

Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı Modellenmesi

Eşref Boğar^{*1}, Zeynep Özsüt Boğar²

¹Pamukkale Üniversitesi Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Denizli, Türkiye

²Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

*ebogar@pau.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Türkiye için net elektrik enerjisi tüketimi modellenmiştir. Modelleme yapılırken lineer, karesel, polinomsal, Chebyshev polinomsal, sigmoid, trigonometrik, tanjant hiperbolik ve radyal tabanlı baz fonksiyonları kullanılmıştır. Gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat faktörleri dikkate alınarak, bu faktörlerin elektrik enerjisi tüketimine olan etkileri fonksiyonlar aracılığıyla bulunmuştur. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılarak da, her bir modelin katsayısı ortalama hata kareleri kökünün en küçüklenmesi amaçlanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar 1970-2015 yıllarına ait veriler dikkate alınarak yapılmıştır. Önerilen modellerin performansları ortalama hata kareleri kökü ve belirlilik katsayısına (R^2) göre değerlendirilmiştir. Elektrik enerjisi tüketiminin en iyi şekilde modellenmesi için farklı baz fonksiyonlarına bağlı modeller önerilmiş, en iyi sonucu Chebyshev polinomsal regresyon modelinin verdiği, parçacık sürü optimizasyonunun da bu fonksiyonların katsayılarını optimize etmede etkin bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Enerjisi Tüketimi, Modelleme, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Baz Fonksiyonları.

Modeling Net Electricity Energy Consumption of Turkey Based on Particle Swarm Optimization

ABSTRACT

In this study, net electricity consumption is modeled for Turkey. Linear, quadratic, polynomial, Chebyshev's polynomial, sigmoid, trigonometric, tangent hyperbolic and radial basis functions are used while modeling. Gross domestic product, population, import and export factors are taken into consideration and effects of these factors on the electricity consumption are found by functions. Additionally, coefficients of each model are calculated to minimize root mean square error by using Particle Swarm Optimization (PSO). Calculations are made taking into consideration the data set for the years 1970-2015. Performances of proposed models are evaluated based on root mean square error technique and coefficient of determination (R^2). Different models which are depend on different basis functions are presented to model the electricity energy consumption in the best way. It is seen that Chebyshev's polynomial regression model gives the best results and PSO is an effective method to optimize coefficients of functions.

Keywords: Electricity Energy Consumption, Modeling, Particle Swarm Optimization, Basis Functions.

GİRİŞ

Enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi ise günlük hayatta en çok ihtiyaç duyulan enerji türüdür. Üretim, hizmet, sağlık, teknoloji gibi birçok farklı alanda elektrik enerjisinin anlık kesilmesi dahi çeşitli sorunlara ve kayıplara yol açabilmektedir. Aynı şekilde ihtiyaçtan fazla elektrik enerjisi üretimi de ekonomik olarak istenmedik bir durumdur. Sadece ekonomik etkilerinden dolayı değil, tüm dünya kaynaklarının etkin kullanımı ve sürdürülebilirliği açısından da ihtiyaç kadar elektrik enerjisi üretilmesi gerekmektedir. İhtiyaç duyulacak enerjinin tahmin edilmesi ise birçok değişkeni barındırıyor olması nedeniyle oldukça zor bir konudur. Mevcut ve gelecek dönemlerde gerçekleşecek olan ihtiyacın, tüketimi etkileyen faktörler ve katkıları cinsinden doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir.

Literatürde Türkiye için enerji tahmininde farklı yöntemler kullanılmıştır. Bunlar genel olarak istatistiksel yöntemler, metasezgisel yöntemler ve yapay zeka teknikleri olarak sınıflandırılabilir. Dilaver ve Hunt (2011) yapısal zaman serilerini, Yumurtacı ve Asmaz (2004), Tunç ve ark. (2006), Say ve Yücel (2006) regresyon modelini, Ediger ve Akar (2007) ve Erdogdu (2007) ARIMA, Mahmutoglu ve Öztürk (2015) Box Jenkins modellerini kullanmışlardır. Çeşitli metasezgisel yöntemler de yine enerji tahmininde sıkça kullanılmıştır. Öztürk ve ark. (2005), Haldenbilen ve Ceylan (2005), Çınar ve ark. (2010) Genetik Algoritma, Toksarı (2007) ve Toksarı (2009) Karınca Koloni Algoritması, Ünler (2008) Parçacık Sürü Algoritmasını, Kıran ve ark. (2012) ise Hibrit Parçacık Sürü ve Karınca Koloni Algoritmasını kullanmışlardır. Yapay zeka tekniklerinden Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağlarının (YSA) da enerji tahmininde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Kavaklıoğlu (2011) destek vektör regresyon modelini, Küçükali ve Barış (2010) bulanık mantığı, Bayramoğlu ve ark. (2017) ise ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) yöntemini kullanmışlardır. Hamzaçebi ve Kutay (2004), Sözen ve ark. (2005), Murat ve Ceylan (2006), Kavaklıoğlu ve ark. (2009), Hotunoğlu ve Karakaya (2011), Es ve ark (2014) YSA'yı kullanarak belirli periyotlar için tahminde bulunmuşlardır. GSYH, nüfus, ithalat, ihracat, kayıtlı araç sayıları, sıcaklık, kurulu güç kapasitesi, Petrol fiyatları, yolcu taşıma miktarı, toplam abone sayısı gibi farklı faktörler YSA'yı kullanan çalışmalarda girdi değişkeni olarak ele alınmıştır.

Bu çalışmada literatürde enerji talebini modellemede yaygın kullanılan lineer ve karesel regresyon modellerine ek olarak polinomsal, Chebyshev polinomsal, sigmoid, trigonometrik, tanjant hiperbolik ve radyal tabanlı baz fonksiyonları kullanılarak regresyon modelleri kurulmuştur. Farklı modellerin kullanılmasının nedeni, karar vericilere farklı veri yapıları ile karşılaşıldığı takdirde mevcut durumu en iyi açıklayabilecek modeli seçmesi için alternatifler sunmaktır. Ayrıca, modellerdeki bilinmeyen katsayıların makul zamanda bulunabilmesi için çözüm uzayının farklı noktalarında etkin arama yapıyor olması nedeniyle, popülasyon temelli bir metasezgisel yöntem olan Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması (PSO) kullanılmıştır.

Çalışmanın izleyen bölümlerinde elektrik enerjisi tüketim modelleri verilmiş, PSO algoritması ve adımları ile önerilen PSO temelli Türkiye'nin elektrik tüketimi modeli açıklanmış, benzetim sonuçları ortaya konarak sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİM MODELLERİ

Bu çalışmada, Türkiye'nin net elektrik tüketimi, nüfus, GSYH, ithalat ve ihracat olmak üzere dört sosyo-ekonomik göstergenin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Kısaca bu dört değişken önerilen modellerin bağımsız değişkenleri olarak kullanılmışlardır. Lineer, karesel, polinomsal, trigonometrik, sigmoid, tanjant hiperbolik, radyal tabanlı ve Chebyshev polinomsal regresyon modelleri kapalı formda olmak üzere sırasıyla denklem (2.1)-(2.9)'da verildiği gibidir.

Model 1: Linear Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 w_i x_i \quad (2.1)$$

Model 2: Karesel Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 w_{ij} x_i^j \quad (2.2)$$

Model 3: Polinomsal Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i^j \quad (2.3)$$

Model 4: Trigonometrik (sinüs-cosinüs) Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n w_{ij} (\sin(jx_i) + \cos(jx_i)) \quad (2.4)$$

Model 5: Sigmoid Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n w_{ij} (1/(1 + e^{-jx_i})) \quad (2.5)$$

Model 6: Tanjant hiperbolik (tanh) Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n w_{ij} (\tanh(jx_i)) \quad (2.6)$$

Model 7: Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) Regresyon Model

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n w_{ij} \left(e^{-\|x_i - c_{ij}\|^2 / 2\sigma_i^2} \right) \quad (2.7)$$

Model 8: Chebyshev Polinomsal Regresyon Model

$$T_0(x) = 1, \quad T_1(x) = x, \quad T_{k+1}(x) = 2xT_k(x) - T_{k-1}(x) \quad (2.8)$$

$$\hat{y} = w_0 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n T_j(x_i) \quad (2.9)$$

Bu modellerde ki x_1, x_2, x_3 ve x_4 sırasıyla nüfus, GSMH, ithalat ve ihracat bağımsız değişkenlerini ve \hat{y} ise bağımlı değişken olan net elektrik tüketiminin, model tarafından tahmin edilen değerini ifade etmektedir. n modelde kullanılan baz fonksiyonlarının derecesini göstermektedir. “ n ” sayısını belirlemek oldukça güçtür; eğer “ n ” sayısı küçük seçilirse tahmin edilen ve gerçek değerler arasında hata değeri artacak, büyük seçilirse de hata değeri azalacak

ancak modelin aşırı uydurulmasına (over-fitting) sebep olacaktır. Bu nedenle, mevcut veri sayısı, bilinmeyen denklem sayısına yaklaşık olarak eşitlenmiştir. “ n ” sayısı mevcut çıkış veri setinin uzunluğundan (N), lineer regresyon katsayısı (w_0) sayısının çıkarılıp bağımsız değişken sayısına bölümünden elde edilen değer en küçük tam sayıya çevrilmesi (taban) yardımıyla bulunmuştur (Denklem (2.10)).

$$n = \text{taban}((N - 1) / 4) \quad (2.10)$$

Denklem (2.7)’de verilen c_{ij} , i . bağımsız değişkenin j . merkezini belirtmektedir ve i . değişkenin minimum ve maksimum değer aralığının j eşit parçaya ayrılması ile bulunmuştur. “ σ_i ” ise i . bağımsız değişkenin standart sapmasıdır. Ayrıca, her alt indise sahip w , modellerdeki bilinmeyen katsayıları göstermekte ve PSO algoritması ile bulunmaktadır.

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI

Modern teknolojinin ve bilimin hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte optimizasyon problemleri daha karmaşık bir hal almıştır. Bu problemlerin çözümü için farklı teknikler ve algoritmalar geliştirilmektedir. Bu algoritmaları diferansiyel tabanlı teknikler ve metasezgisel algoritmalar olarak iki kategoride toplamak mümkündür. Sezgisel algoritmaların diferansiyel tabanlı algoritmalarından ayrıldığı en önemli yanları uygulanabilirliklerinin kolay olması, türevsel ifadeye ya da matematiksel modele ihtiyaç duymaması, yerel optimum çözüme takılmaması ve kısa sürede kabul edilebilir çözümler verebilmeleridir.

Optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan metasezgisel optimizasyon algoritmalarının birçoğu doğadan esinlenilerek geliştirilmiştir. 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışları gözlemlenerek, bu sürülerin davranışlardan ilham alınmış popülasyon temelli etkili bir optimizasyon algoritmasıdır (Eberhart ve Kennedy, 1995). Bu algoritma, sürülerin sosyal davranışlarına göre yiyecek ya da barınak bulmak için belirli bir alanda arama yapması mantığı ile çalışmaktadır. Ayrıca, sürüdeki her bir parçanın geçmiş konumları içerisinde en iyi konuma gitme eğilimi, yiyeceğe en yakın bireyi takip etme hareketi ve parçacığın geniş alan taramasını sağlayan geçmiş hız değeri davranışları PSO algoritmasının temelini oluşturmaktadır (Cura, 2008).

Algoritmada sürü içerisindeki parçacıkların arama uzayının sınırları içerisindeki başlangıç konumu ve hızları rastgele üretilir. Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır. Her bir parçacığın başlangıç konumu, o parçacığın kişisel en iyi konumu haline getirilir. İlk bütünsel en iyi, bu konumlar arasındaki en iyi uygunluk değerine sahip konum olarak belirlenir. Daha sonra algoritma yeni bireyler üretme safhasına geçer ve her bir parçacığın yeni hızı ve yeni konumu denklemler (3.1) ve (3.2) ile belirlenir.

$$v_i^{t+1} = v_i^t + c_1 r_1^t (p_{ye}^t - p_i^t) + c_2 r_2^t (p_{ge}^t - p_i^t) \quad (3.1)$$

$$p_i^{t+1} = p_i^t + v_i^{t+1} \quad (3.2)$$

Denklemlerde t iterasyon sayısını, v_i . parçacığın hızını, p_i i . parçacığın konumunu, p_{ye} i . parçacığın kişisel en iyi konumunu, p_{ge} bütünsel en iyi sonucu ifade etmektedir. r_1 ve r_2 [0,1] arasında düzgün dağılımlı rastgele sayılar olup c_1 ve c_2 öğrenme faktörleridir.

Her bir parçacık için yeni konumlarına göre uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Eğer bir parçacığın hesaplanan yeni uygunluk değeri daha önceki kişisel en iyi uygunluk değerinden daha iyiye, o anki konum kişisel en iyi konum olarak atanır. Benzer şekilde bütün sürü için hesaplanan uygunluk değerleri arasından bir değer daha önceki bütünsel en iyi değerden daha iyiye, o anki en iyi uygunluk değerine karşılık gelen konum bütünsel en iyi konum olarak atanır. Bu süreç, durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder.

PSO TEMELLİ TÜRKİYE’İN ELEKTRİK TÜKETİM MODELİ

1970 ve 2015 yılları arasındaki elektrik enerjisi tüketimi Türkiye Elektrik İletim A.Ş. ‘den (TEİAŞ, 2017), nüfus, GSYH, ithalat ve ihracat rakamları Türkiye İstatistik Kurumu’ndan (TÜİK, 2017) alınmıştır.

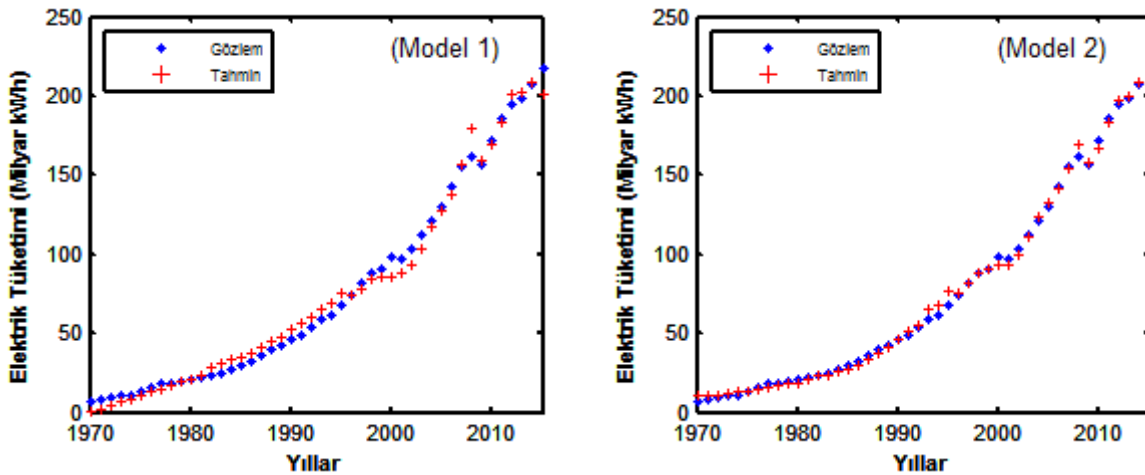
Modellerdeki baz fonksiyonlarının uygun aralıkta çalışabilmesi için her değişkenin (elektrik enerjisi tüketimi, nüfus, GSYH, ithalat ve ihracat) minimum ve maksimum değerleri kullanılarak doğrusal olarak [0,1] birim aralığına dönüştürülmüştür. Tüketim modelleri kurulurken, birim aralığa dönüştürülmüş değerler kullanılmış, sonuçların nominal değerlerine getirilmesi için ters doğrusal dönüşüm kullanılmıştır.

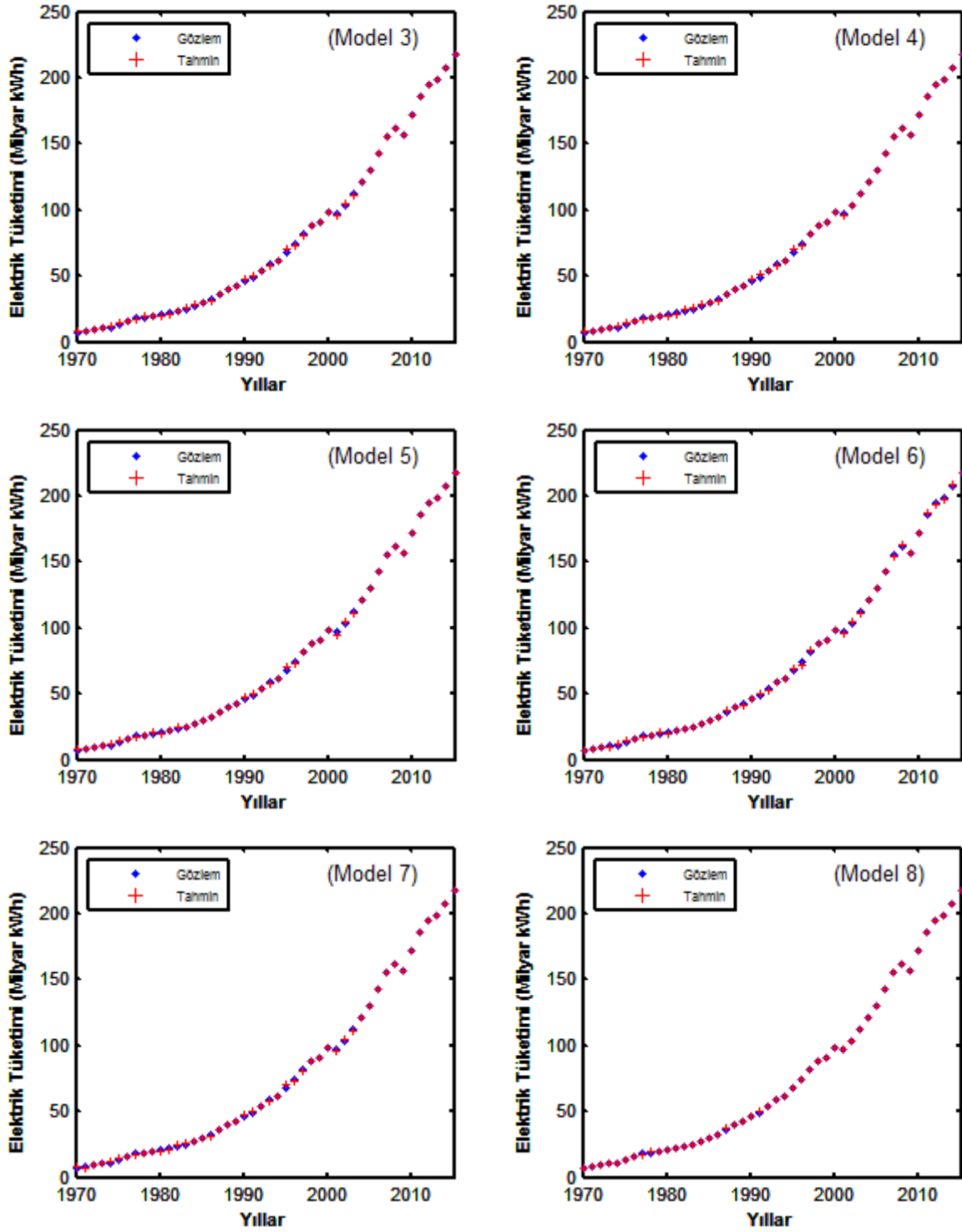
Her bir modelde bilinmeyen model katsayılarını bulabilmek için PSO algoritması kullanılmıştır. PSO algoritmasının parametreleri olarak durdurma kriteri 1000 iterasyon ve popülasyon büyüklüğü 100 birey kabul edilmiştir. Amaç fonksiyonu ise her yıla ait gözlemlenen y_k ve tahmin edilen \hat{y}_k çıkış değerleri arasındaki ortalama hata kareleri kökünün (OHKK) en küçüklenmesi olup denklem (4.1)’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\min F(x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (4.1)$$

BENZETİM SONUÇLARI

Türkiye’nin toplam elektrik enerjisinin tüketiminin modellenmesi için kurulan modellerin yıllara göre çıktıları Şekil 1-8’de gösterilmiştir. Şekil 1’de yer alan Model 1 ve Model 2’de literatürde enerji tüketiminin modellenmesinde en sık kullanılan Lineer ve Karesel Regresyon modellerinin PSO tarafından optimize edilmesi ile elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Diğer altı baz fonksiyonu ile oluşturulan modellerin katsayılarının PSO ile optimize edilmesi ile elde edilen sonuçlar ise Şekil 1’de (Model 3-8) gösterilmiştir. Önerilen modellerin (Model3-8) Lineer Regresyon ve Karesel Regresyon modellerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.





Şekil 1: Önerilen modellere ait gözlem ve tahmin değerleri

Önerilen modellerin performansları ortalama hata kareleri kökü (OHKK) ve belirlilik katsayısına (R^2) göre değerlendirilmiş, sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan veri kümesi için, Chebyshev polinomsal regresyon modelinin hem OHKK hem de belirlilik katsayısı R^2 'ye göre en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Lineer ve karesel regresyon modelleri dışındaki önerilen modellerin ise, Chebyshev Polinomsal Regresyon Modeli kadar iyi sonuçlar vermeseler de, kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmektedir.

Kullanılan veri kümesi ve girdi değişkenlerinin ilerleyen yıllarda farklı yapıda olma ihtimalleri de düşünülecek olursa, diğer modellerin de daha iyi sonuç verme potansiyeline sahip oldukları performans göstergelerinden anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Önerilen modellerin performanslarının değerlendirilmesi

Model	OHKK	R ²
Model 1: Lineer Regresyon Model	6.2743	0.99018
Model 2: Kuadratik Regresyon Model	3.2680	0.99734
Model 3: Polinomsal Regresyon Model	0.7718	0.99985
Model 4: Trigonometrik (sinüs-cosinüs) Regresyon Model	0.7918	0.99984
Model 5: Sigmoid Regresyon Model	0.8110	0.99984
Model 6: Tanjant hiperbolik (tanh) Regresyon Model	0.8171	0.99983
Model 7: Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) Regresyon Model	0.7979	0.99984
Model 8: Chebyshev Polinomsal Regresyon Model	0.3110	0.99998

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye'nin net elektrik tüketimi lineer, karesel, polinomsal, trigonometrik, sigmoid, tanjant hiperbolik, radyal tabanlı ve Chebyshev polinomsal fonksiyonları yardımıyla modellenmiştir. Fonksiyonların katsayıları Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. 1970-2015 yılları arasındaki nüfus, GSYH, ithalat ve ihracat verileri girdi değişkenleri olarak dikkate alınmıştır. Sonuçlar, Türkiye'nin net elektrik tüketimini en iyi Chebyshev Polinomsal Regresyon Modelinin açıkladığını göstermektedir. Lineer regresyon ve karesel regresyon modelleri hariç diğer modellerin de Chebyshev Polinomsal Regresyon Modeli ile rekabet edebilir seviyede olduğu görülmektedir. Gelecekte oluşabilecek tüketim miktarının en iyi şekilde ifade edilebilmesi için farklı modeller önerilmiştir. Farklı girdi değişkenlerinin kullanılması veya girdi değişkenlerinin veri yapısının değişmesi durumunda, karar vericilere sistemi en iyi şekilde modelleyen fonksiyonu seçebilecekleri alternatifler sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Bayramoğlu, T., Pabuçcu, H., Boz, F.Ç. (2017). Türkiye İçin Anfis Modeli İle Birincil Enerji Talep Tahmini. Ege Akademik Bakış, 17(3), 431-445.
- Cura, T. (2008). Modern sezgisel teknikler ve uygulamaları. Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Çınar, D., Kayakutlu, G., Daim, T. (2010). Development of future energy scenarios with intelligent algorithms: case of hydro in Turkey. Energy, 35(4), 1724-1729.
- Dilaver, Z., Hunt, L.C. (2011). Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis. Energy Economics, 33(3), 426-436.
- Eberhart, R., Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In Micro Machine and Human Science, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on (pp. 39-43). IEEE.
- Ediger, V.Ş., Akar, S. (2007). ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. Energy Policy, 35(3), 1701-1708.
- Erdogdu, E. (2007). Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey. Energy policy, 35(2), 1129-1146.
- Es H.A., Kalender, F.Y., Hamzaçebi, C. (2014). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Net Enerji Talep Tahmini. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(3), 495-504.

- Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2005). Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey. *Energy Policy*, 33(1), 89-98.
- Hamzaçebi, C., & Kutay, F. (2004). Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3), 227-233.
- Hotunluoğlu, H., Karakaya, E. (2011). Forecasting Turkey's Energy Demand Using Artificial Neural Networks: Three Scenario Applications/Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Türkiye'nin Enerji Talebi Tahmini: Üç Senaryo Uygulaması. *Ege Akademik Bakis*, 11, 87-94.
- Kavaklıoğlu, K. (2011). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression. *Applied Energy*, 88(1), 368-375.
- Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Ozturk, H.K., Canyurt, O.E. (2009). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using artificial neural networks. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2719-2727.
- Kıran, M.S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T. (2012). A novel hybrid approach based on particle swarm optimization and ant colony algorithm to forecast energy demand of Turkey. *Energy conversion and management*, 53(1), 75-83.
- Küçükali, S., Barış, K. (2010). Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach. *Energy Policy*, 38(5), 2438-2445.
- Mahmutoğlu, M., Öztürk, F. (2015). Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri. In *EY International Congress on Economics II (EYC2015)*, November 5-6, 2015, Ankara, Turkey (No. 239). *Ekonomik Yaklaşım Association*.
- Murat, Y.S., Ceylan, H. (2006). Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling. *Energy policy*, 34(17), 3165-3172.
- Öztürk, H.K., Ceylan, H., Canyurt, O.E., Hepbaşlı, A. (2005). Electricity estimation using genetic algorithm approach: a case study of Turkey. *Energy*, 30(7), 1003-1012.
- Say, N.P., Yücel, M. (2006). Energy consumption and CO2 emissions in Turkey: empirical analysis and future projection based on an economic growth. *Energy policy*, 34(18), 3870-3876.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özkaymak, M. (2005). Turkey's net energy consumption. *Applied Energy*, 81(2), 209-221.
- TEİAŞ. (2017). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. www.teias.gov.tr.
- Toksarı, M. D. (2007). Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35(8), 3984-3990.
- Toksarı, M. D. (2009). Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: case of Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1181-1187.
- Tunç, M., Çamdali, Ü., Parmaksızoğlu, C. (2006). Comparison of Turkey's electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey. *Energy Policy*, 34(1), 50-59.
- TÜİK. (2017). Türkiye İstatistik Kurumu. www.tuik.gov.tr.
- Ünler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. *Energy Policy*, 36(6), 1937-1944.
- Yumurtacı, Z., Asmaz, E. (2004). Electric energy demand of Turkey for the year 2050. *Energy Sources*, 26(12), 1157-1164.