

# EMoFS Tekniği Kullanılarak Rüzgar Gücü Tahmini Yapılması

## Wind Power Prediction Using EMoFS Technique

Şeref Burak Selvi<sup>1</sup>, Mürsel Yıldız<sup>2</sup>, Erhan Akın<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliđi  
Fırat Üniversitesi  
121129201@firat.edu.tr, eakin@firat.edu.tr

<sup>2</sup>Arge Departmanı  
VeNSEY Teknoloji  
mursel@vensey.de

### Özet

Rüzgar enerjisi santrallerinin gün içinde üretecekleri elektrik gücünü yüksek doğrulukta gün öncesinden tahmin edebilmeleri elektrik piyasası açısından son derece önemlidir. Fakat i) rüzgarın stokastik, durağansız ve kesintili bir doğaya sahip olması ve ii) rüzgar gücü ile rüzgar hızı arasında doğrusal olmayan ilişki olması tahminlerde hata oranını arttırmaktadır. Bu çalışmada, literatürde bir ilk olarak EMoFS tekniğini rüzgar gücü tahmininde kullanan yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımı doğrulamak için önerilen yaklaşımın tahmin hatası ile yapay sinir ağı kullanan yaklaşımın tahmin hatası karşılaştırılmıştır. Rüzgar gücü tahmininde önerilen yaklaşımın yapay sinir ağlarının kullanıldığı jenerik yaklaşıma göre az daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

### Abstract

It is crucial for the energy market to predict the generated wind power of a wind park one day ahead. However, the error rate of the wind power prediction is high due to i) the natural fact that the behaviour of wind is stochastic, non-stationary and intermittent, ii) the fact that the relation between produced wind power and instant wind speed is nonlinear. In this study, a novel approach that is utilizing EMoFS technique in wind power prediction is proposed. In order to verify the validity of the proposed approach, error rate of the predictions of the proposed approach is compared with the ones that are generated by artificial neural networks based approach. It is observed that the proposed approach generates slightly better results compared to the generic approach that utilizes artificial neural networks.

### 1. Giriş

Literatürde rüzgar enerjisi santrallerinin (RES) rüzgar gücü tahmini için kullanılan yöntemler; devamlılık (persistence) yöntemi, fiziksel yöntemler, istatistiksel yöntemler ve birleşik yöntemler başlıkları altında toplanmıştır [1-3].

İstatistiksel yöntemler; geleneksel istatistiksel yöntemler, yapay sinir ağları tabanlı yöntemler, nöro-bulanık tabanlı

yöntemler ve diğer yöntemler şeklinde alt başlıklara ayrılmıştır [3].

Bu yöntemlerin performansları, yapılacak tahminlerin zaman vadesine göre değişiklik göstermektedir. Rüzgar gücü tahmini, zaman vadesi olarak 4 sınıfa ayrılmıştır [4];

- Ultra kısa vadeli tahminler: bir kaç saniyeden 30 dakikaya kadar
- Kısa vadeli tahminler: 30 dakikadan 6 saate kadar
- Orta vadeli tahminler: 6 saatten 24 saate kadar
- Uzun vadeli tahminler: 1 günden 7 güne kadar

Bu çalışmada RES'ler için orta vadeli rüzgar gücü tahmini yapılırken istatistiksel bir yöntem olan EMoFS (Expectation Maximization over Fouries Series) tekniğinin [5] nasıl uygulanacağı ve tekniğin performansı incelenmiştir. EMoFS tekniğinin RES'ler için rüzgar gücü tahmininde yapay sinir ağlarına iyi bir alternatif olabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada önce rüzgar gücü tahmini probleminin tanımı yapılacaktır. Daha sonra EMoFS tekniğinden kısaca bahsedilecektir. EMoFS tekniğini kullanarak rüzgar gücü tahmininin nasıl yapılacağına dair önerilen yeni yaklaşım detaylandırılacaktır. Yeni yaklaşımla ilgili yapılan simülasyonlar açıklanacak ve EMoFS tekniği ile yapay sinir ağının rüzgar gücü tahmininin doğruluğu açısından karşılaştırması yapılacaktır.

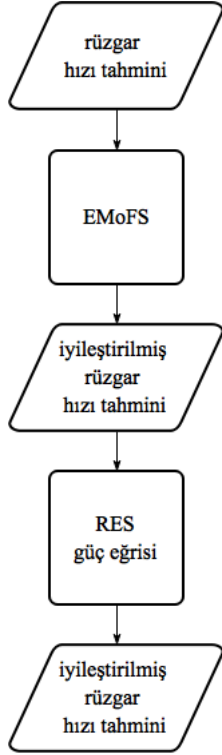
### 2. Problemin Tanımı

Bir RES'in üreteceği gücün miktarı RES'in maruz kaldığı rüzgar hızının güç eğrisinden (Şekil 1) geçirilmesi ile hesaplanır.



Şekil 1: Rüzgar hızından rüzgar gücüne geçişin akışı.

RES'in güç eğrisi fonksiyonu girdi olarak rüzgar hızını alır, çıktı olarak ise üretilecek gücü verir. Güç eğrisinin girdisi olan rüzgar hızı, hava durumu tahmini üreten kaynaklardan temin edilir. Fakat hava durumu tahminlerindeki rüzgar hızı ile sahada ölçülen rüzgar hızı değerleri arasında her zaman bir miktar hata vardır. Rüzgar hızı tahminindeki bu hata, doğrusal olmayan güç eğrisinden geçirilince artarak rüzgar gücü tahminine yansır. O yüzden güç eğrisine rüzgar hızı tahmini verilmeden önce rüzgar hızı tahmininin doğruluğunun olabildiğince artırılması gerekmektedir. Doğruluğun artırılması için yaygın olarak yapay sinir ağları (YSA) kullanılmaktadır [3]. Bu çalışmada yapay sinir ağına alternatif olarak EMoFS tekniği kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: EMoFS ile rüzgar gücü tahmini akışı.

Rüzgar gücü tahminlerindeki hata miktarını ifade etmek için metrik olarak RES'in kurulu gücüne göre *normalize edilmiş ortalama mutlak hata* (nOMH) kullanılmıştır.

### 3. EMoFS Tekniği

EMoFS tekniği [5], olasılık yoğunluk fonksiyonunun (OYF) tipi (Gaussian, Poisson vb.) bilinmeyen rastsal değişkenlerin OYF'lerinin parametrik olarak ifade edilebilmesi için OYF'nin Fourier serisi olarak ifade edilmesi ve bu Fourier serisinin ilgili Fourier katsayılarının değerlerinin *beklenti maksimizasyonu algoritması* ile bulunması ilkesine dayanır. Bu sayede OYF'sinin tipi hakkında önceden bir varsayımda bulunulamayan (rüzgar hızı gibi) rastsal değişkenler için analitik olarak ifade edilebilen OYF'ler üretmek mümkün olmaktadır. Bu tekniğin literatürdeki benzerlerine üstünlüğü yüksek derece rastsal fenomenler için herhangi bir ön OYF varsayımını ortadan kaldırmasıdır. RES için rüzgar gücü tahmini bir önceki bölümlerde belirtilen sebeplerden ötürü yüksek derecede bir rastsal fenomen olarak tanımlanabilir.

Böylesi bir durum için ön OYF varsayımı zayıf kalacaktır. Bu açıdan EMoFS tekniğinin kullanımı ilgili RES güç üretimi tahmini problemi için potansiyel bir adaydır.

### 4. Önerilen Yaklaşım

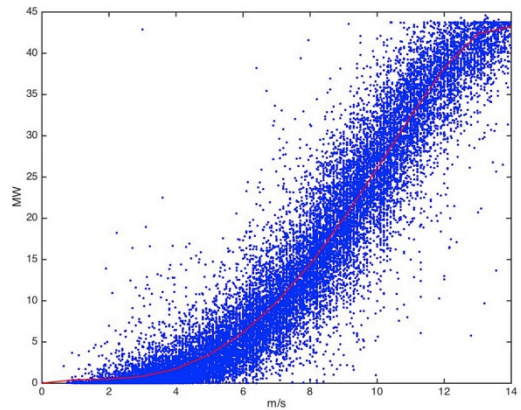
RES'in rüzgar gücü tahmini için önerilen yeni yaklaşımın adımları sırası ile şu şekildedir:

- RES'in merkez noktası koordinatlarına, rakımına ve türbinlerin ortalama pervane yüksekliğine ait geçmiş rüzgar hızı tahminlerinin ve geçmiş rüzgar hızı ölçümlerinin edinilmesi
- RES'in geçmiş saatlik üretilmiş güç verileri ve geçmiş saatlik rüzgar hızı tahminlerinden RES'e ait deneysel güç eğrisinin çıkarılması (Şekil 3)
- EMoFS tekniği kullanılarak geçmiş saatlik rüzgar hızı tahminlerinden ve geçmiş saatlik rüzgar hızı ölçümlerinden  $f(\text{ölçülmüş rüzgar hızı} | \text{tahmini rüzgar hızı})$  koşullu OYF'lerinin elde edilmesi (Şekil 4)
- Rüzgar tahminlerinin ilgili koşullu OYF'nin beklenti değerine çekilmesi suretiyle doğruluğunun artırılması
- Doğruluğu artırılmış rüzgar hızı tahminlerinin RES'in güç eğrisinden geçirilmesi suretiyle güç tahmininin yapılması

### 5. Simülasyonlar

Bu çalışmada, Ak RES'e ait 07/09/2015 ile 31/05/2016 tarihleri arasındaki rüzgar hızı tahminleri, rüzgar hızı ölçümleri ve gerçekleşen güç üretim verileri kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Veriler yaklaşık 6000 adet kayıttan oluşmaktadır.

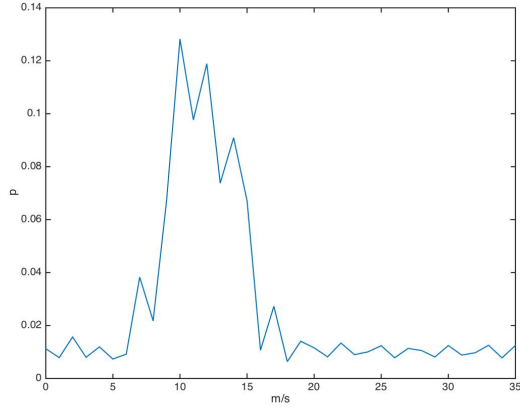
Geçmiş saatlik rüzgar hızı ölçümleri ve geçmiş saatlik güç üretimi verilerinden RES'in deneysel güç eğrisi eğri uyarlama ile çıkarılmıştır (Şekil 3). Uyarlanan eğri Şekil 3'de kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 3: RES'in deneysel güç eğrisi.

EMoFS tekniği kullanılarak geçmiş saatlik rüzgar hızı tahminlerinden ve geçmiş saatlik rüzgar hızı ölçümlerinden  $f(\text{ölçülmüş rüzgar hızı} | \text{tahmini rüzgar hızı})$  koşullu OYF'leri

elde edilmiştir. Tahmin edilen rüzgar hızı 7m/s ile 8m/s arasında ise ölçülmüş rüzgar hızına ait koşullu OYF  $f(\text{ölçülmüş rüzgar hızı} \mid 7\text{m/s} < \text{tahmini rüzgar hızı} < 8\text{m/s})$  Şekil 4'de örnek olarak verilmiştir. Rüzgar hızı tahmininin 0 m/s'den başlayıp 14m/s'de biten aralığı 1m/s'lik alt aralıklara bölünmüştür ve her 1m/s'lik aralık için ilgili koşullu OYF üretilmiştir.



Şekil 4:  $f(\text{ölçülmüş rüzgar hızı} \mid 7\text{m/s} < \text{tahmini rüzgar hızı} < 8\text{m/s})$  koşullu OYF'si.

Rüzgar tahminlerinin ilgili koşullu OYF'nin beklenti değerine çekilmesi suretiyle doğruluğu artırılmış ve bu iyileştirilmiş rüzgar hızı tahminleri RES'in deneysel güç eğrisinden geçirilmek suretiyle rüzgar gücü tahmini yapılmıştır.

Çizelge 1'de ham rüzgar hızı tahminlerinden hesaplanan rüzgar gücü ile gerçekleşen rüzgar gücü arasındaki hata ve EMOFS tekniği ile iyileştirilmiş rüzgar hızı tahminlerinden hesaplanan rüzgar gücü ile gerçekleşen rüzgar gücü arasındaki hata verilmiştir.

Çizelge 1: Rüzgar gücü tahminlerindeki hata

	nOMH
Ham rüzgar hızı tahmininden üretilen rüzgar gücü tahminindeki hata	% 19.47
YSA ile iyileştirilmiş rüzgar hızı tahmininden üretilen rüzgar gücü tahminindeki hata	% 11.70
EMoFS ile iyileştirilmiş rüzgar hızı tahmininden üretilen rüzgar gücü tahminindeki hata	% 10.64

EMoFS tekniğinin YSA ile performansının karşılaştırılabilmesi için Matlab®'da 10 adet saklı katmana sahip ve ileri beslemeli (fitnet) bir YSA oluşturulmuştur. Verilerin tek sayı indeksli (1:2:son) eğitim verisi olarak çift indeksli (2:2:son) ise test verisi olarak kullanılmıştır. YSA ile iyileştirilmiş rüzgar hızı tahminlerinin RES'in deneysel güç eğrisinden geçirilmesi suretiyle hesaplanan rüzgar gücü tahminleri ile ölçülmüş rüzgar gücü arasındaki hata Çizelge 1'de verilmiştir. EMOFS ile iyileştirilen rüzgar hızı tahminlerinden üretilen rüzgar gücü tahminlerinin, YSA ile iyileştirilen rüzgar hızı tahminlerinden üretilen rüzgar gücü

tahminlerinden nOMH hata metriği açısından %0.96 daha doğru sonuç verdiği saptanmıştır.

## 6. Sonuçlar

Çalışmada EMOFS tekniği ilk defa RES'lerin rüzgar gücü tahmini probleminde kullanılmıştır. Literatürde rüzgar gücü tahmini için sıkça kullanılan yapay sinir ağı içeren yaklaşımların tahmin doğruluğundan az daha iyi doğruluk seviyesine EMOFS tekniği kullanılan yeni bir yaklaşım ile ulaşılmıştır.

## 7. Teşekkür

Simülasyonlarda kullanılan RES verilerini paylaşan Ak RES yetkililerine ve RES'in koordinatlarına ait geçmiş hava durumu tahminlerini paylaşan ErikTronik A.Ş.'ye yazarlar teşekkür etmektedir. Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından Teknogirişim Sermayesi Desteği ile desteklenmiştir (proje no: 1371.TGSD.2015).

## 8. Kaynaklar

- [1] Giebel, G., Brownsword, R., Kariniotakis, G., Denhard, M., Draxl, C., *The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power: A Literature Overview*, ANEMOS.plus, 2011.
- [2] Chang, W.Y., A Literature Review of Wind Forecasting Methods, *Journal of Power and Energy Engineering*, 2, 161-168, 2014.
- [3] Jung, J., Broadwater, R.P., Current status and future advances for wind speed and power forecasting, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 762–777, 2014.
- [4] Wang, X., Guoc, P., Huang, X., A Review of Wind Power Forecasting Models, *Energy Procedia*, 12, 770-778, 2011.
- [5] Yildiz, M., *An Autonomous Load Balancing Framework for UCN, in User-Centric Networking*, 241-265, Springer International Publishing, 2014.