نشریه علمی مدیریت استاندارد و کیفیت
Journal of Quality & Standard Management (JQSM)
www.jstandardization.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پیش‌بینی فروش نیروگاه‌های برق ایران با استفاده از روش داده‌کاوی و رگرسیون چندگانه

نیما همتا[1*]، احسان صفوانی[2]

۱ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران
۲ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین‌المللی خرمشهر خلیج‌فارس، ایران

سابقه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

چکیده

هدف از این مقاله، پیش‌بینی فروش نیروگاه‌های برق ایران با استفاده از روش داده‌کاوی و رگرسیون چندگانه است. جامعه آماری پژوهش نیروگاه گازی خرمشهر در سال ۱۳۹۴ است که اطلاعات مربوط به ۱۸۶ روز کاری آن با استناد به رابطه نمونه‌گیری کوکران و به روش طبقه‌ای متناسب استخراج گردیده است. داده‌ها با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، ماشین بردار پشتیبان و جنگل‌های تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که پارامترهای ثابت ورودی نظیر نرخ ارز، ضریب تعدیل و شاخص قیمت خرده فروشی تأثیر مستقیم و معناداری در سطح فروش نیروگاه داشته‌اند. همچنین از بین پارامترهای مؤثر بر قدرت عملی نیروگاه نیز فشار وارده به کمپرسور، ضریب قدرت نامی، توان قابل‌تولید و فشار تأثیر مستقیم و معناداری بر روی سطح فروش نشان دادند. به‌منظور مقایسه روش‌های پیش‌بینی فروش، پیش‌بینی سطح فروش نیروگاه با استفاده از پارامترهای ثابت و مؤثر بر قدرت عملی، از سه روش رگرسیون خطی چندگانه، ماشین بردار پشتیبان و جنگل‌های تصادفی با بکارگیری میانگین خطاهای ایجادشده در پیش‌بینی فروش استفاده شد که روش جنگل‌های تصادفی از دقت بالاتری در پیش‌بینی فروش نیروگاه برخوردار بود.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی فروش برق، رگرسیون خطی، داده‌کاوی

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

۱ مقدمه

پیش‌بینی فروش یکی از مؤلفه‌های مهم و ضروری در برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت در هر کسب‌وکاری است. یک پیش‌بینی دقیق می‌تواند در مدیریت جریان‌های نقدی و تخصیص منابع نقش مؤثری داشته باشد و به شرکت این امکان را می‌دهد که در یک بازه زمانی مشخص حدود درآمد کسب‌وکار خود را تخمین بزند(Mayr et al., 2015). میزان ورودی‌های مالی در کسب‌وکار چه قدر خواهد بود، میزان خروجی‌ها باید چه قدر باشد که تناسب متعادلی برقرار شود، سرمایه‌گذاری‌های متعدد پیش رو چه میزان باشد و چندین سؤال دیگر که بدون دانش پیش‌بینی تشخیص آن‌ها عملاً کاری بسیار دشوار است. اولین اشتباه در مسیر پیش‌بینی فروش، مبالغه کردن در مورد فروش آتی (بدون محاسبات دقیق و تنها به‌صورت حدس و گمان) می‌باشد(Miguel Jaramillo-Moránet al., 2013). همچنین سطح پایین گرفتن بیش‌ازحد آن نیز می‌تواند مشکلات فراوانی ایجاد کند. اگر فروش شرکت فراتر ازآنچه تخمین زده‌شده رود، یکی از مشکلات می‌تواند عدم وجود منابع کافی (مواد اولیه، توان تولید یا واردات و ...) برای تکمیل فرآیند فروش باشد (رستم نیا؛ ۱۳۹۲). همچنین درصورتی‌که پیش‌بینی فروش خیلی کمتر از فروش واقعی باشد، مشتریان به دلیل عدم وجود کالا (یا خدمات) و دشواری دسترسی به آن‌ها ناراضی خواهند شد و به‌مرور مشتریان از دست خواهند رفت. به‌طورکلی پیش‌بینی فروش، ابزاری قدرتمند برای تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری در سطح کلان می‌باشد که خطرهای ناشی از تصمیم‌گیری به‌واسطه داده‌های محدود را کاهش می‌دهد. پیش‌بینی‌های فروش محصولات، مهم و درعین‌حال وظیفه‌ای سنگین می‌باشد. امروزه درحالی‌که برخی شرکت‌ها، بازارهای در حال رشد را تسخیر می‌کنند، برخی دیگر مطلقاً نمی‌توانند حتی در یک بازار، موفقیت کسب کنند (صابری؛ ۱۳۹۱).

از طرفی صنعت برق به‌عنوان صنعت زیربنایی در فرآیند توسعه اقتصادی کشور، نقشی ارزنده و اساسی دارد که بستر لازم را برای پویایی کشور در زمینه‌های مختلف فراهم می‌سازد. انرژی برق در افزایش رفاه و توسعه اقتصادی کشورها سهم انکارناپذیری دارد. این حامل انرژی به سبب

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

ماهیت ویژه، یعنی لزوم تعادل لحظه‌به‌لحظه بازار و عدم امکان ذخیره‌سازی در حجم بالا، از سایر حامل‌ها متمایز است (مهدی نیا و همکاران؛ ۱۳۹۱). به دلیل هزینه‌های سنگین ناشی از قطع برق، تأمین مطمئن آن همواره از اهداف متعالی مدیران این بخش است. به همین دلیل سازوکار و عوامل تأثیرگذار در این بازار باید به‌گونه‌ای تنظیم شود تا به سمت افزایش کارایی، تولید و تقاضای بهینه رهنمون شود (طاهری امامی؛ ۱۳۹۱)؛ اما آنچه مشهود است این است که مدیریت تقاضا بدون ایجاد بسترهای لازم برای عرضه مناسب معنا و مفهومی نخواهد داشت. شاید بتوان یکی از بسترهای لازم جهت توانمندی مدیران در مواجهه با تقاضا را برخورداری از پیش‌بینی‌های دقیق نسبت به تقاضا و درنتیجه عرضه آتی دانست. در ایران با عنایت به وجود بازار رقابتی عرضه برق، حضور رقبا در بازارهای داخلی و خارجی و همچنین سیاست وزارت نیرو در ایجاد بازار برق جهت خرید برق به کمترین قیمت ممکن، ضرورت تعیین حجم فروش را توجیه می‌نماید (لادن؛ ۱۳۸۷). ازاین‌رو پیش‌بینی و افزایش فروش در این صنعت، یکی از ضروری‌ترین اهداف مدیران گشته است. تاکنون مدل‌های مفید زیادی برای پیش‌بینی فروش پیشنهاد گردیده است. برخی از این روش‌های ویژه عبارتند از: گروه‌های خاص، بررسی‌های رسمی در خصوص مشتریان، آزمون‌های مفهومی، روش دلفی، ارزیابی نظر کارشناسان، مصاحبه با کادر فروش، قضاوت‌های مدیریت و هدایت‌های مشتری. این روش‌ها به خصوص در ابتدای فرآیند نوآوری، قبل از آن‌که اطلاعات فروش‌های واقعی به دست آید، مفید واقع می‌شوند. دیگر روش‌های پیش‌بینی فروش در مراحل بعدی استفاده می‌شود: آزمون میدانی، تحلیل سری‌های زمانی، معرفی یک کالای تجاری به یک بازار محدود، منحنی رشد، تعمیم مدل توزیع، بازارهای شبیه‌سازی‌شده. یکی از مشکلات کلیدی که محققان در مدل‌های پیش‌بینی فروش با آن روبه‌رو هستند، وجود تعداد فراوانی از مدل‌های پیش‌بینی است که معیارهای اندکی در انتخاب مؤثرترین آن‌ها برای یک استفاده خاص وجود دارد (رستم نیا؛ ۱۳۹۲). احتمالاً هنوز هم انتخاب مدل بیش از هر چیز به ویژگی‌های بازار و محصول وابسته است. در صنایع با فناوری پیشرفته مانند صنعت توزیع برق که تغییر سریع است، معرفی محصول از سرعت بالایی برخوردار می‌باشد. تعداد این معرفی‌ها فراوان است و

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

مجموعه اطلاعات مفید اغلب کم هستند یا اصلاً وجود ندارند. ازاین‌رو در این تحقیق به مقایسه دو روش کلی پیش‌بینی در این صنعت پرداخته می‌شود و مسئله اصلی تحقیق این است که «آیا امکان پیش‌بینی فروش نیروگاه توزیع برق خرمشهر با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و رگرسیون چندگانه وجود دارد؟» ازاین‌رو فرضیه‌های تحقیق به شکل زیر تعریف گردیده‌اند:

فرضیه ۱: پارامترهای ثابت ورودی و تأثیرگذار در بهای تمام‌شده انرژی بر سطح فروش نیروگاه تأثیرگذارند.

فرضیه ۲: پارامترهای مؤثر بر قدرت عملی بر سطح فروش نیروگاه تأثیرگذارند.

فرضیه ۳: دقت پیش‌بینی فروش در نیروگاه توزیع برق خرمشهر با استفاده از روش‌های داده‌کاوی بالاتر از روش رگرسیون چندگانه است.

۲ مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مهلوجی لادن (۱۳۸۷) در تحقیقی به طراحی منحنی‌های پیشنهاد قیمت از سمت تقاضا در بازار رقابتی برق پرداخته است. برای این منظور از روش برنامه‌ریزی تصادفی که یک روش انعطاف‌پذیر و پرکاربرد در مسائل بهینه‌سازی می‌باشد و می‌تواند یک عدم قطعیت از درجه بالا را مدل‌سازی کند استفاده‌شده است. در این تحقیق ضمن بررسی یکی از روش‌های اصلی حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی که تولید سناریو می‌باشد، به کاربرد آن در پیش‌بینی قیمت و مقدار برق موردنیاز از سمت مصرف نیز پرداخته می‌شود. همچنین یکی از روش‌های تولید سناریو که توسط خرده‌فروشان بازار برق نوردیک استفاده می‌گردد معرفی‌شده و تغییراتی پیشنهاد می‌گردد تا بتوان این روش را در بازار برق ایران نیز به کار برد. سعدی نام (۱۳۸۸) در تحقیقی به طراحی مدل سری زمانی برای پیش‌بینی فروش شرکت نفت پارس پرداخته است. در این تحقیق سه سناریو مطرح می‌شود: ۱) مدل سری زمانی پیش‌بینی فروش شرکت نفت پارس یک مدل ترکیبی است. ۲) مدل سری زمانی پیش‌بینی فروش شرکت نفت پارس یک مدل OLS (رگرسیون کلاسیک)

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

است. ۳) مدل سری زمانی پیش‌بینی فروش شرکت نفت پارس یک مدل اتورگرسیو (مدل مرتبه ۱ از مدل‌های ARIMA) است. بدین منظور ابتدا پیش‌بینی فروش برای دو محصول شرکت با روش‌های مختلف: نمو هموار ساده، مدل هلت-وینترز، مدل میانگین متحرک، اتورگرسیو و مدل ARIMA انجام‌گرفته و سپس از بین این مدل‌ها، مدلی که سازگاری بیشتری با داده‌ها داشته و دارای خطای کمتری بوده است،انتخاب‌شده و در ترکیب مورداستفاده قرارگرفته است. برای محاسبه خطاهای پیش‌بینی از آماره‌های RMSE، MAE،MAPE، ME و MPE استفاده‌شده است که مقایسه آماره‌های خطای روش‌های مختلف، بیانگر این حقیقت است که مدل‌های ترکیبی از تمامی روش‌های کلاسیک بهتر عمل نموده‌اند. محمودی (۱۳۸۸) در تحقیقی به ارائه استراتژی قیمت‌گذاری بهینه خرده‌فروش با استفاده از تکنیک‌های خوشه‌بندی براساس الگو پرداخته است. برای این منظور، یک استراتژی ابتکاری به‌منظور ارائه قیمت بهینه به مشترکان توسط خرده‌فروش ارائه می‌شود. در این استراتژی از تکنیک‌های خوشه‌بندی براساس الگو به‌منظور خوشه‌بندی منحنی بار مشترکان استفاده می‌شود. براساس این تکنیک‌ها، یک چهارچوب سالانه پیشنهاد می‌شود که در تعیین بهینه بازه‌های زمانی قرارداد خرده‌فروش با مشترکان مناسب خواهد بود. لازم به ذکر است که برای افزایش دقت روش‌های خوشه‌بندی، در این پایان‌نامه یک روش بهبودیافته خوشه‌بندی پیشنهاد می‌شود. همچنین، به‌منظور تعیین قیمت بهینه و کاهش خطای پیش‌بینی بار توسط خرده‌فروش، تابع پذیرش مشترکان در این پایان‌نامه بهبود داده می‌شود. رضویان (۱۳۸۹) در تحقیقی به پیش‌بینی قیمت در بازار با بهره‌گیری از یک روش ترکیبی نوین پرداخته است. در این تحقیق داده‌های با شباهت زیاد هم برای اطلاعات بار و هم برای اطلاعات قیمت با ساعت مبنا حفظ و سپس مجموعه حاصل بررسی شد. پس از حذف داده‌های نامناسب در این قسمت با اطلاعات باقیمانده، پیش‌بینی قیمت برای روزها و هفته‌های نمونه در چهارفصل سال هم با استفاده از GA-ARIMA و هم با استفاده از شبکه‌های عصبی- فازی انجام شد. نتایج حاصل در اغلب موارد بیانگر این موضوع است که روش ANFIS از نظر صحت و قابلیت اعتمادپذیری از روش GA-ARIMA بهتر است.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

با توجه به ماهیت قیمت و پیش‌بینی آن‌که اصولاً موردی غیرخطی محسوب می‌شود، به نظر می‌رسد تکنیک‌های محاسباتی نرم در مقایسه با تکنیک‌های محاسباتی سخت، در این زمینه کارآیی بیشتری داشته باشند که نتایج حاصل برای نمونه موردبررسی نیز تا حدود زیادی مؤید این مطلب می‌باشد. دقت پیش‌بینی با روش‌های پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه مطرح‌شده تاکنون، بهبود یافته‌اند. غریب‌زاده (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی بهبود عملکرد خرده‌فروشان در بازارهای برق با استفاده از روش‌های دسته‌بندی بار و پیش‌بینی قیمت پرداخته است. در این تحقیق از روش‌های خطی، روش ARIMA و از روش‌های غیرخطی، شبکه‌های عصبی MLP وRBF، ماشین بردار پشتیبان و مدل سری‌های زمانی فازی موردبررسی قرارگرفته است. همچنین، مدلی بر اساس سری‌های زمانی فازی برای پیش‌بینی قیمت برق ارائه گردیده است و روش‌های سفیدسازی،آنالیز مؤلفه‌های مستقل و انتخاب ویژگی بر اساس تابع همبستگی عرضی نیز برای پیش‌پردازش ورودی‌های شبکه‌های عصبی، موردبررسی قرارگرفته است. برای مقایسه عددی روش‌های پیش‌بینی فوق، از داده‌های بازارهای برق اسپانیا، سنگاپور و نیوانگلند استفاده‌شده است. در ادامه، برای نشان دادن نقش روش‌های دسته‌بندی بار و پیش‌بینی قیمت در بهبود عملکرد خرده‌فروشان، به مدل‌سازی عملکرد خرده‌فروشان در دو بازه زمانی میان‌مدت و کوتاه‌مدت پرداخته‌شده است. لازم به ذکر است که در بازه زمانی میان‌مدت، به دلیل بالا بودن عدم قطعیت بار و قیمت بازار، از روش تولید سناریو برای حل مسئله میان‌مدت استفاده‌شده است.

مهدی نیا و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به ارائه استراتژی بهینه قیمت دهی بسته‌های انرژی خریداران در بازار معاملات دوجانبه متمرکز برق ایران پرداخته‌اند. در این مقاله از مدل ۲۴ ساعته SARIMA جهت پیش‌بینی رفتار قیمت برق در بازار عمده‌فروشی استفاده و سپس برای پیش‌بینی قیمت بسته‌های تالارهای مختلف بازار دوجانبه از روش مبتنی بر کنترل بهینه قیمت با حداقل سازی تابع هزینه ارائه می‌شود. همچنین در این پیشنهاددهی ارزش زمانی پول (اثر تورم) در معاملات بلندمدت لحاظ خواهد شد. با توجه به اینکه برای ترمیم بار شرکت‌های توزیع، امکان خرید از هر دو بازار عمده‌فروشی و دوجانبه فراهم است این مقاله با ارائه پیشنهاد به تیم

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

برای مقدار و قیمت خرید انرژی در بازار دوجانبه برق، به افزایش منافع اقتصادی خریدار می‌پردازد. صابری (۱۳۹۱) در تحقیقی به معرفی مدل‌های خود بازگشتی متناوب آمیخته و کاربرد آن در پیش‌بینی نرخ فروش برق در استان خوزستان پرداخته است. در این تحقیق کلاس جدیدی از مدل‌های سری زمانی به‌طور ساختاری متناوب معرفی می‌گردد که یک کلاس جایگزین از مدل‌های سری زمانی ساختاری است در این روش ساختاری ویژگی‌های برجسته داده‌ها از قبیل روند فصل و ... به‌طور مستقیم به‌عنوان فرآیندهای تصادفی مدل بندی می‌شوند. سپس مدل‌های معرفی‌شده در عمل موردبررسی قرار می‌گیرند بدین منظور داده‌ای مربوط به نرخ فروش برق در استان خوزستان مورداستفاده قرارگرفته می‌شود. طاهری امامی (۱۳۹۱) در تحقیقی به تأثیر محدودیت‌های شبکه انتقال بر استراتژی‌های قیمت دهی شرکت‌های تولیدکننده برق پرداخته است. در این تحقیق، مسئله تعیین استراتژی قیمت دهی بهینه یک نیروگاه دلخواه توسط برنامه‌ریزی دولایه مدل شده است بطوریکه در لایه مشرف سود نیروگاه بیشینه شده و در لایه دیگر بهره‌بردار مستقل سیستم باهدف کمینه کردن پرداختی مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی توأم با بهره‌برداری ایمن از سیستم قدرت، بازار را تسویه می‌کند. همچنین برای مدل‌سازی رقابت نیروگاه‌ها با یکدیگر در بازار با انحصار چندجانبه از تئوری بازی یک مرحله‌ای استفاده‌شده است. روش ارائه‌شده در مورد شبکه ۳۰ باس IEEE شبیه‌سازی‌شده و سپس استراتژی قیمت دهی یک نیروگاه دلخواه در مطالعات موردی مختلف محاسبه گردیده است. رستم نیا (۱۳۹۲) در تحقیقی به‌پیش بینی قیمت متوسط موزون بازار برق ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های عصبی- فازی پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که درجه رقابت در بازار و استفاده از الگوهای مصرف متفاوت، بر قیمت‌ها اثرگذار بوده و مدنظر قرار دادن آن‌ها به افزایش قدرت مدل می‌انجامد. همچنین با توجه به ماهیت قیمت برق نتیجه می‌شود که شبکه‌های هوشمند قادرند قیمت برق را ردیابی کرده و آن را با یک دقت خوب پیش‌بینی نمایند. جارامیلو موران[1] و همکاران

1 Jaramillo-Morán

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

(۲۰۱۳) در تحقیقی به‌پیش بینی تقاضای ماهیانه برق با استفاده از فیلترهای عصبی پرداخته‌اند. در این تحقیق، روندهای موجود در تقاضای برق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و نوسانات آن در قالب ۶ بخش مجزا با توجه به ۶ دوره پیک مصرف تحلیل‌شده‌اند. یافته‌های این تحقیق نشان داده که شبکه عصبی چندلایه قابلیت پیش‌بینی تقاضای برق را با کنترل روندها و نوسانات به‌طور هم‌زمان دارند.

سانستاد[1] و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به مدل بندی یک سناریوی انرژی-کارآمد مهاجم در پیش‌بینی بار بلندمدت طرح‌های انتقال برق پرداخته‌اند. یافته‌های این تحقیق بر اساس پیش‌بینی داده‌های ۲۰ ساله نشان از افزایش معنادار در کارآمدی برنامه‌های انتقال انرژی داشته است. همچنین نتایج حاکی از آن بوده که طرح‌های جایگزینی انرژی برق تحت این سناریو امکان‌پذیر بوده‌اند. مایر[2] و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی تأثیر توان فتوولتائیک مسکونی بر بازده فروش برق پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده که جمعیت غالب ساکنین با سطح درآمد بالا، انگیزه‌های بالایی در سرمایه‌گذاری برافزایش توان فتوولتائیک و استفاده از سیستم‌های باتری خانگی تا سال ۲۰۲۸ داشته‌اند. این نتایج نشان‌دهنده وجود شکاف بین درآمدها و هزینه‌های تولید نیرو دارند که این شکاف بودجه‌ای را می‌توان از طریق جایگزینی تعرفه‌های انرژی محور با ارتباطات شبکه‌ای بازده-خنثای ثابت کاهش داد. ژیائو[3] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به معرفی یک مدل ترکیبی بر پایه الگوهای چندگانه فصلی و الگوریتم تعدیل‌شده کرم شب‌تاب در پیش‌بینی بار مصرفی برق پرداخته‌اند. در این تحقیق داده‌ها به شکل نیم‌ساعته جمع‌آوری و مورد تحلیل قرارگرفته‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که هریک از الگوریتم‌ها و مدل‌های موردمطالعه به‌تنهایی قابلیت پیش‌بینی بار مصرفی را داشته‌اند اما نتایج مدل ترکیبی، منجر به بهینه‌سازی پیش‌بینی‌ها گردیده است. سان و کیم[4] (۲۰۱۶) در تحقیقی به‌پیش بینی تقاضای

1 Sanstad
2 Mayr
3 Xiao
4 Son and Kim

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

کوتاه‌مدت برق با استفاده از ویژگی‌های اجتماعی و آب و هوایی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده که روش مورداستفاده نسبت به سایر روش‌های پیش‌بینی نظیر: ARIMA و مدل‌های چندمتغیره از مزیت نسبی در پیش‌بینی برخوردار بوده است. در این روش متغیرهای اثرگذار بر تقاضای مصرف، به‌صورت خودکار شناسایی‌شده و اثر سنجی می‌گردند.

کروز می[1] و همکاران (۲۰۲۲) به مقایسه نتایج حاصل از سه تکنیک هوش مصنوعی در بازار برق به‌منظور پیش‌بینی قیمت برق در شرایط بازار واقعی کشور مکزیک پرداخته‌اند. در این مقاله، پارامترهای ورودی بیرونی در قالب شاخص‌های منطقه‌ای، عملیاتی، هواشناسی و اقتصادی طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تأثیر متغیرها با توجه به شرایط بازار و مصرف در نوسان است. نتایج تحقیقات پیشین که توان روش‌های ترکیبی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را در پیش‌بینی فروش و تقاضای برق بررسی کرده‌اند نشان از توانمندی این روش‌ها در پیش‌بینی داشته است که از آن میان می‌توان به نتایج تحقیقات سعدی نام (۱۳۸۸)، رضویان (۱۳۸۹)، غریب زاده (۱۳۹۱)، رستم نیا (۱۳۹۲) و جارامیلو موران و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. یافته‌های تحقیقات مذکور نشان داده که روش‌های ترکیبی و شبکه‌های عصبی مصنوعی (روش‌های داده‌کاوی نیز جزئی از روش‌های شبکه عصبی بشمار می‌آیند)، توان بالاتری در پیش‌بینی بازار برق نسبت به روش‌های کلاسیک دارند. ازاین‌رو یافته‌های این فرضیه با نتایج تحقیقات مذکور همسو بوده است.

۳ روش تحقیق

این پژوهش ازنظر هدف، از دسته پژوهش‌های کاربردی به شمار می‌رود و ازنظر روش، پژوهشی توصیفی مبتنی بر تحلیل همبستگی است. سنجش داده‌های تحقیق حاضر با استفاده از اسناد و مدارک ثبتی موجود در نیروگاه خرمشهر انجام‌شده است. جامعه آماری تحقیق حاضر نیروگاه

1 Cruz May

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

توزیع برق خرمشهر می‌باشد که اطلاعات آن طی سال ۱۳۹۴ موردبررسی قرار می‌گیرد. قابل‌ذکر است ازآنجاکه اطلاعات مربوط به جامعه آماری تحقیق به‌صورت ساعتی ثبت می‌گردد و به دلیل تعمیم نتایج به‌کل قلمرو زمانی تحقیق و اعمال شرط تصادفی بودن داده‌های موردمطالعه، از بین اطلاعات موجود نمونه‌گیری به‌عمل‌آمده است. برای این منظور از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای استفاده‌شده است. در این روش از هرماه، تعدادی از روزها به‌تصادف انتخاب‌شده و اطلاعات نهایی هرروز به‌عنوان داده نهایی موردمطالعه قرارگرفته است. جهت تعیین حداقل حجم نمونه لازم، از فرمول کوکبان برای جامعه محدود استفاده گردید:

$$n = \frac{N \times Z^2_{\alpha/2} \times [p(1-p)]}{(N-1)d^2 + Z^2_{\alpha/2}[p(1-p)]}$$

لذا حداقل حجم نمونه لازم عبارت است از:

$$n = \frac{360 \times (1.96)^2 \times [0.5(1-0.5)]}{(360-1)(0.05)^2 + (1.96)^2 \times [0.5(1-0.5)]} = 186$$

بنابراین حداقل حجم نمونه لازم، اطلاعات مربوط به ۱۸۶ روز می‌باشد که مبنای تجزیه‌وتحلیل قرار خواهد گرفت. به‌منظور اعمال تخصیص متناسب در نمونه‌گیری از این روزها، از هر ۳۰ روز کاری در یک ماه، تعداد ۱۶ روز به‌طور تصادفی انتخاب گردید که برای ۱۲ ماه یک سال، تعداد ۱۹۲ ردیف مشاهده فراهم گردید.

۴ یافته‌های تحقیق

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از تخمین مدل رگرسیونی و پیش‌بینی بهروش‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل‌های تصادفی استفاده‌شده است. متغیرهای موردمطالعه در این مدل‌ها عبارتند از: پارامترهای ورودی ثابت (نرخ شاخص خرده‌فروشی، نرخ ارز و ضریب آلفا (ضریب تعدیل نرخ ارز)، پارامترهای مؤثر بر قدرت عملی (پارامترهای محیطی شامل: دما، رطوبت و فشار؛ پارامترهای فنی شامل: توان قابل‌تولید، ضریب قدرت نامی و فشار ورودی به کمپرسور) و متغیر وابسته تحقیق

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

که حجم فروش نیروگاه می‌باشد. جدول (۱) ارزیابی وضعیت تمرکز و پراکنش هریک از این متغیرها را در نیروگاه طی بررسی نمونه آماری تحقیق نشان می‌دهد.

جدول (۱): ویژگی‌های توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
فروش	۹/۴۶۴۶×۱۰^۱۰	۹/۳۵۹۱×۱۰^۱۰	۸/۸۱۷۵×۱۰^۹	۸/۱۳۷۷×۱۰^۱۰	۱/۱۲۱۱×۱۰^۱۱
ضریب تعدیل (آلفا)	۳/۱۹۰۵	۳/۲۰۰۵	۰/۱۸۰۸	۲/۹۱	۳/۵۰
نرخ ارز	۳۴۵۹۹	۳۴۵۳۲	۶۶۰/۵۹۲۶	۳۳۴۴۲/۹۰	۳۵۸۵۷/۹۰
توان قابل‌تولید	۱۴۱/۲۰	۱۴۱/۲۳	۱/۷۶۵۷	۱۳۸/۰۳	۱۴۴/۰۲
رطوبت	۴۸/۴۸۳۰	۴۹/۷۷۳۴	۱۷/۵۸۷۱	۱۷/۴۱	۷۸/۳۲
فشار	۱۰۲۴/۶۳	۱۰۲۴/۶۳	۳/۱۷۹۰	۱۰۱۹/۴۱	۱۰۳۰/۱۴
دما	۲۵/۵۷۸۱	۲۵/۳۷۷۷	۱/۵۷۹۳	۲۳/۰۱	۲۸/۳۲
ضریب قدرت نامی	۰/۸۸۷۹	۰/۸۸۷۵	۰/۰۱۴۲	۰/۸۷	۰/۹۱
فشار ورودی به کمپرسور	۹۳۳/۳۸	۹۳۴/۱۱	۲۰/۲۷۰۹	۸۹۷/۴۱	۹۶۷/۹۲
شاخص قیمت خرده‌فروشی	۲۲۵/۴۴	۲۲۵/۱۰	۴/۴۴۲۶	۲۱۹/۶۰	۲۳۴/۸۰

مطابق با یافته‌های جدول (۱) مشاهده می‌شود که میانگین فروش روزانه شرکت برابر با ۹/۴۶×۱۰^۱۰ ریال بوده است. همچنین شاخص ضریب تعدیل آلفا که اثرات تسعیر نرخ ارز را بر فروش شرکت می‌سنجد به‌طور میانگین برابر با ۳/۱۹۰۵ بدست آمده است. متوسط نرخ ارز برای شرکت در روزهای موردمطالعه برابر با ۳۴۵۹۹ ریال بوده است و توان قابل‌تولید نیروگاه به‌طور میانگین برابر با ۱۴۱/۲۰ مگاوات در روز بدست آمده است. متوسط سطح رطوبت در نیروگاه برابر با ۴۸/۴۸۳ و متوسط فشار هوا برابر با ۱۰۲۴/۶ بدست آمده است. همچنین متوسط دما نیز برابر با ۲۵/۵۷۸۱ بدست آمده است. ضریب قدرت نامی نیروگاه که از عوامل فنی تولید است به‌طور متوسط برابر با ۰/۸۸۷۹ و فشار ورودی به کمپرسور نیز برابر با ۹۳۳/۳۸ بدست آمده است. همچنین شاخص قیمت خرده‌فروشی که به‌صورت ماهیانه به ثبت رسیده به‌طور میانگین برابر با ۲۲۵/۴۴ بوده است. به‌منظور تعیین عوامل اثرگذار بر فروش شرکت، باید از آزمون اثرسنجی در مدل‌های رگرسیونی بهره جست. به همین منظور پیش از انجام این آزمون، تائید فرض نرمال

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

بودن توزیع تجربی متغیرها ضروری است. برای این منظور از آزمون کلموگروف- اسمیرنوف استفاده‌شده که نتایج آن به شرح جدول (۲) بوده است.

جدول (۲): آزمون کلموگروف –اسمیرنوف (منبع: یافته‌های پژوهش)

متغیر	آماره آزمون	سطح معناداری
فروش	۱/۳۹۸	۰/۰۵۱
ضریب تعدیل (آلفا)	۱/۳۸۵	۰/۰۵۳
نرخ ارز	۱/۰۹۹	۰/۱۷۸
توان قابل‌تولید	۱/۰۸۲	۰/۱۹۲
رطوبت	۰/۸۶۲	۰/۴۴۷
فشار	۱/۱۳۵	۰/۱۵۲
دما	۱/۲۹۳	۰/۰۷۰
ضریب قدرت نامی	۱/۱۱۷	۰/۱۶۵
فشار ورودی به کمپرسور	۰/۹۵۷	۰/۳۱۹
شاخص قیمت خرده‌فروشی	۱/۰۳۶	۰/۲۰۰

باتوجه به سطح معناداری دست آمده از این آزمون که بزرگ‌تر از خطای ۰/۰۵ بوده است می‌توان فرض صفر این آزمون را مبنی بر نرمال بودن توزیع تجربی متغیرهای تحقیق پذیرفت. ازاین‌رو در سطح خطای ۰/۰۵ می‌توان پذیرفت که متغیرهای تحقیق از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. لذا برای آزمون فرضیات تحقیق می‌توان از آزمون‌های پارامتری نظیر رگرسیون بهره جست.

به‌منظور آزمون دو فرضیه اول و دوم تحقیق مبنی بر اثربخشی پارامترهای ثابت ورودی و پارامترهای تعیین قدرت عملی نیروگاه بر روی سطح فروش، از تخمین مدل رگرسیونی استفاده‌شده است. در این مدل، تمامی فاکتورهای بالقوه مؤثر بر سطح فروش که در تحقیق موردمطالعه بوده‌اند، بر روی سطح فروش شرکت اثرسنجی شده و ضرایب تأثیر هریک از آن‌ها بر روی سطح فروش محاسبه‌شده است. اگرچه باید توجه داشت که با استناد به اختلاف مقیاس بزرگ بین داده‌های فروش و سایر پارامترها، در این مدل از تبدیل لگاریتمی مقادیر فروش استفاده‌شده است. جدول (۳) نتایج برازش مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

جدول (۳): آزمون اثر پارامترهای ثابت ورودی و پارامترهای قدرت عملی بر سطح فروش

متغیر	ضریب تأثیر	خطای برآورد	ضریب استاندارد	آماره آزمون	سطح معناداری
مقدار ثابت	۰/۳۲۳	۰/۰۳۲	–	۱۰/۰۹۳	۰/۰۰۰
ضریب تعدیل آلفا	۰/۲۶۱	۰/۰۸۱	۰/۰۳۳	۳/۲۰۶	۰/۰۰۲
نرخ ارز	۹/۷۶۶×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۰۰	۰/۱۳۴	۴/۵۷۵	۰/۰۰۰
توان قابل‌تولید	۰/۰۵۹	۰/۰۰۷	۰/۰۳۳	۸/۵۱۱	۰/۰۰۰
رطوبت	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۴۵۷	۰/۶۴۸
دما	۰/۰۱۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶	۱/۶۴۴	۰/۱۰۲
ضریب قدرت نامی	۷/۲۷۲	۰/۹۱۸	۰/۲۵۶	۷/۹۱۹	۰/۰۰۰
فشار	۵/۴۳	۳/۳۰	۲/۰۲۱	۱۷/۹۲۸	۰/۰۰۰
فشار ورودی به کمپرسور	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۱۳۶	۵/۲۶۵	۰/۰۰۰
شاخص قیمت خرده‌فروشی	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۹۵	۳/۲۳۰	۰/۰۰۱

مطابق با یافته‌های مدل فوق، می‌توان مدل پیش‌بینی سطح فروش را با استفاده از پارامترهای موردمطالعه به‌صورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned}\text{Sales} = {} & 0.323 + 0.261\ \text{Alpha} + 0.000097\ \text{Exchange Rate} \\ & + 0.059\ \text{Produceable Power} + 0.0001\ \text{Humidity} + 0.016\ \text{Temp} \\ & + 7.272\ \text{Nominal Coefficient} + 5.43\ \text{Pressure} + 0.004\ \text{HLL2} \\ & + 0.011\ \text{CPI}\end{aligned}$$

با توجه به سطح معناداری آزمون اثرات متغیرهای مستقل بر سطح فروش شرکت مشاهده می‌شود که این احتمال برای تمامی فاکتورهای مستقل به‌جز دما و رطوبت کوچک‌تر از خطای ۰/۰۵ بدست آمده و ازاین‌رو می‌توان پذیرفت که هریک از شاخص‌های ضریب تعدیل آلفا، نرخ ارز، توان قابل‌تولید، ضریب قدرت نامی، فشار، فشار ورودی به کمپرسور و شاخص قیمت خرده‌فروشی تأثیر معناداری بر روی سطح فروش نیروگاه داشته‌اند. با توجه به ضرایب تأثیر به‌دست‌آمده نیز می‌توان مشاهده نمود که اثرگذاری هریک از این متغیرها بر روی سطح فروش در جهت مستقیم بوده است. با استناد به یافته‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که از میان پارامترهای ثابت ورودی، شاخص‌های ضریب تعدیل آلفا، نرخ ارز و شاخص قیمت خرده‌فروشی بر روی سطح فروش اثرگذار

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

بوده‌اند که نشان از تائید فرضیه اول تحقیق دارد. ازاین‌رو می‌توان ادعا نمود که پارامترهای ثابت ورودی و تأثیرگذار در بهای تمام‌شده انرژی بر سطح فروش نیروگاه تأثیرگذارند.

همچنین بررسی پارامترهای فنی و محیطی نیز نشان داده که از میان پارامترهای محیطی شاخص فشار و از بین پارامترهای فنی تمامی آن‌ها بر روی سطح فروش اثرگذار بوده‌اند. ازاین‌رو فرضیه دوم تحقیق نیز در سطح خطای ۰/۰۵ مورد تائید قرارگرفته و می‌توان ادعا نمود که پارامترهای مؤثر بر قدرت عملی بر سطح فروش نیروگاه تاثیرگذارند. به‌منظور بررسی سطح اثر هریک از پارامترها بر روی سطح فروش شرکت به ضرایب تأثیر استانداردشده متغیرها استناد گردیده است. با استناد به این ضرایب از بین پارامترهای ثابت ورودی، شاخص نرخ ارز بیشترین تأثیر را بر روی سطح فروش داشته است و از بین پارامترهای قدرت عملی نیز شاخص توان قابل‌تولید و فشار بیشترین تأثیر را بر روی سطح فروش داشته‌اند. به‌منظور تعیین توان مدل در پیش‌بینی سطح فروش شرکت و همچنین ارزیابی صحت آن در این پیش‌بینی شاخص‌های ضریب تعیین اصلاح‌شده و نتایج آزمون تحلیل واریانس در جدول (۴) ارائه‌شده است.

با استناد به ضریب تعیین اصلاح‌شده مدل، پارامترهای ثابت ورودی و پارامترهای قدرت عملی می‌توانند تا ۹۸/۶ درصد از تغییراتی که در سطح فروش شرکت وجود داشته را کنترل و تبیین نمایند و با استناد به سطح معناداری مدل که کوچک‌تر از خطای ۰/۰۵ بدست آمده می‌توان پذیرفت که این مقدار از توان تبیین‌کنندگی متغیرهای مستقل ازنظر آماری معنادار بوده و درواقع مدل رگرسیونی تحقیق توانسته حجم معناداری از تغییرات متغیر فروش را تبیین نماید. برآورد میانگین خطاهای مدل نیز نشان می‌دهد که متوسط خطاهای حاصل از پیش‌بینی در این مدل، برابر با ۰/۰۰۱۲۵ بدست آمده است.

در ادامه، یافته‌های حاصل از پیش‌بینی سطح فروش شرکت از دو روش ماشین بردار پشتیبان و جنگل‌های تصادفی ارائه می‌شود. در این دو روش سطح فروش نیروگاه با استناد به عوامل توضیحی موردمطالعه در تحقیق، پیش‌بینی‌شده و میزان دقت هریک از روش‌های ماشین بردار

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

پشتیبان و جنگل‌های تصادفی با استناد به معیار صحت[1] مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در هریک از این روش‌ها، نسبت ۲۵٪ از کل مشاهدات به‌عنوان داده‌های آموزش و ۷۵٪ باقی به‌عنوان داده‌های آزمون مورد پردازش قرارگرفته‌اند. ابتدا الگوریتم‌ها با استفاده از روابط موجود در داده-های آموزش، تغذیه می‌شوند و سپس الگوی پیش‌بینی براساس یافته‌های داده‌های آموزش بر روی‌داده‌های آزمون اجرا می‌گردد. پس از انجام پیش‌بینی سطح فروش، نتایج هریک از روش‌ها بررسی گردیده که جدول (۵) خلاصه ویژگی‌های روش و صحت آن‌ها در پیش‌بینی مشاهدات را نشان می‌دهد.

جدول (۴): دقت پیش‌بینی مدل رگرسیونی و نتایج آزمون تحلیل واریانس (منبع: یافته‌های پژوهش)

شاخص	یافته
ضریب تعیین	۰/۹۹۸
ضریب تعیین اصلاح‌شده	۰/۹۸۶
میانگین خطا	۰/۰۰۱۲۵
F تحلیل واریانس	۳/۵۴۱×۱۰^{۵}
سطح معناداری مدل	۰/۰۰۰

جدول (۵): پیش‌بینی فروش با روش ماشین بردار پشتیبان و جنگل‌های تصادفی (منبع: یافته‌های پژوهش)

روش	ویژگی‌های روش	میانگین خطا
ماشین بردار پشتیبان	تابع کرنل خطی در شناسایی بردارهای پشتیبان؛ تعداد بردارهای پشتیبان = ۱۲۴	۰/۰۰۰۵۱۴
جنگل تصادفی	تعداد درخت‌های تصادفی = ۱۰۰	۰/۰۰۰۰۵۶۸

با توجه به نتایج جدول (۵) روش جنگل‌های تصادفی توانسته با تعداد ۱۰۰ درخت تصادفی در مدل، به میانگین خطای ۰/۰۰۰۰۵۶۸ در پیش‌بینی فروش برسد درحالی‌که میانگین خطای پیش‌بینی در روش ماشین بردار پشتیبان برابر با ۰/۰۰۰۵۱۴ برآورد شده است. در مقایسه دقت

1 Accuracy

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

پیش‌بینی این دو روش در پیش‌بینی سطح فروش نیروگاه با دقت پیش‌بینی روش رگرسیون خطی که برابر با ۰/۰۰۱۲۵ بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که روش جنگل‌های تصادفی، از دقت بالاتری در پیش‌بینی سطح فروش نیروگاه برخوردار بوده است. ازاین‌رو می‌توان ادعا نمود که دقت پیش‌بینی فروش در نیروگاه توزیع برق خرمشهر با استفاده از روش‌های داده‌کاوی بالاتر از روش رگرسیون چندگانه است؛ بنابراین فرضیه سوم تحقیق نیز مورد تائید قرارگرفته است. با استناد به اعتبار بالای روش جنگل تصادفی در پیش‌بینی سطح فروش، میزان اهمیت هریک از عوامل توضیحی در سطح فروش نیروگاه نیز مورد ارزیابی قرارگرفته و رتبه‌های اولویت هریک از آن‌ها به همراه ضرایب اهمیت برآورد گردیده که جدول (۶) این یافته‌ها را ارائه می‌دهد.

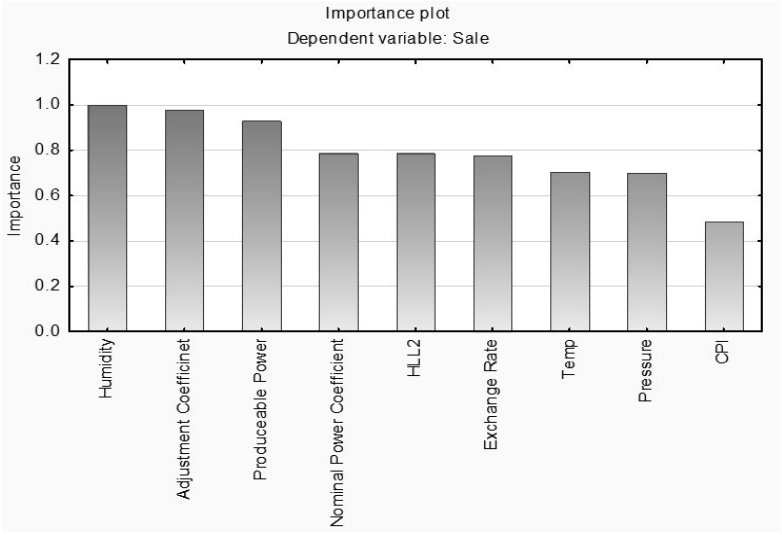
جدول (۶): ضریب اهمیت عوامل مؤثر بر سطح فروش (منبع: یافته‌های پژوهش)

متغیر	ضریب اهمیت	اولویت
رطوبت	۱/۰۰۰۰	۱
ضریب تعدیل آلفا	۰/۹۷۸۹	۲
توان قابل‌تولید	۰/۹۲۹۶	۳
ضریب قدرت نامی	۰/۷۸۷۵	۴
فشار وارده به کمپرسور	۰/۷۸۴۴	۵
نرخ ارز	۰/۷۷۶۷	۶
دما	۰/۷۰۴۷	۷
فشار	۰/۷۰۰۲	۸
شاخص قیمت خرده‌فروشی	۰/۴۸۳۳	۹

باتوجه به یافته‌های جدول (۶) رطوبت بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی سطح فروش داشته است. پس‌ازآن ضریب تعدیل آلفا بیشترین تأثیر را بر سطح فروش نشان داده است. عوامل توان قابل‌تولید، ضریب قدرت نامی، فشار وارده به کمپرسور، نرخ ارز، دما و فشار به ترتیب در مراتب بعدی اولویت و اهمیت در سطح فروش قرارگرفته‌اند و شاخص قیمت خرده‌فروشی کمترین اهمیت را در پیش‌بینی سطح فروش نشان داده است. شکل (۱) ترتیب اولویت این عوامل را نشان می‌دهد. اگرچه باید توجه داشت که ضرایب اهمیت هریک از متغیرهای توضیحی با توجه به

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

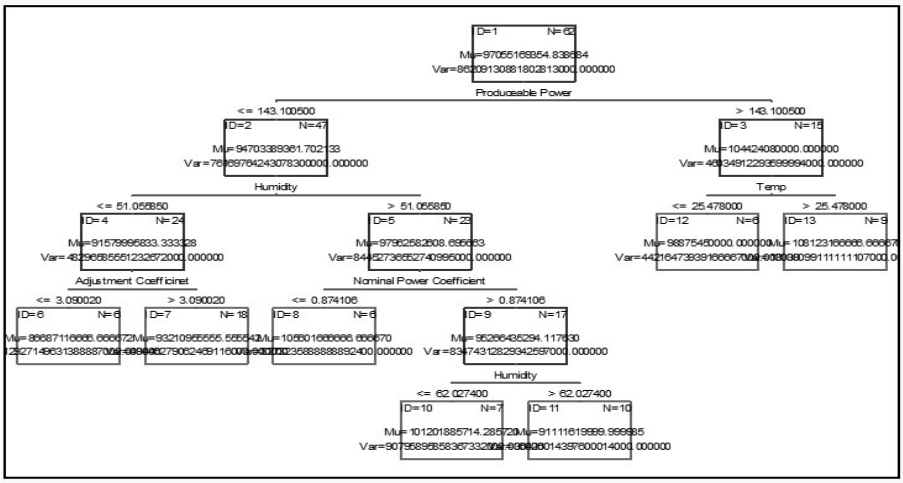
درخت تصمیم نهایی مدل که در شکل (۲) ارائه‌شده و بر اساس تعداد دفعات استناد به هر متغیر و سطح اهمیت بکارگیری هر متغیر (مرتبه شاخه متغیر) در درخت تصمیم برآورد شده‌اند که میزان اهمیت نهایی آن‌ها در شکل (۱) ارائه گردیده است.



شکل (۱): اولویت عوامل مؤثر بر پیش‌بینی سطح فروش

شکل (۲) درخت تصمیم این روش را برای پیش‌بینی سطح فروش با استفاده از متغیرهای توضیحی نشان می‌دهد و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، ضریب اهمیت هریک از عوامل توضیحی با استناد به درخت تصمیم تحقیق محاسبه گردیده است.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353



شکل (۲): درخت تصادفی عوامل مؤثر بر سطح فروش

مطابق با شکل(۲) فرآیند پیش‌بینی سطح فروش برحسب تفکیک سطوح متغیرهای مستقل به آستانه‌های مهم متغیرها انجام‌شده است. به‌عبارت‌دیگر، مقادیر آستانه‌ای هریک از متغیرها که در میزان فروش مؤثر واقع می‌گردند، شناسایی‌شده و در هریک از گروه‌های تفکیک‌شده براین اساس، مقادیر آستانه‌ای سایر متغیرها تعیین می‌گردد و این فرایند از طریق آموزش الگوریتم و انجام آزمون‌وخطاهای هوشمند صورت می‌پذیرد.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

براساس نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله می‌توان گفت که با افزایش سطح ضریب تأثیر آلفا که نشانگر نرخ تسعیر ارز و اثرات آن در فروش شرکت است، می‌توان ارزش فروش بالاتری را انتظار داشت؛ همچنین با افزایش شاخص قیمت خرده‌فروشی و نرخ ارز نیز بر سطح فروش شرکت افزوده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مؤلفه‌هایی که دارای تغییرات غیرقابل‌کنترل از سوی شرکت هستند، اثرات مثبتی بر سطح فروش داشته‌اند. اگرچه با توجه به قیمت‌گذاری خدمات و تولیدات نیروگاه مبتنی بر مصارف ارزش‌گذاری شده براساس نرخ ارز و شاخص‌های کلان، انتظار

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

نیز بر آن بود که سطح اثر این عوامل بر روی سطح فروش مثبت ارزیابی گردد و به‌عبارت‌دیگر، با افزایش در مقدار هریک از این مؤلفه‌ها، افزایش سطح فروش را می‌توان انتظار داشت. همچنین نتایج حاکی از آن بود که فشار وارده به کمپرسور، ضریب قدرت نامی و توان قابل‌تولید، هریک دارای اثرات مستقیم و معناداری بر روی سطح فروش بوده‌اند. همچنین از بین پارامترهای محیطی نیز تنها عامل فشار تأثیر مستقیم و معناداری بر روی سطح فروش نشان داد. با استناد به این یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که پارامترهای مؤثر بر قدرت عملی دارای تأثیر مستقیم بر سطح فروش نیروگاه بوده‌اند. نتایج مقایسه مدل‌های تحقیق نشان داد که روش جنگل‌های تصادفی با میانگین خطای برابر با ۰/۰۰۰۰۵۶۸ از دقت بالاتری در پیش‌بینی فروش نیروگاه برخوردار است. پس‌ازآن روش ماشین بردار پشتیبان با میانگین خطای برابر با ۰/۰۰۰۵۱۴ در رتبه دوم و روش رگرسیون خطی چندگانه با میانگین خطای برابر با ۰/۰۰۱۲۵ در رتبه سوم قرار گرفت. ازاین‌رو فرضیه سوم تحقیق در سطح خطای ۰/۰۵ مورد تائید قرار گرفت.

با استناد به یافته‌های تحقیق مبنی بر تأثیر پارامترهای ثابت بر سطح فروش شرکت پیشنهاد می‌شود نسبت به تحلیل‌گری شاخص‌های کلان و ازجمله نرخ ارز و پیامدهای آن بر هزینه‌های تولید و سودآوری فروش، پرداخته‌شده و از طریق پیش‌بینی تغییرات و نوسانات ممکن در این شاخص‌ها نسبت به برنامه‌ریزی تولید اقدام گردد. همچنین مطابق با تأثیر پارامترهای مؤثر بر قدرت عملی بر سطح فروش شرکت پیشنهاد می‌شود نسبت به تعدیل اثرات جانبی و محیطی بر روی تولید توجه بیشتری به‌عمل‌آمده و با استفاده از فناوری‌های نوین از سطح اثربخشی پارامترهای محیطی بر روی کارآمدی تولید کاسته گردد. همچنین بکارگیری ابزارها و تجهیزات نوین و بروز می‌تواند سطح کارکرد پارامترهای فنی را در افزایش راندمان تولید بهبود بخشد. با توجه به اینکه نتایج مدل رگرسیونی تحقیق منجر به ایجاد یک مدل تحلیلی برای پیش‌بینی سطح فروش با استفاده از پارامترهای موردمطالعه گردید، پیشنهاد می‌شود نسبت به تعیین سطوح بهینه پارامترهای ورودی و فنی با استفاده از مدل تحلیلی تحقیق اقدام گردد تا بهترین سطح فروش برای شرکت پیش‌بینی شود.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

۶ مراجع

سهراب، استا (۱۳۹۰)، بررسی رابطه بین ساختار مالکیت و مدیریت سود، پژوهش‌های حسابداری مالی، دوره ۳، شماره ۸، صص ۹۳-۱۰۶.

رستم نیا، ناصر (۱۳۹۲)، پیش‌بینی قیمت متوسط موزون بازار برق ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های عصبی-فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد.

رضویان، سیدعلیرضا (۱۳۸۹)، پیش‌بینی قیمت در بازار با بهره‌گیری از یک روش ترکیبی نوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

سعدی نام، مهسا (۱۳۸۸)، طراحی مدل سری زمانی برای پیش‌بینی فروش شرکت نفت پارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

صابری، الهام (۱۳۹۱)، معرفی مدل‌های خود بازگشتی متناوب آمیخته و کاربرد آن در پیش‌بینی نرخ فروش برق در استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

طاهری امامی، ایمان (۱۳۹۱)، تأثیر محدودیت‌های شبکه انتقال بر استراتژی‌های قیمت دهی شرکت‌های تولیدکننده برق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک دانشگاه شهید باهنر کرمان.

غریب زاده، مسیح الله (۱۳۹۱)، بهبود عملکرد خرده‌فروشان در بازارهای برق با استفاده از روش‌های دسته‌بندی بار و پیش‌بینی قیمت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک دانشگاه صنعتی شیراز.

لادن، مژگان (۱۳۸۷)، طراحی منحنی‌های پیشنهاد قیمت از سمت تقاضا در بازار رقابتی برق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک دانشگاه علم و صنعت ایران.

محمودی، نادعلی (۱۳۸۸)، ارائه استراتژی قیمت‌گذاری بهینه خرده‌فروش با استفاده از تکنیک‌های خوشه‌بندی براساس الگو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

محمد، مهدی نیا، مریم، برزوئی، حسن، شاکری (۱۳۹۱)، «ارائه استراتژی بهینه قیمت دهی بسته‌های انرژی خریداران در بازار معاملات دوجانبه متمرکز برق ایران»، هفدهمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق، انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

May E.C., Bassam A., Ricalde L.J., Soberanis M.E., Oubram O., Tzuc, O.M., Alanis A.Y., Livas-García, A. (2022). "Global sensitivity analysis for a real-time electricity market forecast by a machine learning approach: A case study of Mexico", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *Vol. 135*, *p. 107505.*

Mayr D., Schmid E., Trollip H., Zeyringer M., Schmidt J. (2015). "The impact of residential photovoltaic power on electricity sales revenues in Cape Town", *Utilities Policy, Vol. 36 ,pp. 10-23*.

Miguel A. Jaramillo-Morán, M.A., González-Romera E., "Carmona-Fernández D. (2013). Monthly electric demand forecasting with neural filters", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 49, pp. 253-263*.

Sanstad A.H., McMenamin S., Sukenik A., Barbose G.L., Goldman C.A. (2014). "Modeling an aggressive energy-efficiency scenario in long-range load forecasting for electric power transmission planning", *Applied Energy, Vol. 128, pp. 265-276.*

Son H., Kim C. (2017). "Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variables", *Resources, Conservation and Recycling, Vol. 123, pp. 200-207*.

Xiao L., Shao W., Liang T., Wang C. (2016). "A combined model based on multiple seasonal patterns and modified firefly algorithm for electrical load forecasting", *Applied Energy, Vol. 167, pp. 135-153.*

Reverte C., (2011). "The impact of better corporate social responsibility disclosure on the cost of equity capital", *Corporate Social Responsibility and Environmental*, *Vol. 19, No. 5, pp. 253-272*.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353

Research paper

Sale forecast of Iran's electricity plant using data mining and multiple regression

nima hamta[1*],ehsan safvani[2]

Received:2021/08/02

Accepted: 2021/09/28

Abstract

The purpose of this paper is sales forecasting of Iran power plants using data mining and multiple regression methods. The statistical population is Khorramshahr Gas Power Plant in year 1394 in which information has obtained form 186 working days using Kukran formula. Data were analyzed using multiple linear regression models, support vector machine and the random forest. The obtained results showed that parameters such as input the fixed exchange rate, index and retail price index adjustment have a direct and significant impact on the sale forecast of power plant. In addition, the parameters of the power plant operations, such as the nominal power factor, power and pressure produced a significant direct impact on the level of sales. In order to compare sales forecasting methods, power plant sales level forecasting using fixed parameters affecting practical power, three methods used: multiple linear regression, support vector machine and random forests using the average errors generated in sales forecasting. It was found that the random forest method was more accurate in predicting plant sales.

Keywords: Electricity sale forecast, Regression, Data Mining.

DOI: 10.22034/jsqm.2021.298074.1353