پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت برق در بازار برق تجدیدساختاریافته با استفاده از مدل ARIMA

اردشیر کلانی، دانشگاه شیراز – کارشناس ارشد مهندسی فناوری اطلاعات – ardeshir@kalani.ir
مصطفی فخراحمد، دانشگاه شیراز – استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر – mfakhrahmad@cse.shirazu.ac.ir
مهدی عظیمی‌فر، سازمان آب و برق خوزستان – کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر – azimifar.m@kwpa.gov.ir
زهره رمضانعلی‌زاده، دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان – کارشناس ارشد مهندسی نرم‌افزار – alizadeh.z@kwpa.gov.ir

چکیده:
صنعت برق از صنایع مهم و حساس کشور محسوب می‌شود. با شروع تجدید ساختار در بازار برق کشور، این بازار به یک بازار رقابتی تبدیل شده است. با شکل‌گیری بازارهای مختلف برق در فضای رقابتی این صنعت، یکی از مسائل مهم و کلیدی در این بازار، پیش‌بینی قیمت برق می‌باشد. در این مقاله پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت برق با استفاده از مدل ARIMA انجام شده است. مجموعه داده در نظر گرفته‌شده مربوط به داده‌های ساعتی قیمت برق در بازار کشور در سال ۱۳۹۱ می‌باشد و سه مجموعه داده کلی ساعات مشخص روزها، ۶ ماهه اول و دوم سال و داده‌های کل سال در نظر گرفته شده است. دقت و قدرت پیش‌بینی مدل‌ها بر اساس معیارهای MAPE و RMSE بر روی این مجموعه‌داده‌ها، ارزیابی شده است. طبق نتایج به دست آمده، مدل ARIMA بر روی مجموعه داده ۶ ماهه دوم سال ۱۳۹۱ با MAPE برابر با ۰.۷۴ از دقت بیشتری نسبت به دیگر مجموعه داده‌ها برخوردار است.

کلمات کلیدی: داده‌کاوی، پیش‌بینی، پیش‌بینی کوتاه‌مدت، بازار برق ایران، ARIMA.

۱- مقدمه

طی سال‌های اخیر، ساختار و مقررات حاکم بر صنعت برق بسیار از کشورها در معرض تغییرات مهمی قرار گرفته است. ساختار سنتی عمودی که سه حوزه عملیاتی اصلی تولید، انتقال و توزیع را در بر می‌گرفت به مراجع جداگانه و مختلفی تفکیک شده که هر کدام وظایف خاصی را در چارچوب کل سیستم عرضه انرژی الکتریکی عهده‌دار هستند .

محیط رقابتی جدید، این امکان را برای مشترکین فراهم کرده که تأمین‌کننده برق خود را بر اساس هزینه، کارایی و قابلیت اطمینان انتخاب کنند. در بیشتر کشورها، هدف اصلی تجدید ساختار، افزایش رقابت و تأمین برق باکیفیت و ارزان برای مصرف‌کنندگان اعلام شده است. کیفیت خدمات برق با چندین ویژگی اندازه‌گیری می‌شود که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، ارائه سرویس مطمئن و بدون وقفه به بارها است. قابلیت اطمینان، خود شامل دو مؤلفه اصلی کفایت و امنیت است [۱]. کفایت عبارت است از: توانایی سیستم قدرت الکتریکی برای تأمین انرژی مورد نیاز مشترکین در همه مقاطع زمانی و با در نظر گرفتن خروج با برنامه و بدون برنامه اجزای سیستم که در حد معقولی قابل انتظار باشد. امنیت نیز عبارت است از: توانایی سیستم قدرت الکتریکی برای تحمل اغتشاشات ناگهانی مثل اتصال کوتاه‌های الکتریکی و از دست رفتن پیش‌بینی‌نشده اجزای سیستم.

برق به عنوان یک کالا دارای ویژگی‌هایی است که پیش‌بینی قیمت لحظه‌ای آن را از سایر کالاها متمایز می‌سازد. عرضه و تقاضای برق همواره می‌بایست در تعادل باشند. تولید و مصرف برق کاملاً همزمان صورت می‌گیرد و هیچ‌گونه قابلیت ذخیره‌سازی برای این کالا در

شبکه وجود ندارد. از آنجایی که نوسانات عرضه و تقاضا نمی‌تواند به وسیله موجودی انبار هموار گردد، قیمت‌های برق در بازار لحظه‌ای با ناپایداری بالایی همراه است. برق کالایی غیرقابل‌ذخیره‌سازی است و نوسانات تقاضا موجب نوسانات قیمتی شدید برای این کالا می‌شود. تقاضای برق نیز به عوامل غیرقابل‌پیش‌بینی نظیر شرایط آب و هوایی وابسته است. همین امر اثر شوک‌های عرضه و تقاضا را بر قیمت برق تشدید می‌نماید. کالای برق در پاسخ به نوسانات دوره‌ای تقاضا دارای الگوی فصلی می‌باشد. تقاضای برق به میزان فعالیت‌های اقتصادی و شرایط آب و هوایی بستگی دارد و همین امر سطوح مختلفی از فصلی بودن نظیر بین ساعت‌های روز، روزهای هفته، روزهای کاری و روزهای غیرکاری و بین ماه‌های سال را برای این کالا ایجاد می‌نماید. برای پیش‌بینی صحیح قیمت برق در بازار برق بایستی این ویژگی‌ها را در نظر داشت و از ابزارهای مدل‌سازی لازم جهت برای ورود این خصوصیات در مدل استفاده نمود [۶].

در دهه گذشته، روش‌های زیادی جهت پیش‌بینی قیمت در بازارهای برق معرفی شده است. کیم و همکاران (۲۰۰۶) در مرجع [۷] روش‌های پیش‌بینی را به دو گروه عمده تقسیم کرده‌اند: روش‌های پارامتری و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی. روش‌های پارامتری یک مدل ریاضی یا آماری را با بررسی روابط کیفی بین قیمت بازار و عوامل موثر بر آن، تشکیل می‌دهند. روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان مدل بار یا قیمت استفاده می‌کنند. یامین و همکاران (۲۰۰۴) در [۸] نیز مدل‌های پیش‌بینی قیمت را به دو دسته تقسیم کرده‌اند: مدل‌های سنتی و تکنیک‌های مدرن. نیمورا (۲۰۰۶) یک طبقه‌بندی گسترده جهت پیش‌بینی قیمت در [۹] در نظر گرفته است که شامل دو دسته کلی سری‌های زمانی و روش‌های شبیه‌سازی می‌باشد. کاتالاو و همکاران (۲۰۰۶) در مرجع [۱۰] به معرفی تکنیک‌های مختلف پیش‌بینی قیمت برق پرداخته‌اند و مدل‌های سری‌های زمانی سنتی، مدل‌های خودبازگشت(AR) ، مدل‌هایARIMA ، مدل‌های GRAGH و تکنیک‌های Wavelet-ARIMA و شبکه‌های عصبی را معرفی کرده‌اند. ما در این مقاله، قیمت برق را با استفاده از مدل ARIMA[1] و بر روی مجموعه داده‌های مختلف، پیش‌بینی و دقت آنها با هم مقایسه می‌نماییم.

جهت انجام پروژه‌های داده‌کاوی، فرآیندهای مختلفی وجود دارد که البته همگی به صورت کلان دارای مفاهیم یکسانی هستند. معروف‌ترین این فرآیندها، فرآیند استاندارد CRISP-DM[2] است که به صورت گسترده‌ای از طرف کاربران صنعتی داده‌کاوی مورد استفاده قرار گرفته است و در این مقاله نیز از همین فرآیند استفاده می‌شود. این مدل از شش مرحله که به صورت یک فرآیند حلقه‌ای است تشکیل شده است. مراحل این فرآیند استاندارد به صورت زیر است [۲]: ۱-تعریف و ادراک مسئله[3] ۲-تحلیل داده‌ها[4] ۳-آماده‌سازی داده‌ها[5] ۴-مدل‌سازی[6] ۵-ارزیابی[7] ۶-توسعه[8].

۲- تعریف و ادراک مسئله

در حال حاضر ساختار صنعت برق در بسیاری از کشورها از جمله ایران در حال گذار از فضای انحصاری به فضای رقابتی است. در این فرآیند که تحت عنوان کلی تجدید ساختار در صنعت برق پیگیری می‌شود، کشورهای مختلف با مدل‌های متفاوت در جهت خصوصی‌سازی و رقابتی کردن این صنعت در حال حرکت‌اند. عواملی مانند عدم امکان ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی در مقیاس بزرگ، انتقال انرژی الکتریکی بر اساس قوانین فیزیکی حاکم بر خطوط انتقال و نه بر اساس قراردادهای اقتصادی، حساسیت کم تقاضا به تغییرات قیمت به ویژه در افق زمانی کوتاه‌مدت [۳]، فصلی بودن تقاضا و لزوم تعادل پیوسته عرضه و تقاضا [۴]، روند تجدید ساختار و طراحی بازارهای انرژی الکتریکی را با پیچیدگی مضاعفی روبرو نموده است.

بارزترین ویژگی قیمت برق، بی‌ثباتی آن است. گرچه قیمت برق دارای بی‌ثباتی زیادی است، اما پدیده‌ای اتفاقی نیست. بنابراین می‌توان الگوها و قواعد مشخصی را غالب بر بی‌ثباتی بازار پیدا کرد. برای مثال، تراکم انتقال باعث جهش قیمت می‌شود که این جهش دائمی

---

[1] Autoregressive Integrated Moving Average
[2] Cross-Industry Standard Process for Data Mining
[3] Business Understanding
[4] Data Understanding
[5] Data Preparation
[6] Modeling
[7] Evaluation
[8] Deployment

نیست زیرا که قیمت برق به یک سطح منطقی‌تر، بازمی‌گردد که این مسئله در علم آمار تحت عنوان بازگشت به میانگین شناخته می‌شود. استفاده از قیمت‌های پیشین برای پیش‌بینی قیمت‌ها امکان‌پذیر است بنابراین در روند آموزش از الگوهای مشاهده‌شده برای پیش‌بینی قیمت برق استفاده می‌شود.

بررسی بازارهای رقابتی برق کشورهای مختلف نشان می‌دهد که قیمت برق در بازارهای مختلف از نوسانات بسیار زیادی برخوردار است و این امر توجّه به عوامل تأثیرگذار و نیز بررسی سیگنال قیمت را بیش از پیش در درجه اهمیت قرار می‌دهد. مهم‌ترین ویژگی‌هایی که در بررسی سری‌های قیمت برق در بیشتر بازارهای رقابتی مشاهده گردیده است عبارت‌است از [۱۱]: فرکانس بالا، میانگین و واریانس متغیر، تغییرات فصلی چندگانه، اثر تقویم (تعطیلات آخر هفته و رسمی)، درصد بالای قیمت‌های غیرمعمول (عمدتاً در دوره‌های با افزایش تقاضا). عوامل تأثیرگذار در پیش‌بینی قیمت برق را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد: ۱. عوامل عینی شامل میزان تقاضا، قیمت سوخت، آب و هوا و ... ۲. عوامل ذهنی شامل رفتار بازیگران در بازار برق و ...

در پژوهش‌ها و تألیفات دهه اخیر، عمدتاً جهت پیش‌بینی عوامل عینی از روش‌های رگرسیون مانند روش‌های مبتنی بر سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی استفاده شده است. پیش‌بینی عوامل ذهنی نیز به کمک روش‌های هوشمند مانند روش‌های مبتنی بر سیستم‌های چندعاملی، نظریه بازی و ... صورت پذیرفته است [۳].

۳- روش‌های پیش‌بینی قیمت برق

روش‌های مختلفی که در ارتباط با پیش‌بینی قیمت برق در بازارهای رقابتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بسته به افق زمانی موردنظر به سه دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های مبتنی بر سری‌های زمانی، شبکه عصبی و شبیه‌سازی بازار.

به طور کلی یک سری زمانی مجموعه مشاهداتی است که بر حسب زمان مرتب شده باشند. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی متکی به وضعیت مدل فرض شده، جهت نشان دادن داده‌ها می‌باشد که با توجه به دقت بررسی مشخصات اصلی سری‌های قیمت مدل در نظر گرفته‌شده، متفاوت می‌باشد. در سال‌های اخیر تحقیقات صورت گرفته حاکی از آن دارد که عمده‌ترین مدل‌هایی که بر اساس سری‌های زمانی جهت پیش‌بینی قیمت برق مورد استفاده قرار گرفته است عبارت‌اند از: مدل رگرسیونی دینامیکی، مدل تابع انتقال، مدل ARIMA. در تمامی این مدل‌ها از یک طرح بازگشتی جهت پیش‌بینی استفاده شده است.

به طور کلی چون روش‌های مبتنی بر سری‌های زمانی نوعی برازش منحنی انجام می‌دهند، هر چه تعداد داده‌ّای قبلی کمتر باشد و در مقابل داده‌های پیش‌بینی و فاصله پیش‌بینی آن‌ها از داده‌های اصلی بیشتر باشد، دقت پیش‌بینی برای هر نوع سیگنال و سری زمانی کم و کم‌تر می‌شود. با توجه به شرایط فرآیند قیمت برق، برای رسیدن به پیش‌بینی دقیق روش‌های فوق، داشتن اطلاعات آماری فراوان از پیشینه سیگنال ضرورت بیشتری دارد. علاوه بر آن دقت این روش برای سیگنال قیمت برق که نوعاً روند افزایشی دارد و فرآیند غیرایستاست (میانگین ثابتی ندارد)، جهت پیش‌بینی در بلندمدت کارساز نمی‌باشد.

۴- بازار برق ایران

کشورهای مختلف باانگیزه‌های مختلفی وارد مرحله نوین صنعت برق گردیده‌اند. اولین ویرایش آیین‌نامه خرید و فروش برق در کشور در مورخ ۱۳۸۲/۰۶/۰۳ توسط وزیر نیرو ابلاغ و بازار برق ایران به طور رسمی از ابتدای آبان ماه ۱۳۸۲ به صورت اجرایی آغاز به کار نمود [۵].

از مهم‌ترین دلایل و انگیزه‌های تجدید ساختار و راه‌اندازی بازار برق در ایران می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ایجاد فضای رقابتی در بخش‌های تولید و توزیع برق
- تأمین منابع مورد نیاز از طریق حضور بخش غیردولتی در سرمایه‌گذاری
- افزایش بهره‌وری اقتصادی

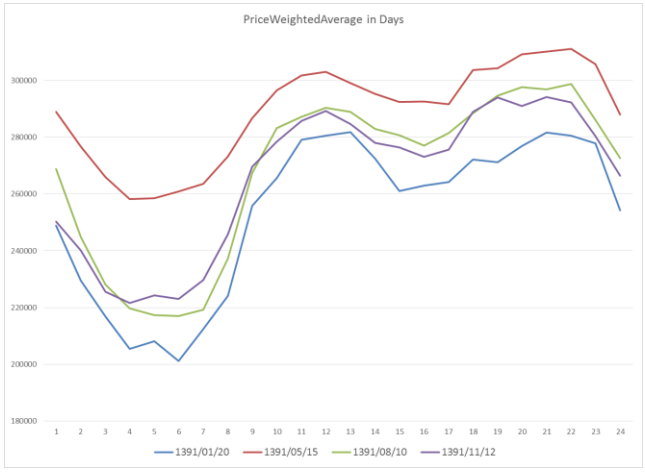
بازار برق ایران به صورت یک بازار متمرکز خرید از تمام تولیدکنندگان شکل گرفته است. مدل رقابت در بازار برق ایران مدل نمایندگی خرید می‌باشد، که لازم است کلیه خریداران و فروشندگان در بازار برق حضور داشته باشند. بین تولیدکنندگان مختلف که می‌خواهند

برق را به نمایندگی خرید بفروشند رقابت وجود دارد. نمایندگی خرید، شرکت مدیریت شبکه برق ایران است که برق را از تولیدکنندگان خریداری کرده و به شرکت‌های توزیع‌کننده جهت توزیع بین مشترکین می‌فروشد. از بارزترین مشخصه‌های بازار برق ایران می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مدل بازار در بازار برق ایران، بازار روز قبل می‌باشد.
- مدل حراج در بازار برق ایران حراج یک‌طرفه می‌باشد.
- پرداخت به فروشندگان روش پرداخت بر مبنای پیشنهاد می‌باشد.
- بازار برق ایران به صورت بازار خرید و فروش عمده برق (بازار عمده‌فروشی) می‌باشد.
- نرخ خرید از بازار برق ایران به شکل یکنواخت و بر اساس قیمت تسویه بازار می‌باشد.

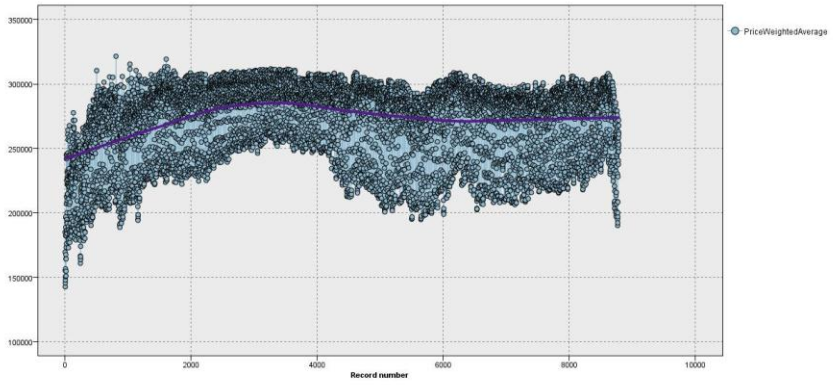
۵- تحلیل و آماده‌سازی داده‌ها

قیمت برق با توجه به عواملی مثل بار شبکه کاهش یا افزایش می‌یابد. در شکل (۱) برای چند روز نمونه نمودار قیمت برق در ۲۴ ساعت نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود قیمت برق در هر روز یک رفتار فصلی از خود نشان می‌دهد و در هر روز این متغیر دارای دو پیک قیمتی می‌باشد که مربوطه به اوج بار شبکه است یعنی با افزایش بار شبکه، قیمت برق در این ساعات افزایش می‌یابد. ساعت پیک اول مربوط به ساعات اولیه ظهر و پیک دوم مربوط به ساعات اولیه شب و اوج مصرف است. کمینه قیمت نیز مربوط ساعات اولیه صبح می‌باشد.



شکل (۱) قیمت برق در ۲۴ ساعت یک روز

شکل (۲) پراکندگی قیمت برق در طول سال ۱۳۹۱ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، سری داده‌های قیمت برق در سال ۱۳۹۱ روند افزایشی یا کاهشی شدیدی در فصول تابستان، پاییز و زمستان ندارد. با توجه به شکل مشخص است که قیمت برق در فروردین ماه کمترین قیمت و در تابستان به جهت مصرف بالاتر، بیشترین قیمت را داراست.



شکل (۲) روند تغییرات قیمت برق در طول سال

در این پژوهش جهت آماده‌سازی داده‌ها، ابزاری با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Microsoft Visual Basic 2012 و Microsoft SQL Server 2012 طراحی شده است که مراحل آماده‌سازی داده‌ها از طریق این ابزار انجام شده است. داده‌های تاریخی مورداستفاده در این پژوهش مربوط به داده‌های ساعتی متوسط موزون قیمت برق در بازار برق کشور در سال ۱۳۹۱ می‌باشد که از پورتال شرکت مدیریت شبکه برق ایران دانلود شده است. مجموعه داده به صورت ۳۶۶ فایل اکسل می‌باشد که در هر فایل اکسل، متوسط موزون قیمت برق در هر ساعت روز ثبت شده است و این فایل‌ها با استفاده از ابزار طراحی شده جهت برازش مدل‌ها به پایگاه داده SQL انتقال داده شده است.

۶- مدل‌سازی و ارزیابی مدل‌ها

در این مقاله پیش‌بینی ساعتی قیمت برق با استفاده از مدل ARIMA و بر روی سه مجموعه داده زیر انجام شده است:

- مجموعه داده ساعات مشخص روزها (ساعات ۸، ۱۲، ۱۵ و ۲۱)
- مجموعه داده ۶ ماهه اول و ۶ ماهه دوم سال ۱۳۹۱
- مجموعه داده تمام سال ۱۳۹۱

با توجه به اینکه در بازار برق کشور، قیمت برق برای هر ساعت در نظر گرفته می‌شود و در طول روز قیمت برای ۲۴ ساعت اعلام می‌شود در این مقاله برای نمونه فقط ساعات ۸، ۱۲، ۱۵ و ۲۱ جهت برازش مدل‌های مختلف در نظر گرفته شده است.

جهت بررسی خطای پیش‌بینی، MAPE[۹] (میانگین مطلق درصد خطا) و RMSE[۱۰] (ریشه میانگین مربع خطا) مدل‌ها محاسبه و مقایسه مدل‌ها از این طریق انجام شده است. جهت مدل‌سازی و محاسبه پارامترها از نرم افزار IBM SPSS Modeler (Clementine) 14.2 استفاده شده است.

$$MAPE = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|Price_{a,i} - Price_{f,i}|}{Price_{a,i}} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Price_{a,i} - Price_{f,i})^2}{N}} \quad (۲)$$

که در این فرمول‌ها N، دوره زمانی، $Price_{a,i}$، قیمت واقعی و $Price_{f,i}$ قیمت پیش‌بینی شده می‌باشد.

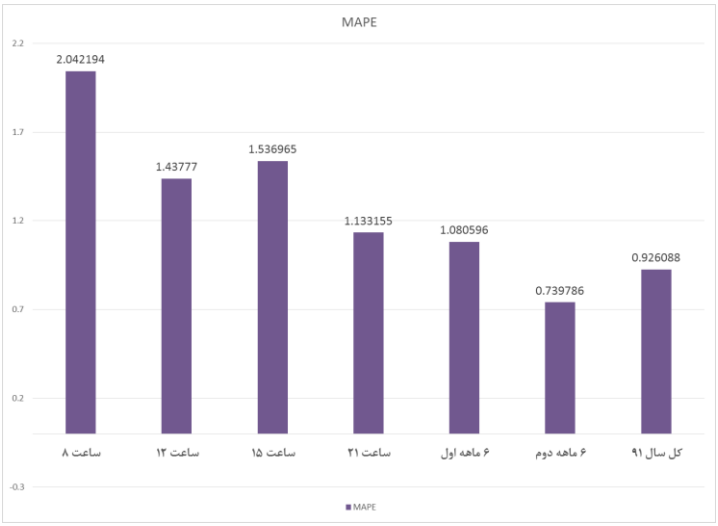
[9] Mean Absolute Percentage Error
[10] Root Mean Squared Error

جدول (۱) MAPE و RMSE مدل ARIMA

مجموعه داده	مدل	RMSE	MAPE
ساعت ۸	ARIMA(0,1,1)(1,0,1)	7051.365911	2.042194
ساعت ۱۲	ARIMA(0,1,1)(1,0,1)	6819.518702	1.43777
ساعت ۱۵	ARIMA(1,1,0)(1,0,1)	7035.578007	1.536965
ساعت ۲۱	ARIMA(0,1,6)(0,0,0)	4819.853258	1.133155
۶ ماهه اول	ARIMA(1,1,2)(0,1,1)	4750.831437	1.080596
۶ ماهه دوم	ARIMA(1,1,2)(1,1,1)	2753.62628	0.739786
کل سال ۹۱	ARIMA(1,1,13)(1,1,1)	3887.713674	0.926088

همان‌طور که در جدول (۱) و شکل (۳) مشاهده می‌شود کم‌ترین MAPE با مقدار ۰.۷۴ متعلق به مجموعه داده ۶ ماهه دوم سال است که نشان‌دهنده دقت بالای پیش‌بینی مدل ARIMA بر روی مجموعه داده مذکور می‌باشد. همچنین مقدار MAPE بر روی مجموعه کل سال برابر است با ۰.۹۳ که در مقایسه با مقدار ۳.۵۶ نتایج پژوهشی که منظور و صفاکیش (۱۳۸۸) در مرجع [۴] بر روی داده‌های سری زمانی قیمت‌های روزانه برق کشور در سال ۱۳۸۷ انجام داده‌اند از دقت بسیار بالاتری برخوردار است.

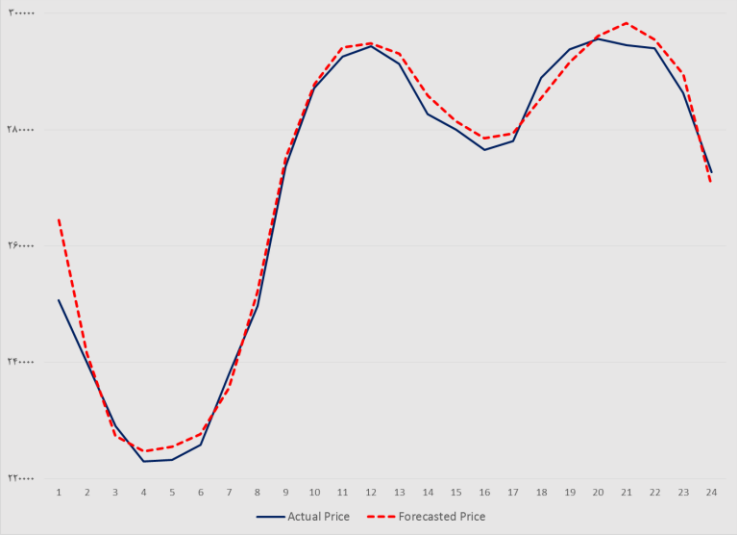
همچنین مشخص است که هر چه تعداد رکوردهای مجموعه داده بیشتر شده است دقت پیش‌بینی نیز افزایش یافته است بنابراین می‌توان این نتیجه را گرفت که موفقیت هر مدل جهت پیش‌بینی به مجموعه داده که مدل جهت برازش استفاده می‌کند بستگی دارد. همان‌طور که در شکل (۳) قابل مشاهده است خطای پیش‌بینی برای مجموعه داده ساعات مشخص روزها بیشتر است و این به خاطر تعداد کم رکورد این مجموعه‌های داده جهت آموزش مدل‌ها می‌باشد.



شکل (۳) مقایسه MAPE مدل‌های مختلف

۷- نتایج پیش‌بینی قیمت برق

با توجه به خطای پیش‌بینی کمتر مدل ARIMA بر روی مجموعه داده ۶ ماهه دوم سال و همچنین کل سال ۹۱، مدل با مجموعه داده ۱۱ ماهه اول سال ۹۱ آموزش داده شده است و قیمت برق در ۲۴ ساعت اول اسفند ۹۱ با استفاده از این مدل انجام شده است. در جدول (۲) و شکل (۴)، مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده قابل مشاهده است.



شکل (۴) نمودار قیمت‌های واقعی و پیش‌بینی شده در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۰۱

جدول (۲) داده‌های واقعی و نتایج پیش‌بینی قیمت برق در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۰۱

Hour	Actual Price	Forecasted Price
1	250696	264464
2	239914	241572
3	229009	227354
4	222923	224704
5	223240	225539
6	225822	227656
7	238009	235586
8	249734	252046
9	273695	275298
10	287124	287839
11	292634	294152
12	294360	294899
13	291365	293059
14	282741	285865
15	279993	281527
16	276541	278581
17	278017	279340
18	288918	285494
19	293870	291639
20	295588	296150
21	294537	298362
22	293993	295502
23	286333	289532
24	272724	270432

۸- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت برق کشور در هر ساعت با استفاده از مدل AIMRA با استفاده از مجموعه داده‌های زیر انجام شد:

- مجموعه داده ساعات مشخص روزها (ساعات ۸، ۱۲، ۱۵ و ۲۱)
- مجموعه داده ۶ ماهه اول و ۶ ماهه دوم سال ۱۳۹۱
- مجموعه داده تمام سال ۱۳۹۱

و جهت بررسی خطای پیش‌بینی، MAPE و RMSE مدل‌ها محاسبه و مقایسه مدل‌ها از این طریق انجام پذیرفت. طبق نتایج به دست آمده، کم‌ترین MAPE با مقدار ۰.۷۴ متعلق به مجموعه داده ۶ ماهه دوم سال است که نشان‌دهنده دقت بالای پیش‌بینی مدل ARIMA بر روی مجموعه داده مذکور می‌باشد. همچنین مقدار MAPE بر روی مجموعه کل سال برابر است با ۰.۹۳ که در مقایسه با مقدار ۳.۵۶ نتایج پژوهشی که منظور و صفاکیش (۱۳۸۸) بر روی داده‌های سری زمانی قیمت‌های روزانه برق کشور در سال ۱۳۸۷ انجام داده‌اند از دقت بسیار بالاتری برخوردار است.

۹- تقدیر و تشکر

صمیمانه از همکاری دفتر بازار برق و حمایت دفتر تحقیقات واستانداردهای سازمان آب و برق خوزستان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

[۱] احسانی، آرش؛ عباسپور تهرانی فرد، علی؛ فتوحی فیروزآباد، محمود؛ رنجبر، علی‌محمد؛ **"آثار تجدید ساختار صنعت برق بر کیفیت و قابلیت اطمینان تأمین انرژی الکتریکی"**، پنجمین همایش ملی انرژی، ۱۳۸۴.

[۲] شهرابی، جمال؛ **داده کاوی**، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، چاپ دوم، ۱۳۹۰.

[۳] جعفری بیدگلی، محمدحاجی؛ صفا، هادی؛ عباسی کاشانی، نفیسه؛ **"اصول پیش بینی قیمت برق و مسائل قیمت گذاری"**، پانزدهیمن کنفرانس مهندسی برق ایران، ۱۳۹۱.

[۴] منظور، داود؛ صفاکیش، امیرکاظم؛ **"پیش بینی قیمت برق در بازار برق رقابتی ایران با رویکرد مدلهای سری زمانی"**، در *هفتمین همایش ملی انرژی*، ۱۳۸۸.

[۵] قاضی‌زاده، محمدصادق؛ آریایی، جمال؛ جاویدی، محمدحسین؛ **"بازار برق ایران؛ تاریخچه، دلایل و ویژگیهای آن"**، دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران.

[6] Keppler, Jan Horst; Bourbonnais, Régis; Girod, Jacques; "*The econometrics of energy systems"*, Basingstoke: Palgrave Macmillan , 51–74, 2007.

[7] Kim, Byounghee; Velas, John; Lee, J. Jeongkyu; Park, Jongbae; Shin, Joongrin; Lee, Kwang; *"Short-Term System Marginal Price Forecasting Using System-Type Neural Network Architecture"*, IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 1753–1758, 2006.

[8] YAMIN, H.; SHAHIDEHPOUR, S.; LI, Z; *"Adaptive short-term electricity price forecasting using artificial neural networks in the restructured power markets"*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 571–581, 2004.

[9] Niimura, T.; *"Forecasting Techniques for Deregulated Electricity Market Prices - Extended Survey"*, IEEE PES Power Systems Conference and Exposition , IEEE, 51–56, 2006.

[10] Catalao, J. P. S.; Mariano, S. J. P. S.; Mendes, V. M. F.; Ferreira, L. a. F. M.; "*Application of Neural Networks on Next-Day Electricity Prices Forecasting"*, Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference, IEEE, 1072–1076, 2006.

[11] Nogales, FJ Francisco Javier; Contreras, Javier; Conejo, A.J. Antonio J; Espinola, R.; Espínola, Rosario; *"Forecasting next-day electricity prices by time series models"*, IEEE Transactions on Power Systems, 342–348, 2002.