Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **18** (2018) **015203** (516-522) AKU J. Sci. Eng.**18** (2018) **015203** (516-522)

DO: 10.5578/fmbd.67026

Araştırma Makalesi / Research Article

Bir Fotovoltaik Güç Sisteminin Üretiminin Çok Boyutlu Tahmin Filtreleri ile Modellenmesi

Fatih Onur HOCAOĞLU, Emre AKARSLAN

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

e-posta: e.akarslan@gmail.com

Geliş Tarihi: 11.01.2018 ; Kabul Tarihi: 03.07.2018

Anahtar kelimeler

Çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri; PV güç üretimi; Modelleme

Özet

Akıllı şebekeler ile birlikte farklı üretim kaynaklarının şebekeye entegre edilebilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha da özel bir noktaya getirmiştir. Bu kaynakların hem sürdürülebilir hem de çevre dostu olmaları en büyük avantajlarıdır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneşten, elektrik üretecek bir sistemin tasarımı ve yönetimi için bu sistemden üretilecek gücün tahmin edilebilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada Afyon Kocatepesi Üniversitesi kampüs alanına tesis edilmiş bir güneş enerji sisteminin üretiminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üretim tesisinden toplanan bir yıllık veriler kullanılmış ve modelleme için çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri (MDLPF) kullanılmıştır. Saatlik olarak toplanan bir yıllık sıcaklık, üretim ve güneş ışınımı verileri, satırları günlere, sütunları saatlere karşılık gelen resimlere çevrilmiş ve uygun filtre şablonu kullanılarak güç sisteminin üretimi modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar MDLP filtrelerin güç sisteminin üretimini modellemedeki başarısını ortaya koymuştur.

Modeling of a Photovoltaic Power Unit's Generation by Multi-dimensional Linear Prediction Filters

Keywords

Multi-dimensional linear prediction filters; PV power production; Modeling

Abstract

Integration of different production resources to the grid by the development on smart grids, renewable energy resources have been brought to a more specific point. The greatest advantage of these resources is that they are both sustainable and environmentally friendly. To design and manage an electricity production system from the sun which is one of the most important renewable energy sources, prediction of the energy which will be produced is very important. In this study, it is aimed to predict the production of the solar energy system that is built on campus area of the Afyon Kocatepe University. For this purpose, one-year data collected from PV system is used and multi-dimensional linear prediction filters are used for modeling. One year temperature, production and solar radiation data which are collected hourly, are converted to images which one's rows and columns correspond to days and hour, respectively and the production of the power system is modeled by using proper filter template. Obtained results prove that the MDLP filters have a good performance on modeling the production of the power system.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Artan enerji ihtiyaçları ve azalan fosil kaynaklı yakıtlar, enerji üretiminde farklı kaynaklara olan ihtiyacı daha da artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu olmaları, sürdürülebilir olmaları, üretimin olduğu yerde tüketim imkanı sağlamaları gibi avantajları sebebiyle, elektrik üretimi için önemli kaynaklardır. Akıllı şebekelerin yaygınlaşmaya başlaması ve bu şebekelerin farklı kaynakların şebekeye entegrasyonunu

kolaylaştırması, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmıştır. Özellikle son beş yıldaki maliyetlerde hızlı bir düşüş ile en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneşten (Akarslan vd., 2018) elektrik üreten bir sistemin üretimi, bu sistemin kurulu olduğu bölgenin güneşlenme potansiyeline bağlıdır. Böyle bir sistemin tasarımı ve yönetimi için üretiminin tahmini oldukça önemlidir. Ayrıca ülkelerin Horizon 2020 hedeflerine ulaşabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik cazip teşvikleribulunmaktadır. Bu teşvikler ile üretimin önceden tahmin edilebilmesi, farklı kaynaklardan beslenen bu entegre sistemin daha verimli yönetilebilmesi açsından daha da önemli hale gelmiştir. Güneş enerjisinden elektrik üreten bir güç sisteminin üretiminin modellenmesine yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Liu vd. (2015) yaptıkları çalışmada, bir PV sistemin çıkış gücünü tahmin etmek için aerosol indeksinin de giriş parametresi olarak kullanıldığı yeni bir geri beslemeli sinir ağı modeli kullanımını önermişlerdir. 24 saatlik tahminler yapılmış ve deney sonuçları önerilen yöntemin, giriş olarak sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi parametreleri kullanan geleneksel yapay sinir ağlarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Mellit vd. (2014), günleri, güneşli, bulutlu ve parçalı bulutlu olarak 3 kategoriye ayırmış ve herbir kategori için farklı bir yapay sinir ağı modeli oluşturmuştur. Oluşturulan bu modeller ile İtalya'nın güneyinde bulunan büyük boyutlu bir PV sistemin çıkış gücünü tahmin etmişler ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. İzgi vd. (2012) ise yapay sinir ağlarının küçük boyutlu PV sistemlerinin üretiminin tahmininde de oldukça başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu tür yapay zeka tekniklerinin yanında hibrit yöntemlerinin de PV sistem üretimlerinin tahmininde kullanıldığı bir çok çalışma bulunmaktadır. De Giorgi vd. (2015) yaptıkları çalışmada, İtalyanın güneydoğusunda bulunan Apulia bölgesinde bulunan güneş enerji sisteminin üretiminin tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada sistemden geçmişte kaydedilen veriler kullanılmış ve tahmin için En küçük Kareler Destek Vektör Makineleri (Least Square Support Vector Machines) ve Dalgacık Ayrıştırması (Wavelet Decomposition) yöntemlerinden oluşan hibrit bir istatiksel tahmin yöntem kullanılmıştır. Önerilen method yapay sinir ağlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Wang vd. (2015), kısa dönemli fotovoltaik güç tahmini için, havanın durum örüntüsünün tanınması modeline dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem, güneş ışınımı için bir öznitelik çıkarma işlemi ile havanın durum örüntüsünün tanınması için destek vektör makinelerinin (SVM) kullanımından oluşur. Yapılan çalışma sonucu yöntemin başarısı ortaya konmuş, buna ek olarak farklı boyutlarda girdi parametrelerinin sonuca etkisi araştırılmıştır. Lin ve Pai (2016) yaptıkları çalışmada geliştirdikleri Evrimsel Mevsimlik Ayrışma En Küçük Kareler Destek Vektör Regresyonu (evolutionary seasonal decomposition least-square support vector regression) hibrit methodunu kullanarak bir güneş enerji sistemi için güç tahmini yapmışlardır. Yapılan çalışmada genetik algoritma da En Küçük Kareler Destek Vektör Regresyonunun parametrelerinin seçiminde kullanılmıştır. Yapılan testler, önerilen yöntem ile başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Yapay zeka teknikleri ve hibrit yöntemlerin bir PV sistemin üretiminin modellenmesi ve tahmininde oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak bu tip yöntemlerin en büyük dezavantajı işlem karmaşıklığıdır. Ayrıca yapay sinir ağları bir eğitim sürecine ihtiyaç duyar ve her eğitim süreci, eğitim verisi değiştirilmemiş olsa bile farklı bir modelin oluşmasına, bu da modelin başarısının değişimine neden olabilir. Bu nedenle işlem karmaşıklığı nispeten az olan regresyon ve filtre yöntemleri de PV üretimlerinin tahmininde kullanılabilir. Bessa vd. (2015) yaptıkları çalışmada, vektör otoregresyon çerçevesine dayalı (vector autoregression framework), akıllı şebeke altyapısından toplanmış dağıtık zaman serisi bilgisini kombine eden yeni bir algoritma önermişlerdir. Sunulan çalışmada, olasılıksal tahminler, konut tipi güneş panelleri (PV) ve ikinci derece trafo seviyeleri için gerçekleştirilmiştir. Evora, Portekiz bölgesinde bulunan pilot akıllı şebeke sisteminden 44 mikro üretim birimi ve 10 ikinci seviye trafo merkezinden oluşan sistem verileri üzerinde testler gerçekleştirilmiş ve tahminlerde %10 civarı bir iyileştirme elde

edilmiştir. Huang ve Perry (2016), Küresel Enerji Tahmin Yarışı 2014 (GEFCom2014) için olasılıksal bir güneş enerjisi tahmin modeli geliştirmişlerdir. Önerilen method, güneş enerjisinin determinstik tahmini için gradyan güçlendirme (gradient boosting) ve olasılıksal tahminleri elde edebilmek için aralıkların tahmini için k-nearest neighbors regresyonundan oluşur. Önerilen metod, alternatif metodlar ile karşılaştırılmış ve umut veren sonuçlar elde edilmiştir.

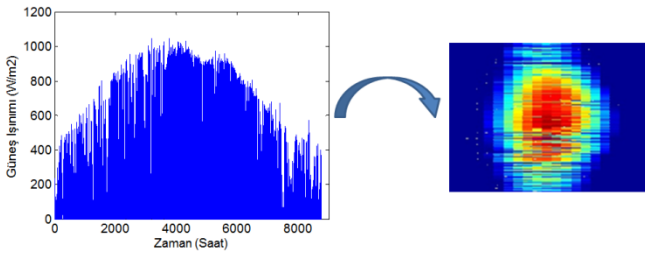
Akarslan vd. (2014) ise güneş ışınım tahmini için çok boyutlu doğrusal tahmin filtrelerini (MDLPF) kullanmayı önermişlerdir. Önerilen yöntem güneş ışınım zaman serisi ve bu veri ile korelatif sıcaklık gibi meteorlojik verilerin öncelikle iki boyutlu resimlere dönüştürülmesini içerir. Çalışmada, iki boyutlu resimler uygun şekilde birleştirilerek çok boyutlu resimler elde edilmiş ve bu resimlere uygun filtre şablonları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu filtre şablonları kullanılarak güneş ışınımı tahmin edilmiş ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Daha önce sunulmuş olan ilgili çalışmanın güneş ışınım tahminindeki başarısından hareketle, bu çalışmada bir PV sistemin üretiminin tahmininde çok boyutlu doğrusal tahmin filtrelerinin kullanılması önerilmiştir. Bir PV sistemin üretimi, panel yüzeyine ulaşan güneş ışınımı değeri ile direkt bağlantılıdır ve bu sebeple güç tahmininde de iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Ayrıca işlem karmaşıklığının nispeten düşük olması, çok boyutlu doğrusal tahmin filtrelerinin önemli bir avantajıdır. Bu doğrultuda Afyon Kocatepesi Üniversitesi kampüs alanına tesis edilmiş bir güneş enerji sisteminden toplanmış veriler kullanılmıştır. Bir yıllık toplanmış olan saatlik üretim, güneş ışınım ve sıcaklık zaman serileri iki boyutlu resimlere çevrilmiş, bu resimlerden elde edilen çok boyutlu resime uygun filtre şablonları tasarlanmış ve sitemin üretimi modellenmiştir. Bu makalenin organizasyonu aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır. 2. Bölümde çalışmada kullanılan verilerden bahsedilmiş, 3. Bölümde ise çok boyutlu tahmin filtrelerinin temel prensipleri anlatılmıştır. 4. Bölümde deney sonuçları verilmiş ve son olarak 5. Bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

2. Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü yerleşkesinde kurulu olan güneş gözlem istasyonundan 1 Mart 2012 – 28 Şubat 2013 tarihleri arasında 10 dakikalık periyotlarla toplanan güneş ışınımı, sıcaklık ve üretim değerleri kullanılmıştır. 10 dakikalık periyotlarla toplanan verilerden bir saatlik ortalamalar hesaplanmış ve saatlik değerlerden oluşan zaman serileri elde edilmiştir. Güneş ışınım verileri, Kipp&Zonen marka CMP6 model pironometre (Şekil 1) kullanılarak ölçülmüş ve bir veri kaydedici vasıtasıyla kaydedilmiştir. Sıcaklık ölçümleri için ise LM35 sensörleri kullanılmış, ölçülen değerler bir bilgisayar programı vasıtasıyla kaydedilmiştir. PV sistemin üretimi ise akım ve gerilim sensörleri vasıtasıyla ölçülen akım ve gerilim değerlerinin çarpımıyla elde edilmiştir. Toplanan verilerin oluşturduğu zaman serileri, daha sonra iki boyutlu resimlere çevrilmiştir. İki boyutlu resimlere dönüşüm doğrusal tahmin filtrelerinin uygulanabilmesi için gereklidir. Şekil 2'de, çalışmada kullanılan güneş ışınım zaman serisinin grafiği ve karşılık gelen iki boyutlu resmi gösterilmiştir. Farklı parametrelere ait zaman serileri iki boyutlu resimlere çevrildikten sonra, belirlenen filtre şablonlarına uygun olarak birleştirilerek, önerilen çok boyutlu doğrusal filtrelerin uygulanması için uygun forma getirilmiştir. Önerilen yöntem 3. Bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

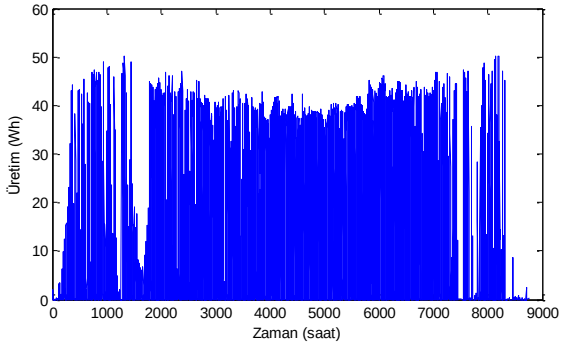


Şekil 1. Güneş ışınımı ölçümlerinin yapıldığı Kipp&Zonen marka pironometre



Şekil 2. Afyonkarahisar bölgesi için bir yıllık güneş ışınım verisi ve karşılık gelen 2 boyutlu resim

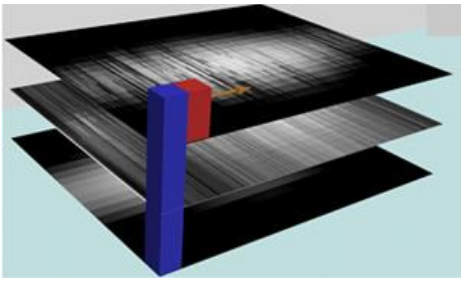
PV sistemin, üretimi bir yıl boyunca gözlemlenmiş ve kaydedilmiştir. 1 Mart 2012 – 28 Şubat 2013 tarihleri arasında 10 dakikalık periyotlarla toplanan üretim değerlerinin saatlik ortalamaları alınmış ve üretim değerleri elde edilmiştir. Üretimlere ait değişimi gösteren grafik Şekil 3'te gösterilmiştir. Üretim değerlerini belirlemek için bir yük deposu oluşturulmuş, üretilen güç, bu yük deposunda üretildiği anda harcanarak akım ve gerilim değerleri ölçülerek hesaplanmış ve bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Bu sisteme ait detaylara (Akarslan and Hocaoglu, 2015)'den ulaşılabilir.



Şekil 3. PV sistemden ölçülen bir yıllık üretim verileri

3. Doğrusal Tahmin Filtreleri

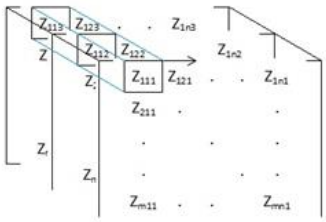
Çok Boyutlu Doğrusal Tahmin Filtreleri (MDLPF) yöntemi gelecek değeri, geçmiş değerlerin bir doğrusal kombinasyonu şeklinde belirler. Filtre şablonu tahminde kullanılacak olan resim sayısı (kaç farklı parametreden faydalanılacağı) ve geçmişe dönük olarak hangi aralıktaki verilerin kullanılacağına göre belirlenir. Tahmin edilecek olan verinin geçmiş değerlerini içeren resim (bu çalışmada PV sistemin üretimi) en üstte olmak üzere veri resimleri aynı gün ve saate karşılık gelen değerler üst üste gelecek şekilde birleştirilir. Böylece farklı parametrelere ait resimlerin birleşiminden oluşan çok boyutlu bir resim elde edilmiş olur. Tasarlanan filtre şablonu Şekil 4'te görüldüğü gibi aynı zamanda bu çok boyutlu matristeki resimler arasındaki bağlantıyı da sağlayacaktır.



Şekil 4. Çok boyutlu doğrusal tahmin filtresi örnek şablonu

Filtre şablonu tüm resmi tarayarak, optimal filtre katsayılarını belirler. Belirlenen filtre katsayıları, yapılacak saatlik tahmin için kullanılır. Örneğin, bir saat sonrasının (t+1) tahmini için sadece mevcut durumdaki son değerleri (t) kullanan bir filtre şablonu kullanıldığını ve çok boyutlu matrisin A,B ve C resimlerinden oluştuğu farzedilsin. Tahmin edilecek olan değerler A verisi için ise A(t+1) değeri, A(t), B(t) ve C(t) değerlerinin bir kombinasyonu olarak hesaplanır.

Matematiksel olarak, çok boyutlu filtrelere ait hesaplamaların nasıl yapılacağı, aşağıda özetlenmiştir. Şekil 5'teki gibi bir filtre kullanıldığı farzedilsin.



Şekil 5. Çok boyutlu doğrusal tahmin filtre şablonu matris gösterimi

Geçmiş değerlere bağlı olarak tahmin edilecek olan değer Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$\check{Z}_{i+1,j+1,1} = Z_{i,j,1}.a_1 + Z_{i,j,2}.a_2 + Z_{i,j,3}.a_3 \qquad (1)$$

Herhangi bir (i+1,j+1) koordinatındaki tahmin hatası Eşitlik 2 ile hesaplanır:

$$\varepsilon_{i+1,j+1} = \check{Z}_{i+1,j+1} - Z_{i+1,j+1} \qquad (2)$$

Toplam tahmin hatasının enerjisi ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir;

$$\varepsilon = \sum_{i=2}^{m}\sum_{j=2}^{n} \varepsilon_{i,j}{}^{2} \tag{3}$$

Burada *m* ve *n* kullanılan resmin boyutlarını ifade etmektedir. Eşitlik 3'ü minimize edecek olan filtre katsayıları Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır.

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a_1} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial a_2} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial a_3} = 0 \tag{4}$$

Eşitlik 4'ün çözümü bize aşağıdaki matris formunu sağlar:

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Burada $R_{i,j}$'ler geçmiş pikseller arasındaki korelasyonu, a_i'ler filtre katsayılarını ve r_i'ler geçmiş ile tahmin pikselleri arasındaki korelasyonu ifade eder. Şayet bu eşitlik daha basit bir formda $R.a=r$ şeklinde ifade edilirse, optimal filtre katsayıları Eşitlik 6 ile bulunabilir.

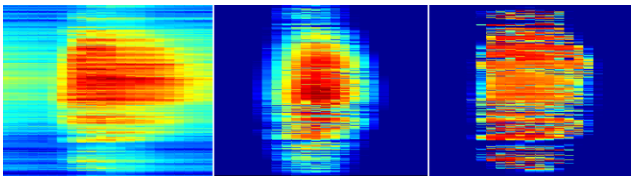
$$a = R^{-1}.r \tag{6}$$

4. Deney Sonuçları

Yapılan çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesinde bulunan güneş gözlem istasyonundan elde edilmiş ışınım, sıcaklık ve üretim değerleri kullanılmıştır. Üretim değerleri, güneş gözlem istasyonunda bulunan PV sistemden elde edilmiş saatlik üretim değerleridir. Tahmin yöntemi olarak çok boyutlu doğrusal filte modelleri seçilmiş ve bu modeller vasıtasıyla panelin üretim değerleri tahmin edilmiştir. Yapılan çalışmada tahmin başarısını ölçmek amacıyla ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama yanılgı hatası (MBE) kriterleri kullanılmıştır. RMSE bir tahmin modelinden elde edilen değerler ile ölçülen gerçek değerler arasındaki farkı değerlendirmede en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. RMSE ölçülen ve dolayısıyla tahmin edilen parametre ile aynı birime sahiptir. RMSE kısa-dönem (short-term) performans hakkında bilgi sağlar ve RMSE'nin düşük değerleri daha iyi performansı işaret eder (Nastos vd. 2014, Akarslan ve Hocaoglu 2016). MBE, beklenen ve ölçülen değerler arasındaki sapmayı terim terime karşılaştırarak, korelasyonların uzun vadeli performansı hakkında bilgi sağlar. MBE, tahmin edilen değerlerin ölçülen değerlerin üzerinde mi (pozitif değerler) yoksa altında mı (negatif değerler) kaldığını belirler ve ölçülen yada tahmin edilen parametre ile aynı birime sahiptir. MBE'nin ideal değeri "sıfır" dır (Moustris vd. 2009, Çinar vd. 2014).

Çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri ile tahmin yönteminin uygulanması için, öncelikle kullanılacak olan zaman serileri iki boyutlu resimlere dönüştürülür. Resmin satırları günlere ve sütunları saatlere karşılık gelecek şekilde 365x24'lük resimler (1 yıllık veri kullanılması durumunda) elde edilir. Şekil 6'da bu çalışmada kullanılan sırasıyla sıcaklık, ışınım ve üretime ait resimler görülmektedir.

Resimler, veriler arasındaki ilişki konusunda aslında bize önemli bir bilgi sağlamaktadır. Burada belirtilmesi gereken bir husus, sıcaklık resminin ışınım ve üretimden farklılık göstermesi ile alakalıdır. Resimde koyu mavi olarak görünen kısım, değer olarak sıfıra karşılık gelmektedir. Sıcaklıkta ise, üretim ve ışınımda olmamasına rağmen, negatif değerler vardır. Şekil 6'da görülen resimde sıcaklık değerleri pozitif değerlere taşınmıştır. Bu amaçla sıcaklığın minimum değeri belirlenmiş ve resimdeki herbir piksel değeri bu minimumun mutlak değeri ile toplanarak yeniden boyutlandırılmıştır.



Şekil 6. Çalışmada kullanılan, sırasıyla, sıcaklık, ışınım ve üretim resimleri

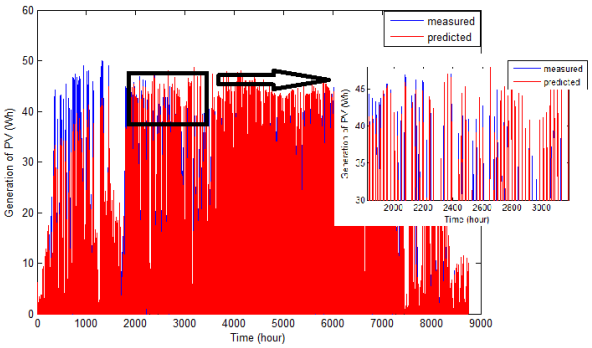
Filtre şablonu olarak Şekil 4'te verilen filtre şablonunun kullanılması uygun görülmüştür. Bu filtre şablonunda 1 saat sonraki ışınım değerini belirlemek için o anda ölçülmüş olan ışınım, sıcaklık ve üretim değerlerinden faydalanılır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Çizelge 1'den görülebileceği üzere tahminler sonucunda oluşan hatanın, ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) olarak

değeri 6.2802 W/m^2 dir. Bu hata değeri oldukça başarılı bir tahmin yapıldığını göstermektedir. Ortalama yanılgı hatası (MBE) ise 0.1374 W/m^2 olarak belirlenmiştir. MBE'nin ideal değerinin sıfır olduğu göz önüne alındığında yöntemin başarısı açıkça görülmektedir.

Çizelge 1. Tahmin sonucu oluşan hata değerleri

Modelin kullandığı veriler	Tahmin edilen veri	RMSE (W/m^2)	MBE (W/m^2)
Sıcaklık(t)-Işınım(t)-Üretim(t)	Üretim (t+1)	6,2802	0,1374

Tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin aynı grafik üzerinde gösterimi Şekil 7'de sunulmuştur. Grafik önerilen yöntemin başarısını ortaya koymaktadır. Bir PV panelin üretimi, üzerine düşen güneş ışınımı değeri ile doğrudan bağlantılıdır. Sıcaklık değeri ise hava olaylarına (rüzgar, yağmur, kar, basınç farkı vs.) bağlı olarak değişkenlik gösterir ve bu değişkenlik güneş ışınım değerinin alacağı değer ve dolayısıyla üretimin alacağı değer konusunda bilgi sağlar. Önerilen filtre şablonu, tüm bu bilgilerden istifade etmemizi sağlamakta, bu da tahmin başarısını artırmaktadır.



Şekil 7. Ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması

5. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü yerleşkesinde bulunan bir PV sistemin çıkış gücü çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen model parametreleri kullanılarak bu sistemin bir yıllık üretimi, saatlik olarak tahmin edilmiştir. Bu amaçla bir saat sonraki üretim değerini tahmin etmek için, mevcut ölçülen sıcaklık, ışınım ve üretim değerlerini kullanacak bir filtre şablonu tasarlanmıştır. Tasarlanan filtre şablonu ile yapılan tahminler, önceki bölümde açıkça görülebileceği gibi oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Literatürde daha önce güneş ışınımının tahmininde kullanılmak üzere önerilmiş bu yöntem, bir PV sistemin üretiminin modellenmesinde ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin bu alanda ileride daha da geliştirilerek sıkça kullanılacağını düşündürmektedir. Farklı filtre yapıları ve farklı veriler ile yapılacak kombinasyonların, daha başırılı sonuçlar verebileceği değerlendirilmekte olup, gelecek çalışmalarda, bu konu üzerine yoğunlaşılması planlanmaktadır.

6. Kaynaklar

Akarslan E, Hocaoğlu FO, Edizkan R. "A novel M-D (multi-dimensional) linear prediction filter approach for hourly solar radiation forecasting". Energy 73, 978–986, 2014.

Akarslan E, Hocaoglu FO. "A novel adaptive approach for hourly solar radiation forecasting". Renewable Energy 87, 628–633, 2016.

Akarslan E, Hocaoglu FO. "An application of MDLPF models for solar radiation forecasting". International Journal of Smart Grid and Clean Energy 4(4), 299-304, 2015.

Akarslan E, Hocaoğlu FO, Edizkan R. "Novel short term solar irradiance forecasting models". Renewable Energy 123, 58–66, 2018.

Bessa RJ, Trindade A, Silva CSP, Miranda V. "Probabilistic solar power forecasting in smart grids using distributed information". International Journal of Electrical Power & Energy Systems 72,16–23, 2015.

Çinar SM, Hocaoğlu FO, Orhun M. "A remotely accessible solar tracker system design". Journal of Renewable and Sustainable Energy 6(3), 033143, 2014.

De Giorgi MG, Congedo PM, Malvoni M, Laforgia D. "Error analysis of hybrid photovoltaic power forecasting models: A case study of mediterranean climate". Energy Conversion and Management 100, 117–130, 2015.

Huang J, Perry M. "A semi-empirical approach using gradient boosting and k-nearest neighbors regression for GEFCom2014 probabilistic solar power forecasting". International Journal of Forecasting 32, 1081–1086, 2016.

İzgi E, Öztopal A, Yerli B, Kaymak MK, Şahin AD. "Short–mid-term solar power prediction by using artificial neural networks". Solar Energy 86, 725–733, 2012.

Lin K-P, Pai P-F. "Solar power output forecasting using evolutionary seasonal decomposition least-square

support vector regression". Journal of Cleaner Production 134, 456–462, 2016.

Liu J, Fang W, Zhang X, Yang C. "An Improved Photovoltaic Power Forecasting Model With the Assistance of Aerosol Index Data". IEEE Transactions on Sustainable Energy 6,434–442, 2015.

Mellit A, Massi Pavan A, Lughi V. "Short-term forecasting of power production in a large-scale photovoltaic plant". Solar Energy 105, 401–413, 2014.

Moustris KP, Ziomas IC, Paliatsos AG. "3-Day-Ahead Forecasting of Regional Pollution Index for the Pollutants NO2, CO, SO2, and O3 Using Artificial Neural Networks in Athens, Greece". Water, Air, & Soil Pollution 209, 29–43, 2009.

Nastos PT, Paliatsos AG, Koukouletsos KV, Larissi IK, Moustris KP. "Artificial neural networks modeling for forecasting the maximum daily total precipitation at Athens, Greece". Atmospheric Research 144, 141–150, 2014.

Wang F, Zhen Z, Mi Z, Sun H, Su S, Yang G. "Solar irradiance feature extraction and support vector machines based weather status pattern recognition model for short-term photovoltaic power forecasting". Energy and Buildings 86, 427–438, 2015.