

ANFIS kullanılarak Tunceli ili için global güneş radyasyonu tahmini

Muhammet GUL¹, Erkan CELİK^{*2},

¹ Munzur Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli

² Munzur Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli

Makale Gönderme Tarihi: 01.09.2016

Makale Kabul Tarihi: 23.05.2017

Öz

Ölçüm araçları ve bakımlarının yüksek maliyetlerinden dolayı, global güneş radyasyonu ölçümü her zaman uygulanmamaktadır. Bu nedenden dolayı, daha az maliyetli global güneş radyasyonu tahmin etmek için bulanık, yapay zeka ve yazılım hesaplama tabanlı farklı tahmin teknikleri önerilmiştir. Fakat özel bir amaca ve bölge için en uygun yaklaşımı seçmek çok önemli olmaktadır.

Bu çalışmada Tunceli ili için aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunu tahmin etmek için adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems) yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım için 1990-2010 yılları arasındaki aylık veriler kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi, mevcut verileri kullanarak aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunu tahmin etmede iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: global güneş radyasyon; bulanık kümeler; ANFIS; Tunceli;

Giriş

Türkiye 36° ve 42° kuzey paralelleri konumunda yer almasından dolayı yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir (Sözen vd. 2004). Yıllık ortalama güneş radyasyonu değeri 3.6 kWs/m² gün iken, toplam yıllık radyasyon periyodu ise yaklaşık olarak 2610 saattir (Sözen ve Arcaklioğlu, 2005). Güneş radyasyonunun ölçümü ve güneş radyasyonu verilerinin enerji sistemlerinin analiz ve değerlendirilmesinde kullanılması, güneş radyasyonunun doğru tahmin edilmesine duyulan ihtiyacı arttırmaktadır (Kılıç ve Kumaş, 2016). Aynı zamanda bu durum, yeni kurulacak güneş enerji sistemlerinin tasarımında etkili olabilmektedir. Fakat güneş radyasyonu ölçümleri maliyet, bakım ve kalibrasyon ile ölçme ekipmanlarının gereksinimi nedeniyle zor olduğundan (Işık ve İnallı, 2011), ölçümlere yardım etmek amacıyla farklı tahmin metodu araçları önerilmektedir. Bu araçların başında Yapay Sinir Ağları (YSA) ve bulanık mantık temelli yaklaşımlar gelmektedir. Kalogirou (2001) yapmış olduğu literatür incelemesinde yenilenebilir enerji kaynaklarında YSA'nın etkin bir şekilde kullanıldığını belirtirken, Suganthivd. (2015) bulanık mantık tabanlı uygulamalarında kullanıldığını belirtmektedirler. Türkiye için yapılan çalışmalarda genel olarak YSA kullanılmaktadır. Sozen vd. (2004) Türkiye için aylık veri kullanarak güneş potansiyelini belirlemek üç farklı YSA tabanlı model önermişlerdir. Koca vd. (2011) Akdeniz bölgesi için aylık ortalama günlük global güneş radyasyon seviyesini belirlemek için YSA kullanmışlardır. Ozgoren vd. (2012) Türkiye'deki aylık ortalama günlük global güneş radyasyon seviyesini tahmin etmek için çoklu doğrusal olmaya regresyon analizini YSA tabanlı modelini önermiştir. Çelik vd. (2016) ise Türkiye için Doğu Akdeniz bölgesindeki dört ilin global güneş radyasyonunu tahmin etmek için iki farklı YSA tabanlı model kullanmışlardır. Tunceli ili için yapılan tek çalışma ise Işık ve İnallı (2011) tarafından yapılmıştır. Önerilen çalışmada 2009-2010 yılları arasındaki veriler kullanılarak global güneş ışınım miktarı YSA ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kılıç vd. (2016) ise Güneydoğu

Anadolu bölgesi için global güneş ışınımının ve güneşlenme süresinin tahmin etmede üstel ağırlıklı hareketli ortalama ve üstel ağırlıklı hareketli ortalama bazlı Gaussian dağılımlarını kullanmışlardır.

Adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) tabanlı çalışmalar kısıtlıdır. Mellit vd. (2007) Cezayir için 10 yıl için günlük veri kullanarak ANFIS yaklaşımı yardımıyla güneş radyasyon seviyesini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Mellit vd. (2008) ise Cezayir için 60 farklı lokasyondan elde edilen aylık veriler ile aylık ortalama temizlik indeksi ve toplam güneş radyasyonu seviyesini tahmin etmektedir. Önerilen ANFIS yaklaşımının avantajlarını göstermek için Genetik Algoritma sonuçları ile kıyaslamıştır. Mellit ve Kalogirou (2011) ise farklı iklim koşullarındaki güneş pillerinin simülasyonu ve modellenmesi için ANFIS yaklaşımını önermişlerdir. Mohammadi vd. (2016) ise ANFIS yaklaşımındaki en önemli kriteri belirlemek için global güneş radyasyon tahmin etme uygulaması sunmuşlardır.

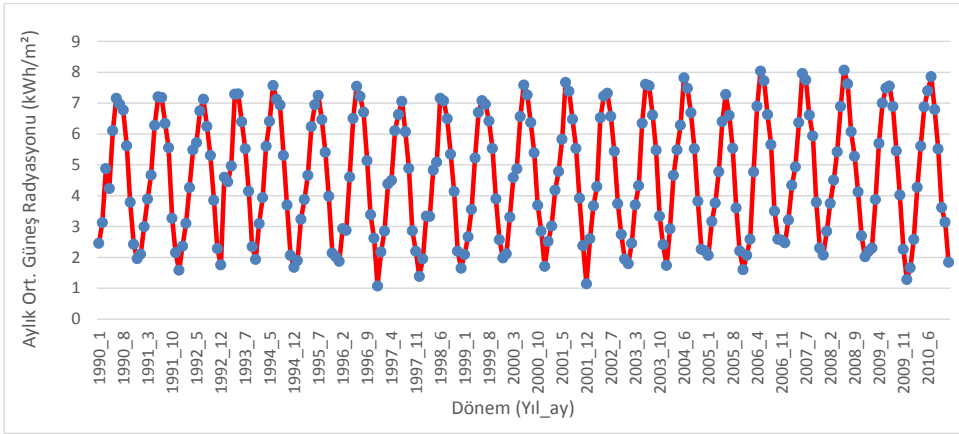
Suganthi vd. (2015) yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanılan bulanık mantık tabanlı uygulamalara ait detaylı bir literatür incelemesi sunmuşlardır. ANFIS tahmin çalışmalarında verilerdeki belirsizlikleri gösterme yeteneğini sahiptir (Pusat vd. 2016). Doğal kural gösteriminden dolayı da yorumlamakta kolaylıklar sunmaktadır. aylık ortalama global güneş enerjisi tahmininde daha etkin bir yapı gösterebilir ve bu nedenden dolayı da uygun ve alternatif bir tahmin modeli olabilir. Bu çalışmada, Tunceli ili için 1990-2010 yılları arasındaki aylık ortalama güneş radyasyonunun tahmini için ANFIS yaklaşımı önerilmektedir. Bu çalışmanın ana amacı, ortalama aylık ortalama güneş radyasyonunun tahmini için ANFIS yaklaşımının uygulanmasının potansiyelini araştırmaktır. Bu çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de çalışmada kullanılan materyal ve metod detaylı olarak sunulmaktadır. Tunceli iline yönelik olarak kullanılan ANFIS yaklaşımı uygulamasının sonuçları ise Bölüm 3'te anlatılmaktadır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları verilmektedir.

Materyal ve Yöntem

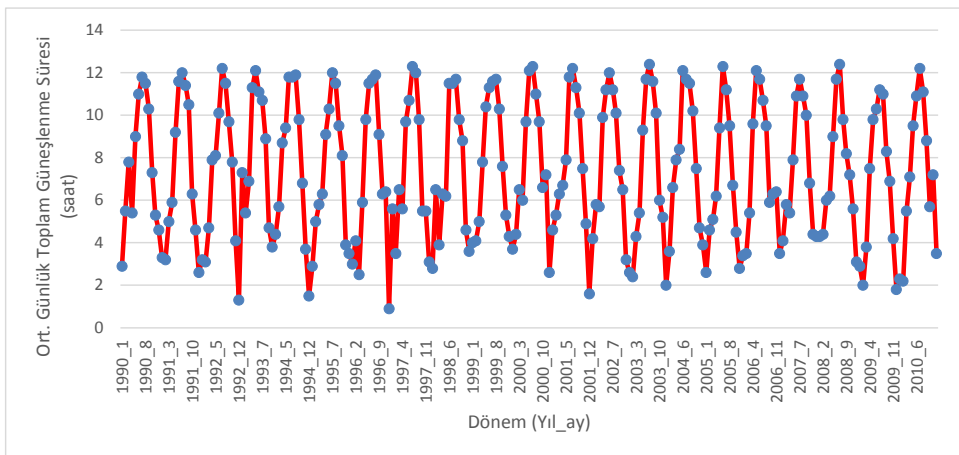
Veri

Bu çalışmada kullanılan veri, meteoroloji il müdürlüğünün 1990-2010 yılları arasındaki aylık ortalama güneş radyasyonunu değerleri ile aylık ortalama günlük toplam güneşlenme sürelerine ait sayısal değerleri kapsamaktadır. Örnek olarak 1990 yılına ait veri, 12 ay için ortalama güneş radyasyonu değerleri ile toplam güneşlenme sürelerinden oluşmaktadır. Bu şekilde yıllara ve aylara bağlı olarak değişen aylık ortalama güneş radyasyonunu değerleri ile

günlük toplam güneşlenme süreleri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre en yüksek aylık ortalama güneş radyasyonu değeri 2008 yılının 6. ayında 8.068 kWh/m² olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise 1.075 kWh/m² değeri ile 1996 yılının 12. ayına aittir. Benzer şekilde, en yüksek ortalama günlük toplam güneşlenme süresi değeri 2003 ve 2008 yıllarının 7. ayında 12.4 saat olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise 0.9 saat ile 1996 yılının 12. ayına aittir.



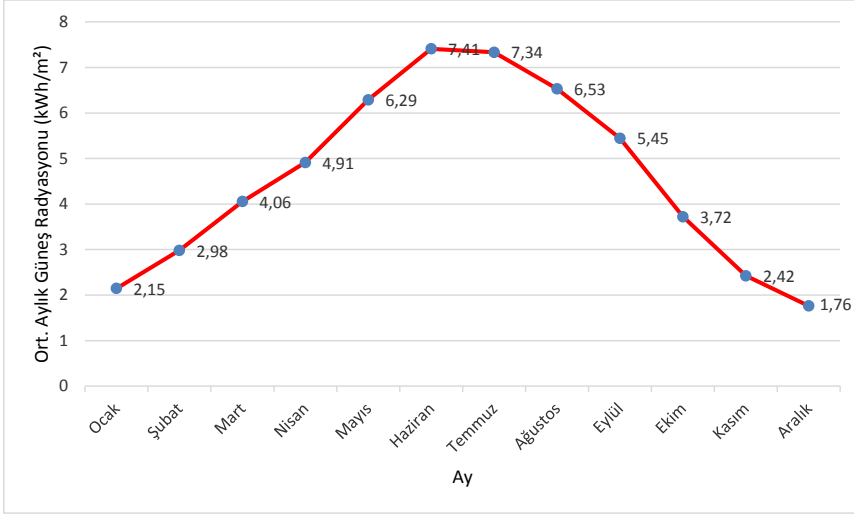
Şekil 1. Tunceli ilinin 1990-2010 arası yıllara bağlı ortalama güneş radyasyonu değerleri



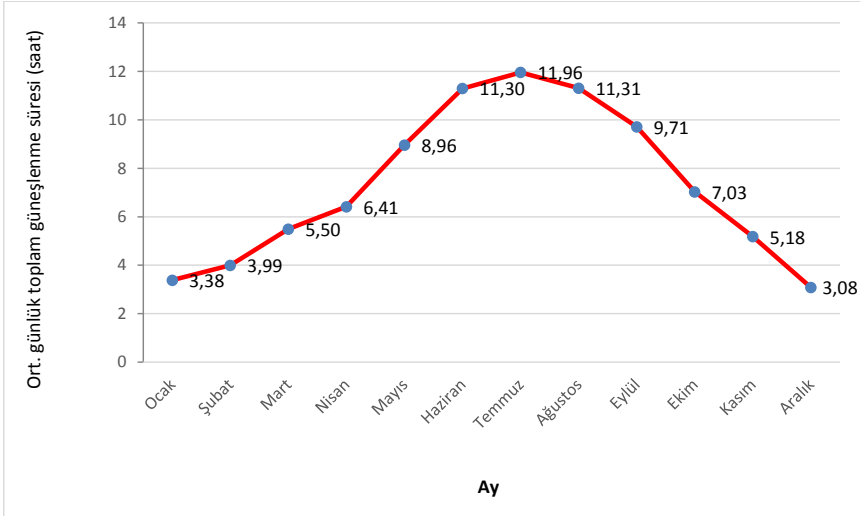
Şekil 2. Tunceli ilinin 1990-2010 arası yıllara bağlı ortalama güneşlenme süresi değerleri

Şekil 3 incelendiğinde, Haziran ayı 7.41 kWh/m^2 'lik ortalama güneş radyasyonu değeri ile en fazla değere sahip ay olurken, minimum güneş radyasyonuna sahip ay ise 1.76 kWh/m^2 'lik değere Aralık ayı olarak ölçülmüştür.

Benzer biçimde, Şekil 4 incelendiğinde en yüksek ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 11.96 değeri ile Temmuz ayında ölçülmüştür. En düşük değer ise 3.08 saat ile Aralık ayına aittir.



Şekil 3. Tunceli ilinin 1990-2010 arası aylara bağlı ortalama güneş radyasyonu değerleri

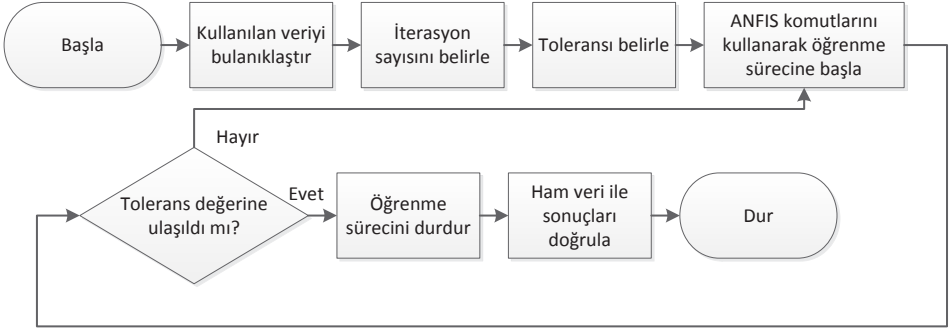


Şekil 4. Tunceli ilinin 1990-2010 arası aylara bağlı ortalama güneşlenme süresi değerleri

Adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (*Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems*), yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanan hibrit bir yapay zekâ metodudur (Demirel vd. 2010). İlk olarak Jang (1993) tarafından önerilmiştir (Balin ve Baracli, 2014). ANFIS, hem sinir ağlarını hem de bulanık mantık çıkarım yöntemlerini bütünlendirdiği için yapıların her ikisinden de faydalanır. ANFIS

yönteminin uygulanabilmesi için genelde giriş-çıkışa dayanan bir veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Seçilen üyelik fonksiyon adedi ve tipine bağlı olarak kurulan model bir öğrenme algoritması kullanılarak oluşturulur. Metot, oluşturduğu bulanık eğer-öyleyse kurallar kümesini kullanır. ANFIS mimarisi, çıktı ile hedef değer arasındaki farkı, yani hatayı minimum yapacak şekilde parametrelerle belirlenmesi suretiyle oluşturulur. Şekil 5’de ANFIS yapısının akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 5. ANFIS akış diyagramı (Balin ve Baracli, 2014)

ANFIS model performansı için; gerçek sistemin çıkış değeri ile modelin ürettiği çıkış değeri arasındaki farkın (hata) esas alındığı çeşitli ölçütler vardır. Bu ölçütlerden bazıları hata kareleri toplamı (*Mean Squared Error-MSE*), ortalama mutlak hata (*Mean Absolute Error-MAE*), ortalama mutlak yüzde hata (*Mean Absolute Percentage Error-MAPE*) olarak literatürde kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki deneysel problemin çözümünde kullanılan ölçütler, Formül (1-3)’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

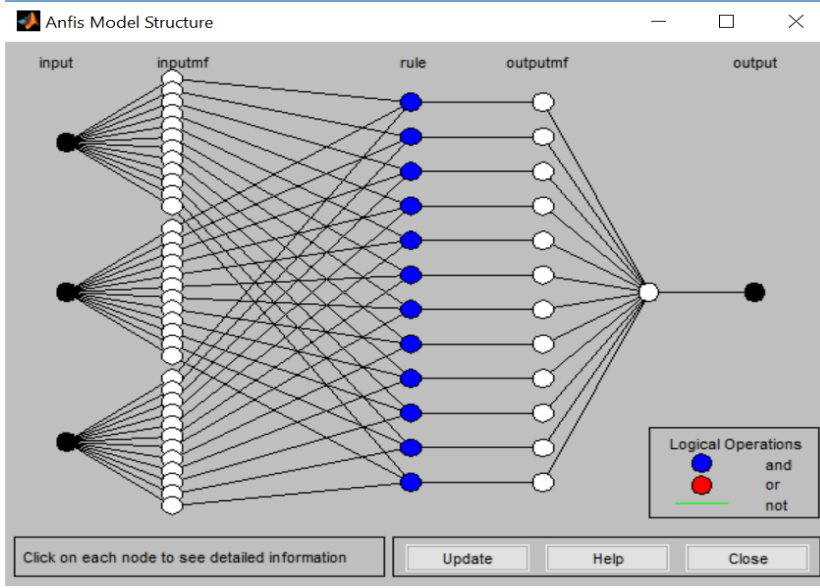
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - y_i}{x_i} \right| \quad (3)$$

Burada x_i gözlenen değeri belirtirken, y_i ise tahmin edilen değeri göstermektedir.

Deneysel Çalışma

Bu çalışmada Tunceli’nin aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu değerleri ANFIS metodu yardımıyla tahmin edilmiştir. ANFIS modelinin kurulumu için deneyler MATLAB 7 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde; yıllar, aylar ve aylık ortalama günlük toplam güneşlenme süresi (saat) girdi parametrelerini, aylık ortalama günlük toplam global güneşlenme şiddeti (AOGGR) [kWh/m²] ise tahmin edilmek istenen çıktı değerini ifade etmektedir. Tasarlanan ANFIS ağı Şekil 6’de gösterilmiştir.



Şekil 6. ANFIS ağı

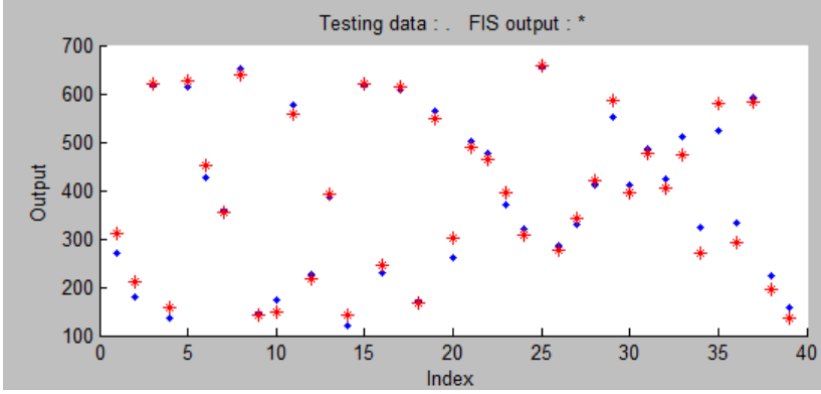
Sonuçlar ve Tartışma

Bu uygulama çalışmasında önerilen ANFIS modelinde, 3 girdi (yıllar, aylar ve aylık ortalama günlük toplam güneşlenme süresi [saat]), 1 çıktı (aylık ortalama günlük toplam global güneşlenme şiddeti (AOGGR) [kWh/m²]), Gaussian üyelik fonksiyonu ve 12 bulanık kural kullanılmıştır. Kullanılan veri noktalarının sayısı 245'dir. Şekil 7'de test aşamasında elde edilen ANFIS sonuçları görülmektedir. Burada X ve Y eksenleri aylık ortalama günlük toplam global güneşlenme şiddetinin (kWh/m²) gerçek ve tahmin edilen değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada, ANFIS ile kurulan tahmin modelinin doğruluğunu ölçmek için MSE, MAE, MAPE (Ortalama mutlak yüzde hata) ve R² (Belirlilik katsayısı) değerleri incelenmiştir. Test aşamasında MSE, MAE, MAPE ve R² değerleri sırasıyla 559.658, 1904.359, 6.365 (%6) ve 0.999 (%99.9) olarak elde edilmiştir. Güneş radyasyonu tahmini çalışmalarında yüzdelik hata değeri vermesinden dolayı genellikle

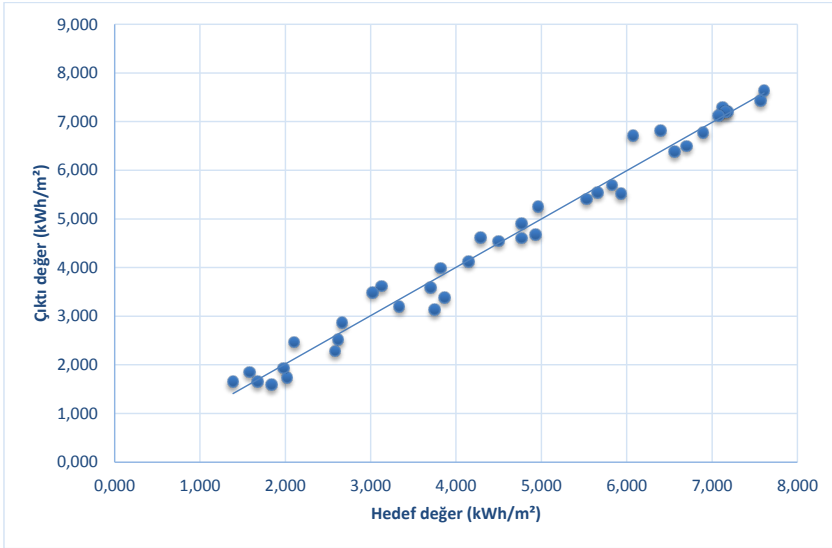
MAPE kullanılmaktadır. Ayrıca yukarıda bahsedilen MSE, MAE ve R² gibi performans ölçütleri de sunulmaktadır. Uygulamalarda MAPE'nin %10'dan düşük olması tahmin modelinin doğruluğunun yüksek, %10 ile %20 arasından olması tahmin modelinin doğruluğunun iyi, %20 ile %50 arasından olması tahmin modelinin doğruluğunun kabul edilebilir ve %50'den yüksek olması ise tahmin modelinin doğruluğunun kabul edilemez olduğunu göstermektedir (Çelik vd. 2016).

Bu çalışmada elde edilen MAPE (%6.365<%10) değeri tahmin modelinin doğruluğunun yüksek olduğunu göstermektedir.

Test verisi ve ANFIS sonuçlarının korelasyonu Şekil 8'de gösterilmiştir. Test ve hedef değerler arasındaki sapmalar bu grafikte rahat bir şekilde görülebilmektedir. 0.999 olarak elde edilen belirlilik katsayısı da yüksektir. Sonuçlar bulanık tabanlı ANFIS metodolojisinin aylık ortalama günlük toplam global güneşlenme şiddetini yüksek bir doğrulukla tahmin edebildiğini göstermiştir.



Şekil 7. Test aşamasında elde edilen ANFIS sonuçları



Şekil 8. Test verisi ve ANFIS sonuçları arasındaki korelasyon

Sonuçlar

Bu çalışmada, Tunceli iline ait aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu değerleri; yıllar, aylar ve aylık ortalama günlük toplam güneşlenme süresi (saat) girdi parametreleri kullanılarak ANFIS metodu yardımıyla tahmin edilmiştir. Çalışmada, gerçek değerler ile ANFIS kullanılarak elde edilen değerler arasındaki korelasyon yüksek olarak elde

edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ANFIS metodunun güneş radyasyonu değerlerinin tahmin edilmesinde başarılı bir şekilde kullanılabildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca ileriki çalışmalar için, diğer tahmin metodları kullanılarak hem Tunceli ili için hem de farklı yerleşim bölgeleri için güneş radyasyonu tahmin çalışmaları gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- Balin, A., & Baraclı, H. (2014). Modeling Potential Future Energy Demand for Turkey in 2034 by Using an Integrated Fuzzy Methodology. *Journal of Testing and Evaluation*, 42(6), 1-13.
- Çelik, Ö., Teke, A., & Yıldırım, H. B. (2016). The optimized artificial neural network model with Levenberg–Marquardt algorithm for global solar radiation estimation in Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 116, 1-12.
- Demirel, Ö., Kakilli, A., & Tektaş, M. (2010). ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3).
- Işık, E., İnallı, M. (2011). Tunceli ili için güneş ışımının yapay sinir ağları ile tahmini. *Engineering Sciences*, 6(1), 190-194.
- Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Kalogirou, S. A. (2001). Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 5(4), 373-401.
- Kılıç, H., Gümüş, B., Yılmaz, B. (2016). Güneydoğu Anadolu bölgesi için global güneş ışımının ve güneşlenme süresinin istatistiksel metotlar ile tahmin edilmesi ve karşılaştırılması, *Mühendislik Dergisi*, 7(1), 73-84.
- Kılıç, B., & Kumaş, K. (2016). Burdur ili güneşlenme değerlerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmini. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1), 38-44.
- Koca, A., Oztop, H. F., Varol, Y., & Koca, G. O. (2011). Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8756-8762.
- Mellit, A., & Kalogirou, S. A. (2011). ANFIS-based modelling for photovoltaic power supply system: A case study. *Renewable energy*, 36(1), 250-258.
- Mellit, A., Arab, A. H., Khorissi, N., & Salhi, H. (2007, June). An ANFIS-based forecasting for solar radiation data from sunshine duration and ambient temperature. In *Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE* (pp. 1-6). IEEE. Technology, 147, 12-17.
- Mellit, A., Kalogirou, S. A., Shaari, S., Salhi, H., & Arab, A. H. (2008). Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy*, 33(7), 1570-1590.
- Mohammadi, K., Shamshirband, S., Kamsin, A., Lai, P. C., & Mansor, Z. (2016). Identifying the most significant input parameters for predicting global solar radiation using an ANFIS selection procedure. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 423-434
- Ozgoren, M., Bilgili, M., & Sahin, B. (2012). Estimation of global solar radiation using ANN over Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5043-5051.
- Pusat, S., Akkoyunlu, M. T., Pekel, E., Akkoyunlu, M. C., Özkan, C., & Kara, S. S. (2016). Estimation of coal moisture content in convective drying process using ANFIS. *Fuel Processing*
- Sözen, A., & Arcaklioğlu, E. (2005). Solar potential in Turkey. *Applied Energy*, 80(1), 35-45.
- Sözen, A., Arcaklioğlu, E., & Özalp, M. (2004). Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45(18), 3033-3052.
- Suganthi, L., Iniyani, S., & Samuel, A. A. (2015). Applications of fuzzy logic in renewable energy systems—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 585-607.

Estimating Global Solar Radiation for Tunceli City using ANFIS

Extended abstract

Because of the high cost of measurement equipment and their maintenance, global solar radiation measurement is not always implemented. Hence, several forecasting approaches based on fuzzy sets, artificial intelligence or soft computing are proposed to forecast global solar radiation owing to being less cost. However, it is vital to select the most suitable approach for a specific purpose and region. In this study, the adaptive-network based fuzzy inference systems (ANFIS) is proposed to forecast monthly mean daily global solar radiation for Tunceli, Turkey.

The monthly data between 1990 and 2010 is used for the proposed approach. The data was obtained from provincial directorate of meteorology of Tunceli. According to the gathered data, the highest value of monthly average daily global solar radiation was measured as 5.218 kWh/m² in the year of 1993. The lowest one with a value of 3.905 kWh/m² belongs to the year of 1997. Similarly, the highest value of monthly average daily sunshine duration was measured as 8.71 hours in the year of 1993. The lowest one with a value of 6.64 hours belongs to the year of 2009. When the data is analysed on a monthly basis, the highest value of monthly average daily global solar radiation was measured as 7.409 kWh/m² in the month of June. The lowest one with a value of 1.762 kWh/m² belongs to the month of December. Similarly, the highest value of monthly average daily sunshine duration was measured as 12 hours in the month of July. The lowest one with a value of 3.1 hours belongs to the month of December.

The experiments were applied in MATLAB 7 package software in order to obtain the optimum network architecture. In this network, there are 3 inputs (months, years and monthly average daily sunshine duration) and 1 output (the estimation of the monthly average daily global solar radiation). The ANFIS proposed in this study has Gaussian membership function and twenty fuzzy rules are used. The number of the data points (monthly average daily global solar radiation measurement) is 245. As a performance measure of the ANFIS network, the mean absolute percentage error (MAPE) was used. In testing stage, the MAPE was

obtained as 6.365 which is quite well for this type of problem. The coefficient of determination (R-Squared) value was calculated as 0.999 which is significantly high. The highly successful results show the success of the fuzzy based methodology of ANFIS which provides estimations of global solar radiation successfully.

The presented approach shows that the ANFIS illustrates promising in the forecasting of monthly mean daily global solar radiation using available data. Future studies to estimate the monthly mean global solar radiation of Tunceli city with greater accuracy can be achieved using more apparent meteorological input parameters and different artificial intelligence techniques like artificial neural networks, autoregressive moving average methods or support vector machines. These methods can be improved for available models of daily and hourly estimation of global solar radiation.

Keywords: global solar radiation, fuzzy sets, ANFIS, Tunceli

mühendislik dergisi

