

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 015201 (121-128)

AKU J. Sci. Eng. 19 (2019) 015201(121-128)

Doi: 10.35414/akufemubid.466032

Araştırma Makalesi / Research Article

Rüzgar Hızı Verilerinin Modellenmesinde İki ve Çok Boyutlu Filtrelerin Performanslarının Karşılaştırılması

Emre AKARSLAN, Fatih Onur HOCAOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

eposta: e.akarслан@gmail.com*, fohocaoglu@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5918-7266>

Geliş Tarihi: 01.10.2018 ; Kabul Tarihi: 08.02.2019

Öz

Teknolojinin gelişimi, devam eden nüfus artışı gibi nedenler enerji ihtiyacının sürekli artmasına neden olmaktadır. Bununla beraber tükenen fosil yakıtlar, hem farklı kaynaklardan enerji üretimini zorunlu kılmış, hem de sürdürülebilir kaynaklardan enerji üretimini zorunlu hale getirilmiştir. Rüzgardan enerji üreten sistemler hem sürdürülebilir hem de çevre dostu olmaları sebebi ile yaygın kullanım alanına sahiptir. Bir rüzgar türbiniden üretilecek enerji o bölgedeki rüzgar hızı ile doğrudan bağlantılıdır. Bu çalışmada, Doğrusal Tahmin Filtreleri tasarlanarak, Afyon Kocatepe Üniversitesi kampüs alanına tesis edilmiş bir meteoroloji istasyonundan 10 dakikalık periyotlarda toplanan ortalama rüzgar hızı verilerinin başarılı bir şekilde modellenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada hem iki boyutlu hem de çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada kısa dönem rüzgar hızı verilerinin tahmini amacıyla geçmişte ölçülmüş; rüzgar hızı, rüzgar hızı-sıcaklık ve rüzgar hızı-sıcaklık-basınç verilerini kullanan farklı doğrusal tahmin filtreleri tasarlanmıştır. Filtrelerden elde edilen sonuçlar gözönüne alınarak, hem doğrusal tahmin filtrelerinin kısa dönem rüzgar hızı modellemesindeki başarısı incelenmiş, hem de iki boyut ve çok boyutlu doğrusal tahmin filtrelerinin başarısı birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem iki boyutlu hem de çok boyutlu doğrusal tahmin filtrelerin kısa dönem rüzgar hızı modellemedeki başarısını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler

Doğrusal tahmin filtreleri; Rüzgar hızı; Modelleme; Çok boyutlu filtre

Comparison of Performance of Two and Multi-Dimensional Linear Prediction Filters for Modeling Wind Speed Data

Abstract

The reasons such as; development on the technology, continuing increase in population etc. has caused continues increase on the demand of energy. Nevertheless, depleted fossil fuels have forced the production of energy from different sources as well as the generation of energy from sustainable sources. Wind energy generation systems are both sustainable and environmentally friendly and are an important source of production. The energy to be generated from a wind turbine is directly related to the wind speed in that region. In this study, it is aimed to model the average wind speed data collected in ten minutes period from a meteorological station at the campus area of Afyon Kocatepe University of Turkey, successfully by designing linear prediction filters. Both two-dimensional and multi-dimensional linear prediction filters are used in the study. In this study, for the aim of prediction of short term wind speed data measured; wind speed, wind speed-temperature and wind speed-temperature-pressure data are employed and different filter templates have been built. Considering the results obtained from the filters, both the success of linear prediction filters on short-term wind speed modeling has been investigated and the successes of two-dimensional and multidimensional linear prediction filters have been compared. The results indicated that both the two-dimensional and the multi-dimensional linear prediction filters have been successful in modeling short-term wind speeds.

Keywords

Linear prediction filters; Wind speed; Modeling; Multi dimensional filter

1. Giriş

Küresel ekonominin gelişimi devam ederken, petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar tükenmekte, çevre kirliliği ve sera etkisi artmakta, enerji krizi ve çevre koruma sürdürülebilir kalkınmanın odak noktaları haline gelmektedir (Tan vd., 2012). Küresel ısınma ve konvansiyonel yakıt kaynaklarının tükenmesi nedeniyle, temiz ve tükenmez enerji kaynaklarının kullanılmasına olan ilgi artmaktadır (Akarslan vd., 2018). Temiz kaynaklar arasında rüzgar enerjisi önemli bir yer tutmaktadır. Bir rüzgar türbininden üretilecek olan enerji miktarı, o bölgedeki rüzgar hızının değeri ile doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple herhangi bir bölge için rüzgar hızının doğru belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca akıllı şebekelere geçiş ile beraber farklı üretim kaynaklarının şebekeye dahil olabilmesi, şebekenin verimli bir şekilde yönetilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Şebekenin uygun şekilde yönetilebilmesi için üretim ve tüketimin doğru olarak tahmin edilebilmesi gerekir. Özellikle güneş ve rüzgar gibi şiddeti sürekli değişen kaynaklardan üretilecek enerjinin doğru tahmin edilmesi şebekenin yönetilebilmesi için kritiktir. Rüzgar hızlarının uzun dönem tahmini oldukça güçtür. Uzun dönem tahminler enerji yatırımlarının planlanmasında oldukça önemlidir. Daha yüksek hassasiyetle rüzgar hızının tahmin edilmesi, rüzgar türbinlerinin performansının ve güvenilirliğinin yanı sıra piyasa gereksinimlerinin (ünite taahhüdü, ekonomik seviyat, elektrik piyasalarına katılım, vb.) iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Ren vd., 2016). Kısa süreli rüzgar hızı tahmini, birkaç saniyeden birkaç saate kadar olan bir periyotta tahminleri içerir, bu da rüzgar gücünün kalitesini arttırmak ve üretilen enerjinin güvenli bir şekilde şebekeye entegrasyonunu sağlamak için kullanılabilir (Zhang vd., 2011). Ancak rüzgar hızı verilerinin istatistiksel olarak belirli kurallara göre dağılım gösterdiği bilinmektedir. Bu dağılımların parameterelerinin tahminine ve kısa dönem rüzgar hızlarının tahminlerine ilişkin literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Yılmaz ve Çelik (2008) yaptıkları çalışmada rüzgar Gelibolu bölgesi rüzgar hızını modellemek için istatistiksel bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Çalışmada Gelibolu bölgesinde 5m ve 50m yükseklikten ölçülen ortalama rüzgar hızı verilerini temsil edebilecek uygun bir olasılık dağılımı 10 dağılım karşılaştırılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Köse vd. (2014) yaptıkları çalışmada stokastik autoregresif-hareketli ortalama ARMA yaklaşımı ile Türkiye'nin Karabük ilinin rüzgâr hızını modellemişlerdir. Çalışmada, Karabük ilinde 2010 yılı Ocak ayı ilk haftasında gözlenen saatlik ortalama rüzgar hızı verileri kullanılmış, yapılan çalışma sonucunda, mevcut rüzgar hızının, 1, 5 ve 22 saat önceki rüzgar hızlarının bir lineer kombinasyonu şeklinde ifade edilebileceği sonucuna varılmıştır. Karasu vd. (2017) yaptıkları çalışmada farklı gizli katman nöron sayıları ve gecikme basamak sayıları için minimum hata veren rüzgar hızı tahmin modeli oluşturmuşlardır. Bir dakikalık zaman serisini kullanarak, bir sonraki rüzgar hızının tahmini NAR sinir ağı modeli ile gerçekleştirilir. Elde edilen rüzgar hızının tahmini değerleri, filtre yöntemleriyle elde edilen tahmini rüzgar hızı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları, rüzgar hızı veri kümesi için önerilen bu yöntemin, filtre yöntemlerinden daha yüksek bir tahmin performansına sahip olduğu şeklinde değerlendirilmiştir. Loukatou vd. (2018) yaptıkları çalışmada rüzgar hızını temsil etmek için sürekli zamanda Ornstein-Uhlenbeck Geometric Brownian Motion modelini önermişler ve modelin başarısını test etmişlerdir. Yapılan çalışmada İspanya'da bir rüzgar tarlasından 10 dakikalık periyotlarda toplanan rüzgar hızı ve güç değerleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçları Ornstein-Uhlenbeck Geometrik Brownian Motion modelinin uygulanabilirliğini ve enerji depolama, ticaret ve rüzgar gücünün yönetimine yönelik potansiyel faydalarını ortaya koymuştur. Masseran (2018) yaptığı çalışmada, R^2 katsayısı, Kolmogorov-Smirnov istatistiği, Akaike'nin bilgi ölçütü ve çarpıklık / basıklıktaki sapma bilgisinden elde edilen bilgiler, rüzgar hızının en uygun dağılım modelinin seçimine entegre

edilmiştir. Bu yaklaşım, sekiz istatistikî dağılımı Malezya'daki iki istasyonda toplanan saatlik rüzgar hızı verisine uydurmak için kullanılmıştır. Sonuçlar önerilen yaklaşımın optimum rüzgar hızı dağıtım modelinin seçimi için iyi bir temel oluşturduğunu göstermiştir. Ma vd. (2018) yaptıkları çalışmada Markov zinciri ve stokastik diferansiyel denklemlerin kombine edilmesine dayanan esnek bir sürekli rüzgar hızı modeli önermişlerdir. Bu model, zaman-uzunluk sınırlaması olmaksızın farklı zaman aralıklarında rüzgar hızını üretecek kadar esnektir. Bu kapsamda 10 saniye, 10 dakika ve 1 saat periyodunda rüzgar hızları önerilen yöntem ile modellenmiştir. Önerilen modelin en önemli avantajlarından birinin düşük hesap kompleksitesi olduğu sonucuna varılmıştır. Liu vd. (2018) yaptıkları çalışmada rüzgar hızı tahmini için WPD (Dalgacık Paket Ayrıştırma), EMD (Ampirik Mod Ayrıştırma) ve ELM (Extreme Learning Machine) kullanılarak üç yeni hibrit yöntem önermişlerdir. Rüzgar hızının çok adımlı tahmininde önerilen hibrit modellerin performansını araştırmak ve ELM tabanlı rüzgar hızı tahmini için hangi tür sinyal ayrıştırma yaklaşımının en uygun olduğunu bulmak için farklı kombinasyonda hibrit modeller oluşturulmuştur. İki gerçek deneyin sonuçları, tüm ilgili modellerde, WPD-EMD (LF) -ELM modelinin en iyi tahmin performansına sahip olduğunu göstermiştir. Han vd. (2018) yaptıkları çalışmada parametrik olmayan çekirdek yoğunluğu (NP-KD) ve parametrik olmayan JW (NP-JW) modelleri olmak üzere iki parametrik olmayan modeli, rüzgar hızı ve yön dağılımlarının olasılıksal modellemesi için önermişlerdir. Önerilen non-parametrik modellerle karşılaştırmak için AG, Weibull, Rayleigh, JW-TNW ve JW-FMN modelleri dahil olmak üzere çeşitli klasik parametrik modeller de tanıtılmıştır. Parametrik olmayan modellerin (NP-KD, NP-JW) parametrik modellerden (AG, Weibull, Rayleigh, JW-TNW, JW-FMN) daha iyi performans gösterdiği ve eklem hızına ve yönüne uygun daha sağlam bir performans gösterdiği gösterilmiştir. Camelo vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Brezilya Kuzeydoğu bölgesinde doğru aylık ortalama rüzgar hızı tahminleri sağlayabilen bir metodoloji önermişlerdir. Hibrid modeller, yapay zeka ile zaman serileri modellerinin (girişler olarak basınç, sıcaklık ve yağışların eksojen değişkenleri ile) bir

kombinasyonunu içerir. Bu çalışmada önerilen hibrid model, özellikle geleneksel modellerle karşılaştırıldığında istatistiksel hataların azaltılmasında etkili olmuş, gözlemlenen ve düzeltilen seri arasındaki en düşük yüzde hatası üretmiştir. Pobocikova vd. (2017) yaptıkları çalışmada 2 parametrelî Weibull, 3 parametrelî Weibull, 2 parametrelî Gamma ve 2 parametrelî Lognormal olmak üzere dört farklı olasılık dağılımı ele alınmıştır. Yoğunluk dağılımlarının parametreleri maksimum olabilirlik metodu ile tahmin edilir. En iyi uydurma dağılımını seçmek için χ^2 - testi, Kolmogorov-Smirnov testi, Akaike bilgi kriteri, Bayes bilgisi kriteri, belirleme katsayısı ve karekök karekök hatası kullanılır. Sonuçlara göre, Weibull 3 parametrelî en iyi ve 2 parametrelî Weibull dağıtımını en iyi ikinci performans gösterir.

Doğrusal tahmin modeli ilk olarak 1795'te Gauss tarafından önerilmiştir (Markel and Gray, 1976). Daha sonra bu model birçok farklı alanda kullanmıştır. Neurofizikte EEG sinyallerinin farklı spektrumlarını tanıma (Bohlin, 1973), jeofizikte, petrolün varlığını belirlemek için sismik izleri modellemede (Wood ve Treitel, 1975), konuşmada, ses dalga şeklini belirlemede ve konuşma parametrelerini tahmin etmede (Atal ve Hanauer, 1971), enerjide, güneş enerjisinin tahmininde (Hocaoglu vd., 2007) doğrusal tahmin modelleri kullanılmıştır. Hocaoglu vd. (2007), yaptıkları çalışmada güneş ışınımı zaman serisini iki boyutlu resme çevirmiş ve bu resim üzerinde farklı filtre şablonlarının başarısını test etmişlerdir. Akarşlan vd. (2014) ise güneş ışınımı tahmininde kullanılan doğrusal tahmin filtrelerini çok boyuta taşımıştır. Böylece güneş ışınımı tahmin edilirken bu verinin geçmiş değerleri yanında, bu veri ile ilişkili farklı verilerden de yararlanma imkanı ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada ise, önceki çalışmalarda güneş ışınım modellemesinde kullanılan doğrusal tahmin filtrelerinin rüzgar hızı modellemesindeki başarısı incelenmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS kampüs alanına yerleştirilen bir meteoroloji istasyonundan 10 dakikalık periyotlarda toplanan rüzgar hızı, sıcaklık ve basınç verileri kullanılmıştır. Çalışmada iki ve daha fazla boyutlu doğrusal tahmin filtreleri tasarlanarak, rüzgar hızı verileri modellenmiştir. Bu makalenin organizasyonu şu

şekilde özetlenebilir: 2. Bölümde, çalışmada kullanılan verilerden bahsedilmiştir, 3. Bölümde ise doğrusal tahmin filtrelerinin temel prensipleri anlatılmıştır. 4. Bölümde deney sonuçları sunulmuş ve son olarak 5. Bölümde bu sonuçlar tartışılmıştır.

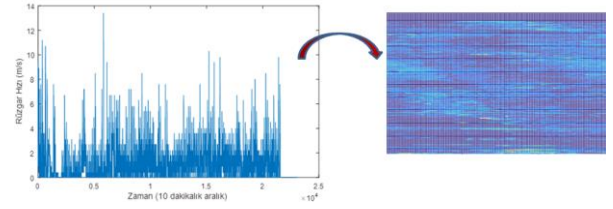
2. Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü yerleşkesinde kurulu olan bir meteoroloji istasyonundan 23 Mart 2018 – 23 Eylül 2018 tarihleri arasında 10 dakikalık periyotlarla toplanan rüzgar hızı, sıcaklık ve basınç değerleri kullanılmıştır. Ölçülen veriler ilk olarak bir ön analiz aşamasından geçirilmiş ve elektrik kesintisi vb. nedenlerden dolayı hatalı gerçekleştirilen kayıtlar veri setinden çıkarılmıştır. Veri toplanan meteoroloji istasyonu Davis marka bir meteoroloji istasyonudur ve rüzgar hızı, rüzgar yönü, nem, basınç, sıcaklık, toprak sıcaklığı vb. bir çok veriyi ölçme kabiliyetine sahiptir. Meteoroloji istasyonundan alınan veriler bir gösterge paneli (Şekil 1) vasıtası ile görülebilmekte ve kablosuz olarak alınan bu veriler bilgisayara aktarılabilir.



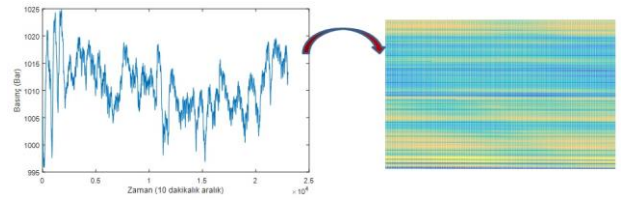
Şekil 1. Davis marka meteoroloji istasyonu gösterge paneli

Doğrusal tahmin filtreleri (ister iki boyulu ister çok boyutlu olsun) bir görüntü işleme tekniği olduğu için, bu yöntemde ilk olarak zaman serisi olarak toplanmış olan veriler iki boyutlu resimlere dönüştürülür. Şekil 2’de meteoroloji istasyonundan ölçülen rüzgar verisi ile buna karşılık gelen rüzgar resmi görülmektedir. Ölçülen rüzgar verileri 15 m yükseklikte ölçülen 10 dakika periyotlu ortalama rüzgar hızlarıdır.

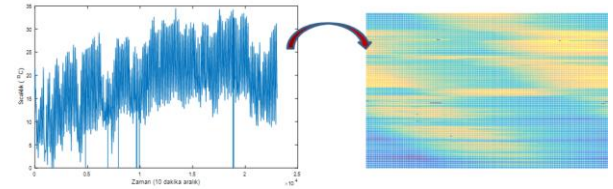


Şekil 2. 10 dakikalık periyotla ölçülen rüzgar hızı zaman serisi ve karşılık gelen rüzgar resmi

iki boyutlu doğrusal tahmin filtrelerinde tek bir resim üzerinde çalışılırken, çok boyutlu doğrusal tahmin filtrelerinde farklı verilere ait resimler üst üste bindirilir. Bu çalışmada kullanılan bir diğer veri olan basınç verisinin zamana göre değişimi ve bu değişime karşılık gelen resim Şekil 3’te sunulmuştur. Ayrıca çalışmada sıcaklık verisi kullanılmış, sıcaklığın değişimi ve iki boyutlu sıcaklık resmi Şekil 4’te gösterilmiştir.



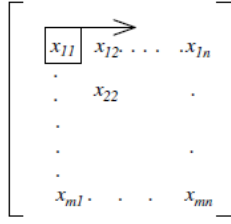
Şekil 3. 10 dakikalık periyotla ölçülen basınç zaman serisi ve karşılık gelen basınç resmi



Şekil 4. 10 dakikalık periyotla ölçülen sıcaklık zaman serisi ve karşılık gelen sıcaklık resmi

3. İki ve Çok Boyutlu Doğrusal Tahmin Filtreleri

Doğrusal tahmin filtreleri, verinin geçmiş değerlerini kullanarak mevcut değerini modeller (Hocaoğlu vd., 2008). Modellemede hangi verilerin kullanılacağı, filtre şablonu ile belirlenmektedir. Farklı filtre şablonlarının tasarımı, tahmin başarısı üzerinde farklı etkilere neden olmaktadır. İki boyutlu doğrusal tahmin filtre katsayısı Şekil 5’te verilen filtre şablonu için şu şekilde hesaplanır:



Şekil 5. Örnek bir iki boyutlu filtre şablonu

İlk olarak, Şekil 5'teki filtre şablonunda x_{12} değeri x_{11} 'in bir katsayısı ile çarpımıyla hesaplanır. Bu katsayının a olduğu varsayılırsa tahmin değeri Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$\check{x}_{i,j+1} = x_{i,j} \cdot a \quad (1)$$

Bu durumda tahmin edilen değer ile ölçülen değer arasında hata değeri bunların farkı kadardır. Toplam tahmin hatasının enerjisi ise Eşitlik 2 kullanılarak hesap edilir.

$$\varepsilon = \sum_{i=2}^m \sum_{j=2}^n \varepsilon_{i,j}^2 \quad (2)$$

Burada $\varepsilon_{i,j}$ koordinatındaki tahmin hatasını, m ve n ise kullanılan resmin boyutlarını ifade eder. Bu eşitliği minimize edecek olan filtre katsayısı Eşitlik 3'te görüldüğü gibi türevi alınıp sıfıra eşitlenerek ortaya çıkan denklemin çözümünden elde edilir.

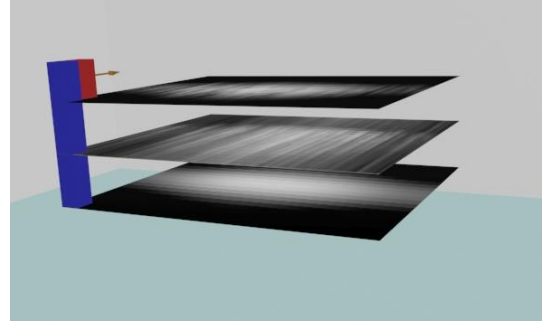
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} = 0 \quad (3)$$

Bu eşitliğin çözümü, Eşitlik 4'e karşılık gelir.

$$R \cdot a = r \quad (4)$$

Burada R geçmiş pikseller arasındaki korelasyonu, a filtre katsayısını ve r geçmiş ile tahmin pikselleri arasındaki korelasyonu ifade eder. Eşitlik 4'ün çözümünden filtre katsayısı a 'nın değeri bulunur. Bu katsayı kullanılarak gelecek değerler hesaplanabilir. Çok Boyutlu Doğrusal Tahmin Filtreleri (MDLPF) yöntemi de aynı mantık üzerine çalışır. Burada fark artık tek bir resim değil üst üste bindirilmiş birden fazla resmin olmasıdır ve filtre şablonu resimler arasındaki bağlantıyı sağlar (Şekil 6). Resimler üst üste bindirildiği ve bu işlem sırasında piksel değerleri toplanmayıp, her bir resim ayrı bir katman olarak korunduğu için resim çok boyuta taşınmış olur. Çok boyutlu filtre şablonu, resmi iki boyuttta tarar ve böylece tarama işleminde her bir verinin aynı zamana karşılık gelen verilerinden faydalanılır. Birden fazla resim olması, mutlaka birden fazla filtre

katsayısı olacağını ifade eder ve bu durumda Eşitlik 3 her bir katsayı için uygulanır. Eşitlik 4 ise artık bir skaler yerine vektör ve matrislerle ifade edilir. Çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri ile ilgili daha detaylı bilgiye Akarşan vd. (2014)'ten ulaşılabilir.



Şekil 6. Çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri için örnek bir şablon

Filtre şablonu tüm resmi tarayarak, optimal filtre katsayılarını belirler. Bu çalışmada, satırların günlere, sütunların ise 10'ar dakikalık zaman dilimlerine karşılık geldiği resimler oluşturulmuştur. Bu resimlerde, herhangi bir sütundan sonraki sütunda yer alan piksel değeri 10 dakika sonraki rüzgar hızı değerini ifade ederken, herhangi bir satırın altında yer alan piksel ise sonraki gün aynı zamandaki rüzgar hızı verisinin değerini ifade eder.

4. Deneysel Sonuçları

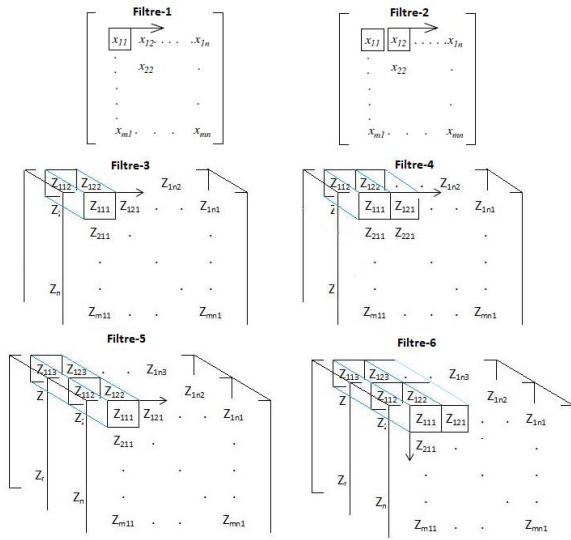
Yapılan çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesinde ANS kampüs alanına yerleştirilen bir meteoroloji istasyonundan on dakikalık periyotlarda toplanan rüzgar hızı, sıcaklık ve basınç değerleri kullanılmıştır. Rüzgar hızının modellenmesinde hem iki boyutlu doğrusal tahmin filtreleri hem de çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri tasarlanmış ve filtrelerin rüzgar hızlarını modellemedeki başarısı araştırılmıştır. Kullanılan doğrusal tahmin filtreleri MATLAB programında tasarlanmış ve tüm simülasyonlar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Tahmin başarısını ölçmek amacıyla ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama yanılğı hatası (MBE) kriterleri kullanılmıştır. RMSE modelin kısa-dönem (short-term) performansı hakkında bilgi sağlar. RMSE değeri Eşitlik 5 ile hesaplanır ve RMSE'nin düşük değerleri daha iyi performansı işaret eder (Nastos

vd. 2014, Akarşan ve Hocaoğlu 2015). MBE, beklenen ve ölçülen değerler arasındaki sapmayı karşılaştırarak, korelasyonların uzun vadeli performansı hakkında bilgi sağlar. MBE, Eşitlik 6 ile hesaplanır ve MBE'nin sıfıra yakın değerleri daha başarılı modeli işaret eder (Akarşan ve Hocaoğlu 2017).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{I}(i) - I(i))^2} \quad (5)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{I}(i) - I(i)) \quad (6)$$

Gerçekleştirilen çalışmada Şekil 7'de görüldüğü gibi iki farklı iki boyutlu doğrusal tahmin filtresi ve bunlara karşılık gelen iki farklı çok boyutlu tahmin filtresi şablonu tasarlanmıştır.



Şekil 7. Kullanılan iki boyutlu filtre şablonları (üst) ve karşılık gelen çok boyutlu filtre şablonları (orta ve alt)

Filtre-1, Filtre-3 ve Filtre-5 herhangi bir andaki rüzgar hızını belirlemek için on dakika önceki veriyi kullanırken, Filtre-2, Filtre-4 ve Filtre-6 aynı işlem için on dakika ve yirmi dakika önceki verileri birlikte kullanır. Filtre-1 ve Filtre-2 rüzgar hızını modellemede yalnızca rüzgar hızının geçmiş değerlerini kullanırken, Filtre-3 ve Filtre-4 aynı işlem için hem rüzgar hem de basınç verisinden, Filtre-5 ve Filtre-6 rüzgar, basınç ve sıcaklık verisinden faydalanır. Filtre şablonu tüm resmi tarar ve optimum filtre katsayılarını hesaplar. Çalışmada kullanılan altı filtre için hesaplanan filtre katsayıları Çizelge-1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Modellemede oluşan hata değerleri

	Katsayılar					
	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Filtre-1	0,9360	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Filtre-2	0,1401	0,8049	xxx	xxx	xxx	xxx
Filtre-3	0,0114	0,9152	xxx	xxx	xxx	xxx
Filtre-4	-0,0244	0,1307	0,0342	0,7957	xxx	xxx
Filtre-5	-0,0044	0,0211	0,8845	xxx	xxx	xxx
Filtre-6	-0,1898	0,1179	-0,0035	0,0234	0,1849	0,7779

*xxx: şablonda yer almayan katsayılar

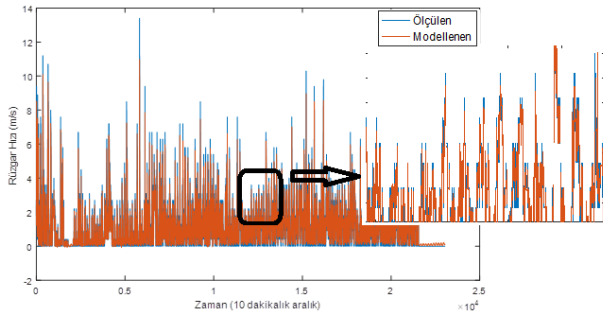
Hesaplanan filtre katsayıları kullanılarak on dakikalık periyotlardaki rüzgar hızı verilerinin değerleri hesaplanır. Çalışmada, 23 Mart 2018-23 Eylül 2018 aralığında 6 aylık veri kullanılmış ve Çizelge-2'de sunulan performans sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 2. Modellemede oluşan hata değerleri

Filtrenin kullandığı veriler	RMSE (W/m ²)	MBE (W/m ²)
Filtre-1 Rüzgar hızı (t-1)	0,6198	0,0727
Filtre-2 Rüzgar hızı (t-1 ve t-2)	0,6137	0,0625
Filtre-3 Rüzgar hızı ve basınç (t-1)	0,6166	0,0295
Filtre-4 Rüzgar hızı ve basınç (t-1 ve t-2)	0,6113	0,0260
Filtre-5 Rüzgar hızı ,basınç ve sıcaklık (t-1)	0,6107	0,0060
Filtre-6 Rüzgar hızı, basınç ve sıcaklık (t-1 ve t-2)	0,6062	0,0045

Sonuçlar incelendiğinde tüm filtre şablonları için RMSE kriterine göre 0,6 m/s civarında bir hatanın olduğu görülmektedir. Filtre-1 ile Filtre-2 karşılaştırıldığında, çok büyük bir fark gözlenmemekle beraber, Filtre-2 ile daha başarılı sonuç alındığı görülmektedir. Bu herhangi bir andaki rüzgar hızını tahmin ederken 10 dakika önceki veri yerine hem 10 dakika hem de 20 dakika önceki rüzgar hızı değerlerini kullanmanın daha başarılı sonuçlar sağladığını göstermektedir. Ancak performanslar arasında önemli farkların olmaması 10 dakika önceki rüzgar hızı verisinin 20 dakika önceki veriye göre mevcut rüzgar hızı için çok daha önemli bilgi taşıdığını gösterir. Filtre-1 ile Filtre-3 karşılaştırılacak olursa (Filtre-3, Filtre-1'in çok boyutlu versiyonudur) Filtre-3'ün daha iyi bir sonuç sağladığı görülür. Bu durum rüzgar hızını tahmin ederken hem rüzgar hem de basınç verisinden faydalanmanın başarıyı artırdığını gösterir. Filtre-5 ise rüzgar hızını tahmin ederken hem basınç hem de sıcaklık verisinden faydalanır ve Filtre-3'e göre daha

başarılı sonuçlar sağlar. Daha fazla veriden faydalanmanın, daha başarılı modelleme performansı sağladığı görülmektedir. Filtre-4 ise Filtre-2'nin çok boyuta taşınmış versiyonudur ve Filtre-2'ye göre daha başarılı sonuçlar sağlar. Bu herhangi bir anda rüzgar hızını tahmin ederken 10 dakika ve 20 dakika önceki rüzgar hızı yanında aynı periyottaki basınç bilgisini de kullanmanın başarıyı artırdığını gösterir. Filtre-6 ile sıcaklık bilgisi de hesaba katılır ve bu başarıyı daha da artırır. Performansta çok yüksek olmayan bu iyileşme gözlenir ki, bu esas informasyonun 10 dakika önceki veride olduğuna işaret etmektedir. Altı filtrenin tamamı incelendiğinde yine en başarılı sonucun Filtre-6 ile elde edildiği görülür. MBE kriterine göre değerlendirildiğinde tüm modellerde sıfıra oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülür ki, bu başarılı bir modellemeyi işaret eder. MBE kriterine göre en başarılı tahmin yine Filtre-6 ile gerçekleştirilmiştir. Tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin aynı grafik üzerinde gösterimi Şekil 8'de sunulmuştur. Grafik önerilen yöntemin başarısını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması

5. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü yerleşkesinde bulunan bir Meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgar hızı verisi iki ve çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri kullanılarak modellenmiştir. Çok boyutlu filtre modelinde yine aynı istasyondan alınmış basınç ve sıcaklık verisinden de faydalanılmıştır. Bu kapsamda 10 dakikalık bir periyotla ölçülüp kaydedilen veriler kullanılarak rüzgar hızları modellenmiştir. Çalışmada, 2 tanesi iki boyutlu ve 4 tanesi çok boyutlu olmak üzere 6 farklı filtre şablonu

tasarlanmıştır. Deneysel sonuçları doğrusal tahmin filtrelerinin rüzgar hızı tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir. En başarılı sonuçlar mevcut rüzgar hızının tahmininde 10 ve 20 dakika önceki rüzgar hızı, sıcaklık ve basınç verilerinden faydalanan filtre şablonu ile elde edilmiştir. Bununla beraber değişen filtre şablonlarının başarısı arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir. Bu durum mevcut rüzgar hızı ile ilgili en fazla bilginin 10 dakika önceki rüzgar hızı verisinde taşındığını göstermektedir. Rüzgar hızı modellenmesinde basınç ve sıcaklık dışında başka parametrelerin kullanımı da başarıyı artırabilir ki, bu da ileriki çalışmalar için önemli bir araştırma konusu olarak değerlendirilmektedir. Sunulan yöntem parametreleri güncellenerek dünyanın herhangi bir yerinden ölçülmüş rüzgar hızı verilerinin modellenmesinde kullanılabilir niteliktedir.

6. Kaynaklar

- Akarşan, E., Hocaoglu, F.O. and Edizkan R., 2014. A novel M-D (multi-dimensional) linear prediction filter approach for hourly solar radiation forecasting. *Energy*, 73, 978–986.
- Akarşan, E. and Hocaoglu, F.O., 2015. An application of MDLPF models for solar radiation forecasting. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 4(4), 299-304.
- Akarşan, E., Hocaoglu, F.O. and Edizkan R., 2018. Novel short term solar irradiance forecasting models. *Renewable Energy*, 123, 58–66.
- Akarşan E. and Hocaoglu F.O., 2017. A Novel Method Based on Similarity for Hourly Solar Irradiance Forecasting. *Renewable Energy*, 112, 337-346.
- Atal, B. and Hanauer, L., 1971. Speech Analysis and Synthesis by Linear Prediction of the Speech Wave. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 50(2), 637-655.
- Bohlin, T., 1973. Comparison of Two Methods of Modeling Stationary EEG Signals. *IBM Journal of Research and Development*, 17(3), 194-205.
- Hocaoglu, F.O., Gerek, O.N. and Kurban, M., 2007. A novel 2-D model approach for the prediction of hourly solar irradiance. *LNCS Springer*, 4507, 741-749.
- Hocaoglu, F.O., Gerek, O.N. and Kurban, M., 2008. Hourly Solar Radiation Forecasting Using Optimal Coefficient

- 2-D Linear Filters and Feed-Forward Neural Networks. *Solar Energy*, 82 (8), 714–726.
- Köse, B., Recebl, Z. and Özkaymak, M., 2018. Stokastik Modellerle Rüzgar Hızı Tahmini; Karabük Örneği. Accessed September 22, 2018. <http://www.isites.info/PastConferences/ISITES2014/ISITES2014/papers/A12-ISITES2014ID128.pdf>.
- Hui, I., Mi, X. and Li, Y., 2018. An Experimental Investigation of Three New Hybrid Wind Speed Forecasting Models Using Multi-Decomposing Strategy and ELM Algorithm. *Renewable Energy*, 123, 694–705.
- Loukatou, A., Sydney, H., Paul, J. and Peter, D., 2018. Stochastic Wind Speed Modelling for Estimation of Expected Wind Power Output. *Applied Energy*, 228, 1328-1340.
- Ma, J., Mitra, F. and Antoine, G., 2018. Flexible Wind Speed Generation Model: Markov Chain with an Embedded Diffusion Process. *Energy*, 164, 316-328.
- Markel, J. and Gray, A.Jr., Linear Prediction of Speech, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, New York, 1976.
- Masseran, N., 2018. Integrated Approach for the Determination of an Accurate Wind-Speed Distribution Model. *Energy Conversion and Management*, 173, 56–64.
- Nascimento, C., Do, H., Lucio, P.S., Verçosa Leal Junior, J.B. and Marques de Carvalho, P.C., 2018. A Hybrid Model Based on Time Series Models and Neural Network for Forecasting Wind Speed in the Brazilian Northeast Region. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 28, 65–72.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Koukouletsos, K.V., Larissi, I.K. and Moustris, K.P., 2014. Artificial Neural Networks Modeling for Forecasting the Maximum Daily Total Precipitation at Athens, Greece. *Atmospheric Research*, 144, 141-150.
- Pobočíková, I., Sedláčková, Z. and Michalková, M., 2017. Application of Four Probability Distributions for Wind Speed Modeling. *Procedia Engineering*, 192, 713-718.
- Qinkai, H., Hao, Z., Hu, T. and Chu, F., 2018. Non-Parametric Models for Joint Probabilistic Distributions of Wind Speed and Direction Data. *Renewable Energy*, 126, 1032-1042.
- Ren, Y., Ponnuthurai, N. S. and Narasimalu, S., 2016. A Novel Empirical Mode Decomposition With Support Vector Regression for Wind Speed Forecasting. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 27(8), 1793-1798.
- Seckin, K., Altan, A., Sarac, Z. and Hacıoğlu, R., 2017. Prediction of Wind Speed with Non-Linear Autoregressive (NAR) Neural Networks. 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), IEEE, 2017.
- Tan, Z., Zhang, H., Xu, J., Wang, J., Yu, C. and Zhang, J., 2012. Photovoltaic Power Generation in China: Development Potential, Benefits of Energy Conservation and Emission Reduction. *Journal of Energy Engineering*, 138 (2), 73-86.
- Wood, L. and Treitel, S., 1975. Seismic Signal Processing, *Proceeding of the IEEE*, 63, 649-661.
- Yılmaz, V. and Çelik, H.E., 2008. Rüzgar Hızı Dağılımının Tahmin Edilmesi İçin İstatistiksel Bir Yaklaşım: Gelibolu Bölgesi Örneği. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 9 (1), 122-132.
- Zhang, W.Y., Zeng-Bao, Z., Ting-Ting H. and Ling-Bin K., 2011. Short Term Wind Speed Forecasting for Wind Farms Using an Improved Autoregression Method. *International Conference of Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences*, 195-198, IEEE.