

پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران با استفاده از روش‌های کلاسیک و شبکه عصبی مصنوعی

امیر توکلی^۱، امیرهومن حمصی^{۲*}، محمد طلایی‌پور^۳، بهزاد بازاریار^۴ و آژنگ تاج‌دینی^۵

۱- دانش‌آموخته دکترای تخصصی، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

پست الکترونیک: h_hemmasi@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۴- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۵- دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۳

چکیده

هدف از این تحقیق پیش‌بینی روند مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران طی یک دوره زمانی ۵ ساله با استفاده از روش‌های کلاسیک و نوین پیش‌بینی بود. به‌منظور انجام این پیش‌بینی، در ابتدا پیش‌بینی‌پذیر بودن سری زمانی با استفاده از آزمون‌های دوربین-واتسون و گردش مورد بررسی قرار گرفت. سپس به مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی (پرسپترون چندلایه (MLP)) و مدل‌های کلاسیک تک متغیره و چندمتغیره از قبیل مدل‌های تک متغیره هموارسازی نمایی ساده (SES)، هموارسازی نمایی دوپل (DES)، هموارسازی نمایی حالت-وینترز (HWES)، باکس-جنکینز (ARIMA) و مدل اقتصادسنجی چندمتغیره برحسب معیارهای استاندارد آماری پرداخته شد. در نهایت، پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران تا سال ۱۳۹۶ با استفاده از مناسب‌ترین مدل انجام شد. نتایج هر دو آزمون پارامتریک دوربین-واتسون و آزمون غیر پارامتریک گردش نشان دادند که سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر، غیر تصادفی و قابل پیش‌بینی می‌باشد. نتایج مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی نیز نشان دادند که مدل شبکه عصبی مصنوعی از صحت پیش‌بینی بالاتری نسبت به مدل‌های کلاسیک برخوردار می‌باشد و برای پیش‌بینی طی یک دوره زمانی ۵ ساله مناسب‌تر می‌باشد. همچنین نتایج پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر با استفاده از مدل شبکه عصبی (MLP) نشان دادند که مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران با ۵/۳ درصد افزایش از حدود ۳۷۵ هزار تن در سال ۱۳۹۱ به ۴۲۰ هزار تن در سال ۱۳۹۲ خواهد رسید و طی در طول دوره پیش‌بینی از ۵/۳ درصد در سال ۱۳۹۲ به ۰/۰۷ درصد در سال ۱۳۹۶ افت خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: مصرف کاغذ چاپ و تحریر، پیش‌بینی، اقتصادسنجی چندمتغیره، هموارسازی نمایی، ARIMA، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه.

مقدمه

پیش‌بینی در محدوده گسترده‌ای از زمینه‌ها کاربرد دارد و ابزار بسیار مهمی در فرایند تصمیم‌گیری به‌شمار می‌آید. در این راستا، پیش‌بینی تقاضای فرآورده‌های جنگلی یکی از عوامل مؤثر و کلیدی برای برنامه‌ریزی موفقیت‌آمیز در بازار این بخش محسوب می‌شود (Hetemaki & Mikkola, 2005). در میان فرآورده‌های مختلف جنگلی، کاغذ چاپ و تحریر به دلیل تأثیر قابل توجه بر رشد و توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به‌عنوان یک کالای مهم و راهبردی در هر کشوری محسوب می‌شود. آمارها نشان می‌دهد که تولید و مصرف کاغذ چاپ و تحریر به‌ترتیب از ۵۳۷۵۶ و ۶۲۸۵۶ تن در سال ۱۳۵۷ به حدود ۶۱۱۷۲ و ۳۷۵۱۳۵ تن در سال ۱۳۹۱ رسیده است، این روند رو به رشد افزایش مصرف این محصول سبب شده که در طی دوره مورد مطالعه سهم تولید در ارضای نیازهای مصرف‌کنندگان از ۸۵/۵ درصد در سال ۱۳۵۷ به ۱۶/۳ درصد در سال ۱۳۹۱ کاهش یابد و ۸۳/۷ درصد باقیمانده از طریق واردات و به‌طور عمده از پنج کشور امارات متحده عربی (۳۰/۶ درصد)، کره جنوبی (۱۹/۴ درصد)، چین (۱۴ درصد)، اندونزی (۱۲/۸ درصد) و ترکیه (۱۰/۳ درصد) تأمین گردد که در مجموع این ۵ کشور، ۲۷۳۷۲۹ تن نیاز کشور به این محصول را از مجموع واردات ۳۱۴۲۲۸ تن با ارزش ۵۵۲۳ میلیارد ریال (۳۳۷ میلیون دلار) در سال ۱۳۹۱ تأمین کرده‌اند که چیزی در حدود ۸۷/۱ درصد از کل واردات این محصول را تشکیل می‌دهد (Tavakkoli, 2015). همچنین آمارها نشان می‌دهد که سرانه مصرف کاغذ چاپ و تحریر از ۱/۷ کیلوگرم در سال ۱۳۵۷ به ۴/۹ کیلوگرم در سال ۱۳۹۱ افزایش یافته است (Tavakkoli, 2015). از این رو با توجه به افزایش مصرف و سرانه مصرف کاغذ چاپ و تحریر و نیز اهمیت خودکفایی در تولید این محصول راهبردی، برنامه‌ریزی برای بهبود شرایط موجود و دستیابی به اهداف تعیین شده اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اجتناب‌ناپذیر است و پیش‌بینی میزان تقاضای آینده کاغذ چاپ و تحریر در کشور می‌تواند گامی مهم و لازم در تحقق این هدف باشد و

به واحدهای تولیدی کشور (به‌طور عمده دو کارخانه کاغذ پارس و چوب و کاغذ مازندران) در جهت افزایش توان ظرفیت تولیدی خود با توجه به میزان تقاضای داخلی و نیز راه‌اندازی و احداث واحدهای تولیدی جدید کمک کند. همچنین با توجه به اینکه کاغذهای فرهنگی (کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر) در ایران کالاهایی هستند که واردات آنها بطور مستقیم توسط دولت انجام می‌شود (Hemmasi, et al., 2006; Tavakkoli, 2015). از این رو پیش‌بینی میزان مصرف آینده این قبیل محصولات در کشور می‌تواند در جهت تخصیص میزان دقیق ارز لازم برای واردات آنها به دولت کمک کند.

در زمینه پیش‌بینی فرآورده‌های جنگلی، تحقیقات مختلفی در ایران و در سطح جهان انجام شده است که بیشتر آنها نیز از رویکردهای اقتصادسنجی برای پیش‌بینی استفاده کرده‌اند (Kangas & Baudin, 2003; Hemmasi, et al., 2006; Hujala & Hilmola, 2009; Biglari, et al., 2010; Kayacan, et al., 2012; Gupta, et al., 2013). نتایج مطالعات محدودی به مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی و استفاده از روش‌های نوین شبکه عصبی پرداخته‌اند که در این راستا نیز بیشتر مطالعات به مقایسه مدل‌های کلاسیک سری زمانی تک متغیره با یکدیگر و یا با انواع مدل‌های اقتصادسنجی چند متغیره پرداخته‌اند، به‌ویژه آن‌که در زمینه پیش‌بینی تقاضای فرآورده‌های جنگلی بنا به بررسی‌های انجام شده در زمان انجام این تحقیق، هیچ مطالعه‌ای در زمینه مقایسه انواع مدل‌های خطی کلاسیک تک متغیره و چند متغیره با مدل‌های نوین غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی انجام نشده است. Hetemaki و Obersteiner (۲۰۰۲) به مقایسه سه مدل کلاسیک، بیزین و مدل تیتراژ روزنامه برای پیش‌بینی تقاضای کاغذ روزنامه در آمریکا تا سال ۲۰۲۰ پرداختند. نتایج آنان نشان داد که مدل بیزین توانسته بود که پیش‌بینی قابل قبول‌تری را نسبت به دو مدل دیگر ارائه کند. همچنین نتایج پیش‌بینی با مدل بیزین نشان داد که تقاضا برای کاغذ روزنامه تا سال ۲۰۲۰ به دلیل کاهش مطالعه روزنامه توسط مردم و افزایش استفاده از

زمانی تک متغیره هموارسازی نمایی دوبل، هالت- وینترز و ARIMA برای پیش‌بینی مصرف تخته خرده چوب در ایران تا سال ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج ارزیابی‌ها نشان دادند که مدل ARMA از خطای پیش‌بینی کمتری برخوردار بوده و برای پیش‌بینی آینده مصرف تخته خرده چوب مناسب‌تر می‌باشد.

پیش‌بینی و برآورد درست تقاضای آینده، معمولاً یکی از مشکلات پیچیده در صنایع مختلف محسوب می‌شود. از این‌رو، امروزه چگونگی ایجاد و توسعه مدل‌های جدیدتر و دقیق‌تر پیش‌بینی تقاضا به یک موضوع تحقیقاتی مهم در هر صنعتی تبدیل شده است. این تحقیق به دنبال معرفی و ارتقاء روش‌های پیش‌بینی تقاضا از روش‌های سنتی و تجربی به روش‌های علمی کلاسیک (تک متغیره و چند متغیره) و نوین در تمام شرکت‌ها و سازمان‌های مرتبط با صنایع چوب و کاغذ به منظور کمک به برنامه‌ریزی در زمینه حجم تولید و فروش در آنها می‌باشد. در مدل‌های تک متغیره، روش‌های خطی هموارسازی نمایی (ES) و باکس-جنکینز (ARIMA) و در مدل‌های چند متغیره روش‌هایی از قبیل رگرسیون خطی چندمتغیره و تحلیل‌های اقتصادسنجی مدنظر می‌باشد و در رویکرد نوین، مدل غیرخطی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) یا پیش‌خور مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت پس از بررسی و ارزیابی اثربخشی مدل‌های مختلف در ارائه پیش‌بینی‌های دقیق، مصرف کاغذ چاپ و تحریر برای یک دوره زمانی ۵ ساله توسط بهترین مدل، پیش‌بینی می‌شود.

مواد و روش‌ها

روش‌های کلاسیک تک متغیره و چند متغیره

مدل اقتصادسنجی خطی چند متغیره (Log-linear)

مدل‌های اقتصادسنجی بر پایه نظریه‌های اقتصادی شکل گرفته‌اند و مبتنی بر روابط بین متغیرهای اقتصادی هستند. بر اساس نظریه تقاضا، عموماً مقدار تقاضا برای یک کالا به قیمت آن کالا و درآمد مصرف‌کننده بستگی دارد. همچنین تحقیقات مختلف از قبیل FAO (۱۹۹۷)، Kangas

رسانه‌های الکترونیکی به‌خصوص اینترنت کاهش خواهد یافت. Luo (۲۰۰۳) به پیش‌بینی تقاضا برای کاغذ چاپ و تحریر و کاغذ روزنامه در چین تا سال ۲۰۲۰ با استفاده از مدل‌های تک متغیره ARIMA پرداخت. نتایج حاصل از پیش‌بینی نشان دادند که تا سال ۲۰۲۰ تقاضا برای کاغذ روزنامه و کاغذ چاپ و تحریر افزایش خواهد یافت. Hetemaki و Mikkola (۲۰۰۵) به مقایسه مدل‌های سری زمانی تک متغیره، مدل‌های اقتصادسنجی چندمتغیره تک معادله‌ای و سیستمی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت تقاضای واردات کاغذ چاپ و تحریر در آلمان پرداختند. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی نشان دادند که مدل‌های سری زمانی تک متغیره نسبت به سایر مدل‌ها از صحت پیش‌بینی بالاتری برخوردار می‌باشند. Hossieni و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه مدل شبکه عصبی پس انتشار فازی با مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره و سری زمانی تک متغیره ARIMA برای پیش‌بینی فروش کاغذ روزنامه مازندران پرداختند. نتایج آنان نشان داد که شبکه عصبی نسبت به مدل‌های تک متغیره و چند متغیره، از دقت بیشتری برای پیش‌بینی برخوردار می‌باشد. Emang و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه مدل‌های سری زمانی تک متغیره هالت- وینترز فصلی، الگوریتم ARAR و ARIMA فصلی برای پیش‌بینی حجم آینده صادرات فرآورده‌های چوبی (تخته خرده چوب و فرآورده‌های قالبی) در مالزی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که مدل ARIMA توانسته بود که پیش‌بینی قابل قبول‌تری را ارائه کند. Mohammadi Limaiei و همکاران (۲۰۱۱) از تحلیل سری‌های زمانی و روش خود رگرسیون برداری برای پیش‌بینی واردات و صادرات چوب استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که مدل خود رگرسیون برداری مرتبه اول برای پیش‌بینی از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. Anandhi و همکاران (۲۰۱۲) از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور سه لایه با الگوریتم پس انتشار لوئینرگ - مارکوارت برای پیش‌بینی تقاضا و عرضه خمیرچوب در ایالت تامیلنادر هند استفاده کردند. Tavakkoli و همکاران (۲۰۱۵) به مقایسه مدل‌های سری

GDP واقعی) و قیمت واقعی محصول تعیین می‌شود. از این رو با توجه به مبانی نظری تحقیق و نیز بر اساس سایر تحقیقات انجام شده در مورد عوامل مؤثر بر مصرف کاغذ چاپ و تحریر نظیر Biglari و همکاران (۲۰۱۰)، می‌توان مدل رگرسیون خطی تقاضای کاغذ چاپ و تحریر در ایران را برحسب حوزه زمانی به صورت زیر نوشت:

$$\ln(X_t^d) = C_1 + C_2 \ln(Pr_{t-1}) + C_3 \ln(GDP_t) + C_4 \ln(Lit_t) + C_5 \ln(St_t) + C_6 \ln(Nubr_t) + C_7 \ln(Ur_t) + \epsilon_t \quad (1)$$

میزان توضیح‌دهندگی را با متغیرهای توضیحی داشته باشند و نیز مجموعه مدل از نظر آزمونهای آماری قابل قبول باشند، انتخاب می‌شود. همچنین قبل از انجام پیش‌بینی‌ها، صحت فرم تبعی مدل تخمینی و اعتبار نتایج حاصل از آن با استفاده از آزمون تصحیح رمزی و آزمون‌های اعتبارسنجی مدل (آزمون ناهمسازی واریانس آرچ و وایت، آزمون خودهمبستگی سریالی بریوش - گادفری و آزمون نرمال بودن پسماند مدل (آزمون جارکو - برا)) بررسی می‌شوند.

مدل‌های سری زمانی تک متغیره

مدل‌های سری زمانی، اغلب رفتار گذشته متغیر را مبنای پیش‌بینی آینده قرار می‌دهند اما قبل از استفاده از این الگوها باید تصادفی یا غیر تصادفی بودن داده‌ها بررسی شوند، زیرا اگر داده‌ها تصادفی (نامنظم) باشند، نمی‌توان از این مدل‌ها استفاده کرد که در این تحقیق از دو آزمون پارامتریک دوربین - واتسون و غیر پارامتریک گردش (Runs) استفاده می‌شود. برای انجام آزمون دوربین واتسون باید مشاهدات به صورت نرمال توزیع شده باشند که در این تحقیق از آزمون نرمال بودن کولموگوروف - اسمیرنوف (KS) استفاده شده است. در آزمون تصادفی گردش نیز با استفاده از آماره توزیع نرمال Z و مقدار معنی‌داری آزمون گردش دوطرفه، ادعای تصادفی بودن متغیر آزمون می‌شود. مقدار آماره آزمون Z_N از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Yürekli, et al., 2005):

و Baudin (۲۰۰۳)، Hilmola و Hujala (۲۰۰۹)، Kayacan و همکاران (۲۰۱۲) و Gupta و همکاران (۲۰۱۳) در مورد فرآورده‌های جنگلی نشان دادند که تقاضا به شدت به درآمد یا رشد تولید ناخالص داخلی (GDP) بستگی دارد. از سوی دیگر معادلات تقاضای مدل جهانی تولیدات جنگلی (GFPM) فرض می‌نماید که تقاضا برای هر فرآورده جنگلی توسط درآمد ملی (اندازه‌گیری شده توسط

که در آن، X^d مقدار تقاضا برای کاغذ چاپ و تحریر (متغیر وابسته) و Pr قیمت واقعی کاغذ چاپ و تحریر (قیمت کاغذ مذکور تقسیم بر شاخص بهای عمده‌فروشی کاغذ و محصولات کاغذی)، GDP سرانه تولید ناخالص داخلی واقعی (GDP به قیمت ثابت سال پایه ۱۳۷۶)، Lit میزان باسوادی، St تعداد دانش‌آموزان و دانشجویان کشور، Nubr تعداد عنوان کتابهای منتشره و Ur درصد شهرنشینی به عنوان متغیرهای توضیحی مدل می‌باشند. همچنین C_1 جزء عرض از مبدأ، $C_2 \dots C_8$ ضرایب حاصل از تخمین متغیرهای توضیحی مدل توسط روش حداقل مربعات معمولی (OLS) و ϵ_t جزء اخلاص تقاضا (جاننشینی برای اثر تمام عوامل نادیده گرفته شده یا حذف شده از مدل تقاضا) است.

پیش‌بینی افزایش قیمت کاغذ در ایران سبب شده است که معمولاً بین زمان خرید و مصرف کاغذ وقفه‌ای به وجود آید که این امر به‌ویژه در سطوح متوسط و بالای درآمدی قابل مشاهده است، از این رو در این تحقیق قیمت با یک وقفه وارد مدل شده است.

استفاده از روش‌های رگرسیونی پیش‌بینی، مستلزم بررسی خواص ایستایی متغیرها می‌باشد، از این رو در این تحقیق در ابتدا ایستایی متغیرها با دو آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) و فیلیپس پرون (PP) بررسی تا متغیرهای ایستا وارد مدل شوند و بعد با استفاده از روش حذف رو به عقب، عوامل مؤثر بر تقاضای کاغذ چاپ و تحریر شناسایی و در نهایت مدلی از تابع تقاضا که بیشترین

تعریف می‌شود (Billah, et al., 2006):

$$Z_N = \frac{R-E(R)}{\sqrt{V(R)}} \approx N(0, 1) \quad (2)$$

$$F_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) \cdot F_{t-1} \quad (7)$$

$$F'_t = \alpha(F_t - F_{t-1}) + (1 - \alpha) \cdot F'_{t-1} \quad (8)$$

$$F_{(t+h)} = F_t + F'_t[(h - 1) + 1/\alpha] \quad (9)$$

که در آن F_t پیش‌بینی با استفاده از روش هموارسازی نمایی ساده، F'_t پیش‌بینی با استفاده از روش هموارسازی نمایی دوگانه، $F_{(t+h)}$ مقدار پیش‌بینی شده برای دوره h به جلو متغیر مورد نظر و ضریب ثابت هموارسازی نمایی است.

مدل تک متغیره هموارسازی نمایی حالت-وینترز (HWES) تفاوت این روش با روش‌های هموارسازی نمایی ساده و دوگانه این است که از دو پارامتر و در معادله استفاده شده است. این روش دارای سه معادله و دو ضریب ثابت هموارسازی به صورت زیر است (Newaz, 2008):

(10)

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}), \quad (0 < \alpha < 1)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}, \quad (0 < \beta < 1) \quad (11)$$

$$F_{(t+h)} = L_t + hb_t \quad (12)$$

که در آن L_t برآورد میزان سری در دوره t ، ضریب ثابت هموارسازی نمایی برای داده‌ها، ضریب ثابت هموارسازی نمایی برای برآورد روند، b_t برآورد شیب سری در دوره t و F_{t+h} مقدار پیش‌بینی سری برای دوره $t+h$ است. لازم به ذکر است که مقدار بهینه دو پارامتر و از طریق روش آزمون و خطا و توسط حداقل معیار خطای پیش‌بینی RMSE به دست می‌آید.

مدل تک متغیره خود رگرسیون میانگین متحرک انباشته (ARIMA)

در این روش که به باکس-جنکینز (BJ) نیز مشهور است، مقادیر آینده یا رفتار متغیر وابسته y_t به عنوان تابع

که در آن R تعداد گردش، $E(R)$ و $V(R)$ میانگین و واریانس مربوط به R می‌باشند و از طریق روابط زیر به دست می‌آیند.

$$E(R) = \frac{T+2T_A T_B}{T} \quad (3)$$

$$V(R) = \frac{2T_A T_B (2T_A T_B - T)}{T^2 (T-1)} \quad (4)$$

که در آن T تعداد کل مشاهدات، T_A تعداد مشاهدات برابر یا بیشتر از میانگین و T_B تعداد مشاهدات کمتر از میانگین است.

مدل تک متغیره هموارسازی نمایی ساده (SES)

در این روش پیش‌بینی جدید برابر با پیش‌بینی قدیم به علاوه کسری از خطا می‌باشد. این روش در صورتی که داده‌ها تحت تأثیر فاکتورهای فصلی و روند نیستند مورد استفاده قرار می‌گیرد و به صورت زیر تعریف می‌شود (Newaz, 2008):

$$F_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) \cdot F_{t-1}, \quad (0 < \alpha < 1) \quad (5)$$

$$F_{(t+h)} = F_t, \quad (h=1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

که در آن F_t مقدار پیش‌بینی شده سری در دوره t ، y_t مقدار واقعی سری در دوره t ، F_{t-1} مقدار پیش‌بینی شده سری برای دوره $t-1$ ، F_{t+h} مقدار پیش‌بینی شده سری برای دوره $t+h$ و ضریب ثابت هموارسازی نمایی است.

مدل تک متغیره هموارسازی نمایی دوگانه (DES)

روش هموارسازی نمایی دوگانه همانند روش هموارسازی نمایی ساده است، با این تفاوت که روند زمانی نیز به آن اضافه شده است. این روش از طریق سه رابطه زیر

معنی دار بودن ضرایب، نرمال بودن جملات پسماند و نیز خودهمبستگی باقیمانده‌های مدل بررسی و آزمایش می‌شوند. در صورتی که باقیمانده‌ها دارای توزیع نرمال و مستقل از هم باشند، این ویژگی مبین درستی تصریح الگوی انتخابی است و می‌توان مدل را به‌عنوان یک برازش مناسب پذیرفت، در غیر این صورت باید آن را رد و مراحل قبل مجدد تکرار شوند و (۴) پیش‌بینی.

در مدل‌سازی با ARIMA باید یک سری زمانی ایستا داشته باشیم. اگر سری در سطح ایستا باشد، مقدار d برای آن برابر با صفر و برای پیش‌بینی از رهیافت $ARMA(p, q)$ استفاده می‌شود ولی اگر بعد از d مرتبه تفاضل‌گیری ایستا شود، در این صورت از فرایند $ARIMA(p, d, q)$ تبعیت می‌کند (Gujarati, 2004). شکل کلی مدل $ARIMA(p, 0, q)$ یا $ARMA(p, q)$ به‌صورت زیر است (Gujarati, 2004):

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \beta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q} \quad (۱۳)$$

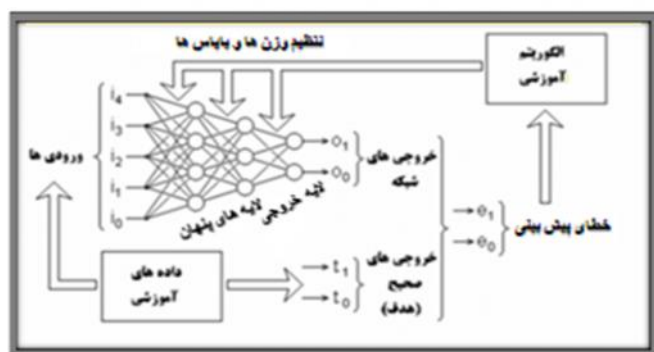
مزیت‌ها، با محدودیت‌هایی مانند عدم توانایی در بیان روابط غیرخطی روبرو هستند، در دهه‌های اخیر به‌منظور جبران ضعف روش‌های خطی، مدل‌های غیرخطی نوین شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سری‌های زمانی بکار گرفته شده‌اند که شکل شماتیک نحوه عملکرد شبکه‌های عصبی به‌صورت زیر است:

خطی از مقادیر گذشته متغیر y و جملات اخلال تصادفی فرض می‌شوند. این روش شامل چهار مرحله است: (۱) شناسایی مدل: در این مرحله، پس از تعیین درجه ایستایی متغیر (d)، مرتبه خودرگرسیون (p) و مرتبه میانگین متحرک (q) تعیین می‌گردد. در این تحقیق از حداکثر ۳ وقفه و نیز وقفه حاوی کمترین معیار آکائیک (AIC) استفاده می‌گردد (Pesaran & Pesaran, 1997) اما با توجه به اینکه استفاده از این معیار در نمونه‌های کوچک مستلزم برخورد احتیاط‌آمیز است و منجر به افزایش عدم قطعیت در پیش‌بینی می‌شود، از این‌رو دقت پیش‌بینی با استفاده از شاخص RMSE نیز سنجیده می‌شود (Marcellinio, et al., 2006). (۲) تخمین مدل: برای برآورد انواع مدل‌های ARIMA می‌توان از روش خطی حداقل مربعات معمولی (OLS) و غیرخطی حداکثر راست‌نمایی (ML) استفاده کرد. (۳) کنترل خوبی برازش مدل: در این مرحله علاوه بر آزمون

که در آن y_t متغیر مورد پیش‌بینی در زمان t ، p مرتبه خود رگرسیونی، q مرتبه میانگین متحرک، و ضرایب مدل و جمله اخلال سفید است که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ^2 می‌باشد ($\varepsilon_t \sim i.i.d. (0, \sigma^2)$).

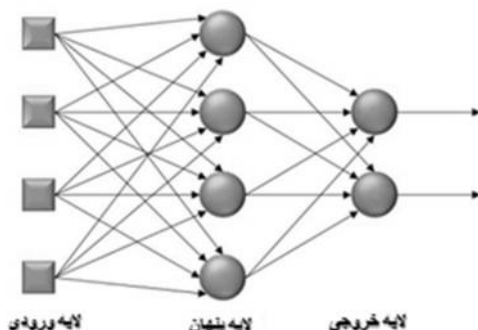
مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

مدل‌های خطی سنتی و کلاسیک با وجود برخی



شکل ۱- شکل شماتیک نحوه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی

که ساختار شبکه مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- ساختار یک شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه پنهان

تعیین تعداد نرون‌های لایه ورودی

مدل‌های شبکه عصبی آزاد از قید و بند مفروضات آماری هستند ولی نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که اگر انتخاب بر اساس یک تئوری اقتصادی یا خصوصیات آماری سری‌های مورد استفاده باشد، نتایج بهتری خواهد داشت (Swanson & White, 1997; Moshiri & Comeron, 2000). بر این اساس در این تحقیق، ورودی‌های مدل شبکه عصبی معادل متغیرهای توضیحی مدل رگرسیونی خطی چند متغیره در نظر گرفته می‌شود. ورودی مدل‌های شبکه عصبی به صورت خام، سرعت و دقت شبکه را کاهش می‌دهد. برای اجتناب از چنین شرایطی و نیز به منظور یکسان کردن ارزش داده‌ها و برای آنکه داده‌های بزرگ‌تر، داده‌های کوچک‌تر را تحت شعاع قرار ندهند و همچنین برای جلوگیری از اشباع شبکه و گرفتار شدن شبکه در نقطه حداقل محلی، لازم است بردارهای ورودی و هدف، استاندارد یا نرمال شوند. در پژوهش حاضر از نرمال‌سازی خطی استفاده می‌شود که بر اساس آن داده‌ها در دامنه ۱ تا -۱ قرار می‌گیرند که این تابع به صورت زیر محاسبه می‌شود (Pacelli, et al., 2011):

$$X_n = \frac{2(X_r - X_{min})}{X_{max} - X_{min}} \quad (15)$$

مراحل طراحی یا معماری مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی تعیین نوع شبکه و آموزش آن

شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) یا پیش‌خور، کاربردی‌ترین نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی هستند و بیشتر محققان، شبکه‌های عصبی پیش‌خور چندلایه را به دلیل کارایی بالای آنها برای پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده می‌کنند، از این رو در این تحقیق نیز از این مدل برای پیش‌بینی استفاده شده است. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که شبکه عصبی پیش‌خور با یک لایه پنهان، تابع فعال‌سازی سیگموئید در لایه پنهان، تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی و تعداد نرون‌های کافی در لایه پنهان قادر است هر تابع خطی و غیرخطی را با دقت دلخواه تقریب بزند (Hornik, et al., 1989; Kuan & White, 1994; Pesaran & Pesaran, 1997; Moshiri & Comeron, 2000). فرم کلی مدل پیش‌خور به صورت زیر است (Moshiri & Comeron, 2000):

$$F = f \left[\beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j G \left[\sum_{k=1}^K \gamma_{kj} X_j \right] \right] \quad (14)$$

که در آن F خروجی، f تابع فعال‌سازی لایه خروجی، G تابع فعال‌سازی لایه‌های پنهان، J تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، K تعداد نرون‌های ورودی، 0 جمله اریب یا بایاس، z وزن‌های ارتباطی بین نرون‌های خروجی و نرون‌های پنهان، k_j وزن ارتباطی بین نرون‌های پنهان و نرون‌های ورودی و X_j ورودی J ام است. همچنین قبل از آموزش شبکه، مقادیر ابتدایی وزن‌ها و بایاس‌ها باید تعیین شوند که در این تحقیق با استفاده از روش بهینه‌سازی تصادفی، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌ها تعدیل می‌شوند، به طوری که در آنها به جای پیش‌فرض صفر از یک عدد تصادفی استفاده خواهد شد.

تعیین تعداد لایه‌های شبکه

شبکه انتخابی تحقیق، دارای ۳ لایه ورودی، پنهان و خروجی است و مقدار بیشتر لایه‌ها، شبکه را پیچیده می‌کند

که در آن X_n مقدار نرمال شده، X_f مقادیر واقعی، X_{min} و X_{max} حداقل و حداکثر مقادیر واقعی ورودی یا هدف است.

تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان و لایه خروجی

نرون‌های لایه خروجی به مثابه همان متغیر وابسته در مدل رگرسیونی هستند که در این تحقیق برابر با یک است. برای تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز که از اهمیت خاصی در فرایند آموزش و مدل‌بندی غیرخطی شبکه‌های عصبی برخوردار هستند از روش انتخاب رو به جلو بر مبنای آزمون و خطا استفاده می‌شود، اما در ادبیات شبکه‌های عصبی، تعداد نرون‌های پنهان حداکثر تا دو برابر تعداد نرون‌های ورودی در نظر گرفته می‌شود (Zhang, 2003)، بدین صورت که ابتدا مدل با یک نرون پنهان آموزش داده می‌شود و معیار ارزیابی پیش‌بینی آن محاسبه می‌گردد، سپس به نرون‌های پنهان یک واحد دیگر اضافه و معیار ارزیابی پیش‌بینی به دست آمده با مقدار قبلی آن مقایسه می‌شود و این عمل حداکثر تا دو برابر تعداد نرون‌های ورودی (2×6) ادامه می‌یابد و در نهایت نرون بهینه با توجه به معیارهای عملکرد پیش‌بینی و کمترین مقدار آن انتخاب می‌گردد.

تعیین حجم نمونه برای بخش آموزش و آزمون

هیچ روش خاصی برای انتخاب تعداد نمونه‌های

$$(17) \quad y = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad \text{تابع انتقال لوگ سیگموئید} \quad \text{تابع انتقال خطی} \quad y = x$$

$$(18) \quad y = \frac{e^{-x} - e^x}{e^{-x} + e^x} \quad \text{تابع انتقال تانژانت هیپربولیک}$$

آموزشی و آزمایشی از درون مجموعه داده‌ها وجود ندارد. در این تحقیق، با توجه به سالانه بودن و تعداد اندک داده‌ها و نیز به دلیل مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی که حتماً باید تعداد دوره‌های مورد مطالعه با هم برابر باشند همانند سایر روش‌های معمول پیش‌بینی از حدود ۹۰ درصد داده‌ها (۸۸-۱۳۵۷) برای آموزش و از ۱۰ درصد باقیمانده (۹۱-۱۳۸۹) به عنوان داده‌های آزمایشی برای آزمون دقت پیش‌بینی مدل استفاده می‌شود.

تعیین نوع توابع انتقال یا فعال‌سازی

در هر لایه از شبکه عصبی، تعدادی نرون وجود دارد و هر نرون، تابع تحریک یا انتقال مخصوص به خود را دارد. تابع انتقال یا فعال‌سازی می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد که با توجه به نیاز مسئله، از سوی طراح انتخاب می‌شود. توابع انتقال مختلفی وجود دارد که از متداول‌ترین توابع مورد استفاده در شبکه‌های پیش‌خور می‌توان به تابع انتقال خطی، لوگ سیگموئید یا لجستیک و تانژانت سیگموئیدی هیپربولیک اشاره کرد. بیشتر محققان در زمینه پیش‌بینی، اغلب توابع سیگموئید و تانژانت هیپربولیک را در لایه پنهان و از تابع انتقال خطی در لایه خروجی استفاده می‌کنند که این توابع از طریق روابط زیر به دست می‌آیند (Demuth & Beale, 2000; Chio, et al., 2004).

برای شبکه‌های عصبی پیش‌خور توصیه شده‌اند و الگوریتم پیش‌فرض نرم‌افزار متلب نیز می‌باشد استفاده می‌شود که دلایل استفاده از این الگوریتم، افزایش سرعت محاسبات رسیدن به حداقل گرادیان خطا، کارایی بالاتر آن به دلیل نیفتادن در حداقل‌های محلی کوچک سطح خطا و درعین حال حجم محاسبات و حافظه مورد نیاز در

که در این توابع، x برابر با مجموع وزنی یک نرون و y خروجی حاصل از تابع فعال‌سازی می‌باشد.

تعیین قاعده یادگیری (تعیین الگوریتم آموزش)

در این تحقیق، از الگوریتم یادگیری سریع پس انتشار خطای لوئبرگ - مارکوارت (LM) که توسط محققان

(Hetemaki, *et al.*, 2004; Hetemaki & Mikkola, 2005; Malaty, *et al.*, 2007)

$$MSE = \sum (y_{actual} - y_{forecast})^2 / N \quad (20)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum (y_{actual} - y_{forecast})^2 / N} \quad (21)$$

در روابط فوق، y_{actual} مقدار واقعی، $y_{forecast}$ مقدار پیش‌بینی شده و N تعداد دوره مورد پیش‌بینی است.

تجزیه و تحلیل آماری

برای انجام پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های آماری در مدل‌های کلاسیک از نرم‌افزارهای Eviews 7 و SPSS 16 و برای انجام پیش‌بینی‌ها با شبکه عصبی مصنوعی، از نرم‌افزار MATLAB سری 8.2.0.701 R2013b استفاده شده است. همچنین در تمامی الگوهای پیش‌بینی، شکل لگاریتمی متغیر در الگوها استفاده می‌شود، از این‌رو مقادیر پیش‌بینی‌ها نیز به شکل لگاریتمی بوده که بعد از هر پیش‌بینی، به منظور مقایسه و تجزیه و تحلیل نتایج، متغیر از حالت لگاریتمی خارج و به حالت اولیه باز می‌گردد.

نتایج

ارزیابی عملکرد پیش‌بینی رویکرد اقتصادسنجی خطی چند متغیره نتایج بررسی ایستایی متغیرها و تخمین مدل رگرسیونی با روش حداقل مربعات معمولی (OLS) و همچنین نتایج تصریح و اعتبارسنجی مدل مذکور به ترتیب در جدولهای ۱ تا ۳ ارائه شده است.

محاسبات را کاهش می‌دهد، از این‌رو برای پیش‌بینی سری‌های زمانی از مطلوبیت بیشتری برخوردار است (Zhang, 2003). این الگوریتم از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (Kisi, 2004):

$$X_{k+1} = X_k - [J_k^T J_k + \mu I]^{-1} \cdot J_k^T e \quad (19)$$

که در آن بردار وزن‌های ارتباطی، J_k ماتریس ژاکوبین، μ ضریب یادگیری یا آموزشی مارکوارت، I ماتریس یکه و e بردار خطای شبکه است. در تنظیم پارامترهای آموزشی مربوط به الگوریتم سریع در بخش آموزش شبکه نظیر حداکثر تعداد دفعات تکرار، حداکثر مقدار تابع عملکرد، حداقل گرادیان تابع خطا، ضریب یادگیری یا آموزشی مارکوارت (μ) از روش آزمون و خطا استفاده می‌شود، بدین‌صورت که با ثابت نگه داشتن یک پارامتر و با تغییر پارامترهای دیگر و بررسی معیارهای مقایسه، مقدار بهینه برای آن پارامتر انتخاب خواهد شد.

ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف پیش‌بینی

در این تحقیق، پیش‌بینی‌ها با بررسی مقادیر الگوهای پیش‌بینی نسبت به مقادیر واقعی آن طی دوره آزمون و استفاده از بهترین و رایج‌ترین معیار پیش‌بینی یعنی معیار استاندارد آماری ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (RMSE) و میانگین مربعات خطا (MSE) که نشان‌دهنده روشنی از صحت و درستی مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر واقعی مشاهده شده می‌باشد، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که هرچه مقادیر این دو شاخص پایین‌تر و به عبارتی دیگر به صفر نزدیک‌تر باشند، پیش‌بینی ارائه شده مطلوب‌تر خواهد بود. معیارهای استاندارد آماری MSE و RMSE از طریق روابط زیر به دست می‌آیند

جدول ۱- نتایج حاصل از ایستایی متغیرهای تحقیق با استفاده از آزمون‌های ADF و PP

متغیرها (لگاریتمی)	آزمون دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)				آزمون فیلیپس پرون (PP)				نتیجه
	عرض از مبدأ		با عرض از مبدأ و روند		عرض از مبدأ		با عرض از مبدأ و روند		
	ADF (وقفه بهینه)	MCV (%.۵)	ADF (وقفه بهینه)	MCV (%.۵)	PP (وقفه بهینه)	MCV (%.۵)	PP (وقفه بهینه)	MCV (%.۵)	
X ^d	-۲/۱۳(۰)	-۲/۹۶	-۵/۶۱*(۲)	-۳/۵۷	-۱/۱۰(۲۰)	-۲/۹۶	-۶/۸۰*(۲۰)	-۳/۵۶	I(۰)
RP1	-۵/۸۰*(۲)	-۲/۹۸	-۶/۳۰*(۲)	-۳/۵۹	-۸/۲۸*(۱۳)	-۲/۹۷	-۱۱/۵۹*(۱۱)	-۳/۵۷	I(۱)
GDP	-۴/۴۹*(۰)	-۲/۹۶	-۴/۷۸*(۰)	-۳/۵۶	-۴/۵۰*(۲)	-۲/۹۶	-۴/۷۷*(۱)	-۳/۵۶	I(۰)
Lit	-۳/۸۳*(۰)	-۲/۹۶	-۰/۴۴(۳)	-۳/۵۶	-۳/۴۰*(۱)	-۲/۹۶	-۰/۴۴(۰)	-۳/۵۶	I(۰)
St	-۳/۶۵*(۰)	-۲/۹۶	-۲/۳۱(۵)	-۳/۶۰	-۳/۹۳*(۳)	-۲/۹۶	-۴/۵۸*(۳)	-۳/۵۷	I(۱)
Nubr	-۰/۲۸(۴)	-۲/۹۸	-۷/۵۵*(۰)	-۳/۵۶	-۳/۲۴*(۲)	-۲/۹۶	-۷/۵۸*(۵)	-۳/۵۶	I(۰)
Ur	-۶/۰۷*(۰)	-۲/۹۶	-۶/۱۷*(۰)	-۳/۵۷	-۶/۰۸*(۰)	-۲/۹۶	-۶/۱۷*(۱)	-۳/۵۷	I(۱)

* : معنی داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

می‌باشند ولی در مورد سری‌های St, Pr1 و Ur متغیرها بعد از یکبار تفاضل‌گیری ایستا شده‌اند، بنابراین آنها انباشته از مرتبه یک هستند.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، فرضیه وجود ریشه واحد در سری‌های X^d, GDP, Lit و Nubr توسط هر دو آزمون ADF و PP رد شده است و متغیرهای مذکور انباشته از مرتبه صفر و به عبارتی دیگر در سطح ایستا

جدول ۲- نتایج برآورد مدل رگرسیونی خطی چند متغیره با روش تخمین OLS

متغیرها	ضرایب	خطای معیار	آماره t
C	۴/۰۱	۳/۶۹	۱/۰۹
D(LnPr _{t-1})	۰/۱۹ *	۰/۰۷	۲/۵۷
LnGDP _t	۰/۳۶ *	۰/۱۴	۲/۵۶
LnLit _t	۱/۶۲ *	۰/۷۱	۲/۳۰
D(LnSt _t)	۳/۹۷ *	۱/۵۱	۲/۶۳
LnNubr _t	۰/۳۵ *	۰/۱۷	۲/۰۹
D(LnUr _t)	۲۹/۷۱ *	۱۳/۹۴	۲/۱۳

R²=۰/۸۷ ; $\frac{F}{F_{\alpha, k, n-k}}$ ۸۳ ; F = ۲۱/۹۰(۰/۰۰۰) ; D.W = ۲/۴۱

* معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، C جزء عرض از مبدأ و D تفاضل مرتبه اول سری‌ها را نشان می‌دهد

علت اصلی این امر را می‌توان به انحصاری بودن بازار کاغذ چاپ و تحریر در ایران و نیز دخالت مستقیم و یا غیرمستقیم دولت (از طریق سیستم واردات و توزیع) در قیمت‌گذاری دانست

بر اساس نتایج حاصل از تخمین مدل، مقدار عددی کشش قیمتی کاغذ چاپ و تحریر (با یک وقفه)، ۰/۱۹ برآورد شده است که علامت مثبت آن با تئوری تقاضا در تناقض می‌باشد که

اقتصادی و افزایش درآمد مصرف‌کنندگان، تقاضا برای کاغذ چاپ و تحریر در حدود ۰/۳۶ درصد افزایش می‌یابد، از این‌رو از نظر درآمدی بنا بر جایگاه آن در پیشرفت فرهنگی جامعه، یک کالای اساسی و نرمال در ایران محسوب می‌شود (کشش درآمدی بین ۰ و ۱). همچنین نتایج حاصل از تخمین مدل، تأثیر مثبت و معنی‌دار میزان باسودای، تعداد دانش‌آموزان و دانشجویان کشور، تعداد عنوان کتابهای منتشر شده و درصد شهرنشینی را بر میزان مصرف کاغذ چاپ و تحریر نشان می‌دهد که مطابق با انتظار می‌باشد.

که به تبع آن نمی‌توان رابطه ثابت و مشخصی را بین قیمت، تولید و مصرف کاغذ چاپ و تحریر در بازار ایران در نظر گرفت، به‌ویژه آن‌که برای این محصول کالای جانشینی را نیز نمی‌توان متصور شد و مصرف‌کنندگان با توجه به نیاز ناچار هستند که این محصول را با هر قیمتی خریداری نمایند؛ از این‌رو با افزایش قیمت، تقاضای خود را کاهش نمی‌دهند. کشش درآمدی کاغذ چاپ و تحریر حاصل از تخمین مدل با روش OLS نیز برابر با ۰/۳۶ برآورد شده است که علامت مثبت آن مطابق با انتظار و سازگار با تئوری تقاضا می‌باشد و نشان می‌دهد با رونق

جدول ۳- نتایج آزمون تصریح و اعتبارسنجی جملات پسماند مدل اقتصادسنجی خطی چند متغیره

دوره تأخیر جمله پسماند ۲		دوره تأخیر جمله پسماند ۱		
آماره F	آماره nR ²	آماره F	آماره nR ²	
(۰/۱۴۷)	۳/۹۸۷ (۰/۱۳۶)	۲/۱۲۶ (۰/۱۵۶)	۲/۱۱۶ (۰/۱۴۶)	آزمون ناهمسانی واریانس آرچ
۲/۰۷۶				
آماره F		آماره nR ²		
۲/۰۲۶ (۰/۰۹۷۴)		۱۱/۷۵۸ (۰/۱۰۸۸)		آزمون ناهمسانی واریانس وایت
خودهمبستگی مرتبه دوم		خودهمبستگی مرتبه اول		
آماره F	آماره nR ²	آماره F	آماره nR ²	آزمون خودهمبستگی سریالی بریوش-گادفری
۱/۴۱۸ (۰/۲۶۶)	۳/۷۲۵ (۰/۱۵۵)	۱/۲۶۵ (۰/۲۷۳)	۱/۷۰۵ (۰/۱۹۲)	
آماره F		لگاریتم نسبت درست‌نمایی (LR)		
۲/۰۳۵ (۰/۱۵۷)		۵/۵۵۸ (۰/۰۶۲)		آزمون تصریح مدل رمزی
شاخص چولگی		آماره جارکو-برا		
-۰/۲۴۱	۲/۹۲۳	۰/۲۹۷ (۰/۸۶۲)		آزمون نرمال بودن پسماند مدل (جارکو-برا)

برآورد شده را به دلیل عدم نقض فروض کلاسیک معتبر دانست و از آن برای پیش‌بینی استفاده کرد. همچنین در مدل تخمینی، مقدار آماره R² (ضریب تعیین) برابر با ۰/۸۷ برآورد شده است و نشان می‌دهد که متغیرهای لحاظ شده در مدل ۸۷ درصد تغییرات متغیر وابسته را توضیح می‌دهند که نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی بالای الگو و دلیل دیگری بر خوبی برازش مدل است. همچنین مقدار آماره F مدل برابر با ۲۱/۹ می‌باشد که با توجه به احتمال آن از

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مشکل ناهمسانی واریانس و همبستگی سریالی در باقیمانده‌های مدل وجود ندارد و می‌توان بیان کرد که برآورد کننده OLS کارا است، همچنین فرضیه صفر مبنی بر درست بودن فرم تابع تخمینی را نمی‌توان در سطح ۵ درصد رد کرد و به همین دلیل مدل به درستی تصریح شده است و در نهایت با توجه به مقدار آماره جارکو-برا و احتمال آن، پسماند مدل نیز از توزیع نرمال پیروی می‌کند و در مجموع می‌توان نتایج مدل

لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است که نشانگر اعتبار آماری کل مدل است (جدول ۲). نتایج ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل اقتصادسنجی چند متغیره در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر (تن) با استفاده از مدل خطی اقتصادسنجی

سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۸۹		*MAPE(%)	MSE	RMSE
مقادیر		مقادیر		مقادیر				
پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی			
۳۳۷۱۱۳	۳۷۵۱۳۵	۲۸۱۹۴۷	۳۴۰۱۰۳	۴۱۶۴۲۶	۳۹۰۲۰۲	۰/۶۰۸	۰/۰۱۷	۰/۱۳۰

*: میانگین قدر مطلق درصد خطای پیش‌بینی است و خطای پیش‌بینی را به صورت درصدی از مقدار واقعی محاسبه می‌کند.

برازش مدل مطلوب به نظر نمی‌رسد و به پیش‌بینی‌های حاصل از آن نیز نمی‌توان چندان اعتماد کرد.

ارزیابی عملکرد پیش‌بینی رویکرد سری‌های زمانی تک متغیره نتایج آزمون نرمال و تصادفی بودن سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر که لازمه انجام پیش‌بینی با مدل‌های سری زمانی تک متغیره است در جدول‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

نتایج ارزیابی عملکرد مدل نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده برای سری میزان مصرف کاغذ چاپ و تحریر در سال ۱۳۸۹ در حدود ۲۶ هزار تن بیشتر از مقدار واقعی و برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به ترتیب در حدود ۵۸ و ۳۸ هزار تن کمتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. همچنین مقادیر خطای پیش‌بینی MSE و RMSE به ترتیب در حدود ۰/۰۲ و ۰/۱۳ و درصد خطای پیش‌بینی (MAPE) بیش از ۰/۶ درصد برآورد شده است، از این‌رو

جدول ۵- نتایج بررسی نرمال بودن مشاهدات با استفاده از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف (KS)

پارامترهای توزیع نرمال	تعداد مشاهدات	آماره Z	Asymp.sig. (2- tailed)
میانگین	انحراف معیار		
۱۹/۰۶۷	۰/۵۵۶	۳۵	۰/۶۵۲

جدول ۶- نتایج آزمون تصادفی بودن دوربین - واتسون (D.W)

مقدار آماره دوربین - واتسون (d)	تعداد مشاهدات	مقدار بحرانی (۵)		نتیجه آزمون
		d _L	d _U	
۰/۰۰۸۰	۳۵	۱/۴۰۲	۱/۵۱۹	سری غیر تصادفی است

جدول ۷- نتایج آزمون تصادفی بودن گردش (Runs)

مقدار	تعداد مشاهدات	T _A	T _B	z	آماره Z	Asymp.sig. (2- tailed)	نتیجه آزمون
میانگین	مشاهدات						
۱۹/۰۶۷	۳۵	۱۹	۱۶	۶	-۴/۱۰۵	۰/۰۰۰	سری غیر تصادفی است

تصادفی بودن سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر نیز رد می‌شود و می‌توان بیان کرد که این متغیر غیر تصادفی و قابل پیش‌بینی است (جدول ۶). نتایج آزمون غیر پارامتریک گردش نیز فرض صفر مبنی بر تصادفی بودن متغیر را به شدت در سطح ۵ درصد رد کرده که تأیید دیگری بر غیر تصادفی و در نتیجه قابل پیش‌بینی بودن این سری زمانی دارد (جدول ۷).

نتایج آزمون نرمال بودن KS نشان می‌دهد که مقدار احتمال برای سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر معنی‌دار نبوده و فرض صفر مبنی بر نرمال بودن توزیع متغیر رد نمی‌شود، از این رو می‌توان گفت که سری دارای توزیع نرمال است (جدول ۵). نتایج آزمون پارامتریک دوربین-واتسون نشان داد که فرض صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی مثبت رد شده ($0 < d < d_L$)، بنابراین فرض صفر مبنی بر

مدل‌های تک متغیره هموارسازی نمایی

جدول ۸- نتایج تخمین و ارزیابی عملکرد پیش‌بینی تقاضای کاغذ چاپ و تحریر (تن) با استفاده از مدل‌های هموارسازی نمایی

مدل	MSE	RMSE	مقادیر سال ۱۳۸۹		مقادیر سال ۱۳۹۰		مقادیر سال ۱۳۹۱	
			پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی
SES	۰/۰۰۷	۰/۰۸	۳۴۹۴۵۳	۳۴۹۴۵۳	۳۶۹۵۹۲	۳۶۹۵۹۲	۳۵۴۳۰۵	۳۵۴۳۰۵
DES	۰/۰۶۳	۰/۲۵	۴۴۲۰۱۳	۴۴۲۰۱۳	۴۶۶۴۳۵	۴۶۶۴۳۵	۴۹۲۲۰۷	۴۹۲۲۰۷
HWES	۰/۰۶۸	۰/۲۶	۴۴۲۸۷۱	۴۴۲۸۷۱	۴۷۰۸۹۲	۴۷۰۸۹۲	۵۰۰۶۹۱	۵۰۰۶۹۱

سطح ایستا ($d=0$) است (جدول ۱)، بنابراین برای پیش‌بینی از مدل $ARMA(p, q)$ استفاده می‌شود که نتایج حاصل از شناسایی، تخمین و کنترل خوبی برآزش مدل در جدولهای ۹ و ۱۰ آورده شده است.

نتایج حاصل از جدول ۹ نشان می‌دهد که بر اساس حداقل معیار آکائیک (AIC)، مدل $ARMA(2, 3)$ و بر اساس حداقل شاخص RMSE، مدل $ARMA(1, 1)$ به منزله بهترین مدل برای پیش‌بینی آینده مصرف کاغذ چاپ و تحریر شناخته شده است و از آنجا که نتایج دو رویکرد با هم متفاوت است، بنابراین مدل $ARMA(1, 1)$ که از خطای پیش‌بینی به مراتب کمتری در قیاس با مدل $ARMA(2, 3)$ برخوردار است برای انجام مراحل بعدی انتخاب می‌گردد. نتایج حاصل از تخمین مدل مذکور با روش غیرخطی حداکثر راست‌نمایی (به دلیل وجود جزء غیرخطی MA) و نیز نتایج نیکویی برآزش مدل در جدول ۱۰ ارائه شده است.

نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که هر دو مدل هموارسازی نمایی دوبل (DES) و هالت-وینترز (HWES) دارای خطای پیش‌بینی بالایی بوده و مقادیر سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ را به مراتب بیشتر از مقادیر واقعی آن پیش‌بینی کرده‌اند، از این رو از برآزش ضعیفی برخوردار می‌باشند. در مقابل، مدل هموارسازی نمایی ساده (SES) با مقادیر MSE و RMSE به ترتیب کمتر از ۰/۱ و ۰/۱ از برآزش قابل قبول برخوردار است و توانسته که مقادیر سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر طی دوره آزمون را نزدیک به مقدار واقعی آن پیش‌بینی کند، از این رو برای پیش‌بینی آینده مصرف کاغذ چاپ و تحریر مطلوب می‌باشد.

مدل تک متغیره $ARIMA(p, d, q)$

در این رویکرد در ابتدا ضروری است تا ایستایی سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر بررسی گردد، به طوری که نتایج هر دو آزمون ADF و PP نشان دادند که این سری در

جدول ۹- مقادیر معیار آکائیک (AIC) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) بر اساس درجات مختلف AR(p) و MA(q) برای شناسایی مدل ARMA برای سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر

q	۰		۱		۲		۳	
	RMSE	AIC	RMSE	AIC	RMSE	AIC	RMSE	AIC
۰	-	-	۰/۱۹۱	۰/۲۱۵	۰/۱۵۹	-۰/۰۹۹	۰/۱۷۱	-۰/۲۲۵
۱	۰/۱۶۵	۰/۲۲۶	۰/۱۲۸	-۰/۴۴۲	۰/۱۵۱	-۰/۴۲۵	۰/۱۵۳	-۰/۴۰۷
۲	۰/۱۷۰	۰/۱۹۸	۰/۱۸۷	-۰/۲۰۱	۰/۱۸۶	-۰/۱۴۱	۰/۲۰۸	-۰/۶۳۳
۳	۰/۲۱۸	۰/۰۲۸	۰/۱۷۵	-۰/۱۵۵	۰/۲۲۴	-۰/۲۴۴	۰/۲۰۸	-۰/۴۶۳

جدول ۱۰- نتایج تخمین و خوبی برازش مدل ARMA(1, 1)

متغیرها	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	احتمال
C	۱۸/۳۳۲	۰/۱۱۶	۱۵۷/۵۶۸	۰/۰۰۰۰
روند زمانی	۰/۰۴۵	۰/۰۰۶	۷/۳۵۶	۰/۰۰۰۰
AR(1)	۰/۶۲۳	۰/۲۱۰	۲/۹۶۴	۰/۰۰۶۳
MA(1)	-۱/۴۲۱	۰/۳۳۱	-۴/۲۹۸	۰/۰۰۰۲

$R^2 = ۰/۸۹$; $\text{MAPE} = ۰/۸۷$; $\text{AIC} = -۰/۴۴۲$; $\text{BIC} = -۰/۲۵۷$; $\text{D.W} = ۱/۶۰$; $\text{F-Statistic} = ۷۰/۵۴۶(۰/۰۰۰)$; $\text{J.B} = ۰/۸۸۱ (۰/۶۴۴)$

همچنین مقدار آماره آزمون دوربین - واتسون نیز برابر با ۱/۶۰ است و از آنجاکه این آماره در بازه ۱/۵ و ۲/۵ قرار دارد، فرض عدم وجود همبستگی بین باقیمانده‌ها رد نمی‌شود، به عبارتی دیگر باقیمانده‌های برآورد شده از مدل ARMA(1, 1) کاملاً تصادفی (نامنظم) و غیرهمبسته هستند و در نتیجه نیازی به جستجوی مدل دیگری برای ARMA نمی‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل ARMA(1, 1) در جدول ۱۱ ارائه شده است.

نتایج حاصل از تخمین مدل ARMA با روش حداکثر راست‌نمایی (ML) نشان می‌دهد که تمام ضرایب مدل از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است و آماره F نیز برابر با ۷۰/۵۵ می‌باشد که نشانگر اعتبار آماری کل مدل است. فرض صفر مبنی بر نرمال بودن توزیع را نیز با توجه به آماره آزمون جارکو - برا (J.B) و ارزش احتمال آن نمی‌توان در سطح ۵ درصد رد کرد، از این‌رو می‌توان بیان کرد که باقیمانده‌های مدل دارای توزیع نرمال می‌باشند.

جدول ۱۱- نتایج ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر (تن) با استفاده از مدل ARMA(1, 1)

سال	سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۸۹		MAPE(%)	MSE	RMSE
	مقادیر	مقادیر	مقادیر	مقادیر			
سال ۱۳۹۱	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی	
	۴۲۶۶۹۱	۳۷۵۱۳۵	۴۰۷۶۱۸	۳۴۰۱۰۳	۳۸۹۳۰۰	۳۹۰۲۰۲	۰/۵۲۹

با مجموعه متغیرهای ورودی گرفته شده از مدل رگرسیونی استفاده شده است (جدول ۲). همچنین قبل از آموزش و آزمایش شبکه، داده‌ها (بردارهای ورودی و هدف) با استفاده از روش نرمال‌سازی خطی (تکنیک Max-Min) در بازه $[-1, +1]$ نرمال‌سازی شدند و از آنجا که هر دو بردار ورودی و هدف دارای مقادیر منفی می‌باشند، از تابع تانژانت هیپربولیک یا سیگموئید (Tansig) به عنوان تابع فعال‌سازی یا انتقال لایه پنهان و خروجی استفاده شده است. پس از هر بار آموزش شبکه نیز، کارایی و عملکرد شبکه آموزش دیده بررسی شدند، در این راستا با انجام تحلیل روی واکنش شبکه (آنالیز رگرسیونی) به ارزیابی خروجی مجموعه‌های آموزشی و آزمون با بردارهای هدف پرداخته شد که نتایج عملکرد شبکه و آنالیز رگرسیونی دوازده مدل منتخب به همراه مشخصات آنها در جدول ۱۲ ارائه شده است.

نتایج ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل $ARMA(1, 1)$ طی دوره آزمون نشان می‌دهد که هر دو فرایند AR و MA حاوی اطلاعاتی برای پیش‌بینی هستند و مقادیر پیش‌بینی برای سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر طی سال ۱۳۸۹ تقریباً برابر با مقادیر واقعی و برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به مراتب بیشتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. همچنین مقادیر خطای پیش‌بینی MSE و $RMSE$ به ترتیب در حدود 0.13 و 0.16 و درصد خطای پیش‌بینی ($MAPE$) در حدود 0.53 درصد برآورد شده است، از این رو برازش مدل مطلوب به نظر نمی‌رسد و به پیش‌بینی‌های حاصل از آن نیز نمی‌توان چندان اعتماد کرد.

ارزیابی عملکرد پیش‌بینی با رویکرد شبکه عصبی مصنوعی در این رویکرد، از یک شبکه عصبی پرسپترون سه لایه

جدول ۱۲- انتخاب پارامترهای آموزشی بهینه و نرون بهینه لایه پنهان در شبکه عصبی پرسپترون سه لایه

نوع مدل	تکرار بهینه	الگوریتم یادگیری	ضریب یادگیری	تابع انتقال لایه پنهان	تابع انتقال لایه خروجی	MSE	RMSE	ضریب همبستگی (R)
(6-1-1)	۱۹	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۱۸۰	۰/۱۳۴۲	۰/۹۲۰۰
(6-2-1)	۲۸	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۳۰۲	۰/۱۷۳۸	۰/۹۴۳۳
(6-3-1)	۹۶	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۹۷۰	۰/۳۱۱۴	۰/۹۷۴۸
(6-4-1)	۳۲	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۲/۸۰۹۳	۱/۶۷۶۱	۰/۹۸۷۸
(6-5-1)	۲۰	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۰۳۱	۰/۰۵۵۷	۰/۹۸۳۰
(6-6-1)	۳۸	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۱۸۵	۰/۱۳۶۰	۰/۹۹۹۰
(6-7-1)	۵۱	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۱۳۷	۰/۱۱۷۰	۰/۹۹۹۹
(6-8-1)	۵۲	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۱۶۹	۰/۱۳۰۰	۰/۹۹۹۹
(6-9-1)	۲۷	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۰۳۷	۰/۰۶۰۸	۰/۹۹۹۹
(6-10-1)	۳۳	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۱۵۶	۰/۱۲۴۹	۰/۹۹۹۹
(6-11-1)	۴۱	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۲۴	۰/۹۹۹۹
(6-12-1)	۳۰	LM	۰/۹	Tansig	Tansig	۰/۰۱۱۰	۰/۱۰۴۹	۰/۹۹۹۴

مرحله آزمون و بر اساس ترکیبات مختلف که در مجموع ۳۶۴۸ بار اجرا برآورد گردید نشان دادند که شبکه عصبی پرسپترون طراحی شده با یک لایه ورودی با ۶ نرون، یک لایه پنهان با ۱۱

نتایج آنالیز رگرسیونی و عملکرد شبکه بر اساس بالاترین ضریب همبستگی (R) بین داده‌های ورودی و خروجی در مرحله آموزش و کمترین خطای پیش‌بینی MSE و $RMSE$ در

عملیات پس پردازش بر روی خروجی شبکه اعمال شود تا خروجی آن از حالت نرمال خارج و به داده‌هایی با مقیاس حقیقی برای مقایسه با مقادیر واقعی مصرف کاغذ چاپ و تحریر تبدیل شود که در این راستا از رابطه زیر استفاده شده است (Sohrabi Vafa, et al., 2007):

$$X_r = (X_n + I) \times (X_{max} - X_{min}) / 2 + X_{min} \quad (22)$$

که در آن X_r مقادیر واقعی، X_n مقدار نرمال شده، X_{min} و X_{max} حداقل و حداکثر مقادیر واقعی هستند.

نرون و یک لایه خروجی با یک نرون و تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید در لایه پنهان و خروجی با ضریب یادگیری ۰/۹، مقدار نهایی تابع هدف یا عملکرد ۰/۰۰۰۱، حداقل گرادیان تابع خطا ۰/۰۰۱ و تعداد تکرار بهینه ۴۱ دارای عملکرد خوبی است. لازم به ذکر است که با استفاده از خطاهای مجموعه آموزشی و آزمایشی می‌توان کارایی شبکه آموزش دیده را اندازه‌گیری کرد ولی در این تحقیق از رویه postreg نیز استفاده شده است، زیرا این رویه، جزئیات واکنش شبکه را اغلب با دقت و صحت بیشتری بررسی می‌کند (جدول ۱۳). برای اجرای رویه postreg در ابتدا ضروری می‌باشد تا

جدول ۱۳- نتایج بررسی کارایی شبکه آموزش دیده ANN (6-11-1) با استفاده از رویه postreg

نوع پارامترها	m	b	r
مقدار پارامترها	۰/۹۹۹۲	۰/۰۱۳۸	۰/۹۹۹۸

برای مقایسه با سایر روش‌های پیش‌بینی پرداخته شده است. از آنجا که داده‌ها قبل از آموزش و آزمایش شبکه، نرمال شده بودند، مقادیر خطای پیش‌بینی MSE و RMSE در جدول ۱۲ نیز بر اساس داده‌های نرمال شده محاسبه شده بودند، از این رو پس از عملیات پس‌پردازش بر روی خروجی شبکه و تبدیل آن به داده‌هایی با مقیاس حقیقی، خطای واقعی مدل بر اساس داده‌های اصلی محاسبه شدند که نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۱۴ ارائه شده است.

نتایج postreg نشان می‌دهد که شیب (m) تقریباً برابر با ۱ (۰/۹۹۹) و برش هدف (b) نیز نزدیک به ۰ می‌باشد (۰/۰۱) که نشان‌دهنده برازش عالی شبکه است. همچنین از آنجایی که ضریب همبستگی بین خروجی و هدف (r) تقریباً برابر با ۱ می‌باشد (۰/۹۹۹۸)، از این رو می‌توان بیان کرد که یک همبستگی یا ارتباط کامل و عالی بین خروجی و هدف به وجود آمده است. پس از طراحی، آموزش و انتخاب بهترین مدل شبکه عصبی، به بررسی کارایی شبکه منتخب طی دوره آزمون

جدول ۱۴- نتایج ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر (تن) با استفاده از شبکه عصبی ANN(6-11-1)

سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۸۹		MSE	RMSE
مقادیر		مقادیر		مقادیر			
پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی		
۳۶۸۲۰۱	۳۷۵۱۳۵	۳۴۸۲۲۹	۳۴۰۱۰۳	۳۸۱۳۰۱	۳۹۰۲۰۲	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۲۱۹

سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر طی دوره آزمون (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱) را بسیار نزدیک به مقدار واقعی آن برآورد کند. همچنین

نتایج ارزیابی عملکرد پیش‌بینی شبکه عصبی ANN(6-11-1) (1) نشان می‌دهد که این مدل توانسته است که مقادیر پیش‌بینی

است، از این رو می‌توان بیان کرد که شبکه طراحی شده دارای برآزش خوبی است و برای پیش‌بینی مصرف آینده کاغذ چاپ و تحریر در کشور بسیار مطلوب به نظر می‌رسد.

مقادیر خطای پیش‌بینی MSE و RMSE طی دوره آزمون بسیار پایین و به ترتیب در حدود ۰/۰۰۰۵ و ۰/۰۲ می‌باشد، همچنین ضریب همبستگی شبکه نیز بالا و برابر با ۰/۹۹ برآورد شده

مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی

جدول ۱۵- نتایج مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر (تن)

مقادیر سال ۱۳۹۱		مقادیر سال ۱۳۹۰		مقادیر سال ۱۳۸۹		RMSE	MSE	مدل پیش‌بینی
واقعی	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی	واقعی	پیش‌بینی			
۳۳۷۱۱۳		۲۸۱۹۴۷		۴۱۶۴۲۶		۰/۱۳۰	۰/۰۱۷	Log-Linear
۳۵۴۳۰۵		۳۶۹۵۹۲		۳۴۹۴۵۳		۰/۰۸۰	۰/۰۰۷	SES
۴۹۲۲۰۷		۴۶۶۴۳۵		۴۴۲۰۱۳		۰/۲۵۰	۰/۰۶۳	DES
۵۰۰۶۹۱	۳۷۵۱۳۵	۴۷۰۸۹۲	۳۴۰۱۰۳	۴۴۲۸۷۱	۳۹۰۲۰۲	۰/۲۶	۰/۰۶۷	HWES
۴۲۶۶۹۱		۴۰۷۶۱۸		۳۸۹۳۰۰		۰/۱۲۸	۰/۰۱۶	ARMA(1, 1)
۳۶۸۲۰۱		۳۴۸۲۲۹		۳۸۱۳۰۱		۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۵	ANN(6-11-1)

هزار تن برآورد شده است، در حالی که مقدار واقعی آن در دامنه ۳۹۰ تا ۳۷۵ هزار تن بوده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که مدل از برآزش خوبی برخوردار می‌باشد و می‌توان از آن به عنوان یک الگوی قابل اعتماد برای پیش‌بینی آینده مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران استفاده کرد.

نتایج جدول ۱۵ نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی نسبت به مدل‌های کلاسیک بکار گرفته شده در این تحقیق، کمترین مقادیر خطای پیش‌بینی MSE و RMSE را داشته و توانسته بود که مقادیر پیش‌بینی طی دوره آزمون (۹۱-۱۳۸۹) را نزدیک به مقدار واقعی آن برآورد کند، به طوری که دامنه پیش‌بینی طی این سه سال از ۳۸۱ تا ۳۶۸

پیش‌بینی آینده‌نگر مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران

جدول ۱۶- پیش‌بینی مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون

(۱-۱۱-۶) طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۲

مقادیر پیش‌بینی طی سال‌های					نام متغیر
۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	
۴۱۹۷۲۱	۴۱۹۴۲۷	۴۱۸۱۲۹	۴۱۲۱۱۰	۳۹۴۹۶۲	مصرف کاغذ چاپ و تحریر (تن)
۰/۰۷	۰/۳۱	۱/۴۶	۴/۳۴	۵/۲۹	درصد رشد نسبت به سال قبل (%)

سال ۱۳۹۱ به ۳۹۴۹۶۲ تن در سال ۱۳۹۲ خواهد رسید و انتظار می‌رود که با کاهش رشد جمعیت و کاهش تعداد

نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد که میزان مصرف کاغذ چاپ و تحریر با رشد ۵/۳ درصدی از ۳۷۵۱۳۵ تن در

Lam و Swanson (۱۹۹۵)، Fuller (۱۹۹۷)، Hossieni و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد که بیان کردند شبکه‌های عصبی نسبت به روش‌های متعارف پیش‌بینی دارای دقت بیشتری می‌باشند. در مجموع نتایج نشان دادند که با وجود ضعف در اطلاعات ورودی و کمبود داده‌ها، شبکه عصبی بکار گرفته‌شده در این تحقیق قادر است پیش‌بینی‌های به‌مراتب دقیق‌تری را از روش‌های رایج مانند روش‌های اقتصادسنجی و ARIMA انجام دهد که این می‌تواند به علت روش پردازش موازی در این شبکه‌ها باشد. از این رو می‌توان به دستگاه‌های مسئول و سیاست‌گذاران ذیربط در زمینه برنامه‌ریزی برای سیاست‌گذاری آینده در صنعت چوب و کاغذ پیشنهاد کرد تا از این مدل‌ها به‌عنوان یک ابزار قدرتمند حداقل در کنار سایر روش‌های متداول پیش‌بینی استفاده کنند. همچنین نتایج مقایسه مدل‌های مختلف پیش‌بینی نشان دادند که مدل اقتصادسنجی چند متغیره در مقایسه با مدل‌های سری زمانی تک متغیره (نظیر هموارسازی نمایی ساده و باکس-جنکینز) و مدل شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌بینی‌های ضعیف‌تری را ارائه کرده است، نتیجه‌ای که Gujarati (۲۰۰۴) نیز بدان دست یافت و بیان کرد که بهتر است از این مدل‌ها برای تحلیل‌های سیاسی و سیاست‌گذاری و نه برای پیش‌بینی استفاده شود و علت عدم موفقیت مدل‌های اقتصادسنجی در زمینه پیش‌بینی را ضرورت پیش‌بینی متغیرهای توضیحی قبل از پیش‌بینی متغیر وابسته و نیز تغییر پارامترهای تخمین زده شده در الگوی اقتصادسنجی با تغییر سیاست‌ها بیان کرد.

بنابراین نتایج پیش‌بینی انجام شده تا سال ۱۳۹۶ نیز حکایت از میزان رشد به تدریج کاهش مصرف کاغذ چاپ و تحریر در طی سال‌های آینده دارد، به طوری که تنها رشدی در حدود ۱۲ درصد را تا سال ۱۳۹۶ می‌توان انتظار داشت که علت اصلی این امر را می‌توان کاهش رشد جمعیت دانش‌آموزان و دانشجویان و رشد چشمگیر سیستم‌های اطلاع‌رسانی انفورماتیک و گسترش و توسعه سیستم‌های رایانه‌ای در کشور و در نتیجه کاهش مصرف کتاب و مجلات در الگوی مصرفی خانوارهای ایرانی دانست که

دانش‌آموزان و دانشجویان کشور در طی سال‌های آینده به تدریج از میزان رشد مصرف این محصول کاسته شود، به طوری که انتظار می‌رود میزان مصرف این محصول تنها با رشد ۱۲ درصدی نسبت به سال ۱۳۹۱ بعد از گذشت ۵ سال به ۴۲۰ هزار تن در سال ۱۳۹۶ برسد.

بحث

مطالعه حاضر به بررسی و مقایسه مدل نوین شبکه عصبی با مدل‌های سنتی و کلاسیک تک متغیره و چند متغیره به منظور پیش‌بینی بلندمدت مصرف کاغذ چاپ و تحریر در ایران طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ پرداخته است. نتایج بررسی‌ها نشان دادند که برای پیش‌بینی سالانه سری زمانی مصرف کاغذ چاپ و تحریر، مدل غیرخطی شبکه عصبی پرسپترون سه لایه از لحاظ معیارهای عملکرد پیش‌بینی به صورت چشمگیری بر دیگر روش‌های بکار گرفته‌شده در این تحقیق برتری دارد که در این راستا مقادیر خطای پیش‌بینی MSE و RMSE به ترتیب کمتر از ۰/۱ و ۰/۱ برآورد شده بود که حکایت از برآزش خوب مدل داشت (Rubinfeld & Pindyck, 1998) و بعد از شبکه عصبی، مدل خطی هموارسازی نمایی ساده (SES) که توانسته بود پیش‌بینی قابل قبولی را از مصرف کاغذ چاپ و تحریر ارائه دهد در اولویت بعدی پیش‌بینی قرار داشت اما اختلاف فاحشی بین دقت پیش‌بینی این مدل‌ها وجود داشت. به طوری که خطای پیش‌بینی در مدل خطی هموارسازی نمایی ساده چیزی در حدود ۴ برابر مدل شبکه عصبی بود که این نتیجه حکایت از غیرخطی بودن شدید سری زمانی مصرف کاغذ چاپ و تحریر داشت که منبع اصلی غیرخطی بودن این سری زمانی از غیرخطی بودن متغیرهای ورودی منشعب شده است (وجود وابستگی یا همبستگی غیرخطی بین سری مصرف کاغذ چاپ و تحریر و مجموع ورودی‌ها)؛ به طوری که بر این اساس، روش‌های خطی پیش‌بینی (بجز SES) نتوانسته بودند پیش‌بینی قابل قبولی را از مصرف این محصول ارائه دهند که این نتیجه مشابه تحقیقاتی نظیر Chakra borty و همکاران (۱۹۹۲)، Lachtermacher و

- Hetemaki, L. and Obersteiner, M., 2002. US newsprint demand forecasts to 2020. International Institute for Applied Systems Analysis, University of California, Berkeley.
- Hetemaki, L., Hanninen, R. and Toppinen, A., 2004. Short-term forecasting models for the Finnish forest sector: Lumber exports and sawlog demand. *Forest Science*, 50(4): 461-472.
- Hetemaki, L. and Mikkola, J., 2005. Forecasting Germany's printing and writing paper imports. *Forest Science*, 51(5): 483-493.
- Hornik, K., Stinchcombe, M. and White, H., 1989. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5): 359-366.
- Hosseini, M.H., Safaei Ghadikolaey, A.H. and Alavinezhad, S., 2010. Introduction of fuzzy back-propagation network for sales forecasting of newsprint. *Journal of Industrial Management Studies*, 19: 217-238. (In Persian)
- Hujala, M. and Hilmola, O.P., 2009. Forecasting long-term paper demand in emerging markets. *Foresight*, 11(6): 56-73.
- Kangas, k. and Baudin, A., 2003. Modeling and projections of forest products demand, supply and trade in Europe. Geneva Timber and Forest Discussion Papers, Timber Section, Geneva, Switzerland.
- Kayacan, B., Sengün Ucal, M., Öztürk, A., Bali, R., Kocer, S. and Kaplan, E., 2012. Modeling and forecasting the demand for industrial roundwood in Turkey: A primary econometric approach. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2):1127-1132.
- Kisi, O., 2004. Multilayer perceptions with levenberg-marquardt training algorithm for suspended sediment concentration prediction and estimation. *Hydrological Science Journal*, 49(6): 1025-1040.
- Kuan, C.M. and White, H., 1994. Artificial neural networks: An econometric perspective. *Econometric Reviews*, 13(1): 1-91.
- Lachtermacher, G. and Fuller, J.D., 1995. Back propagation in time-series forecasting. *Journal of Forecasting*, 14(4): 381-393.
- Luo, J., 2003. Chinese newsprint and printing & writing paper industry. School of Economics, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Malaty, R., Toppinen, A. and Vitanen, J., 2007. Modeling and forecasting Finnish pine sawlog stumpage prices using alternative time-series methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(1): 178-187.
- Marcellino, M., Stock, J.H. and Watson, M.W., 2006. A comparison of direct and indirect and iterated multi step AR methods for forecasting
- چنین روند مشابهی را می‌توان در بیشتر نقاط جهان و در پیش‌بینی‌های انجام شده توسط Hetemaki و Mikkola (۲۰۰۵) و Hujala و Hilmola (۲۰۰۹) نیز مشاهده کرد.

منابع مورد استفاده

- Anandhi, V., Manicka Chezian, R. and Parthiban, K.T., 2012. Forecast of demand and supply of pulpwood using artificial neural network. *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, 3(6): 35-38.
- Biglari, M., Tajdini A., Roohnia, M. and Borimnejad, V., 2010. Estimation of writing and printing paper demand function in Iran. *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*, 5(1):39-53. (In Persian)
- Billah, B., King, B.M., Synder, R.D. and Koehler, A.B., 2006. Exponential smoothing model selection for forecasting. *International Journal of Forecasting*, 22(2): 239-247.
- Chakra borty, K., Mehrotra, K. and Mohan, C.K., 1992. Forecasting the behavior of multivariate time series using neural networks. *Neural Networks*, 5(6): 961-970.
- Chio, J., Adams, T., Bahia, M. and Hussain, U., 2004. Pavement roughness modeling using back-propagation neural networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19(4): 295-303.
- Demuth, H. and Beale, M., 2000. Neural network toolbox user's guide. Version4. The Math Works, Inc. Copyright (1992-2002).
- Emang, D., Shitan, M., Ghani, A.N.A. and Noor, K.M., 2010. Forecasting with univariate time series models: A case of export demand for peninsular Malaysia's moulding and chipboard. *Journal of Sustainable Development*, 3(3):157-161.
- FAO .1997. Provisional outlook for global forest products consumption, production and trade to 2010. FAO Forestry, Policy and Planning Division, Rome.
- Gujarati, D.N., 2004. Basic Econometrics (4th Edition). McGraw-Hill, New York, 1002pp.
- Gupta, M., Corrie, K., Hug, B. and Burns, K., 2013. Preliminary long-term forecasts of wood product demand in Australia. Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra, 69p.
- Hemmasi, A.H., Ghaffari, F., Hamidi, K. and Biranvand, A., 2006. Demand function estimation and consumption projection of newsprint in Iran. *Journal of Agriculture Science*, 12(3): 635-646. (In Persian)

- Journal of Energy, 16(3): 69-90.
- Swanson, N. and White, H., 1997. A model selection approach to real-time macroeconomic forecasting using linear models and artificial neural networks. *The Review of Economics and Statistics*, 9(4): 540-550.
- Tavakkoli, A., 2015. Comparison of different methods to forecast the demand of most important lignocellulosic products using econometric, time series and artificial neural network (ANN) methods. Ph.D. thesis, Department of Wood and Paper Science, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, 310p. (In Persian)
- Tavakkoli, A., Hemmasi, A.H., Talaeipour, M., Bazyar, B. and Tajdini, A., 2015. Forecasting of particleboard consumption in Iran using univariate time series models. *BioResources*, 10(1): 2032-2043.
- Yürekli, K., Kurunc, A. and Öztürk, F., 2005. Testing the residuals of an ARIMA model on the Çekerek stream watershed in Turkey. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 29: 61-74.
- Zhang, G.P., 2003. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50: 159-175.
- macroeconomic time series. *Journal of Econometrics*, 135(1-2): 499-526.
- Mohammadi Limaiei, S., Heybatian, R., Heshmatol Vaezin, S.M. and Torkman, J., 2011. Wood import and export and its relation to major macroeconomics variables in Iran. *Forest Policy and Economics*, 13(4): 303-307.
- Moshiri, S. and Comeron, N. 2000. Neural network versus econometric models in forecasting inflation. *Journal of Forecasting*, 19(3): 201-217.
- Newaz, M.K., 2008. Comparing the performance of time series models for forecasting exchange rate. *BRAC University Journal*, 5(2): 55-65.
- Pacelli, V., Bevilacqua, V. and Azzollini, M., 2011. An artificial neural network model to forecast exchange rates. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 3(2): 57-69.
- Pesaran, H.M. and Pesaran, B., 1997. *Working with Microfit 4.0: An introduction to econometrics*. Oxford University Press, Oxford.
- Pindyck, R.S. and Rubinfeld, D.L., 1998. *Econometric Models and Economic Forecasts (4th Edition)*. McGraw-Hill, New York, 634p.
- Sohrabi Vafa, H., Noori, F. and Ebadi, M., 2013. Energy demand prediction by using neural network based on particle swarm optimization. *Iranian*

Forecasting of printing and writing paper consumption in Iran using artificial neural network and classical methods

A. Tavakkoli¹, A.H. Hemmasi^{2*}, M. Talaeipour³, B. Bazayr⁴ and A. Tajdini⁵

1-Ph.D. Graduate Student, Department of Wood and Paper Science, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2*-Corresponding Author, Associate Prof., Department of Wood and Paper Science, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail: h_hemmasi@yahoo.com

3-Associate Prof., Department of Wood and Paper Science, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4-Assistant Prof., Department of Wood and Paper Science, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

5- Associate Prof., Department of Wood and Paper Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: Feb., 2015

Accepted: Oct., 2015

Abstract

The objective of the research is to forecast the trend of the printing and writing paper consumption in Iran for a five-year period using both modern and classical methods. In order to do the forecasting, predictability of time series was primarily studied using Durbin-Watson and Runs tests. Then, artificial neural network model (multilayer perceptrons (MLP)) and univariate and multivariate classical forecasting models such as univariate single exponential smoothing (SES), double exponential smoothing (DES), holt-winters exponential smoothing (HWES) and Box- Jenkins (ARIMA) models, and multivariate econometric model all together were compared in terms of the standard statistical measures. Finally, the consumption of printing and writing paper in Iran was forecasted up to the year 2017 using the most appropriate model. The results of both the parametric test of Durbin-Watson and non-parametric test of Runs show that, the printing and writing consumption series is non-random and predictable. The results of comparing different forecast methods showed that the artificial neural network model has higher forecasting accuracy than the classical models and it is more appropriate for the five-year forecast period. Also, the results of forecasting by using neural network model (MLP), revealed that the printing and writing paper consumption in Iran is forecasted to increase by 5.3%, from around 375 thousand tons in 2012 to 420 thousand tons in 2013, but it falls over the five-year forecast period, from 5.3% in 2013 to 0.07% in 2017.

Keywords: Printing and writing paper consumption, forecasting, multivariate econometric, exponential smoothing, ARIMA, multilayer perceptrons neural network.