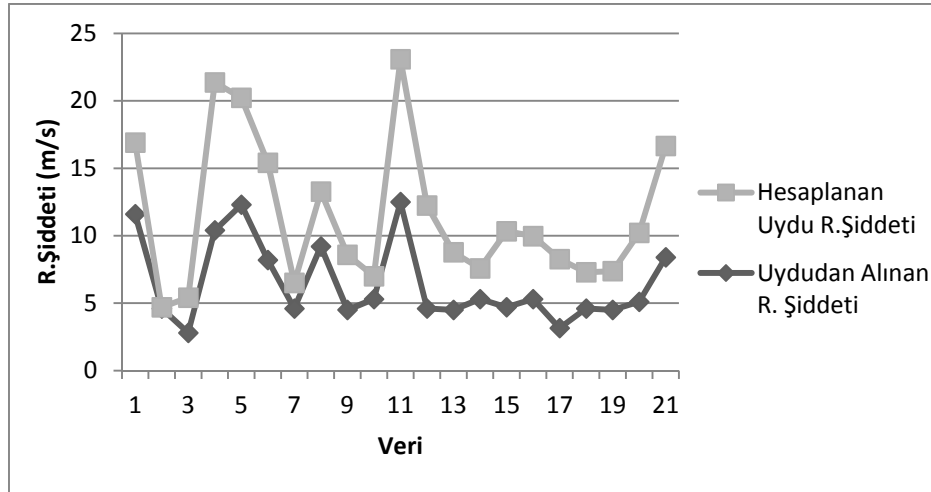


Şekil 2: Selvili Tepe Meteoroloji İstasyonu ve çevresi, $\alpha=0.25$, [10].

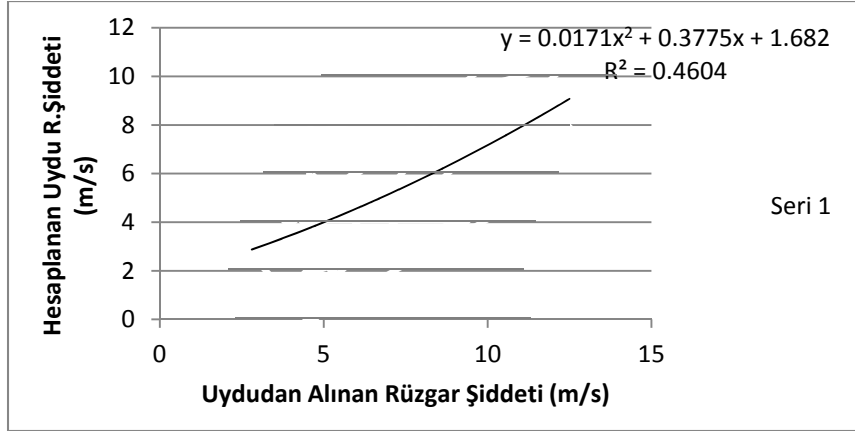
Görüldüğü üzere uydu verilerinden yararlanılarak yapılan hesaplamalar ile, kulede yapılan ölçümlerin zaman zaman birbirinden farklı olduğu, bazı durumlarda ise birbiriyle tutarlılık arz ettiği saptanmıştır. Bu durumda uydudan alınmış olan 21 adet verinin güvenilirliğini sorgulamak için Şekil 4'te görülen saçılma grafiği incelenmiştir. İki veri grubu arasındaki ilişkiyi temsil eden en uygun fonksiyon olarak ikinci dereceden bir polinom belirlenmiştir. Korelasyon katsayısı ($R=0,68$) olarak hesaplanmış olup, ($\alpha=0,01$) güvenilirlik seviyesinde anlamlılık olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, yapılan hesaplamalar ile istasyonda ölçülen veriler arasında istatistiksel olarak %99 oranında anlamlı bir ilişki söz konusudur.

Tablo 3. Uydu ve Yüze Gözlemlerine Dayalı Rüzgar Şiddeti Ölçümlerinin Karşılaştırması (Selvili 2012;Temsilen Ocak ve Nisan ayları alınmıştır).

Sıra No.	Tarih/Saat	İrtifa(m)		Koordinat(derece)		R.Şiddeti (m/s)		Uydu Verilerinden Hesaplanan Rüzgar Şiddeti(m/s)
		İstasyon	Uydu	Enlem(°)	Boylam(°)	Yüze	Uydu	
1	01.01 12.45	1028	628	35,4	32,6	6	11,6	5,3
2	03.01 08.15	1028	960,7	35,4	33,1	0,1	4,6	0,1
3	06.01 11.00	1028	672,5	35,4	33,6	2,9	2,8	2,6
4	06.01 21.30	1028	1015,6	34,6	33,5	11	10,4	11,0
5	12.01 02.00	1028	1428	34,8	32,3	7,3	12,3	7,9
6	17.01 14.30	1028	1380	35,0	33,1	6,7	8,2	7,2
7	18.01 10.00	1028	846	35,5	33,1	2	4,6	1,9
8	31.01 23.15	1028	452	34,7	32,8	5	9,2	4,1
9	01.04 01.00	1028	540	35,3	32,2	4,8	4,5	4,1
10	02.04 10.15	1028	654,7	35,5	33,8	1,9	5,3	1,7
11	09.04 20.30	1028	1399	35,2	33,0	9,8	12,5	10,6
12	11.04 21.45	1028	1266,6	34,7	33,2	7,25	4,6	7,6
13	12.04 17.00	1028	646	35,1	32,3	4,8	4,5	4,3
14	13.04 14.30	1028	997	35,5	33,3	2,3	5,3	2,3
15	15.04 20.00	1028	1052,4	34,9	33,7	5,6	4,7	5,6
16	20.04 23.45	1028	960,7	35,8	33,0	4,75	5,3	4,7
17	21.04 11.45	1028	961	35,3	32,9	5,2	3,15	5,1
18	22.04 22.15	1028	761,7	35,3	32,7	2,9	4,6	2,7
19	25.04 15.00	1028	761,7	35,6	32,2	3,1	4,5	2,9
20	25.04 16.30	1028	770,6	35,6	32,5	5,5	5,1	5,1
21	26.04 16.45	1028	761,7	34,7	33,2	8,9	8,4	8,3



Şekil 3. Hesaplanan ve Uydu Ölçümlerine Ait Rüzgar Şiddeti Verileri (Hellman Katsayısı 0,25 alınmıştır).



Şekil 4. Selvili Tepe 2012 Ocak-Nisan ayları uydudan alınan veriler ile, kule ölçümleri kullanılarak hesaplanan rüzgar şiddeti arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılma grafiği.

Yüzey verileri kullanılarak hesaplanan rüzgar şiddeti değerleri ile, uydudan elde edilen değerler arasındaki ilişkiyi gösteren fonksiyon denklemi Şekil 4'te görülmektedir. Bu denklem kullanılarak uydu verilerinden yüzey verilerini elde etmek amacıyla, Temmuz ve Ekim ayları için modelleme analizi yapılmıştır. Yapılan modellemenin sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Bu Tabloda bölgedeki rüzgar şiddetinin kule ölçümü değeri, uydudan alınan veriler

ile hesaplanan değeri ve modelleme sonucunda elde edilen değerleri görülmektedir. Ayrıca bu değerler üzerinden hesaplanan rüzgar gücü yoğunlukları da Tabloda yer almaktadır. Tablonun sonunda modelleme ile elde edilen ortalama rüzgar şiddeti ve güç yoğunluğu değerlerinin, uydudan direkt alınan verilere göre hesaplanandan daha düşük bir Karesel Ortalama Hata (KOH) değerine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Uydu verileri kullanılarak yüzey rüzgar şiddetini hesaplamak amacıyla uygulanan modelleme sonuçları (Selvili Tepe, 2012 Temmuz-Ekim Ayları).

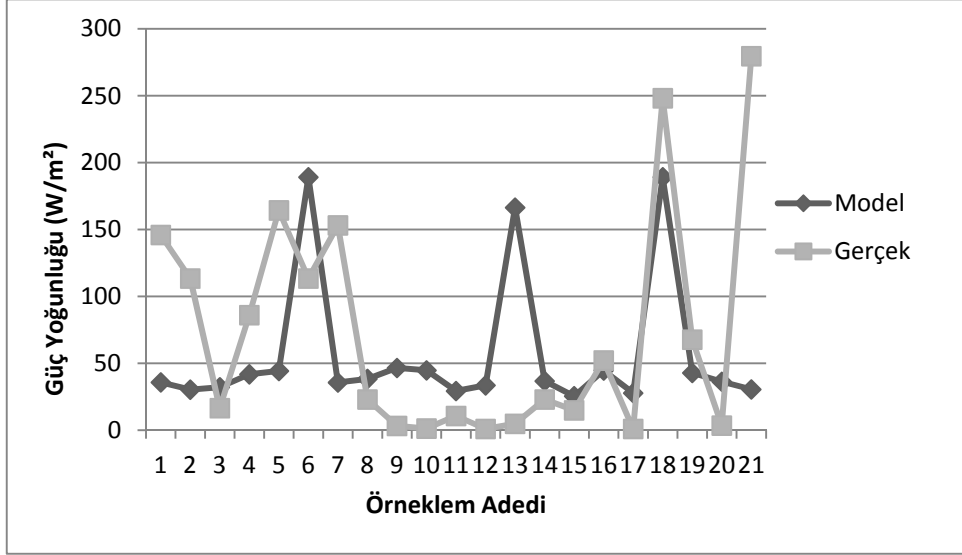
SELVİLİ TEPE MODELLEME SONUÇLARI ($y = 0,0171x^2 + 0,3775x + 1,682$)											
Sıra No.	Yüzey R. Şiddeti (m/s)		KOH R. ŞİDDETİ	Güç Yoğunluğu (W/m ²)			KOH GÜÇ Y.				
	Hesaplanan			Uydu (P _u)	Model (P _m)	Gerçek (P _G)	Model (P _m - P _G) ²	Uydu (P _u - P _G) ²			
	Uydu (V _u)	Model (V _m)	Ölçülen (V _o)						Model (V _m - V _o) ²	Uydu (V _u - V _o) ²	
1	4,9	3,9	6,2	5,4	1,7	71,5	35,8	146,0	11796,5	5551,2	
2	5,0	3,7	5,7	4,1	0,5	75,8	30,4	113,4	5517,5	1419,3	
3	5,1	3,7	3	0,6	4,5	82,1	32,2	16,5	646,5	4299,4	
4	5,5	4,1	5,2	1,2	0,1	101,7	41,9	86,1	1084,7	243,8	
5	5,7	4,2	6,45	5,2	0,6	113,2	44,4	164,4	11343,9	2618,0	
6	10,0	6,8	5,7	1,1	18,7	616,9	189,2	113,4	16769,0	253477,1	
7	5,0	3,9	6,3	5,9	1,8	74,7	35,7	153,2	12439,1	6162,7	
8	5,1	4,0	3,35	0,4	3,0	80,4	38,4	23,0	474,8	3289,2	
9	5,7	4,2	1,75	6,2	16,0	116,1	46,6	3,3	3217,7	12730,6	
10	5,7	4,2	1,3	8,3	19,5	114,3	44,8	1,3	3254,6	12749,4	
11	4,6	3,6	2,6	1,1	4,2	61,4	29,4	10,8	551,3	2565,9	
12	4,9	3,8	1,2	6,8	13,4	70,3	33,6	1,1	1456,2	4799,7	
13	9,6	6,5	2	20,0	58,0	544,7	166,4	4,9	54287,3	291437,1	
14	5,4	3,9	3,35	0,3	4,0	93,9	36,8	23,0	624,2	5028,9	
15	4,4	3,5	2,9	0,3	2,4	53,4	25,5	14,9	219,6	1476,8	
16	5,7	4,2	4,4	0,0	1,7	114,2	44,8	52,2	38,2	3844,6	
17	4,6	3,6	1,2	5,6	11,3	58,2	27,8	1,1	985,4	3264,9	
18	10,0	6,8	7,4	0,4	6,9	616,9	189,2	248,2	27,8	135936,8	
19	5,6	4,1	4,8	0,5	0,6	106,9	42,9	67,7	156,0	1533,9	
20	5,3	3,9	1,8	4,4	12,4	92,7	36,3	3,6	1916,6	7935,1	
21	5,0	3,7	7,7	16,1	7,1	78,0	30,6	279,6	57492,6	40663,8	
			KOH (m/s)	2,1	3,0				KOH (W/m ²)	93,7	195,3

KOH değeri Denklem 7 ile hesaplanmıştır:

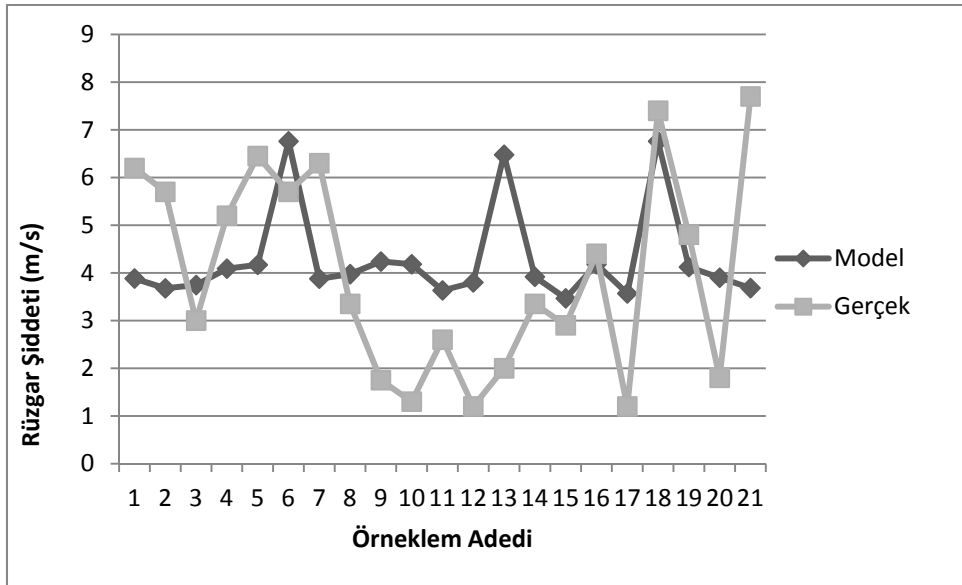
$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X'_i)^2}{n}} \quad (7)$$

KOH : Karesel Ortalama Hata
 X_i : Tahmin edilen değişken
 X'_i : Gözlemlenen değişken
 n : Değişken sayısı

Modelleme sonucunda saptanan ortalama rüzgar şiddeti ve güç yoğunluğu değerleri ile kulede ölçülen rüzgar şiddeti ve güç yoğunluğunu karşılaştırmak amacıyla oluşturulan grafikler Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. Modelleme sonucunda hesaplanan ortalama güç yoğunluğu ile gözlemlenen değerinin karşılaştırılması (Selvili Tepe, 2012 Temmuz-Ekim ayları).



Şekil 6. Modelleme sonucunda hesaplanan ortalama rüzgar şiddeti ile gözlemlenen değerinin karşılaştırılması (Selvili Tepe, 2012 Temmuz-Ekim ayları).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sağlanmış ve 2012 yılı boyunca MSG uydusu ile ölçümü yapılmış olan rüzgar şiddeti verilerini, yüzey verileri ile

karşılaştırmak amacıyla bir uygulama çalışması yapılmıştır. Ön filtrelemenin sonunda çok büyük bir veri havuzunda elde edilen uygun veri sayısının,

yüzey verilerine göre çok daha az olması sebebiyle örneklem karşılaştırmasının yapılması uygun bulunmuştur.

Selvili Tepe’de ise yüzey verilerinin ölçüm yüksekliğinin çoğunlukla uydu verilerinin ölçüm yüksekliğinden fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda karşılaştırma yapabilmek için yine kule

yüksekliğinde elde edilen rüzgar şiddeti değerleri logaritmik profil kullanılarak, uydu ile yapılan ölçüm yüksekliğindeki rüzgar şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Bu bölgede yapılacak olan modelleme çalışması için, elde edilen 42 veri iki eşit gruba ayrılmış, ilk grup ile yüzey verileri arasındaki ilişki incelenmiştir. İndirgenmiş değerler ile gözlenen değerler arasındaki ilişkiyi temsil eden en uygun fonksiyon olarak 2’nci dereceden bir polinom belirlenmiştir. Hesaplamalara göre iki veri grubu arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,68 olarak belirlenmiş olup, N=21 veri için bu ilişki ($\alpha=0,01$) güvenilirlik seviyesinde anlamlıdır. Uydu ve yüzey gözlemleri arasında 1- $\alpha=0,99$ güvenli, belirgin bir ilişki saptanmıştır.

Bu ilişki hesaba katılarak yapılan modelleme sonucunda, 2,1 m/s’lik bir KOH değeri ile ortalama rüzgar şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Modelleme yapılmadan doğrudan uydu verileriyle yapılan indirgeme sonucunda hesaplanan KOH 3 m/s’dir. Modelleme ile elde edilen rüzgar şiddeti verileriyle hesaplanan ortalama güç yoğunluğu değerlerine ait KOH değeri ise 93,7 W/m² olarak hesaplanırken, ham veriden hesaplanan değer 195,3 W/m²’dir. Model ve uydudan direkt alınan veriler kullanılarak hesaplanan güç yoğunluğuna ait KOH değeri arasındaki fark, rüzgar şiddeti hata hesaplamalarına oranla çok daha fazladır. Bunun sebebi, güç yoğunluğunun, rüzgar şiddetinin küpüyle doğru orantılı olmasıdır. Dolayısıyla rüzgar şiddetindeki küçük bir fark, güç yoğunluğunda çok daha büyük bir değer olarak ortaya çıkmaktadır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde uydu verileri ve yüzey verileri arasında anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Bu belirgin ilişki düzeyi, rüzgar enerji potansiyeli belirleme alanında uydudan faydalanmanın gerekliliğini ortaya koymuştur. Uydu teknolojilerinin bugün ulaşılmış olduğu seviye aşağı atmosferde ayrıntılı meteorolojik gözlem yapmaya olanak tanımaktadır. Uydu verileri analizi için seçilmiş olan MSG uydularının görünür bant spektral kanalına ait gelişmiş yatay görüntü çözünürlüğünün 1 km olması, çok alçak seviyelerde bile AMV değerlerinin ölçülebilmesini sağlamaktadır. Söz konusu verilerin herhangi bir maliyet olmaksızın elde edilmesinin büyük avantajı da göz önüne alındığında, uygun rüzgar türbini seçimi ile ilgili ön analiz aşamalarında yüzey istasyonu kurmak yerine uydu verilerinden faydalanmanın uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Ancak, bu avantajların yanında, rüzgar enerjisi üretiminde tamamen uydu verilerine dayalı bir analiz

yapmanın uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Ölçülen değerlerin, istenilen zaman, lokasyon ve yükseklikte elde edilemiyor olması da uydu teknolojileri kullanılarak kara üzerindeki rüzgar enerji potansiyelinin hesaplanmasında kısıtlar oluşturduğunu göstermiştir. Çünkü enerji potansiyelinin belirlenmesi sürekli ölçüm verilerine dayanmakta olup, elde edilen az sayıda uydu verisiyle yapılan örneklem çalışmaları bu kapsamda yetersiz kalmıştır. Daha sonra yapılacak olan çalışmalarda örneklem sayısının artırılmasının bu kapsamda önemli bir katkı sağlayacağı açıktır. Bu aşamada yüzey gözlemlerinden vazgeçmenin mümkün olmayacağı değerlendirilmekle beraber, uydudan elde edilecek verilerin ön analiz aşamasında maliyetin düşürülmesi ve zaman kazanılması açısından büyük önem taşıdığı sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Veri destekleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Sn. Meral ÇUKURÇAYIR ve Sn. Mustafa SERT’e, Yakınoğu Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Mustafa ALTUNÇ’a teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

- [1] ALTUNER, Savaş. (2008). Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] AKDAĞ Seyit Ahmet. (2008). Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ve Ekonomik Analizinde Weibull Dağılımının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi.
- [3] PATEL, R. Patel. (2006). Wind and Solar Power Systems Design, Analysis and Operation, CRC Press.
- [4] CHRISTIANSEN, Merete Bruun, Wind Energy Studies Offshore Using Satellite Remote Sensing, Alındığı tarih : 12.03.2013, adres:<http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/christiansenm0904ys.pdf>.
- [5] URL-1 <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/MeteosatSecondGeneration/MissionOverview/index.html?l=en> alındığı tarih: 04.03.2013.
- [6] EUMETSAT.(2011).MSG Meteorological Products Extraction Facility Algorithm Specification Document.
- [7] EUMETSAT. (2000). SEVIRI Science Plan
- [8] ALTUNÇ, Mustafa. KKTC Rüzgar Enerji Potansiyeli, Alındığı tarih: 08.02.2013 adres: <http://www.neu.edu.tr/tr/node/2453>.
- [9] URL-2 <http://www.hgk.msb.gov.tr/CogragiUrunKatalogu/tematik/resimler/Turkiye_Fiziki_A1_edit_son.pdf> alındığı tarih: 25.06.2013.

[10] URL-3 <<https://maps.google.com/>>

[11] PAMUK, Onur. (2013). Rüzgar Enerji Potansiyelinin Yüzey ve Uydu Verilerine Dayalı Olarak Belirlenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞLER

Hv.P.Ütgm. Onur PAMUK

2006 yılında HHO Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nda göreve başladı. 2013 yılında HHO Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Uzay Bilimleri Ana Bilim Dalı, Uydu Teknolojileri programında yüksek lisans eğitimini tamamladı. TSK'da görevine devam etmektedir.

Prof. Dr. Zafer ASLAN

1975 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Temel Bilimler Fakültesi'nden lisans, 1981 yılında İTÜ

Meteoroloji/Atmosfer Bilimleri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü'den yüksek lisans diploması aldı. Aynı Anabilim Dalında 1987 doktor, 1988 yılında doçent oldu. 1987 yılında Washington Üniversitesi'nde (Seattle, ABD) NATO Araştırma Projesinde, 1987-1988 yıllarında Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (ICTP, İtalya) İtalyan Laboratuvarları (TRIL, Roma-İtalya) araştırma çalışmalarında görev aldı. 1994-2003 yılları arasında ICTP Asosye Üyeliği (Trieste, İtalya) görevlerinde bulundu. 1994 yılında Kafkas Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği-Havza Yönetimi'nde profesör oldu. 2005 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi, ABMYO Bilgisayar Programcılığı Bölümü'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başlamış olup, 2009'dan itibaren aynı üniversitede Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyeliğine devam etmektedir.