

## مدلسازی و پیش‌بینی صادرات آبریان دریایی در ایران با استفاده از روش ARIMA و شبکه‌های عصبی مصنوعی

جلیل خداپرست شیرازی و زهرا صادقی\*

تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۱۵

چکیده:

هدف اصلی این مقاله، مدلسازی و پیش‌بینی میزان صادرات آبریان دریایی در ایران بوده است. برای این منظور، از روش‌های سری زمانی خود توضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شده است. بدین منظور، از داده‌های ماهانه دوره‌ی ۱۳۷۴:۰۳ تا ۱۳۸۷:۱۲ برای برآورد و آموزش مدل و از داده‌های دوره ۱۳۸۸:۰۱ تا ۱۳۹۰:۱۲ به منظور بررسی قدرت پیش‌بینی مدل‌های مختلف استفاده شده است. در این مطالعه، معیارهای ارزیابی مختلفی شامل قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین مجذور خطا (MSE)، درصد میانگین خطا (MAPE)، جذر ریشه میانگین خطا (RMSE) و جذر ریشه‌ی میانگین خطای نرمال شده (NRMSE) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد عملکرد پیش‌بینی مدل غیرخطی شبکه‌ی عصبی بهتر از مدل آماری ARIMA و در ساختارهای شبکه‌ی عصبی مورد مطالعه، شبکه‌ی عصبی تابع پایه‌ی شعاعی (RBF) بر حسب توابع مختلف خطا دارای بهترین عملکرد است. در انتها برای دو سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ میزان صادرات آبریان دریایی ایران پیش‌بینی شده است.

طبقه‌بندی JEL: C63, C22, F17

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی صادرات آبریان دریایی، مدل اقتصادسنجی ARIMA، شبکه‌ی عصبی RBF، شبکه‌ی عصبی المن، شبکه‌ی عصبی پیشرو

---

\* به ترتیب، استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد توسعه و برنامه ریزی دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز  
(jks@iaushiraz.net)

## ۱- مقدمه

تجارت خارجی یکی از مباحث مهم در توسعه‌ی اقتصادی است. این بخش منبع تأمین درآمدهای ارزی برای سرمایه‌گذاری و جذب فن‌آوری نوین در جهت افزایش توان تولیدی اقتصادی کشور است (مهرابی بشرآبادی، کوچک زاده، ۱۳۸۸).

در دنیای امروز که ارتباطات گسترش یافته و دنیا به دهکده‌ای تبدیل شده است مبادلات کالا، اطلاعات و فن‌آوری بسیار گسترش یافته و پیشرفت کرده است. تولیدکنندگان و صادرکنندگان بیش از پیش فرصت یافته‌اند تا در بازارهای بین‌المللی به رقابت بپردازند و از این طریق حدود فعالیت خود را توسعه دهند. سنتی‌ترین راه ورود به این بازارها، یعنی صادرات کالا باعث پیشرفت بیشتر و گسترده‌تر، درآمد بیشتر و آگاه شدن مستمر از آخرین تحولات تکنولوژی و دانش روز است. بالا بردن توان صادراتی موجب افزایش تولید داخلی و افزایش سطح اشتغال، بهبود کیفیت تولیدات و ایجاد زمینه‌های رقابت با توجه به امکان عرضه‌ی بیشتر محصولات تولیدی و تعادل تراز پرداخت‌ها در کشور می‌گردد (نعیمی فر، افسانه، ۱۳۸۹). صادرات کالاهای غیرنفتی در فعالیتهای اقتصادی اهمیت ویژه‌ای داشته و اثر آن بر اقتصاد و رشد نسبی انکارناپذیر است (عاقل و دیگران، ۱۳۸۷).

یکی از مهمترین بخش‌های اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، بخش کشاورزی می‌باشد. این بخش علاوه بر تأمین امنیت غذایی، نقش مؤثری در توسعه‌ی اقتصادی، اشتغال و صادرات غیرنفتی کشورها دارد (مهرابی بشرآبادی، کوچک زاده، ۱۳۸۸). یکی از اقلام مهم صادرات غیرنفتی، محصولات شیلات است. با توجه به موقعیت جغرافیایی کشورمان و دسترسی به دریا از شمال و جنوب کشور ایرانظرفیت بالقوه‌ای در زمینه‌ی تولید محصولات دریایی می‌تواند داشته باشد و در صورت بهره‌برداری بهینه‌ی اقتصادی، منبع بسیار خوب برای صادرات (برای سال‌های طولانی) و ارزآوری باشد (نعیمی فر، افسانه، ۱۳۸۹).

تولیدات آبزیان دریایی به عنوان یکی از زیربخش‌های اقتصاد کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است. براساس آمار گمرک جمهوری اسلامی ایران مقدار ۴۶۴۷۰ هزار تن انواع کالاهای غیر نفتی (بدون احتسابات میعانات نفتی) به ارزش ۲۱۳۲۰/۷ میلیون دلار طی سال ۱۳۸۸ صادر گردیده که نسبت به مدت مشابه در سال قبل ۳۹/۶ درصد به لحاظ وزن و ۱۶ درصد به لحاظ ارزشی افزایش داشته است. همچنین صادرات محصولات کشاورزی در سال ۱۳۸۸، ۲۹۸۵ میلیون دلار

بوده، علاوه بر این ارزش صادرات آبریان در سال ۱۳۸۸، به لحاظ ارزشی ۸۹ میلیون دلار و به لحاظ وزنی ۳۰ هزار تن بوده که ۷۶ درصد به لحاظ ارزشی و ۲۶ درصد به لحاظ وزنی افزایش داشته است. در بسیاری از کشورهای بهره برداری از آبریان علاوه بر تامین پروتئین مورد نیاز، منجر به کسب درآمد ارزی و حل مسائل اجتماعی- اقتصادی از جمله بیکاری می‌گردد (گزارشات آماری سازمان توسعه تجارت جهان، ۱۳۸۸).

امروزه پیش‌بینی<sup>۱</sup> وقایع آینده مورد توجه محققان در زمینه‌های مختلف قرار گرفته و روش‌های متنوعی نیز در این زمینه ابداع شده است.  $ARIMA$  پرکاربردترین مدل سری زمانی<sup>۳</sup> است و یکی از جدیدترین روش‌های پیش‌بینی رویکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۴</sup> می‌باشد (مهرابی بشرآبادی، کوچک زاده، ۱۳۸۸).

مطالعات متعددی در داخل و خارج کشور در زمینه پیش بینی با روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و سری زمانی برای پدیده‌های اقتصادی صورت گرفته است. از جمله ملک و ناصرالدین<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) قیمت نفت را با پنج مدل متفاوت به منظور پیش بینی  $GDP$  مورد بررسی قرار دادند. قیمت‌ها به صورت ماهانه از ژانویه ۱۹۴۷ تا دسامبر ۲۰۰۴ در نظر گرفتند، از این رو ۲۳۲ مشاهده در سری زمانی وجود داشته به گونه‌ای که ۱۸۰ مشاهده‌ی اول برای تخمین مدل، ۱۲ مشاهده برای اعتبار سنجی مدل و ۴۰ مشاهده‌ی آخر برای آزمون در پیش بینی داده‌های آینده دسته بندی شده‌اند. مدل‌های بکار رفته عبارتند از: مدل گام تصادفی<sup>۶</sup>، مدل  $AR^7$ ، مدل خطی، شبکه‌ی عصبی پس انتشار<sup>۸</sup>، مدل شبکه‌ی عصبی آبخاری<sup>۹</sup> است. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبکه‌ی عصبی آبخاری عملکرد بهتری دارد. تاکید عمده‌ی این مطالعه بر به کارگیری مدل شبکه‌ی عصبی آبخاری در جهت بهبود پیش بینی است.

<sup>1</sup> Forecasting

<sup>2</sup> Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)

<sup>3</sup> Time Series

<sup>4</sup> Artificial Neural Network (ANN)

<sup>5</sup> Malik & Nasereddin

<sup>6</sup> Random Walk

<sup>7</sup> Auto-Regressive

<sup>8</sup> Error Back Propagation

<sup>9</sup> Cascaded Neural Network

کو و بوساراونژ<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۷) صادرات برنج تایلند را با استفاده از روش *ARIMA* و شبکه‌های عصبی پیش‌بینی کرده‌اند. در این مطالعه برای مدل کردن سری زمانی، آزمایش‌های متعددی همراه با ساختارها و توپولوژی‌های متفاوت شبکه‌ی عصبی به عمل آمده و نهایتاً یک بردار مشتمل بر ۱۰ متغیر به عنوان بردار ورودی تعریف شد. این متغیرها عبارتند از: میزان صادرات در ماه جاری، اختلاف میزان صادرات در ماه فعلی و ماه گذشته، کدگذاری برای صادرات در ماه فعلی و ماه گذشته که برای افزایش صادرات عدد ۰.۸ و کاهش ۰.۲ و عدم تغییر عدد صفر منظور گردید. اختلاف میانگین صادرات ۳ ماهه، علامت کدگذاری شده، تفاوت میانگین صادرات سه ماهه، میانگین صادرات ۳ ماه، قدر مطلق میانگین صادرات ۱ ساله، کدگذاری علامت اختلاف برای میانگین ۱ ساله و شاخص فصلی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد شبکه‌ی عصبی بهتر از مدل سری زمانی است.

پرادهان و کومار<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان پیش‌بینی نرخ ارز در هند: کاربرد مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی، نرخ ارز خارجی در هند با استفاده از دو نوع داده (روزانه و هفتگی) در طول دوره‌ی ۲۰۰۹-۱۹۹۲ برای دلار آمریکا، پوند انگلیس، یورو و ین ژاپن پیش‌بینی کرده است به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه‌ی عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز کارا تر است.

کوک و تراس‌ویرتا<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۳) نرخ تورم در فنلاند را با مدل غیرخطی شبکه‌ی عصبی پیش‌بینی و مدلسازی کرده است. آنتیک و دیگران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۴) از شبکه‌ی عصبی چند لایه پیشرو برای پیش‌بینی نرخ ارزهای خارجی استفاده کرده‌اند. به منظور کاهش تعداد مولفه‌های بردار ورودی و کاهش حجم محاسباتی از رویکرد تحلیل مولفه اصلی<sup>۱۴</sup> (PCA) بهره گرفته‌اند. ارزهای خارجی انتخاب شده مربوط به روبل روسیه و دلار آمریکا می‌باشد. به منظور پیش‌بینی نرخ ارز، برهم کنش و وابستگی دو اقتصاد روسیه و آمریکا در فرآیند تحلیل و مدلسازی وارد شده‌اند. برای اینکار، از هفتاد پارامتر اقتصادی در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۸ لغایت ۲۰۱۲ به صورت فصلی داده‌برداری شده‌اند و این داده‌ها و پارامترها را در شش

<sup>10</sup> Co and Boosarawongs

<sup>11</sup> Pradhan and Kumar

<sup>12</sup> Kock and Terasverta

<sup>13</sup> Antik et. al

<sup>14</sup> Principal Component Analysis

گروه دسته‌بندی نموده‌اند. اردوغان و کوسو<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۴) پیش‌بینی نرخ برابری یورو و لیر ترکیه را بر اساس داده‌ها در بازه ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ با استفاده از شبکه‌ی عصبی چندلایه پیشرو انجام داده‌اند.

در داخل کشور هم مطالعاتی در زمینه‌ی پیش‌بینی پدیده‌های اقتصادی با روش‌های سری زمانی اقتصادسنجی و هوش مصنوعی صورت گرفته است، از جمله نجفی و دیگران (۱۳۸۶)، در مقاله‌ای تحت عنوان پیش‌بینی قیمت برخی محصولات زراعی در استان فارس: کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی قیمت عمده فروشی محصولات زراعی شامل گوجه‌فرنگی، پیاز و سیب‌زمینی در استان فارس، برای افق زمانی یک، سه و شش ماه آتی ضمن تقسیم‌بندی روش‌های پیش‌بینی به رگرسیونی و غیر رگرسیونی، روش‌های رگرسیونی را به دو قسمت علی مثل<sup>۱۶</sup> ARCH و روش رگرسیونی غیرعلی مثل ARIMA تقسیم می‌کند و سپس خارج از این تقسیم‌بندی به رویکرد شبکه‌ی عصبی اشاره می‌کند و هدف این مطالعه مقایسه‌ی بین دو رویکرد شبکه‌ی عصبی و دیگر روش‌ها می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بجز در افق شش ماهه، شبکه‌ی عصبی نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری داشته است.

بشیری (۱۳۸۸)، با استفاده از اطلاعات تاریخی قیمت طلا به عنوان متغیر وابسته و قیمت جهانی نفت، نرخ برابری دلار در برابر SDR، شاخص جهانی سهام، تعدیل کننده GDP، قیمت سال گذشته‌ی طلا و نرخ بهره‌ی جهانی به عنوان متغیر مستقل، به پیش‌بینی قیمت طلا با استفاده از دو نوع شبکه‌ی عصبی به نام‌های شبکه‌ی عصبی چند لایه پیش‌خور<sup>۱۷</sup> و تابع پایه شعاعی<sup>۱۸</sup> پرداخته است. از داده‌های سالانه از سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ برای انجام این تحقیق استفاده شده است. نتیجه اینکه با توجه به میزان خطا عملکرد شبکه‌ی عصبی پایه‌ی شعاعی نسبت به سایر مدل‌ها بهتر بوده است.

جلائی و دیگران (۱۳۸۹)، این محققان در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی صادرات محصولات کشاورزی ایران: کاربرد مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌ی عصبی متغیرهای تأثیرگذار بر محصولات کشاورزی ایران، در فرایند پیش‌بینی با دو روش

<sup>15</sup> Erdogan and Goksu

<sup>16</sup> Auto-Regressive Conditionally Heteroscedastic

<sup>17</sup> Multilayer Perceptron Network

<sup>18</sup> Radial Basis Function Network

شبکه‌ی عصبی و مدل به کار گرفته‌اند. شبکه‌ی عصبی عملکرد بهتری داشته است. متغیرهای بکار رفته عبارتند از: مقدار صادرات، شاخص صادراتی محصولات کشاورزی ایران، مقدار تولید، نفت، نرخ ارز و شاخص قیمت داخلی می‌باشد. ابراهیمی (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای با عنوان استفاده از رهیافت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و سری زمانی در پیش‌بینی میزان مصرف انرژی الکتریکی در بخش کشاورزی، برای این منظور از روش‌های سری زمانی خود توضیح جمعی میانگین متحرک (ARIMA) و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده کرده است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه میزان مصرف سالانه‌ی برق طی دوره‌ی ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۷ می‌باشد که از ترازنامه انرژی جمع‌آوری شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که شبکه‌ی عصبی پرسیترون سه لایه با روش آموزش الگوریتم پس انتشار دارای  $MAPE$  معادل ۱/۰۲ درصد می‌باشد که کمتر از مقدار این آماره برای مدل سری زمانی ARIMA است که معادل ۱/۱۳ درصد بوده است.

در این مقاله، پیش‌بینی مقدار صادرات آبریان دریای در ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل آماری ARIMA و روش غیرخطی شامل شبکه‌های عصبی چندلایه پیشرو، شبکه تابع پایه‌ی شعاعی (RBF) و شبکه‌ی المین مدل‌های مورد استفاده در فرآیند پیش‌بینی است. بکارگیری این روش‌ها و ابزارهای توانمند مدل‌سازی و پیش‌بینی در حوزه‌ی آبریان برای اولین بار بر روی داده‌های تجربی در ایران انجام می‌شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

پیش‌بینی و درک روشن از رفتار یک پدیده نقش عمده‌ای در اتخاذ راهبردها و تصمیم‌گیری‌ها دارد. از دو روش سری زمانی ARIM و شبکه‌های عصبی جهت پیش‌بینی صادرات آبریان در این مطالعه استفاده شده است. ساختارهای متعددی از شبکه‌های عصبی در این زمینه موجود است که در کاربردهای متفاوت عملکردهای متفاوتی دارند. در این مطالعه از سه ساختار شبکه‌ی عصبی پیشرو، تابع پایه شعاعی و المین<sup>۱۹</sup> در مدل‌سازی<sup>۲۰</sup> و پیش‌بینی متغیر مقدار صادرات آبریان استفاده می‌شود. در ادامه، دو ابزار مورد استفاده تشریح و سپس توابع ارزیابی

<sup>19</sup> Elman Recurrent Network.

<sup>20</sup> Modeling

عملکرد مدل بدست آمده معرفی خواهند شد. همچنین جهت پیش بینی مقدار صادرات آبزیان با روش *ARIMA* از نرم افزار *Eviews6* و در روش شبکه‌ی عصبی از نرم افزار *Matlab* استفاده شده است.

## ۲-۱- مدل آماری *ARIMA*

الگوی خود رگرسیون با میانگین متحرک هم جمعی (*ARIMA*) که به روشی باکس جنکینز مشهور است، برخلاف مدل‌های اقتصادسنجی، پیش‌بینی رفتار یک متغیر با مربوط کردن آن به مجموعه‌ای از متغیرهای دیگر براساس یک رابطه‌ی علی صورت نمی‌گیرد. بلکه پیش‌بینی صرفاً براساس رفتار همان متغیر (یا متغیرهای دیگر) در گذشته انجام می‌پذیرد (جواهری، ۱۳۸۳).

فرایند  $ARIMA(p,d,q)$  برای متغیر صادرات آبزیان به صورت رابطه‌ی

(۱) نشان داد:

$$y_t = f(t) + \sum_{i=1}^p \Phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \Theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

که در آن:

$$y_t = \Delta^d x_t = (1-L)^d x_t \quad (2)$$

و  $f(t)$  روند زمانی را (در صورت وجود) در  $y_t$  برآورد می‌کند. در اکثر متغیرهای اقتصادی، معمولاً  $d=1$  بوده و در نتیجه  $f(t)=\mu$  و یا  $d=0$  می‌باشد و  $f(t) = \alpha + \delta t$  (نجفی و طرازکار، ۱۳۸۵).

در فرایند  $ARIMA(p,d,q)$ ،  $p$ ،  $d$  و  $q$  به ترتیب بیانگر تعداد جملات خود رگرسیو، مرتبه تفاضل‌گیری و تعداد جملات میانگین متحرک می‌باشد. در صورتی که  $d$  برابر با صفر باشد فرایند *ARIMA* تبدیل به فرایند *ARMA* می‌شود. معمولاً برای تخمین الگوی *ARIMA* و *ARMA* از روش باکس جنکینز استفاده می‌شود که دارای چهار مرحله شناسایی، تخمین، تشخیص دقت پردازش و پیش‌بینی می‌باشد (گجراتی<sup>۲۱</sup>، ۱۳۸۷).

<sup>21</sup>Gujarati

در این مطالعه، متغیر  $y_t$  مقدار صادرات آبریان دریایی ایران می‌باشد که به کمک مدل  $ARIMA(p,d,q)$  فرآیند تحلیل و پیش‌بینی برای متغیر صادرات انجام می‌شود.

## ۲-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

با عنایت به اینکه شبکه‌های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری<sup>۲۲</sup> یا نگاشت پذیری<sup>۲۳</sup> بر اساس ارائه داده‌های تجربی (قدرت و توانایی تعمیم‌پذیری) و ساختار پذیری موازی برخوردار می‌باشند، این شبکه‌ها برای سیستم‌های پیچیده که مدلسازی این سیستم‌ها یا میسر نیست و یا به سختی انجام می‌شود بسیار مناسب می‌باشند. کاربردهای موفقیت‌آمیز شبکه‌ی عصبی در پژوهش‌های مختلف در حوزه‌ی اقتصاد نشان از توانایی بالای این ابزار توانمند مدلسازی و تخمین دارد.

نرون<sup>۲۴</sup> کوچکترین واحد پردازشگر اطلاعاتی است، که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. شکل (۱) ساختار یک نرون تک ورودی را نشان می‌دهد. اسکالرها  $p$  و  $a$  به ترتیب ورودی و خروجی می‌باشد. میزان تاثیر  $p$  روی  $a$  به وسیله‌ی مقدار اسکالر  $w$  تعیین می‌شود. ورودی دیگر که مقدار ثابت 1 است، در جمله بایاس  $b$  ضرب شده و سپس با  $wp$  جمع می‌شود، این حاصل جمع، ورودی خالص  $n$  برای تابع محرک (یل تابع تبدیل)  $f$  خواهد بود. بدین ترتیب خروجی نرون با معادله زیر تعریف می‌شود (منهاج، ۱۳۸۱).

$$a = f(wp + b) \quad (۳)$$

شبکه‌های عصبی علی‌رغم تنوع از ساختار مشابهی برخوردار می‌باشند. یک شبکه‌ی عصبی معمولاً از سه لایه ورودی<sup>۲۵</sup>، میانی (مخفی)<sup>۲۶</sup> و خروجی تشکیل شده است. لایه‌ی ورودی فقط اطلاعات را دریافت می‌کند و مشابه متغیر مستقل عمل می‌کند. لایه‌ی خروجی<sup>۲۷</sup> نیز مانند متغیر وابسته عمل می‌کند و تعداد

<sup>22</sup> Train

<sup>23</sup> Mapping

<sup>24</sup> Neuron

<sup>25</sup> Input Layer

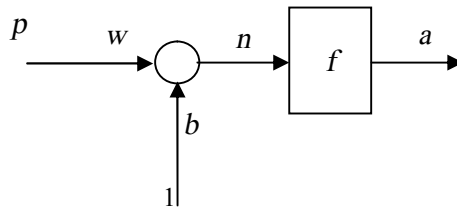
<sup>26</sup> Hidden Layer

<sup>27</sup> Output Layer



نرون‌های آن بستگی به تعداد متغیرهای وابسته دارد. لایه‌های پنهان یا میانی لایه‌هایی هستند که بین لایه‌ی ورودی و خروجی قرار می‌گیرند (ابراهیمی، ۱۳۹۰).

شکل ۱: مدل یک نرون مصنوعی

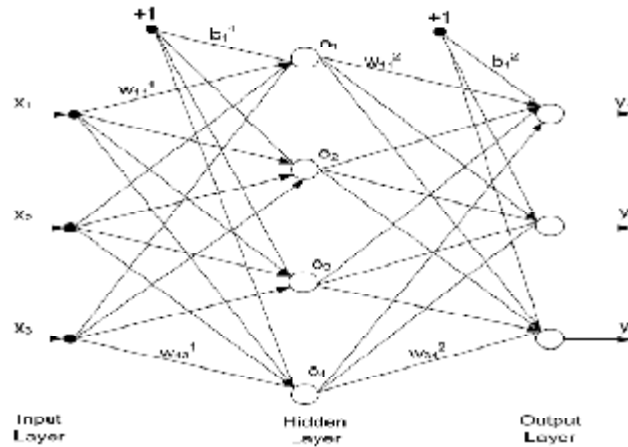


### ۲-۲-۱- شبکه‌ی عصبی چندلایه پیشرو

این شبکه از قدیمی‌ترین و مشهورترین نوع شبکه‌های عصبی است. پرسپترون خصوصاً در اوائل پیدایش نظریه‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی، یک لایه بود. شبکه‌ی پرسپترون یک لایه نمی‌تواند هر تابع غیرخطی دلخواهی را تقریب بزند. لذا از شبکه‌های پرسپترون چند لایه (*MLP*) استفاده می‌شود (هاگان و دموث<sup>۲۸</sup>، ۱۹۹۶). اثبات می‌شود که یک شبکه پرسپترون چند لایه می‌تواند توابع غیرخطی پیچیده را تقریب بزند. برای اینکار می‌توان نشان داد که هر شبکه‌های دو لایه توانایی این کار را دارد. برای این منظور توابع تحریک می‌بایست غیر خطی باشند. اگر تعداد لایه‌های غیرخطی بیشتر باشد دقت تقریب بالاتر می‌رود. ولی با یک لایه غیر خطی هم می‌توان توابع غیرخطی پیچیده را تقریب زد. شکل (۲) یک نمونه شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه را نشان می‌دهد.

<sup>28</sup> Hagan and Demuth

شکل ۲: معماری یک شبکه‌ی عصبی چندلایه پیشرو



به طور کلی شبکه‌ی عصبی  $MLP$  از سه لایه تشکیل می‌شود. لایه‌ی اول که لایه‌ی صفر نیز نامیده می‌شود لایه‌ی ورودی شبکه را نشان می‌دهد که بردار و الگوی ورودی به این لایه اعمال می‌شود. لایه‌ی بعد به لایه‌ی میانی یا لایه‌ی مخفی مشهور است. لایه‌ای که خروجی آن، خروجی نهایی شبکه باشد به لایه‌ی خروجی معروف است. در لایه‌ی خروجی می‌توان از توابع تحریک خطی یا غیرخطی استفاده کرد.

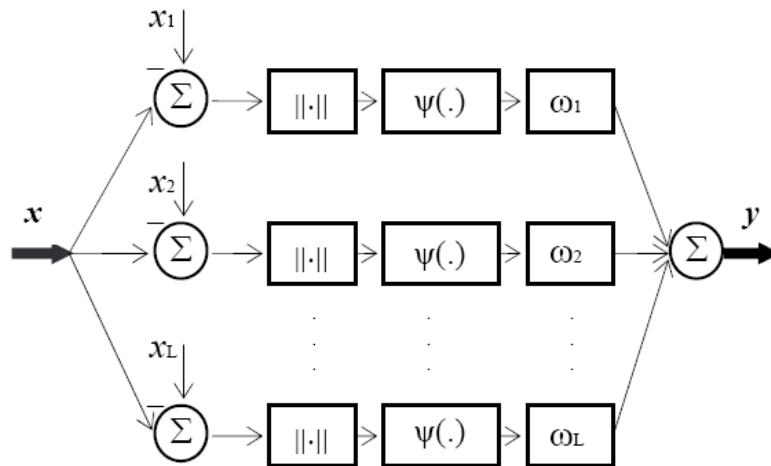
#### ۲-۲-۲- شبکه‌ی تابع پایه‌ی شعاعی ( $RBF$ )

یکی از شبکه‌های بسیار پر قدرت و کارآ در مدل‌سازی و پیش‌بینی شبکه‌های عصبی تابع پایه‌ی شعاعی معروف به شبکه‌های  $RBF$  است (هی‌کین<sup>۲۹</sup>، ۱۹۹۸). روال کار این شبکه این گونه است که یک سری توابع غیرخطی به عنوان پایه در نظر گرفته می‌شوند و سعی می‌شود هر تابع غیرخطی را به صورت ترکیب خطی از این توابع پایه محاسبه نمود. چون هر یک از توابع بنیادی و پایه‌ای به صورت محلی عمل می‌کنند، لذا کلمه‌ی شعاعی به این نوع شبکه‌ها اطلاق می‌شود. این ایده توسط

<sup>29</sup> Haykin

نوودی<sup>۳۰</sup> و دارکر<sup>۳۱</sup> در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید (هی کین<sup>۳۲</sup>، ۱۹۹۸). شکل (۳) ساختار این شبکه را نشان می‌دهد.

شکل ۳: نمودار بلوکی یک شبکه  $RBF$



عموماً شبکه‌های بنیادی شعاعی دو لایه هستند که توابع بنیادی در لایه مخفی قرار گرفته‌اند. در لایه‌ی اول (ارتباط ورودی به لایه‌ی میانی) وزنی برای ارتباطات در نظر گرفته نمی‌شود. می‌توان اثبات کرد که با وجود پارامترهای توابع بنیادی، نیازی به وزن‌ها نمی‌باشد. توابع بنیادی را عموماً از نوع توابع گوسی تعریف می‌کنند. توابع تحریک لایه‌ی خروجی می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. عملکرد درونی این شبکه کاملاً شفاف است و دقیقاً می‌شود دید و توجیه نمود که این شبکه  $RBF$  چگونه کار می‌کند. در حالیکه، شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه مانند یک جعبه‌ی سیاه<sup>۳۳</sup> عمل می‌کند.

<sup>30</sup> Noody

<sup>31</sup> Darker

<sup>32</sup> Haykin

<sup>33</sup> Black box

### ۲-۳-۳- شبکه‌ی المن

شبکه‌ی بازگشتی المن دارای دو لایه است. در این شبکه یک پسخورد<sup>۳۴</sup> تاخیردار از لایه‌ی اول (لایه‌ی میانی) به همان لایه وجود دارد. این ساختار به شبکه‌ی المن امکان می‌دهد الگوهای متغیر با زمان را بتواند استخراج و باز تولید کند. شکل ۴ ساختار و معماری این نوع شبکه را نشان می‌دهد. تابع تحریک در لایه‌ی اول، معمولاً از نوع تانژانت سیگموئید و در لایه‌ی خروجی از نوع تابع خطی انتخاب می‌شود و به شبکه امکان می‌دهد هر تابع خوش رفتار را با دقت دلخواه تقریب بزند. در طراحی شبکه تعداد نرون‌های لایه میانی باید به اندازه‌ی کافی انتخاب شود تا بتواند پیچیدگی‌های فرایند تحت بررسی را بخوبی تقریب بزند. تفاوت شبکه المن با شبکه‌های دو لایه معمولی، در پسخورد تاخیردار لایه‌ی اول است که از مقادیر در یک مرحله‌ی قبل برای محاسبات در زمان فعلی استفاده می‌کند. به عبارتی، اگر ورودی یکسان به دو شبکه داده شود به علت حافظه‌ی درون شبکه، خروجی دو شبکه MLP و المن لزوماً یکسان نخواهد بود.

### ۳- توابع ارزیابی خطا

در این مطالعه، به منظور مقایسه‌ی قدرت پیش‌بینی و انتخاب بهترین روش پیش‌بینی، از معیارهای مختلفی از جمله میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین مجذور خطا (MSE)، جذر ریشه‌ی میانگین مربع خطا (RMSE) و جذر ریشه‌ی میانگین خطا نرمال شده (NRMSE) استفاده می‌شود. توابع معیار و روابط ریاضی آنها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

الف) تابع MAPE

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (۴)$$

ب) تابع MAE

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad (۵)$$

ج) تابع MSE

<sup>34</sup> Feedback

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2 \quad (۶)$$

د) تابع RMSE

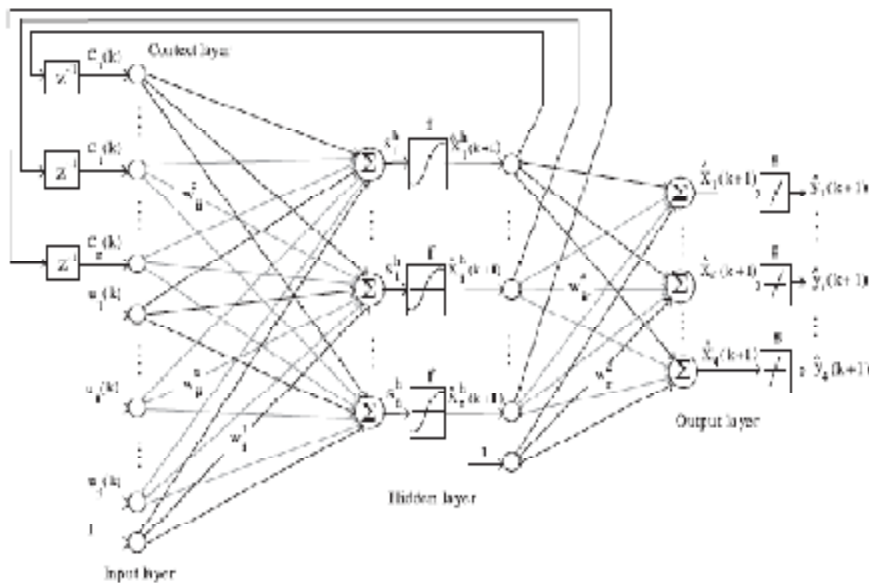
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad (۷)$$

ه) تابع NRMSE

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (۸)$$

در روابط (۴) تا (۸) پارامتر  $n$  تعداد کل مشاهدات برای دوره پیش‌بینی،  $\hat{y}_t$  و  $y_t$  به ترتیب ارزش پیش‌بینی شده در زمان  $t$  و ارزش واقعی در زمان  $t$ ،  $y_{\max}$  و  $y_{\min}$  به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار ارزش واقعی را نشان می‌دهد. کوچکی معیارهای خطا برای هر الگو نشانگر این نکته می‌باشد که مقادیر پیش‌بینی شده توسط این الگوها، به مقادیر واقعی (سری متغیر مورد نظر) نزدیک‌تر می‌باشند. همچنین قدرت بالاتر آن الگو در امر پیش‌بینی را نشان می‌دهد.

شکل ۴: نمودار بلوکی یک شبکه‌ی بازگشتی المن



به منظور انجام بررسی از داده‌های ماهانه دوره‌ی ۱۳۷۴:۳ تا ۱۳۹۰:۱۲ استفاده شد و اطلاعات مورد نظر از آمارنامه سازمان شیلات ایران جمع آوری گردید. همچنین از داده‌های دوره‌ی ۱۳۷۴:۳ تا ۱۳۸۷:۱۲ برای برآورد و آموزش مدل‌ها و از داده‌های دوره‌ی ۱۳۸۸:۱ تا ۱۳۹۰:۱۲ به منظور بررسی قدرت پیش بینی مدل‌های مختلف استفاده شد.

#### ۴- نتایج شبیه سازی

در جهت پیش بینی مقدار صادرات آبزیان با استفاده از روش اقتصادسنجی *ARIMA*، در ابتدا سری زمانی از لحاظ داشتن ریشه‌ی واحد آزمون می‌شوند به دلیل اینکه غیر ساکن بودن متغیرها نتایج استاندارد مدل‌های اقتصادسنجی را بی‌اعتبار می‌کند. برای جلوگیری از دچار شدن به مشکل رگرسیون کاذب، می‌بایست درجه‌ی انباشتگی سری زمانی متغیرها آزمون شود. در این مطالعه، از آزمون فیلیپس و پرون برای ارزیابی سطوح و تفاضل اول متغیرها استفاده می‌شود. نتیجه‌ی بررسی ساکن پذیری لگاریتم متغیر حاکی از آن است که مقدار صادرات آبزیان ساکن می‌باشد. در مطالعه‌ی جاری برای تعیین درجه‌ی خودرگرسیون ( $p$ ) و میانگین متحرک ( $q$ )، بر اساس روش پیشنهادی پسران و پسران (۱۹۹۷)<sup>۳۵</sup>، ابتدا مدل‌هایی با مرتبه‌های مختلفی از  $p$  و  $q$  تخمین و سپس با استفاده از آماره‌های آکائیک و شوارتز-بیزین به دست آمده، بهترین مرتبه ( $p$  و  $q$ )، بر حسب بزرگترین مقدار این معیارهای انتخاب شد. با توجه به معیارهای آکائیک و شوارتز-بیزین بهترین مدل برای متغیر مقدار صادرات آبزیان (۶ و ۰ و ۱) می‌باشد.

نتایج برآورد الگوی (۶ و ۰ و ۱) *ARIMA* برای متغیر مقدار صادرات آبزیان در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج حاصل از جدول (۲) حاکی بر این امر است که تمام ضرائب با توجه به آماره‌ی محاسباتی معنی‌دار می‌باشند. پس می‌توان از این الگو برای پیش بینی میزان صادرات آبزیان استفاده کرد. جدول ۳ عملکرد روش‌های مختلف مدلسازی و پیش‌بینی در این مقاله را نشان می‌دهد. بدین منظور، از پنج معیار متنوع خطا بهره گرفته شده است. نکته‌ی جالب توجه در این جدول و مقایسه‌ی تطبیقی نتایج، نشان می‌دهد شبکه‌ی عصبی تابع پایه‌ی شعاعی (*RBF*) از دیگر روش‌های بکار گرفته شده بر حسب تمامی معیارهای خطا از کارایی

<sup>35</sup>Pesaran and Pesaran

بهتری برخوردار است به گونه‌ای که میزان خطا بر اساس معیار  $MAPE$ ، برای شبکه  $RBF$  برابر با  $۰/۰۰۹۳$  است و نسبت به نزدیکترین خطای به آن یعنی شبکه‌ی چند لایه پیشرو حدود  $۱/۸۲$  برابر کارایی بهتری دارد. در دیگر معیارهای خطای  $MAE$ ،  $MSE$ ،  $RMSE$  و  $NRMSE$  به ترتیب  $۲/۵۶$ ،  $۸/۸۶$ ،  $۲/۹۷$  و  $۴/۱۹$  برابر بهتر است. شکل ۵ به مقایسه‌ی مقدار واقعی و پیش بینی شده سری زمانی صادرات با روش آماری  $ARIMA$  می‌پردازد. در ادامه، نتایج شبیه سازی شبکه‌ی عصبی در تخمین داده‌های خام متغیر مقدار صادرات ارائه می‌گردد. شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نمودار پیش بینی سری زمانی صادرات را به ترتیب با شبکه‌های عصبی  $MLP$ ،  $RBF$  و المن نشان می‌دهد. در این شکل‌ها محور افقی زمان را بر حسب ماه و محور عمودی میزان صادرات را بر حسب تن نشان می‌دهد. نمودار آبی رنگ مقدار مطلوب کمیت و نمودار قرمز رنگ مقدار پیش بینی شده میزان صادرات را نشان می‌دهد. هم چنین، با استفاده از معیارهای ارزیابی معرفی شده به مقایسه‌ی روش‌های اقتصاد سنجی و شبکه‌های عصبی پرداخته می‌شود. جدول ۳ مقایسه‌ی معیارهای مختلف خطا در تخمین و پیش بینی سری زمانی صادرات را نشان می‌دهد.

جدول ۱: آزمون ریشه‌ی واحد متغیرها در سطح و با عرض از مبدا

متغیر	آماره محاسباتی	مقادیر بحرانی در سطح اطمینان ۹۵٪	نتیجه
لگاریتم صادرات آبزیان	-۴/۶۸	-۲/۸۷	ساکن

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲: نتایج برآورد الگوی (۶ و ۱)  $ARMA$  طی دوره‌ی ۱۳۷۴:۰۳ تا ۱۳۸۷:۱۲

احتمال	آماره t	انحراف معیار	ضریب	عرض از مبدا
۰/۰۰۰	۲۱/۵۲	۰/۳۸	۷/۹۳	عرض از مبدا
۰/۰۰۰	۱۰۰/۴۵	۰/۰۰۹	۰/۹۷	AR(۱)
۰/۰۰۰	۷/۱۹	۰/۰۵۹	۰/۴۳	MA(۱)
۰/۰۰۰	۸/۸۰	۰/۰۵۲	۰/۴۶۶	MA(۲)
۰/۰۰۰	۹/۱۳	۰/۰۵۱	۰/۴۶۹	MA(۳)
۰/۰۰۰	۹/۴۰	۰/۰۵۱	۰/۴۸۶	MA(۴)
۰/۰۰۰	۱۰/۹۹	۰/۰۵۳	۰/۵۸۵	MA(۵)
۰/۰۰۰	۷/۵۶	۰/۰۵۹	-۰/۴۴	MA(۶)
$R^2=۰/۹۹۷۸۳۹$		$F=۱۲۷۳۳/۷۸$		
$\bar{R}^2=۰/۹۹۷۷۶۱$		$DW=۲/۰۷۹۲۳۶$		

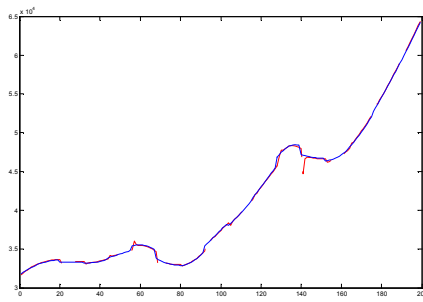
مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳: مقایسه‌ی توابع خطا برای تخمین سری زمانی صادرات.

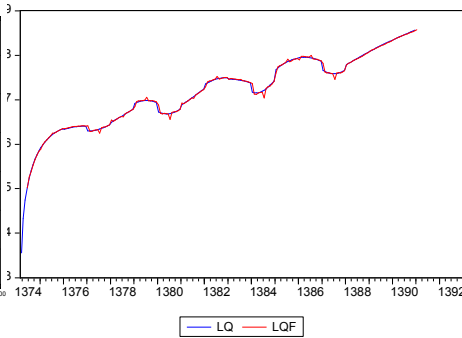
	MAPE	MAE	MSE	RMSE	NRMSE
ARIMA	۰/۴۲۰۱	۵۳۸/۲۴۹۸	$۴/۲۸۳۲ \times ۱۰^۵$	۶۵۴/۴۵۸۵	۰/۱۲۸۸
FF	۰/۰۱۷۱	۲۵/۶۸۳۷	$۳/۰۴۸۳ \times ۱۰^۳$	۵۵/۲۱۱۴	۰/۰۱۰۹
RBF	۰/۰۰۹۳	۱۰/۰۲۸۵	۳۴۳/۹۰۲۷	۱۸/۵۴۴۶	۰/۰۰۳۶
Elman	۰/۰۳۵۸	۴۶/۰۷۷۸	$۶/۷۹۵۷ \times ۱۰^۳$	۸۲/۴۳۶۲	۰/۰۱۶۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

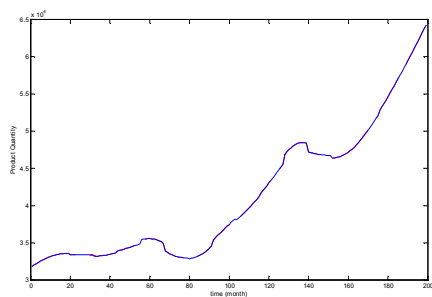
شکل ۶: شبکه‌ی عصبی پیشرو



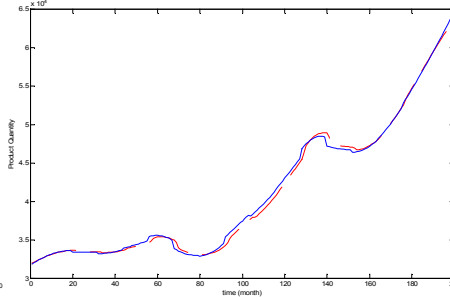
شکل ۵: مدل آماری ARIMA



شکل ۸: شبکه‌ی RBF



شکل ۷: شبکه‌ی عصبی المن



با توجه به جدول ۳، در میان چهار مدل استفاده شده برای پیش بینی صادرات آبریان دریایی، شبکه‌ی عصبی RBF با خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری دارد. در ادامه نتایج پیش بینی صادرات آبریان دریایی در دو سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ آورده می‌شود؛



جدول ۴: مقادیر پیش بینی شده صادرات آبریان دریایی (بر حسب تن)

سال	۱۳۹۱	۱۳۹۲
میزان صادرات	۳۶۱۱۶	۴۷۷۷۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

### ۵- تجزیه و تحلیل و نتیجه گیری

جدول ۳ نتایج مقایسه و کارایی مدل اقتصادسنجی *ARIMA* و شبکه‌های غیرخطی عصبی را در تخمین میزان صادرات آبریان را نشان می‌دهد. در این مقایسه نیز مانند سری زمانی تولید داده‌ها به دو بازه‌ی زمانی تقسیم شدند به گونه‌ای که داده‌های ماهانه از ماه سوم ۱۳۷۴ تا پایان سال ۱۳۸۷ به عنوان داده‌هایی که در مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته و سپس از توان تقریب و تخمین مدل برای محاسبه‌ی میزان صادرات از ماه اول ۱۳۸۸ لغایت پایان ماه دوازدهم ۱۳۹۰ مورد استفاده شد. پیش بینی به صورت یک گام به جلو طراحی و میزان صادرات را برای یک ماه آینده پیش‌بینی می‌کند. بنا به نتایج مندرج در جدول ۳، روش اقتصادسنجی *ARIMA* که یک روش خطی و بسیار پرکاربرد در حوزه‌ی اقتصاد است از دقت قابل قبولی در پیش بینی و تخمین برخوردار است. با این حال، شبکه‌ی عصبی با توجه به ساختار پردازشی موازی و غیرخطی و بسیار توانمند خود، در مدلسازی از کارایی بالاتری برخوردار است. از نظر معیار *MAPE*، میزان تابع خطا برای مدل *ARIMA*،  $0/4201$  بیشترین مقدار خطا و مدل شبکه عصبی *RBF* با خطای  $0/0093$  کمترین خطا و بهترین مدلسازی را دارد. در این مورد نیز می‌بایست به توان و ساختار قوی شبکه *RBF* و سائز شبکه در عملکرد بهتر در مدلسازی دقت کرد. مقدار خطا برای شبکه بسیار متداول پیشرو  $0/0171$  و برای شبکه المن مقدار  $0/0358$  بدست آمد.

معیار تابع خطا در ستون سوم جدول ۳ برای مقایسه کارایی روش های تخمین *MAE* در نظر گرفته شد. مدل اقتصادسنجی *ARIMA* با مقدار  $538/2498$  بیشترین خطا و شبکه عصبی *RBF* با مقدار  $10/0285$  کمترین را داشت. مقایسه‌ی نتایج برحسب معیارهای *MSE*، *RMSE* و *NRMSE* نیز نتایجی مشابهی از نظر دقت مدلسازی در سری زمانی تولید نشان می‌دهد به گونه‌ای که بیشترین خطای

پیش بینی در مدل *ARIMA* و بهترین دقت را مدل شبکه‌ی عصبی *RBF* دارد. همچنین، در تخمین سری زمانی میزان صادرات شبکه‌ی عصبی پیشرو عملکرد بهتری نسبت به شبکه المن از خود نشان می‌دهد. در مجموع، مقایسه و تحلیل نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد شبکه‌ی عصبی *RBF* دارای عملکرد بهتری در تخمین و پیش بینی سری زمان صادرات است. در رده‌های بعدی شبکه‌ی عصبی پیشرو، شبکه المن و مدل *ARIMA* قرار می‌گیرد. در همه‌ی موارد مدلسازی و تخمین میزان صادرات عملکرد شبکه عصبی نسبت به مدل خطی *ARIMA* دقت بهتری را نشان می‌دهد.

به عنوان زمینه‌هایی برای ادامه کار پژوهشی می‌توان به بهره گیری از ابزارهای توانمند مدلسازی غیرخطی و بهینه سازی مانند الگوریتم‌های تکاملی اشاره نمود.

**فهرست منابع:**

ابراهیمی، مهرزاد. (۱۳۹۰). استفاده از رهیافت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و سری زمانی در پیش‌بینی میزان مصرف انرژی الکتریکی در بخش کشاورزی، فصلنامه تحقیقات اقتصاد کشاورزی ۱. ۲۷-۴۲.

آمارنامه سازمان شیلات ایران. ۱۳۷۹-۱۳۸۹ ([www.fisheries.ir](http://www.fisheries.ir)).

بشیری، مهدی. (۱۳۸۸). کاربرد مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی (مورد مطالعه: پیش‌بینی قیمت جهانی طلا)، فقیه، نظام‌الدین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، شیراز.

جلائی، عبدالمجید، محمد رضا پاکروان و امید گیلانپور. (۱۳۸۹). پیش‌بینی صادرات محصولات کشاورزی ایران: کاربرد مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی، مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، هجدهم، ۷۲، ۱۳۹-۱۱۵.

جواهری، بهنام. (۱۳۸۳). یک مقایسه بین مدل‌های اقتصادسنجی، سری زمانی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز، مرزبان، حسین، پایان‌نامه کارشناس ارشد، دانشگاه شیراز. اس ارشد، دانشگاه شیراز.

عاقل، حسن، سمیه یوسف زاده و هومن منصوری. (۱۳۸۷). بررسی عوامل موثر بر ارزش صادرات محصولات کشاورزی با تاکید بر استانداردهای صادرات (پسته، بادام، زعفران، خرما و سیب)، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۲، شماره ۱، صص ۱۲۵-۱۳۵.

گجراتی، دامودار. (۱۳۸۷). مبانی اقتصادسنجی، ترجمه حمید ابریشمی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم.

گزارشات آماری سازمان توسعه تجارت جهان. [www.tpo.ir](http://www.tpo.ir).

منهاج، محمدباقر. (۱۳۸۱). مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، جلد اول.

مهرابی بشرآبادی، حسین، سمیه کوچک زاده. (۱۳۸۸). مدلسازی و پیش‌بینی صادرات محصولات کشاورزی ایران: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۳، ۱، ۵۸-۴۹.

میگلی نژاد، ابراهیم. (۱۳۹۱). شیلات و آبریان کشور، چالش‌ها و پتانسیل‌ها. گزارش راهبردی، ۱۵۱، ۵-۲۵.

نجفی، بهاء‌الدین، محمد حسن طرازکار. (۱۳۸۵). پیش بینی میزان صادرات پسته ایران: کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۳۹، ص ۱۹۷.

نجفی، بهاء‌الدین، منصور زیبایی، محمدحسین شیخی و محمدحسن طراز کار. (۱۳۸۶). پیش‌بینی قیمت برخی محصولات زراعی در استان فارس: کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، یازدهم، ۱، ۵۰۱-۵۱۱.

نعیمی فر، افسانه. (۱۳۸۹). بررسی عوامل مؤثر بر صادرات محصولات در زیر بخش شیلات و ماهیگیری، ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، ۱۳-۱.

Antik, D. S., M. B. Milovanović, S. L. Perić, S. S. Nikolić & M. T. Milojković. (2014). Input Data Preprocessing Method for Exchange Rate Forecasting via Neural Network. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 11 (4): 597-608. DOI: 10.2298/SJEE1404597A.

Co, H.C. & R. Boosarawongse. (2007). Forecasting Thailand's rice export: Statistical techniques vs. artificial neural networks. *Computers & Industrial Engineering*, 53: 610-627.

Erdogan, O. & A. Goksu. (2014). Forecasting Euro and Turkish Lira Exchange Rates with Artificial Neural Networks (ANN). *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, 4 (4): 307-316.

Hagan, M. T., H. B. Demuth & M. B. Beale. (1996). *Neural Network Design*, PWS Publishing company.

Haykin, S. (1998). *Neural Networks: A comprehensive foundation*, Prentice-Hall.

Kock, A. B. & T. Terasverta. (2013). Forecasting the Finnish consumer price inflation using artificial neural network models and three automated model selection techniques. *Finnish Economic Papers*, 26 (1): 13-24.

Malik, F. & M. Nasereddin. (2006). Forecasting output using oil price: A cascaded artificial neural network approach. *Economics & Business*, 58: 168-180.

---

Neural network Toolbox User's Guide. (2008). Version 6, The MathWorks Inc. 295-410.

Pesaran H. M., B. Pesaran. 1997. Working with Microsoft 4.0: An Introduction to Econometrics, Oxford University Press, Oxford.

Pradhan, R. & R. Kumar. (2010). Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model. Mathematics Research, 2 (4): 111-116.