

BOX-JENKINS METODOLOGİYASI ƏSASINDA QISAMÜDDƏTLİ DÖVR ÜÇÜN ELEKTRİK ENERJİSİNİN QIYMƏTLƏRİNİN PROQNOZLAŞDIRILMASI XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Əli Abbasov

Toronto Nیاqara Kolleci, Kanada
e-mail: ali.y.abbasov1988@gmail.com

Xülasə. Məqalənin məqsədi Box-Jenkins metodologiyasını tətbiq etməklə qısamüddətli dövrdə elektrik enerjisinin qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasını təmin etməkdir. Məqalədə Box-Jenkins tərəfindən işlənib hazırlanmış qiymət məlumatlarının zaman seriyasına əsaslanan avtoregressiv inteqrasiya olunmuş hərəkətli ortalama (ARIMA) modelinin tətbiqinə nəzər yetiriləcəkdir.

Açar sözlər: elektrik enerjisi, qiymət, proqnoz, Box-Jenkins metodologiyası.

CHARACTERISTICS OF FORECASTING ELECTRICITY PRICES FOR THE SHORT TERM BASED ON THE BOX-JENKINS METHODOLOGY

Ali Abbasov

Niagara College Toronto, Canada

Abstract. The purpose of the article is to provide short-term forecasting of electricity prices using the Box-Jenkins methodology. This article will look at the application of the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model to the best-adapted time-domain model based on the time series of price data developed by Box-Jenkins.

Keywords: electricity, price, forecast, Box-Jenkins methodology.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА КРАТКОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ БОКСА-ДЖЕНКИНСА

Аббасов Али

Ниагарский колледж Торонто, Канада

Резюме. Целью статьи является краткосрочное прогнозирование цен на электроэнергию с использованием методологии Бокса-Дженкинса. В статье рассматривается применение модели авторегрессионной интегрированной скользящей средней (ARIMA) к наиболее адаптированной модели во временной области, основанной на временных рядах ценовых данных, разработанных Боксом-Дженкинсом.

Ключевые слова: электроэнергия, цена, прогноз, методология Бокса-Дженкинса.

1. Giriş

Ümumdünya elektrik enerjisi bazarının islahatı enerji sənayesini tədricən inhisarçılıqdan rəqabətə çevirir. Bazar iştirakçıları kimi hər bir təchizatçı və istehlakçı maksimum fayda əldə etmək istəyir [1]. Elektrik enerjisinin qiymətini dəqiq proqnozlaşdırmaq olarsa, istehsal tərəfi bazar dinamikasını idarə edə və optimal enerji istehsalı planını qura bilər. Tələb tərəfi enerjiden istifadə vaxtını seçə və dəyəri azaltmaq və bazar rəqabət qabiliyyətini artırmaq üçün almaq istədikləri elektrik miqdarını seçə bilər [2]. Tənzimləyicilər üçün şəbəkə istinad qiymətinin proqnozu nəticələri elektrik enerjisi bazarının fəaliyyətinin monitoring imkanlarını təkmilləşdirməyə və bazardakı problemləri aşkar edib həll etməyə kömək edə bilər. Həmçinin, dövlət elektrik enerjisi qiymətləri ilə əlaqədar siyasətlər tərtib edə və elektrik enerjisi bazarının inkişafına istiqamət verə bilər [3].

Bir çox elektrik enerjisi qiymətinin proqnozlaşdırılması üsulları hal-hazırda müasir liberal elektrik enerjisi bazar iştirakçıları tərəfindən tətbiq edilir. Bu proqnozlaşdırma metodları bazar simulyasiyasına və tarix məlumatlarına əsaslanır. Bazar simulyasiyası rəqabət əməliyyatını simulyasiya edərək riyazi model qurmaq və qiymətlərin proqnozunu vermək üçün tarixi məlumatlarının zaman sıralarının təhlilinə əsaslanan bazarın klirinq qiymətlərini proqnozlaşdırır [4]. Box-Cenkins metodu da zaman seriyası modelinə əsaslanır. Box-Jenkins təhlili avtoregressiv inteqrasiya edilmiş hərəkətli ortalama (ARIMA) zaman seriyası modellərinin müəyyən edilməsi, uyğunlaşdırılması, yoxlanılması və istifadəsinin sisteməlik metoduna aiddir.

1980-ci illərin sonlarında Böyük Britaniya sənayenin özəlləşdirilməsi islahatının həyata keçirilməsində liderlik etdi və elektrik enerjisi təchizatı sənayesinin derequlyasiyasını təklif etdi. Tənzimləmədən çıxarılan Şotlandiyanın elektrik enerjisi bazarı 1998-ci ildə formalaşdı və bundan iki il sonra bütün müştərilərin öz enerji təchizatçılarını sərbəst seçə biləcəkləri Böyük Britaniya bazarı formalaşmağa başladı. 27 mart 2001-ci ildə bazar İngiltərə və Uelsdə yeni bazar mexanizmləri və ticarət nümunələri, Yeni Elektrik Ticarət Aranjmanları (NETA) təqdim etdi və daha sonra bütün Böyük Britaniyanı (BETTA) əhatə edəcək şəkildə genişləndirildi [6].

2. Box-Jenkins metodologiyasına əsaslanan ARIMA Modelləri

ARIMA modeli 1970-ci illərin əvvəllərində Box və Jenkins tərəfindən təklif edilmiş zaman seriyalı proqnozlaşdırma üsuludur [7]. ARIMA modeli üç amildən ibarətdir: p, d və q. AR avtoregressivdir (p), MA hərəkətli ortadır (q) və (d) zaman sıralarını stasionarlaşdırmaq üçün fərqləndirmə səviyyəsidir. ARIMA modelinin düsturu aşağıda göstərilmişdir:

$$\varphi(B)(1 - B)^d z_t = \theta_0 + \theta(B)a_t \quad (1)$$

Burada:

$\varphi(B)$ -p operatoru, $\theta(B)$ isə q operatorudur. Onların sıfırları vahid dairədən kənarında olmalıdır. B gecikmə operatorudur, z_t t zamanındakı tarixi məlumatdır və θ_0 sabit müddətdir. a_t ümumiyyətlə sərbəst hesab edilir və onun orta qiyməti sıfırdır [8].

Elektrik enerjisi qiymətləri güclü dəyişkənlik və dövriliyin yüksək qeyri-stasionar zaman seriyasıdır. Stasionar seriyaların təhlili və proqnozlaşdırılması üçün, adətən, zaman seriyasına əsaslanan proqnozlaşdırma modeli həyata keçirilir. Buna görə də, elektrik enerjisinin qiymətini stasionar zaman sırasına köçürmək lazımdır. Fərqləndirmə, zaman sıralarını qeyri-stasionarlığa çevirmək üçün əsas yanaşmadır. Elektrik enerjisinin qiymət sıralarının z_t olması şərtiylə, ∇z_t isə z_t -in birinci dərəcəli fərqi, $\nabla^d z_t$ isə z_t -in d-ci sıra fərqidir:

$$\begin{aligned} \nabla z_t &= z_t - z_{t-1} \\ \nabla^d z_t &= \nabla^{d-1} z_t - \nabla^{d-1} z_{t-1} \end{aligned} \quad (2)$$

Adətən, d-nin dəyəri 2-yə qədər olduqda, fərqli zaman seriyası stasionar ola bilər. Fərqli zaman sıralarının stasionarlığını aşkar etmək üçün bir sıra üsullar mövcuddur [9]. Bu məqalədə

modelin qalıqları uyğunluğun dəqiqliyini yoxlamaq üçün istifadə olunur. Bundan sonra modelləşdirmə prosesi həyata keçirilə bilər.

ARIMA prosesi qarışıq avtoregressiv hərəkətli orta (ARMA) prosesinə qədər sadələşdirilə bilər:

$$\varphi(B)\omega_t = \theta_0 + \theta(B)a_t \quad (3)$$

Buradan:

$$\omega_t = (1 - B)^d z_t = \nabla^d z_t \quad (4)$$

düsturunu da ala bilərik.

Nəticədə ortaya çıxan ARIMA modelini müəyyən etmək üçün istifadə olunan əsas alət avtokorrelyasiya funksiyası (ACF) və qismən avtokorrelyasiya funksiyasıdır (PACF). Standart nümunələr ümumiləşdirilməsi, p və q tam ədədlərinin müəyyən edilməsi, ARIMA (p, q) modelində ən təsirli p müşahidələrinin və q şərtlərinin müəyyən edilməsi üçün istiqamətləri cədvəl 1-də əks olunmuşdur.

Cədvəl 1. Stasionar seriyaların nəzəri ACF və PACF-lərində standart nümunələr

| Model | ACF | PCF |
|--------------|--|--|
| AR (p) | eksponensial və ya sinusoidal tənəzzül sıfıra enir | Logorifmik p sifra yaxınlaşır |
| MA(q) | Logorifmik q-dən sonra p sifra yaxınlaşır | eksponensial və ya sinusoidal tənəzzül sıfıra enir |
| ARİMA (p, q) | q-dan sonra eksponensial və ya sinusoidal tənəzzül sıfıra enir | p-dən sonra eksponensial və ya sinusoidal tənəzzül sifra yaxınlaşır. |

Mənbə: Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. (2008) Time Series Analysis: Forecasting and Control. 4th Edition, Wiley, Oxford. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118619193>

Elektrik enerjisinin qiyməti gündəlik və həftəlik səviyyədə, müəyyən dərəcədə isə illik səviyyədə mövsümlilik nümayiş etdirir. Qısa müddətdə sonuncuya əhəmiyyət verilə bilər, lakin gündəlik və həftəlik, mövsümlilik daha çox nəzərə alınmalıdır. Orta müddətdə gündəlik profil əhəmiyyətsiz olur, lakin illik mövsümlilik (əgər varsa) və ya uzunmüddətli trend dövrü komponenti həlledici rol oynayır. Nəhayət, uzunmüddətli perspektivdə, zaman üfüqi illərlə ölçüldükdə, gündəlik, həftəlik və hətta illik mövsümlilik nəzərə alın bilər və uzunmüddətli meyllər üstünlük təşkil edə bilər.

Digər tərəfdən, elektrik enerjisinin spot qiyməti sistem yükləri (tələb, istehlak rəqəmləri), hava dəyişənləri (temperatur, küləyin sürəti, yağıntı, günəş radiasiyası) daxil olmaqla bir çox əsas amillərdən asılıdır. Bununla belə, proqnozlaşdırma mərhələsində diqqətli olmaq lazımdır, çünki bəzi dövrlərdə və ya bazarlarda onların spot qiymətə təsiri çox məhdud ola bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, ümumi proqnozlaşdırma ədəbiyyatında olduğu kimi, bəzi müəlliflər proqnozlaşdırma intervalı (PI) əvəzinə etimad intervalı terminindən istifadə edirlər. PI hələ müşahidə edilməmiş təsadüfi dəyişənlə (məsələn, elektrik enerjisinin qiyməti)

əlaqələndirilir, etimad intervalı isə modelin parametri ilə əlaqələndirilir. Əksər proqnozlaşdırma proqramlarında bizi PI-lər, yəni etibarlılıq intervallarında deyil, müəyyən bir ehtimalla gələcək müşahidələrin həqiqi dəyərlərini ehtiva edən intervallar maraqlandırır.

Dəyişkənlik və ya qiymət artımı proqnozlarına gəldikdə, əvvəldə müzakirə edilən azaldılmış forma modellərinin kifayət qədər yaxşı fəaliyyət göstərdiyi bildirilirdi. Məsələn, Becker et al. (2017) nümayiş etdirir ki, zamanla dəyişən ehtimal rejimini dəyişdirən model Avstraliyanın Queensland şəhərində qiymət artımlarını proqnozlaşdırmağa kömək edə bilər. Chan və başqaları (2018) aşkar edirlər ki, reallaşdırılmış ümumi spot qiymət dəyişikliyinə böyük bir hissəsi qiymət prosesinin davamlı (“baza rejimi”) hissəsinə aid edilsə də, dəyişkənlik proqnozunun dəqiqliyində cüzi artım ümumi dəyişkənliyi bölmək yolu ilə əldə edilə bilər. Digər tərəfdən, Christensen və digərləri (2019) EPF ədəbiyyatının qalan hissəsinə “ortoqonal” olan bir yanaşma tətbiq edir və spot qiymətlərin zaman seriyasını deyil, qiymət artımlarının zaman sıralarını nəzərə alır. Onlar son dərəcə kəskin Avstraliya bazarından yarım saatlıq məlumatları öyrənirlər. Çox güman ki, digər bazarlardan alınan məlumatlarda modelləri proqnozlaşdırmaq üçün kifayət qədər sıçrayış olmayacaq. Müəlliflər zaman sıralarına diskret zaman nöqtəsi prosesi kimi yanaşır və onu avtoregressiv şərti təhlükə (ACH) modelinin qeyri-xətti variantı kimi təqdim edirlər. Onlar proqnoz dövründə (iyul-sentyabr 2017) hər yarım saat üçün qiymət artımı ehtimalının bir addımlıq proqnozlarını hesablayırlar və ACH modelinin benchmark logit modelindən daha yaxşı performans göstərdiyi qənaətinə gəlirlər. Nəhayət, Christensen et al. (2019) iki modeldən elektrik fyuçers müqavilələri və spike proqnozlarından istifadə edərək qeyri-rəsmi ticarət strategiyasının gəlirliliyini araşdırır. Onlar belə nəticəyə gəlirlər ki, ACH modelinin proqnozlarına əsaslanan fyuçers bazarından hedcinq kimi istifadə əhəmiyyətli gəlirlər təmin etmək potensialına malikdir. Bununla belə, tranzaksiya xərcləri gün içi fyuçers qiymətlərinin mövcud olmaması səbəbindən nəzərə alınmır və sintetik müqavilələr süni qiymətə verilir.

Nəticə. Bu məqalə elektrik enerjisi bazarında tarixi qiymət məlumatlarına əsaslanaraq, elektrik enerjisinin qiymətinin 1 addım qabaqcadan proqnozlaşdırılması üçün ARIMA modelini təklif etmişdir. MAE və RMSE baxımından proqnozun düzgünlüyündən asılı olaraq müvafiq proqnozlaşdırma modeli seçilmişdir. Modelləşdirmə prosesinin hər bir komponenti proqnozlara təsir göstərə bilər.

Bundan əlavə, proqnozlaşdırma nəticələrinin dəqiqliyini artırmaq üçün tarixi məlumatların artırılması və qısa müddətli proqnozların aparılması effektivdir. Ancaq tarixi məlumatlar müəyyən bir kəmiyyətdən çox artırsa, müəyyən bir qiymətdən sonra dəqiqlik çox yavaş artacaq. Seçilmiş ARIMA modelinin kifayət qədər qənaətbəxş proqnozlaşdırma performansına malik olduğu göstərilir. Davamlılıq proqnozlarının səhvləri əlavə olaraq ARIMA modelinin həm MAE, həm də RMSE-də əhəmiyyətli təkmilləşdirmələr verdiyi etalon kimi qiymətləndirilir. Gələcək işlər elektrik enerjisinin qiymətinin proqnozlaşdırılması üçün optimal modellərin təkmilləşdirilməsi və addım-addım daha dəqiq nəticələr əldə etmək üçün

elektrik enerjisi bazarında yuvarlanan proqnozlaşdırma prosesinin qurulması istiqamətində davam edəcək.

Alternativ olaraq, digər statistik modellər, məsələn, süni neyron şəbəkəsi (ANN) modeli və ya trend modelləşdirmə ilə birləşdirilmiş AR modeli [16] qurulacaq və onların proqnoz dəqiqliyi ARIMA modelləri ilə müqayisə ediləcək. Yüksək etibarlılıq və dəqiqliklə elektrik enerjisi qiymətləri proqnozlarını yaratmaq üçün optimal modellərdən istifadə ediləcək.

Ədəbiyyat

1. Aggarwal S.K., Saini L.M., Kumar A. (2009), International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Electrical Power and Energy Systems, 31, 13-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2008.09.003>
2. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. (2008), Time Series Analysis: Forecasting and Control, 4th Edition, Wiley, Oxford. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118619193>
3. Chai T., Draxler R.R. (2014). Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)?—Arguments against Avoiding RMSE in the Literature. Copernicus Publications on Behalf of the European Geosciences Union.
4. Devi B.U., Sundar D., Alli P. (2013), An Effective Time Series Analysis for Stock Trend Prediction Using ARIMA Model for Nifty Midcap-50. International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process, 65-78. <http://dx.doi.org/10.5121/ijdkp.2013.3106>
5. Fan F., Bell K., Infield D. (2016), Probabilistic Real-Time Thermal Rating Forecasting for Overhead Lines by Conditionally Heteroscedastic Auto-Regressive Models. IEEE Transactions on Power Delivery. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2577140>
6. Fan F., Bell K., Infield D. (2016), Probabilistic Weather Forecasting for Dynamic Line Rating Studies. Proc. IEEE PowerTech Conference, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1109/pscc.2016.7540854>
7. Giuliattia M., Grossib L., Waterson M. (2010), Price Transmission in the UK Electricity Market: Was NETA Beneficial Energy Economics, 32, 1165-1174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2010.01.008>
8. Hoa S. L., Xieb M., Gohb T.N. (2002), A Comparative Study of Neural Network and Box-Jenkins ARIMA Modeling in Time Series Prediction. Computers & Industrial Engineering, 42, 371-375. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00036-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00036-0)
9. Li G. (2007), Day-Ahead Electricity Price Forecasting in a Grid Environment. IEEE Transactions on Power Systems, 22.
10. Lo K.L., Wu Y.K. (2003), Risk Assessment Due to Local Demand Forecast Uncertainty in the Competitive Supply Industry. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 150. <http://dx.doi.org/10.1049/ip-gtd:20030641>

11. Naylor T.H., Seaks T.G., Wichern D.W. (1972), Box-Jenkins Methods: An Alternative to Econometric Models. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 40, 123-137.
12. Nicolaisen J., Petro V. (2001), Tesfatsion. Market Power and Efficiency in a Computational Electricity Market with Discriminatory Double-Auction Pricing. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5.
13. Nogales F.J., Contreras J., Conejo A.J., Espínola R. (2002), Forecasting Next-Day Electricity Prices by Time Series Models. *IEEE Trans. Power Syst.*, 17, 342-348. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2002.1007902>
14. Saini A., Saxena A.K. (2010), Optimal Power Flow Based Congestion Management Methods for Competitive Electricity Markets. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 2, 1793-8163. <http://dx.doi.org/10.7763/ijcee.2010.v2.116>
15. Tran N., Reed D.A. (2004), Automatic ARIMA Time Series Modeling for Adaptive I/O Prefetching. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 15.
16. Von der Fehr N.-H.M., Harbord D. (1993), Spot Market Competition in the UK Electricity Industry. *The Economic Journal*, 103, 531-546.