

مدلسازی پیش بینی نرخ ارز در ایران با استفاده از شبکه عصبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ذرات انبوه

علی جمالی^۱، سعید دایی کریم زاده^۲*

چکیده

در سال‌های اخیر بکارگیری روش‌های هوش مصنوعی در بازارهای مالی و سرمایه‌گذاری به جای روش‌های کمی مرسوم، رو به افزایش بوده و معمولاً عملکرد بهتری را نسبت به روش‌های کلاسیک ارائه کرده است. شبکه عصبی مصنوعی علیرغم مزایای فراوان دارای نقاط ضعف نیز می‌باشند. در این پژوهش به منظور غلبه بر نقاط ضعف روش شبکه عصبی با آموزش داده‌های شبکه عصبی از طریق الگوریتم تکاملی یعنی از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم ذرات انبوه (PSO) جهت مدلسازی و پیش‌بینی روزانه نرخ‌های ارز اسمی در ایران در دوره زمانی ۱۳۹۲/۰۱/۰۱ تا ۱۴۰۱/۱۰/۰۱ استفاده شده است. این مدل‌های ترکیبی با روش شبکه عصبی به عنوان یکی از مدل‌های هوش مصنوعی با توجه به معیارهای خطای MSE، RMSE، MAE، U.Theil مقایسه می‌گردد. نتایج این پژوهش نشان از برتری مدل ترکیبی شبکه عصبی الگوریتم ذرات انبوه نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی تحقیق دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی نرخ ارز، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ذرات انبوه، طبقه بندی JEL: D51, C53

۱-مقدمه

آگاهی از تغییرات آتی نرخ ارز^۳ از یک طرف برای مقامات پولی جهت طراحی یک سیاست پولی کارا به منظور تثبیت قیمت‌ها و افزایش سطح اشتغال و از طرف دیگر، برای صاحبان شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران به منظور تصمیم‌گیری در مورد چگونگی تخصیص دارائی‌هایشان مهم است (بافنده و همکاران، ۱۳۸۸). از این‌رو پیش‌بینی نرخ ارز همواره برای سالیان متمادی در کانون توجهات بسیاری از سیاست‌گذاران و عاملان اقتصادی بوده و مطالعات مختلفی در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی آن انجام گرفته است. لذا تدوین الگوهایی که بتواند رفتار نرخ ارز را در آینده مشخص نماید، سیاست‌گذاران و دولت‌ها را در اتخاذ تصمیمات بهتر و موثرتر، یاری خواهد داد. بنابراین با توجه به اهمیت نرخ ارز در

^۱ گروه مدیریت، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند. ali.jamali92@yahoo.com
^۲ دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد (خوراسگان)، اصفهان، ایران. (نویسنده مسئول)
saeedkarimzade@yahoo.com

^۳ Exchange rate

اقتصاد ایران، این تحقیق با هدف یافتن الگوی مناسب برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی نرخ ارز بازار در ایران انجام می‌گیرد. در حالت کلی دو رویکرد نسبت به پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد. رویکرد اول بنیادی است که پیش‌بینی نرخ ارز را بر اساس دیگر متغیرهای اقتصادی انجام می‌دهد و رویکرد دوم تک‌متغیره است که فقط از رفتار گذشته نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن استفاده می‌کند و به نام رویکرد تکنیکال شهرت یافته است. این مدل‌ها بر خلاف مدل‌های بنیادی در جهت یافتن روابط علی بین نرخ ارز و سایر متغیرهای کلان تلاشی نمی‌کند. تحلیل تکنیکال بر این فرض استوار است که نرخ ارز یک متغیر تصادفی نیست، بلکه از الگوهای تکرار شونده و قابل تشخیص پیروی می‌کند (درگاهی و انصاری، ۱۳۸۷). در این مطالعه از روش تکنیکال استفاده شده است. استفاده از روش‌های کلاسیک پیش‌بینی که عمدتاً بر پایه یک مدل رگرسیونی بنا نهاده می‌شوند، علی‌رغم سادگی در پیاده‌سازی و اجرا، بنا به ماهیت خود، تنها در محیط‌های با تغییرات کم، با تقریب، قادر به پیش‌بینی هستند، اما در مواردی پیش‌بینی نرخ ارز در زمانی که شرایط محیطی همواره در حال تغییر است، نمی‌توانند تقریب خوبی از تغییرات محیطی و پیش‌بینی را تخمین بزنند. از این رو، استفاده از ابزارها و مدل‌های نوین جهت پیش‌بینی این نوع از داده‌ها، بیش از پیش مهم می‌نماید. امروزه همزمان با پیشرفت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کامپیوترها، بهره‌برداری از سیستم‌های هوشمند و روش‌هایی که عمدتاً بر پایه الگوریتم‌های تکرارشونده و شبکه‌های عصبی بنا نهاده شده‌اند، در حوزه‌های مختلف علوم کاربرد فراوانی یافته است. به عنوان مثال، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ به علت ماهیت غیرخطی، در پیش‌بینی قیمت سهام جذابیت فراوانی در مباحث پیش‌بینی است. کاربرد شبکه‌های عصبی در مباحث اقتصادی از اواخر دهه نود با مطالعات وایت^۲ (۱۹۹۸) در بازارهای مالی و پیش‌بینی قیمت سهام شرکت IBM آغاز شد. بطور کلی عمده‌ترین زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی مربوط به مسائل پیش‌بینی است (ژانگ^۳، ۱۹۹۷).

هدف تحقیق حاضر طراحی و ارائه الگوی مناسب برای مدلسازی و پیش‌بینی نرخ ارز در ایران می‌باشد و همچنین کاربرد الگوریتم‌های تکاملی در پیش‌بینی متغیرهای مهم اقتصاد می‌باشد در واقع در این مطالعه برآنیم تا با آموزش شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های تکاملی دقت شبکه عصبی را بهبود بخشیم.

سازماندهی این مقاله به این شرح است که: بعد از ارائه این مقدمه، ادبیات موضوع که دربرگیرنده مبانی نظری و مطالعات تجربی صورت گرفته در این زمینه است، ارائه می‌شود. سپس در بخش طراحی الگوی مدل، به معرفی روند انجام پژوهش و تکنیک‌های ترکیبی شبکه عصبی پرداخته می‌شود. سپس تحلیل‌های تجربی بیان شده است. در نهایت نیز به نتیجه‌گیری خواهیم پرداخت.

۲- ادبیات موضوع

^۱ Artificial neural network
^۲ White
^۳ Zhang

۲-۱- مبانی نظری تحقیق

در ادبیات اقتصاد بین‌الملل دو رویکرد نسبت به پیش‌بینی نرخ ارز وجود دارد. اول رویکرد مبتنی بر نظریه اقتصادی یا رویکرد بنیادی^۱ است که پیش‌بینی نرخ ارز را بر اساس دیگر متغیرهای اقتصادی انجام می‌دهد. دوم رویکرد تک متغیره است که فقط از رفتار گذشته نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن استفاده می‌کند و به دلیل عدم توجه به سایر متغیرهای اقتصادی، به نام رویکرد فنی^۲ شهرت یافته است (نلی^۳، ۱۹۹۷). علت توسعه روش‌های فنی ناکامی روش‌های بنیادی در توضیح و پیش‌بینی در کوتاه‌مدت است. از جمله روش‌های فنی روش هوش محاسباتی است که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و در پیش‌بینی سری‌های زمانی به کار گرفته شده است. روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۴ در روش هوش محاسباتی هستند که کاربردهای گسترده‌ای در این زمینه پیدا کرده‌اند. بسیاری از الگوهای بنیادی، ترکیب اطلاعات اقتصاد کلان در یک ساختار خطی یا غیرخطی هستند. در حالی که اطلاعات اقتصاد خرد نیز در مطالعات اخیر در نظر گرفته شده است. در ادامه به بررسی روش‌های فنی، بنیادی و فرضیه گام تصادفی پرداخته می‌شود. شکل (۲-۱) روش‌های مختلف پیش‌بینی نرخ ارز را نشان می‌دهد (موسوی‌فرد، ۱۳۹۳).

۲-۱-۱- تحلیل فنی

تحلیل فنی مطالعه نرخ ارز یا قیمت هر دارایی مالی دیگر براساس عرضه و تقاضا است. تحلیل‌گران فنی معمولاً داده‌های تاریخی را در قالب نمودارها ضبط می‌کنند و تلاش می‌کنند که روند احتمالی آتی را از تصویر تاریخی، استنباط کنند. ایده اساسی این است که نرخ ارز در بازار توسط عرضه و تقاضا تعیین می‌شود و این همه آن چیزی است که باید دانست.

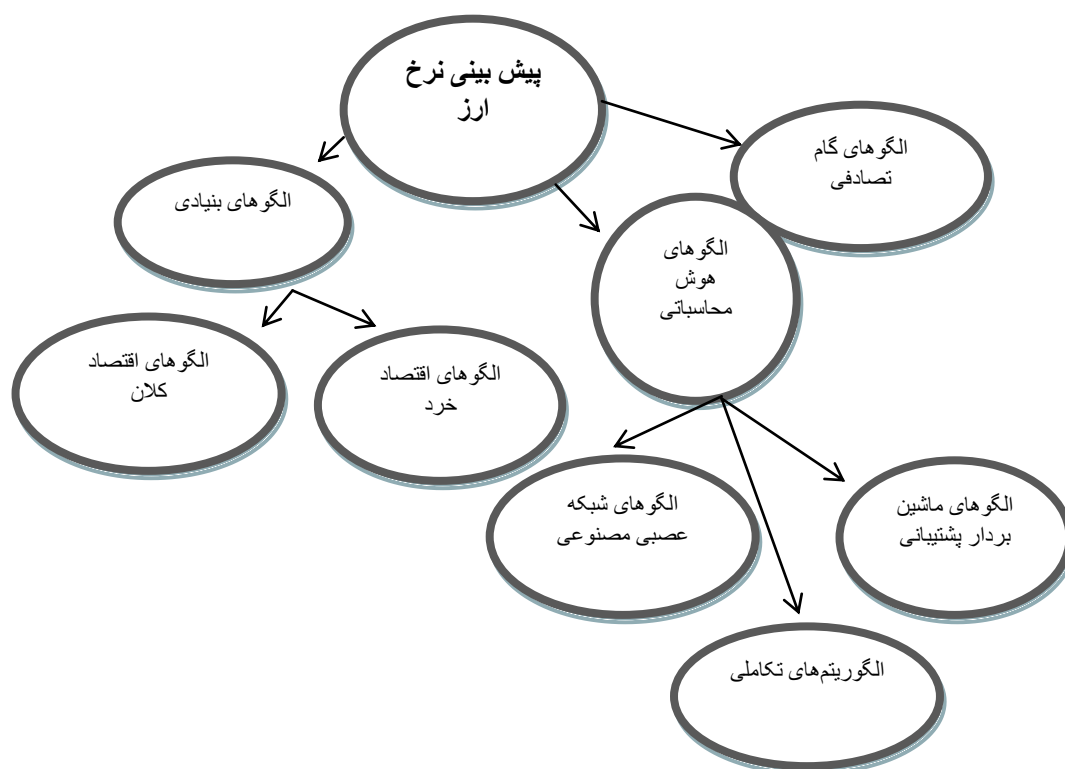
تحلیل فنی به‌خصوص وقتی تغییرات اساسی در متغیرهای بنیادین وجود ندارد و به‌طور خاص، برای بازه‌های زمانی کوتاه استفاده می‌شود. توجه به تحلیل فنی به علت ناتوانی روش‌های بنیادین در تعیین رفتار نرخ ارز است. رفتار نرخ ارز به‌خصوص بعد از شناورسازی در دهه ۱۹۷۰ توسط روش‌های برابری قدرت خرید و روش‌های پولی قابل توضیح نبود.

^۱ Fundamental Approach

^۲ Technical Approach

^۳ Nelly

^۴ Support Vector Machine



شکل (۱): روش‌های پیش‌بینی نرخ ارز

مآخذ: ایمام (۲۰۱۲)^۱

تحلیل فنی بر این فرض استوار است که نرخ ارز یک متغیر تصادفی نیست، بلکه از الگوهای تکرار شونده و قابل تشخیص پیروی می‌کند. سری زمانی نرخ ارز همه اطلاعاتی را که براساس آن تصمیمات برای عرضه و تقاضا گرفته شده است، نشان می‌دهد. این اطلاعات شامل اطلاعات درباره متغیرهای بنیادین اقتصادی و نیز سایر متغیرهای غیرکمی‌سازی چون انتظارات و عوامل روانی است. این عوامل هستند که به شکل‌گیری الگوهایی که تحلیل‌گران فنی تشخیص می‌دهند، منجر می‌شوند (انصاری، ۱۳۸۵).

۲-۱-۲- تحلیل بنیادی

تحلیل بنیادی بررسی و مطالعه تمام عواملی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر میزان عرضه و تقاضا اثر می‌گذارند. تفاوت اصلی تحلیل فنی با تحلیل بنیادی در نوع نگرش و تفسیر به نوسانات بازار است.

¹ Imam

تحلیل‌گر فنی معلول‌گرا و تحلیل‌گر بنیادی علت‌گرا است. به عبارتی تحلیل فنی مبتنی بر قیمت و حجم معاملات است و دلایل تغییر قیمت را نادیده می‌گیرد. درحالی‌که در تحلیل بنیادی همه عواملی که منجر به تغییر عرضه و تقاضا می‌شوند، مورد مطالعه قرار می‌گیرند تا ارزش جاری و آینده ارزها در برابر یکدیگر به دست آید.

نرخ برابری ارزشهای مختلف در برابر یکدیگر با توافق همه شرکت‌کنندگان و بازیگران بازار پدید می‌آید و بیان‌کننده قیمت است که عده‌ای برای فروش در آن به توافق رسیده‌اند. چنانچه در مجموع اکثریت بازار انتظار بالا رفتن نرخ‌های مبادله را داشته باشند، اقدام به خرید آن ارز خواهند کرد و اگر انتظار پایین آمدن نرخ‌ها را داشته باشند ارز مورد نظر را به فروش می‌رسانند. بنابراین تعیین قیمت در بازار به انتظارات معامله‌گران از آینده قیمت بستگی دارد.

به طور کلی عوامل اقتصادی، سیاسی، مالی و بحران‌ها مسائلی هستند که انتظارات معامله‌گران بازار را تغییر می‌دهند. این امر موجب عدم تعادل بین عرضه و تقاضا و در نتیجه تغییر قیمت‌ها تا رسیدن به تعادل می‌گردد. هدف معامله‌گر بنیادی تشخیص همین عدم تعادل‌ها و معامله در جهت رسیدن قیمت به نقطه تعادل و در نهایت کسب سود است.

قیمت یا نرخ، نتیجه نهایی نبرد بین نیروهای وارد بر آن از طرف عرضه و تقاضا است. هدف از تحلیل فنی و تجزیه و تحلیل نوسانات، تعیین جهت حرکت در آینده است. با تمرکز بر روی قیمت و فقط بر روی قیمت، تحلیل فنی یک روش مستقیم‌ارایه می‌دهد. تحلیل‌گران بنیادی علاقمند هستند، بدانند چرا قیمت این مقدار است؟ چرا قیمت بالا آمده است؟ تحلیل‌گران فنی بر چقدر تمرکز می‌کنند و با چرا کاری ندارند (نفریه، ۱۳۸۷).

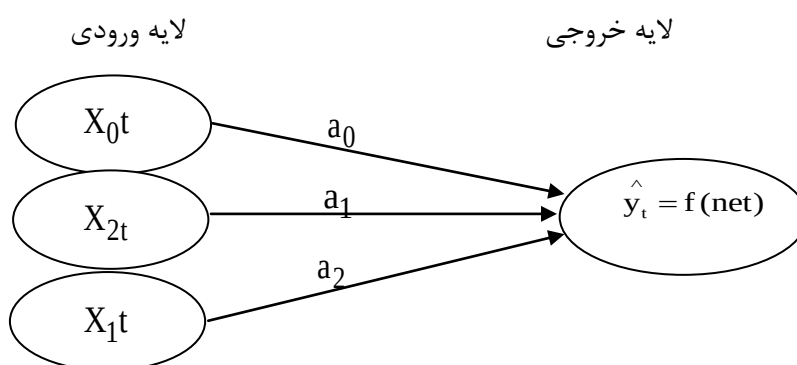
۲-۲- مبانی نظری شبکه عصبی

یک ساختار شبکه‌ای، از تعدادی عناصر مرتبط به هم، به نام نرون که هر نرون، دارای ورودی‌ها و خروجی‌هایی است و یک عمل نسبتاً ساده و محلی را انجام می‌دهد، تشکیل شده است. شبکه عصبی مصنوعی، عموماً عملکرد خود را طی یک پروسه یادگیری فرا می‌گیرد. ساده‌ترین شبکه فقط دو لایه دارد: لایه ورودی و لایه خروجی. شبکه شبیه یک سیستم ورودی - خروجی عمل می‌کند و ارزش‌های نرون‌های ورودی را برای محاسبه ارزش نرون خروجی مورد استفاده قرار می‌دهد. به‌طور کلی شبکه‌های عصبی به دو نوع شبکه‌های پیش‌خور (FNN)^۱ و پس‌خور (RNN)^۲ تقسیم می‌شوند. تفاوت آن‌ها در این است که در شبکه‌های پس‌خور، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون‌های همان لایه و یا لایه قبل وجود

^۱Feedforward neural network

^۲Recurrent neural network

دارد. در بیشتر موارد، شبکه‌های عصبی پشخور می‌توانند بسیار مفید واقع شوند ولی با این، حال هر ۸۰ درصد کاربردها از شبکه‌های عصبی پیشخور استفاده می‌شود (منهاج، ۱۳۸۴). شکل (۲) نمایش نموداری استاندارد یک شبکه عصبی را نشان می‌دهد. هر نرون به وسیله یک دایره و ارتباط میان نرون‌ها با یک فلش نمایش داده شده است. خروجی y و ورودی‌های X_0 ، X_1 ، X_2 بردارهای $1 \times n$ هستند که در آن n تعداد مشاهدات را نشان می‌دهد در این مثال اطلاعات منحصر از ورودی‌ها به خروجی حرکت می‌کنند. بنابراین مدل مورد بحث به شبکه عصبی پیشخور معروف است (محمدی، ۱۳۸۵).



شکل (۲): شبکه عصبی پیشخور دولایه

ارتباط میان یک ورودی و خروجی به وسیله یک وزن a که بیانگر اهمیت نسبی ورودی مذکور در محاسبه ارزش خروجی است مشخص می‌شود. به این ترتیب ارزش نرون خروجی مشاهده t از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{Net}_t = a_0 x_{0t} + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} = \sum_{i=0}^2 a_i x_{it} \quad (1)$$

سپس نرون خروجی ارزش به دست آمده را با استفاده از یک تابع تبدیل یا فعال‌سازی (محرک)^۱ که با $f(x)$ نشان داده می‌شود، پردازش می‌کند. در ساده‌ترین شکل عصبی پیشخور، تابع فعال‌سازی خطی است. برای مثال $f(x) = x$ ارزش به دست آمده از رابطه (۱) و یک تابع فعال‌سازی خطی، خروجی نهایی شبکه برای t به صورت زیر می‌شود:

$$y_t = f(\text{Net}_t = a_0 x_{0t} + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t}) = a_0 x_{0t} + a_1 x_{1t} + a_2 x_{2t} \quad (2)$$

¹Transfer or Activation Function

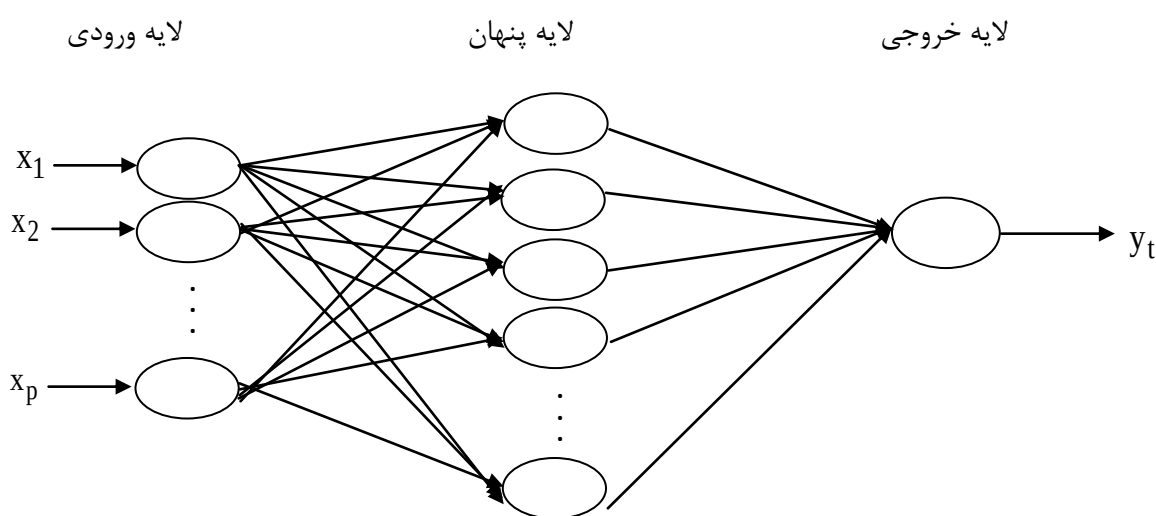
معمولا یک از ورودی‌ها برای تمام مشاهدات دارای ارزش ۱ است و جمله اریب نامیده می‌شود. اگر بپذیریم که X_0 جمله اریب باشد، در آن صورت خروجی شبکه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Y_t = a_0 + a_1 X_{1t} + a_2 X_{2t} \quad (3)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود یک شبکه عصبی پیشخور با دو لایه و تابع فعال سازی خطی مشابه مدل و رگرسیون خطی چند متغیره است. نرون‌های ورودی همان متغیرهای مستقل یا رگرسورها هستند و نرون خروجی همان برآورد متغیر وابسته است. وزن‌های مختلف شبکه نیز مشابه پارامترهای مدل رگرسیون و جمله اریب نیز همان عرض از مبدا یا جمله ثابت در مدل رگرسیون است (محمدی، ۱۳۸۵).

همان‌طور که توضیح داده شد ساده‌ترین شبکه عصبی فقط دو لایه دارد ولی ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولا از سه لایه تشکیل می‌شود. لایه اول، لایه ورودی، شامل بردار متغیرهای مستقل (ورودی)، لایه دوم، لایه پنهان، شامل توابع عملگر، نرون‌های پردازش‌کننده داده‌های ورودی و لایه سوم، لایه خروجی، شامل برآورد (پیش‌بینی) بردار متغیر هدف (وابسته) است.

در شکل (۲) یک شبکه پیشخور معمولی نشان داده شده است (شبری و همکاران^۱، ۲۰۱۴).



شکل (۳): شبکه عصبی پیشخور معمولی

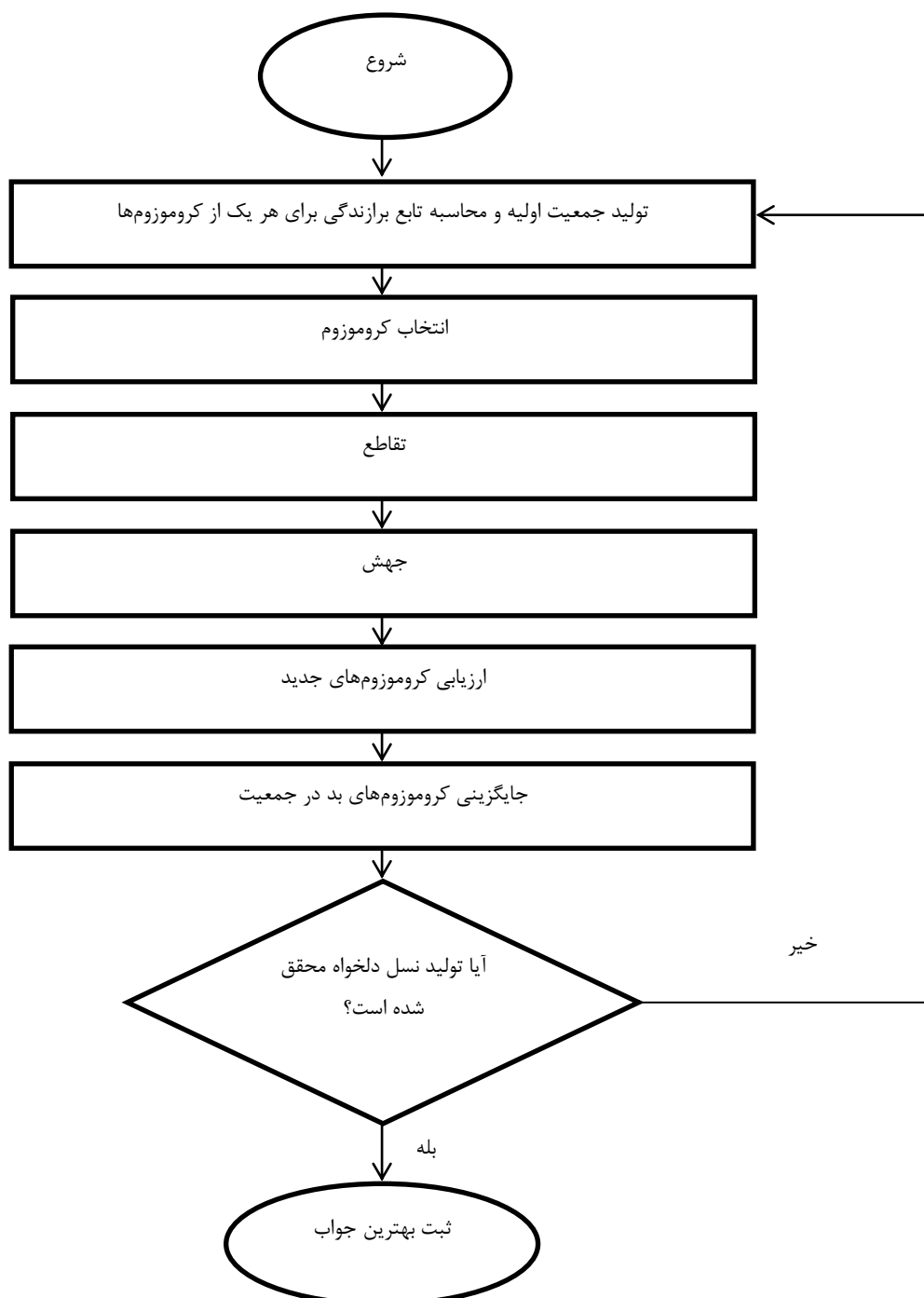
¹ Shabri & Samsudin

۲-۲-۱- الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک نخستین بار به وسیله جان هلند^۱ در سال ۱۹۷۵ مطرح شد و در سال‌های بعد توسط محققان دیگر توسعه پیدا کرد، الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه محاسبه محاسبه تکاملی است که در حال حاضر به عنوان بخشی از هوش مصنوعی به سرعت در حال رشد است. ایده اصلی این الگوریتم در نظریه تکاملی داروین نهفته است. از نظر کاربردی، الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی مسائل است که اساس آن بر انتخاب طبیعی (عامل اصلی تکامل زیستی) و برخی از مفاهیم مهم از علم ژنتیک استوار است. در این روش برای بهینه‌سازی تابع هدف (تابع شایستگی) مسئله، از یک جمعیت اولیه کروموزوم‌ها (افراد) که در حقیقت پاسخ‌های اولیه مسئله هستند، به یک جمعیت جدید از کروموزوم‌ها یا یک نسل جدید که در حقیقت پاسخ‌های ثانویه مسئله مفروض است، می‌رسد. با تکرار این عملیات و تولید جمعیت جدید از جمعیت قبلی در هر مرحله و در نتیجه رسیدن به نسل‌های موفق، جمعیت به سمت یک پاسخ بهینه رشد خواهد کرد (قنبری و همکاران، ۱۳۸۷).

¹John Holland

ساختار کلی الگوریتم ژنتیک را می توان به صورت شکل زیر تصور کرد:



شکل (۴): ساختار کلی عملکرد الگوریتم ژنتیک

به صورت اجمالی در الگوریتم ژنتیک پیش از هر چیزی باید روشی برای تبدیل هر جواب مسئله به یک کروموزوم تعریف کرد، بنابراین مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها که در واقع مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله است به عنوان یک جمعیت اولیه^۱ تهیه می‌گردد. این مجموعه، که اندازه آن دلخواه است و توسط کاربر تعیین می‌شود، اغلب به صورت تصادفی ایجاد می‌گردد. بعد از این مرحله با به کارگیری عملگرهای ژنتیک، کروموزوم‌های جدیدی موسوم به نوزاد^۲ تولید می‌گردد.

این عملگرها به دو گروه عمده عملگر تقاطعی^۳ و عملگر جهشی^۴ تقسیم بندی می‌شود. برای گزینش کروموزوم‌هایی که باید نقش والدین را داشته باشند، دو مفهوم نرخ تقاطعی و نرخ جهشی نیز به کار برده می‌شود که این دو نرخ لازم است پیش از شروع الگوریتم تعیین گردند. بعد از تولید یک سری کروموزوم جدید یا نوزادان نسل اول با استفاده از عملکرد ارزیابی، به انتخاب برانزده‌ترین کروموزوم‌ها اقدام می‌شود. این عمل که طی فرایند انتخاب انجام می‌شود، گلچین کردن کروموزوم‌های برانزده از میان والدین و نوزادان است. فرایند انتخاب^۵ بر مقدار برانزدگی^۶ هر رشته مبتنی است. در واقع می‌توان گفت که فرایند ارزیابی^۷ محوری‌ترین بحث در فرایند انتخاب است. تا بدین مرحله یک تکرار یا یک نسل از الگوریتم طی شده است. الگوریتم پس از طی چندین نسل به تدریج به سمت جواب بهینه همگرا می‌شود. شرط توقف مسئله نیز طی - کردن تعداد معینی تکرار است که پیش از آغاز الگوریتم توسط کاربر تعیین می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۰).

۲-۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی حرکت تجمعی ذرات (PSO)^۸

در سال‌های اخیر با توجه به محدودیت‌های موجود در روش‌های ریاضی، پژوهش‌های بسیاری در زمینه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در جهت بهینه‌سازی انجام شده است. یکی از کاراترین تکنیک‌های مورد

¹Initial Population

²Off spring

³Crossover Operator

⁴Mutation Operator

⁵Selection

⁶Fitness value

⁷Evaluation

⁸Particale Swarm Optimization algorithms

استفاده در این زمینه تکنیک بهینه‌سازی حرکت تجمعی ذرات (PSO) است. این الگوریتم را جیمز کندی^۱ (روانشناس اجتماعی) و راسل ابرهات^۲ (مهندس برق) در ۱۹۹۵ برای حل مسائل بهینه‌سازی، که ماهیت پیوسته بر جواب‌های آن‌ها حاکم است، مطرح کردند. بسیاری از نویسندگان، کار آن‌ها را توسعه داده‌اند. این الگوریتم الهام گرفته از پرواز همزمان پرندگان، شنای دسته جمعی ماهی‌ها و زندگی اجتماعی آن‌ها می‌باشد. این الگوریتم از رفتار اجتماعی دسته پرندگان و ماهی‌ها الهام گرفته شده است. دسته‌ای از پرندگان را که در محیطی به دنبال غذا می‌گردند در نظر بگیرید. هیچ یک از آن‌ها اطلاعی از محل غذا ندارند، ولی در هر مرحله، فاصله خود تا محل غذا را می‌دانند. بر این اساس، بهترین رویکرد برای پیدا کردن غذا، پیروی از نزدیک‌ترین پرنده به غذا می‌باشد. الگوریتم پرواز پرندگان، این رفتار را در مسائل بهینه‌سازی شبیه‌سازی می‌کند (ابراهات و همکاران، ۲۰۰۶).

که با استفاده از یک سری روابط ساده ترکیب بندی شده است. جمعیت (حرکت تجمعی)^۳ در PSO، شامل مجموعه‌ای از اعضا است که به هر عضو داخل جمعیت یک ذره^۴ گفته می‌شود. در این تکنیک از مفهوم جانمایی همسایگی جی بست^۵ استفاده می‌شود. یعنی هر ذره بهترین موقعیت قبلی خود و بهترین موقعیت قبلی هر یک از ذرات موجود در جمعیت را به خاطر می‌آورد و به عبارت دیگر هر ذره در جهت بهترین موقعیت قبلی خود و به سمت بهترین ذره در حرکت است (کندی و همکاران^۶، ۱۹۹۵). کندی در سال ۱۹۹۸ شرح داد که در الگوریتم PSO، هر ذره نماینده یک جواب ممکن است که به صورت تصادفی در فضای مسئله حرکت می‌کند. تغییر مکان هر ذره در فضای جستجو تحت تاثیر تجربه و دانش خود و همسایگانش است. بنابراین موقعیت ذرات دیگر گروه، بر چگونگی جستجو، یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه مدل‌سازی این رفتار اجتماعی، فرایند جستجویی است که در آن ذرات به سمت نواحی مناسب میل می‌کنند. ذرات در گروه از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده، به سمت بهترین همسایگان خود حرکت می‌کنند (پلی و همکاران^۷، ۲۰۰۷). در واقع اساس کار الگوریتم PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تا کنون در آن قرار گرفته

¹ Kennedy

² Eberhat, R. C

³ Swarm

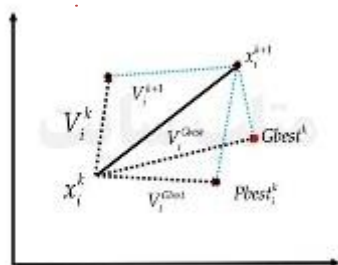
⁴ Particale

⁵ Gbest Neighborhood Topology

⁶ Kennedy et al

⁷ Poli et al

و بهترین مکانی که در همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند (کندی و همکاران، ۱۹۹۵). شکل (۴) فرایند تغییر موقعیت ذره‌ها را در الگوریتم PSO نشان می‌دهد.



شکل (۴): فرایند تغییر موقعیت ذرات در الگوریتم بهینه‌سازی حرکت تجمعی ذرات

فرض کنید یک فضای D بعدی^۱ وجود دارد و i امین ذره از گروه می‌تواند با یک بردار سرعت و یک بردار موقعیت نشان داده شود. تغییر موقعیت هر ذره، با تغییر در ساختار موقعیت^۲ و سرعت^۳ قبلی امکان پذیر است. هر ذره اطلاعاتی شامل بهترین مقداری را که تاکنون به آن رسیده ($Pbest$)^۴ و موقعیت X_i را داراست. این اطلاعات از مقایسه تلاش‌هایی که هر ذره برای یافتن بهترین جواب انجام می‌دهد، به دست می‌آید. همچنین هر ذره بهترین جوابی که تاکنون از مقدار $Pbest$ ها در گروه به دست آمده است را می‌شناسد ($Gbest$)^۵. هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب سعی می‌کند که موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات زیر تغییر دهد:

موقعیت کنونی X_i ، سرعت کنونی V_i ، فاصله بین موقعیت کنونی و $Pbest$ و فاصله بین موقعیت کنونی و $Gbest$. بدین ترتیب سرعت ذره به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$V_i^{K+1} = w \cdot V_i^k + C_1 r_1 (pbest_i - X_i^k) + C_2 r_2 (Gbest_i - X_i^k) \quad (4)$$

در رابطه فوق:

^۱ D.Dimensional

^۲ Position

^۳ Velocity

^۴ Previous Best

^۵ Global Search

V_i^k سرعت هر ذره در تکرار k ام، w پارامتر وزنی، C_1 و C_2 فاکتور وزنی، r_1 و r_2 عدد تصادفی در بازه $[0,1]$ ، X_i^K موقعیت هر ذره را در تکرار K ام، $Pbest_i$ برابر $Pbest$ در ذره i و $Gbest_i$ نیز $Gbest$ در گروه است (پلی و همکاران، ۲۰۰۷). موقعیت هر ذره نیز بر اساس رابطه زیر تعیین می شود :

$$X_i^{k+1} = X_i^k + v_i^{k+1} \quad (5)$$

۳-۳-۱- پارامترهای الگوریتم PSO

پارامتر وزنی w در رابطه (5) برای تضمین همگرایی در PSO و همچنین کنترل تاثیر سوابق سرعت‌های پیشین بر سرعت‌های جاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مقدار مناسب پارامتر وزنی، معمولاً تعادلی را بین قابلیت جستجو کلی^۱ و جستجوی محلی^۲ ایجاد می‌کند (کندی و همکاران، ۱۹۹۵). با انتخاب مناسب مقدار پارامتر وزنی، میزان تکرار برای یافتن جواب بهینه کاهش می‌یابد. ضریب ثابت اینرسی بزرگتر از یک، هر چند سبب می‌شود فضای جستجوی الگوریتم وسیع تر گردد، اما الگوریتم را ناپایدار می‌کند. زیرا اثر سرعت پیشین را افزایش می‌دهد. در ابتدا مقدار w ثابت در نظر گرفته می‌شد، اما بعدها مطالعات ابره‌ه‌ارت در سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ در این زمینه منجر به تغییر شگرفی در الگوریتم PSO شد. آن‌ها پارامتر وزنی را به صورت خطی از مقدار بیشینه‌ای چون w_{MAX} تا مقدار حداقل آن w_{MIN} به صورت زیر تغییر دادند :

$$w = w_{MAX} - \frac{w_{MAX} - w_{MIN}}{Iter_{MAX}} \times Iter \quad (6)$$

در رابطه مذکور: w_{MAX} وزن ابتدایی، w_{MAX} وزن انتهایی، $Iter$ شماره تکرار و $iter_{MAX}$ بزرگترین شماره تکرار است (پلی و همکاران، ۲۰۰۷). پارامترهای C_1 و C_2 در رابطه (6) برای همگرایی PSO چندان بحرانی نیستند. مقدار مناسب ممکن است جواب را زودتر همگرا کند و از احتمال گیر افتادن در نقطه مینیمم محلی جلوگیری می‌کند. در ابتدا مقدار $C_2 = C_1$ پیشنهاد شد، اما مطالعات بعدی نشان داد که $C_1 = C_2 = 0.5$ می‌تواند در رسیدن به جواب بهینه مفیدتر باشد. در حالت کلی C_1 و C_2 می‌تواند متفاوت انتخاب شوند اما شرط $C_1 + C_2 > 4$ بایستی همواره برقرار باشد (کندی و همکاران، ۱۹۹۵). پارامترهای r_1 و r_2 برای حفظ تنوع و گوناگونی در گروه به کار می‌روند. مقدار مناسب این پارامترها، در یکنواختی جواب‌ها تاثیر گذار است و این پارامتر به صورت تصادفی در بازه $[0,1]$ انتخاب می‌شوند. این مقادیر به ذرات این

¹ Global Search

² Local Search

اجازه را می دهند که در گام های تصادفی، در محدوده بین $Gbest$ و $pbest$ حرکت کنند (پلی و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل (۶): ساختار کلی عملکرد الگوریتم انبوه ذرات (PSO)

۳- پیشینه تحقیق

نلی و ولر^۱ (۲۰۰۲)، در پژوهشی با استفاده از داده‌های فصلی ۲۰۰۱-۱۹۸۱ به پیش‌بینی نوسانات نرخ ارز با روش‌های الگوریتم ژنتیک و روش کلاسیک در آمریکا پرداختند. آنها اثبات کردند که الگوریتم ژنتیک (GA) بهتر از پیش‌بینی مدل‌های سری زمانی در نوسانات نرخ ارز می‌باشد. آنها مدل الگوریتم ژنتیک را با مدل‌های GARCH و ماتریس‌های ریسک مقایسه کردند.

طیعی و همکاران (۱۳۸۷)، در مقاله‌ای با به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی روند سالیانه نرخ ارز در ایران و مقایسه آن با روش‌های اقتصادسنجی، با استفاده از اطلاعات سال‌های ۱۳۳۸-۱۳۸۱ ایران، به آزمون این فرضیه که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های معمول اقتصادسنجی و مدل‌های سری‌های زمانی در پیش‌بینی روند نرخ ارز از کارایی بیشتری برخوردار است، پرداخته‌اند. در این مطالعه روند متغیر نرخ ارز در دوره زمانی ذکر شده توسط سه روش رگرسیون، ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) پیش‌بینی شده است. ملاک ارزیابی مقادیر پیش‌بینی شده روند نرخ ارز یکسان‌سازی شده در این پژوهش، میانگین انحراف معیار (MSE)، ریشه میانگین انحراف معیار (RMSE) و نابرابری تایل (TIC) موید صحت این مطلب است که روش شبکه‌های عصبی از کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های رقیب برخوردار است زیرا مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر و از خطای اندازه‌گیری کمتری برخوردار است.

شاری و قارلقی^۲ (۲۰۱۱)، یک الگوی ترکیبی شامل ANN و ARIMA به منظور ارائه الگویی با پیش‌بینی دقیق‌تر نسبت به ARIMA مطرح کردند. این پژوهش برای نرخ ارز رینگیت مالزی به دلار ایالات متحده و با استفاده از شبکه عصبی پیش‌خور (FFNN)^۳ انجام شد. یافته‌های آنها نشان داد که معیار MSE و MAE در الگوی ارائه شده برای تمام افق‌های زمانی درمقایسه با الگوی ARIMA به‌صورت چشم‌گیری کاهش یافت.

سیوسیر^۴ (۲۰۱۲)، در مقاله‌ای به بررسی انواع مدل‌های پولی در کشور ترکیه به منظور پیش‌بینی نرخ لیره در برابر دلار پرداخته است. در این مطالعه ابتدا وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای لحاظ شده در مدل‌های پولی در نظر گرفته شده مورد بررسی قرار گرفته است و رابطه بلندمدت میان مدل پولی چسبندگی قیمت‌ها

¹ Nelly and Weller

² Shaari & gharlegghi

³ Feed Forward Neural Network

⁴ Civcir

با نرخ ارز تایید شده است. سپس با استفاده از روابط تعادلی بلندمدت و پویایی کوتاه مدت، سیستم معادلات همزمان ساخته شده است، در گام بعدی توانایی مدل‌های پولی در پیش‌بینی نرخ ارز بررسی شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مدل‌های پولی، با استفاده از مدل تصحیح خطا به‌طور معناداری بهتر از مدل گام تصادفی است.

خداویسی و ملا بهرامی (۱۳۹۱)، در پژوهشی به منظور مدلسازی و پیش‌بینی روند سری زمانی نرخ ارز در بازار رسمی ارز ایران، مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی حرکت برآونی ژئومتری و انتشار-پرش مرتن را به کار گرفته‌اند. به منظور بررسی عملکرد این مدل در پیش‌بینی خارج از نمونه نرخ ارز، مقایسه‌ای بین این مدل‌ها با مدل اقتصاد سنجی سری زمانی ARIMA انجام گرفته است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل ARIMA در پیش‌بینی داخل و خارج از نمونه نرخ ارز براساس معیار RMSE می‌باشند.

حسین زاده (۱۳۹۱)، به پیش‌بینی نرخ ارز بر اساس الگوهای ARIMA، ANN و الگوی ترکیبی ANN - ARIMA پرداخت. نتایج حاصل از مقایسه سه الگوی مذکور برای دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۷ نشان می‌دهد که در پیش‌بینی نرخ ارز (دلار در مقابل ریال)، روش ترکیبی عملکرد بهتری در مقایسه با الگوهای ARIMA و ANN دارد.

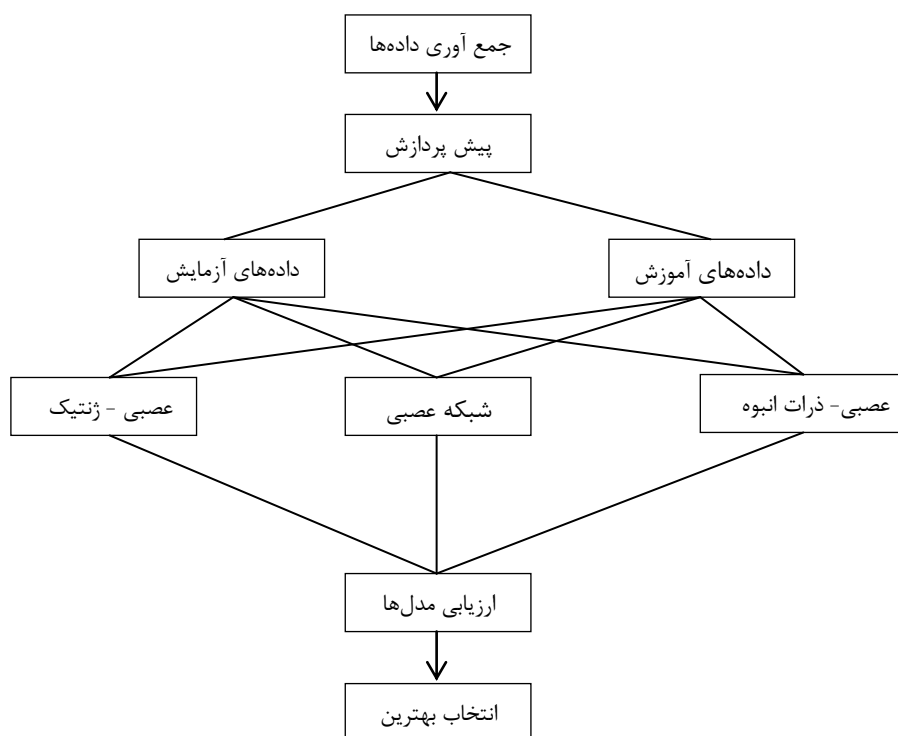
شریف مقدم و همکاران (۱۳۹۷)، در تحقیقی با عنوان پیش‌بینی نرخ ارز یورو با تکنیک شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی نرخ ارز یورو به دلار در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ با استفاده از شبکه‌های عصبی چند لایه پرداختند. در این تحقیق از مقادیر چهارتایی قیمت در روزهای گذشته به همراه ترکیبی از اندیکاتورهای معروف تکنیکال و روندهای گذشته به همراه اطلاعات تکنیکال دوره زمانی بالاتر به عنوان ورودی به شبکه عصبی تزریق گردید. جهت ارزیابی شبکه عصبی از روش‌های ارزیابی متداول در یادگیری ماشین استفاده گردید و سه معیار درستی، صحت و دقت بررسی گردید و نتایج بیانگر دقت قابل قبول (۷۳٪) مدل پیشنهادی می‌باشد.

مین و ویگو^۱ (۲۰۱۷)، در پژوهشی با عنوان بررسی مدل پیش‌بینی نرخ ارز بر اساس مدل شبکه عصبی و ARIMA، یک الگوی ترکیبی شامل شبکه عصبی مصنوعی و ARIMA به منظور ارائه مدلی با پیش‌بینی دقیق‌تر نسبت به ARIMA مطرح کردند. این مطالعه برای نرخ ارز یوهان چین و با استفاده از شبکه عصبی مبتنی بر الگوریتم پس انتشار خطا (BP) از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ انجام شد. یافته‌های آن‌ها بیانگر آن بود که خطای پیش‌بینی مدل ترکیبی در مقایسه با الگوی منفرد ARIMA و ANN کاهش یافت.

¹ Min and Weiguo

۴- روند انجام پژوهش و تکنیک‌های ترکیبی شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی در بسیاری از زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. با این وجود، دستیابی به نتایج مطلوب تنها زمانی ممکن بوده است که منبع غنی داده‌ها با مشاهدات فراوان در اختیار باشد و زمانی که با داده‌های اندک برای آموزش شبکه مواجه بوده ایم، کارایی بالایی نداشته که این نقص کاربردهای شبکه عصبی را به شدت محدود می‌کند. از این رو در این مطالعه به منظور غلبه بر مسائل فوق، به کمک الگوریتم انبوه ذرات و الگوریتم ژنتیک به آموزش شبکه عصبی پرداخته و سپس کارایی آنان با شبکه عصبی مقایسه شده و بهترین روش در پیش بینی نرخ ارز معرفی می‌شود. روند انجام پژوهش در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۷): روند انجام پژوهش

۵- مجموعه داده‌ها

در این پژوهش داده‌های مورد نیاز به منظور مقایسه مدل‌های مورد استفاده، شامل سری زمانی روزانه نرخ برابری دلار با ریال در بازه زمانی ۱۳۹۲/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۱۰/۰۱ بوده است که از پایگاه بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران اخذ شده و در مجموع ۲۴۶۷ مشاهده را در بر می‌گیرد. این داده‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند. نخست داده‌های مربوط به دوره ۱۳۹۳/۱/۵ تا ۱۳۹۷/۱/۵ برای آموزش و بخش دوم از ۱۳۹۷/۱/۶ تا ۱۴۰۱/۱۰/۲۹ برای آزمایش و مقایسه مدل شبکه عصبی پیشخور و مدل ترکیبی عصبی-ژنتیک و مدل ترکیبی عصبی-ذرات انبوه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (۱): تقسیم‌بندی داده‌ها به داده‌های آموزش و آزمون

سری زمانی	اندازه نمونه	اندازه مجموعه آموزش	اندازه مجموعه آزمایش
نرخ ارز (دلار در مقابل ریال)	۲۴۶۷	۷۰٪	۱۵٪

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۶- نتایج پژوهش

یکی از اهداف اصلی این پژوهش، بررسی کارایی و دقت مدل‌های ترکیبی در بالابردن توانایی شبکه عصبی است، لذا ساختار شبکه عصبی در سه مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های شبکه عصبی-ژنتیک و ترکیبی شبکه عصبی-ذرات انبوه یکسان می‌باشد. انواع مختلفی از شبکه‌های مصنوعی با توجه به اهداف تحقیق می‌توان استفاده کرد. در این مطالعه از شبکه عصبی پیشخور (MFNN)^۱ استفاده شده است. جدول (۲) چگونگی طراحی و مدل‌سازی نرخ ارز دلار را در شبکه عصبی نشان می‌دهد.

جدول (۲): طراحی و مدل‌سازی نرخ ارز دلار در شبکه عصبی مصنوعی

نوع شبکه عصبی	پیشخور چند لایه	الگوریتم آموزش شبکه عصبی	لونبرگ-مارکوات
تابع فعال‌سازی {لایه ی پنهان-لایه ی خروجی}	تانژانت ها پیرپولیک-خطی	شرط توقف فرایند آموزش	$eav \leq 1e^{-4}$
تعداد نرون ورودی {دلار}	۱	دوره ی زمانی آموزش LEVENBERG-MARQUARDT	۱۳۹۳/۱/۵-۱۳۹۱/۱/۵
تعداد نرون خروجی	۱	دوره ی زمانی آموزش LEVENBERG-MARQUARDT	۱۳۹۴/۱۲/۲۹-۱۳۹۳/۱/۶
معیار تعیین تعداد نرون های	MSE	نسبت داده های آموزش و	۷۰٪ به ۱۵٪

¹ Multilayered Feed forward Neural Network

مخفی	آزمایش	
تعداد لایه های پنهان	نرخ یادگیری	۰,۱
تعداد نرون های پنهان		۱۰

ماخذ: یافته های تحقیق

در این مطالعه از شبکه عصبی پیشخور چند لایه، دارای نرون در لایه پنهان و تابع فعالسازی تانژانت هایپرولیک برای لایه پنهان و تابع فعالسازی خطی^۱ برای لایه خروجی استفاده شده است. پس از تعیین تعداد وقفه های بهینه، برای انتخاب تعداد نرون لایه های پنهان شبکه، شبکه های مختلف با تعداد نرون های پنهان متفاوت طراحی شده و آموزش داده می شود. از میان این شبکه ها با توجه به معیار MSE شبکه بهینه انتخاب می گردد. یعنی شبکه با کمترین MSE که دارای ۱۰ نرون پنهان بود به کار گرفته می شود. دوره آموزش و آزمایش، شامل ۲۴۶۷ داده می باشد. تعداد داده های آموزش و آزمایش مدل به نسبت ۷۰٪ به ۱۵٪ تقسیم می گردد و از نرخ یادگیری ۰,۱ استفاده می شود. برای توقف فرایند آموزش از روش early stopping بهره گرفته می شود.

۷-ارزیابی مدل های پیش بینی

در این مرحله برای بررسی عملکرد مدل های پیش بینی نرخ ارز، نتایج مدل ترکیبی شبکه عصبی- ژنتیک و مدل ترکیبی شبکه عصبی- ذرات را با مدل شبکه عصبی مصنوعی مقایسه می کنیم. به منظور مقایسه قدرت پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی و مدل ترکیبی شبکه عصبی- ژنتیک از معیار های میانگین مربع خطا (MSE)، مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و آماره U تایل استفاده شده است.

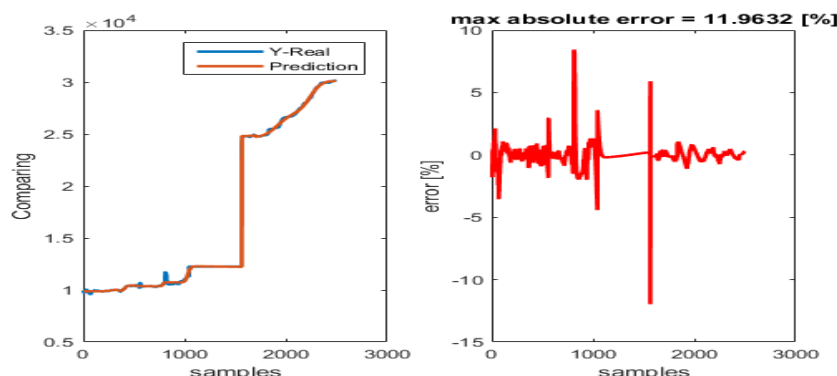
جدول (۳): مقایسه قدرت پیش بینی مدل شبکه عصبی و سایر مدل های ترکیبی

معیار	ANN	GA-ANN	PSO-ANN
MSE	$1/32 \times 10^4$	$1/24 \times 10^4$	$1/10 \times 10^4$
RMSE	$1/15 \times 10^2$	$1/11 \times 10^2$	$1/05 \times 10^2$
MAE	۶۵/۶۲	۶۲/۲۰	۶۲/۵۰
U.Theil	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۸

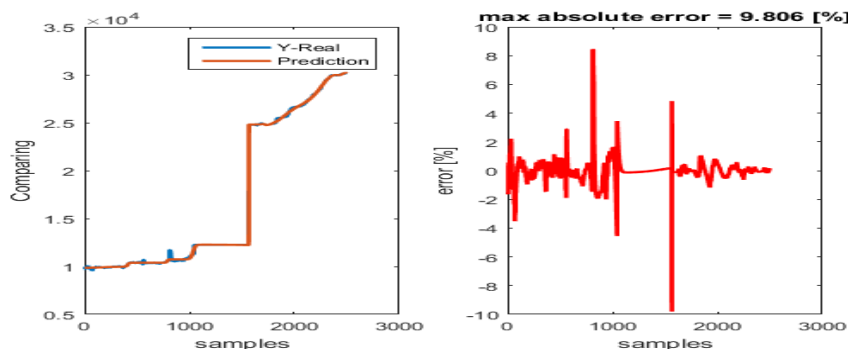
ماخذ: یافته های تحقیق

^۱ در ادبیات شبکه عصبی معمولاً منظور از یک تابع فعالسازی خطی استفاده از یک تابع خطی همانی است.

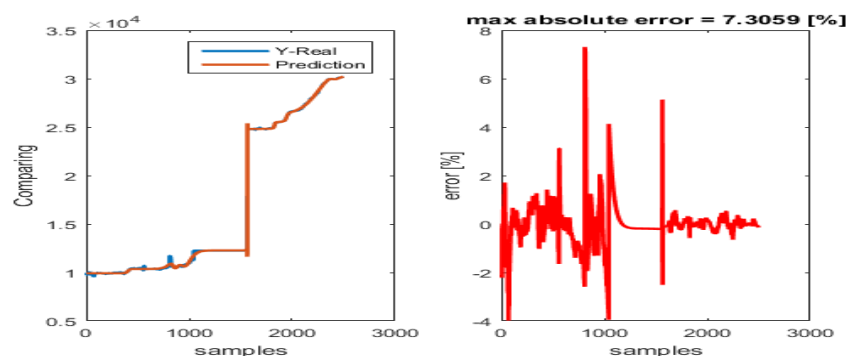
همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود مدل ترکیبی شبکه عصبی با الگوریتم ذرات انبوه از نظر تمامی معیار های ارزیابی عملکرد بر سایر روشهای رقیب برتری قابل توجهی دارد. بنابراین بر اساس نتایج بدست آمده مدل ترکیبی شبکه ی عصبی مبتنی بر الگوریتم ذرات انبوه دارای خطای کمتر و در نتیجه کارایی بیشتر در پیش بینی روز آتی نرخ های ارز برخوردار است. در ادامه برای ارزیابی دقت مدل های بکار گرفته شده در تحقیق، نرخ ارز برای دوره زمانی فروردین ۱۳۹۲ تا دی ماه ۱۳۹۸ پیش بینی می شود که نتایج آن در ذیل آمده است.



نمودار ۱: مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی



نمودار ۲: مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی توسط مدل GA-ANN

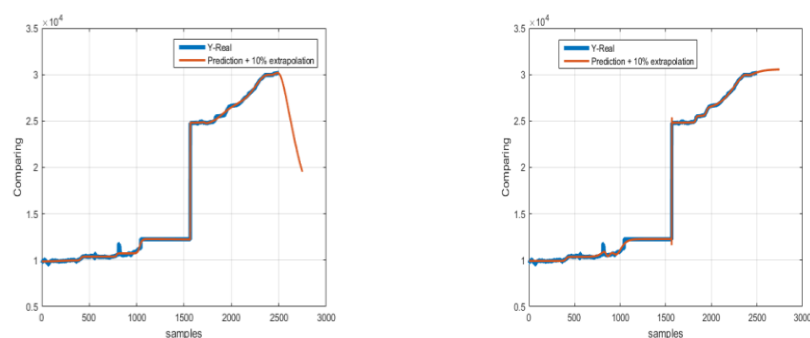


نمودار ۳: مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی توسط مدل PSO-ANN

مطابق با نمودار های فوق مدل ترکیبی شبکه عصبی-ذرات انبوه دارای خطای ۷/۵۰۳ می باشد که نسبت به دو مدل دیگر دارای خطای کمتری می باشد و این بیانگر برتری این مدل در پیش بینی نرخ ارز دلار می باشد و می توان نتیجه گرفت با آموزش داده ها توسط مدل ذرات انبوه می توان دقت شبکه عصبی را بهبود داد.

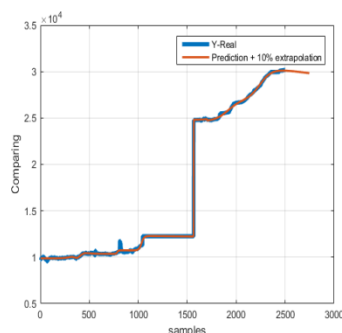
۸- پیش بینی خارج نمونه نرخ ارز با استفاده از مدل های پیشنهادی

پیش بینی ۱۰ درصد کل داده ها (۲۴۰ روز آتی) به صورت زیر می باشد که همانطور که طبق نمودار مشاهده می شود دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی - ذرات انبوه رفتار و پیش بینی منطق تری نسبت مدل شبکه عصبی-ژنتیک داشته و مدل شبکه عصبی مصنوعی یک روند افزایشی با شیب افزایشده و مدل ترکیبی عصبی- ذرات انبوه روند افزایشی با روند کاهنده برای نرخ ارز دلار را پیش بینی نموده است.



نمودار ۴: پیش‌بینی مدل ANN

نمودار ۵: پیش‌بینی مدل GA-ANN



نمودار ۶: پیش‌بینی مدل PSO-ANN

۹- نتیجه‌گیری

امروزه پیش‌بینی روند متغیرهای اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برای سیاست‌گذاران دولتی و خصوصی در تنظیم روابط و مناسبات اقتصادی برخوردار است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی کوتاه مدت و بلند مدت متغیرهای اقتصادی وجود دارد. در این میان در سالهای اخیر شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان رقیبی برای روش‌های سنتی آماری ظهور کرده است. در این مطالعه، مدلی نوین ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی نرخ ارز در ایران ارائه شده است. در طراحی شبکه، از شبکه عصبی پیشخور چند لایه، دارای نرون در لایه پنهان و تابع فعالسازی تانژانت هایپربولیک برای لایه پنهان و تابع فعالسازی خطی برای لایه خروجی استفاده شده است. پس از تعیین تعداد وقفه‌های بهینه، برای انتخاب تعداد نرون لایه‌های پنهان شبکه، شبکه‌های مختلف با تعداد نرون‌های پنهان متفاوت طراحی شده و آموزش داده می‌شود. از میان این شبکه‌ها با توجه به معیار MSE شبکه بهینه انتخاب می‌گردد. یعنی شبکه با کمترین MSE که دارای ۱۰ نرون پنهان بود به کار گرفته می‌شود. تعداد داده‌های آموزش و آزمایش مدل به نسبت ۷۰٪ به ۱۵٪ تقسیم گردید و از نرخ یادگیری ۰٫۱ استفاده شده است. برای توقف فرایند آموزش از روش early stopping بهره گرفته شد. در ادامه برای مقایسه مدل‌های بکار رفته در تحقیق از معیارهای خطا استفاده می‌شود. مقادیر این معیارهای خطا یعنی MSE، RMSE، MAE، U.Theil برای مدل ترکیبی شبکه عصبی مبتنی بر الگوریتم ذرات انبوه به ترتیب برابر با $1,10 \times 10^4$ ، $1,05 \times 10^2$ ، ۶۲،۵۰ و ۰٫۰۰۲۸ می‌باشد که بر اساس همه معیارهای ارزیابی مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی - ذرات انبوه که برای اولین بار در مطالعات داخلی برای پیش‌بینی نرخ ارز به کار گرفته شده نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی پیشخور که برتری نسبی نسبت به روش‌های خطی و متعارف اقتصادسنجی داشت از خطای کمتری برخوردار بود و پس از آن روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی - ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی پیشخور در رده‌های

بعدی با خطای کمتر قرار گرفتند. علاوه بر مقایسه پیش بینی روند نرخ ارز با استفاده از ۱۰ درصد کل داده ها برای ۲۴۷ روز آتی انجام شد که مطابق با آن دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی - ذرات انبوه رفتار و پیش بینی منطقی تری نسبت مدل شبکه عصبی-ژنتیک داشته و مدل شبکه عصبی مصنوعی یک روند افزایشی با شیب افزایشده و مدل ترکیبی عصبی - ذرات انبوه روند افزایشی با روند کاهنده برای نرخ ارز دلار را پیش بینی نموده است. لذا نتایج حاصله بیانگر آن است که آموزش داده های شبکه عصبی توسط الگوریتم ذرات انبوه خطای شبکه عصبی و در نتیجه دقت پیش بینی را بهبود می بخشد. با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهاد می شود از الگوریتم ارائه شده به منظور پیش بینی مطلوب تر و دقیق تر پیش بینی نرخ ارز استفاده شود. با توجه به قدرت بالای پیش بینی تکنیک پیشنهادی، مقایسه این تکنیک با دیگر روش ها در پیش بینی سایر متغیرهای اقتصادی در مطالعات آتی نیز دست کم می تواند شاهی بر کارایی آن باشد.

منابع

۱. انصاری، رضا (۱۳۸۵)، مدل سازی رفتار کوتاه مدت نرخ ارز با استفاده از روش های شبکه های عصبی با تاکید بر شاخص های تلاطم، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف.
۲. بافنده ایمان دوست، صادق، فهیمی فرد، سید محمد و سمیه شیرازی (۱۳۸۸)، "پیش بینی نرخ ارز با مدل های عصبی - فازی ANFIS، شبکه عصبی - خودرگرسیون NNARX و خودرگرسیون ARIMA در اقتصاد ایران (۱۳۸۷-۱۳۸۱)"، مجله دانش و توسعه، شماره ۲۸، ص ۱۹۲-۱۷۶.
۳. بیل، راسل و تئو جکسون (۱۳۸۰)، آشنایی با شبکه عصبی، ترجمه محمد البرزی، تهران، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
۴. خاشعی، مهدی و بیجاری، مهدی (۱۳۸۶)، به کارگیری مدل میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته فازی به منظور پیش بینی نرخ ارز، استقلال (ویژه نامه روش های عددی در مهندسی، سال ۲۶، شماره ۲، ص ۷۵-۷۶).
۵. خداویسی، حسن، وفاوند، علی (۱۳۹۲)، مقایسه پیش بینی نرخ ارز بر اساس مدل های غیرخطی STAR و مدل های رقیب، فصلنامه مدل سازی اقتصادی، سال هفتم، شماره ۳، ص ۸۵-۱۰۳.
۶. درگاهی، حسن، ۱۳۷۸، "پویایی نرخ ارز با تاکید بر نقش انتظارات و اطلاعات جدید"، چاپ دوم، موسسه تحقیقات پولی و بانکی.
۷. زراءنژاد، منصور، فقه مجیدی، علی و روح الله رضایی (۱۳۸۷)، "پیش بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه های مصنوعی و مدل ARIMA"، فصلنامه اقتصاد مقداری، شماره ۴، ص ۱۳۰-۱۰۷.
۸. سالواتوره، دومینیک (۱۳۸۷)، مالیه بین الملل، ترجمه حمید رضا ارباب، تهران، نشر نی.

۹. شریف مقدم، شفق و هاشمی، سید ذبیح الله (۱۳۹۷)، "پیش‌بینی نرخ ارز یورو با تکنیک شبکه عصبی مصنوعی"، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره سی و هفتم، ص ۴۱۳-۳۹۹.
۱۰. طیبی، سید کمیل، موحدنیا، ناصر و معصومه کاظمی (۱۳۸۷)، "به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی و مقایسه آن با روش‌های اقتصادسنجی: پیش‌بینی روند نرخ ارز در ایران"، مجله علمی پژوهشی شریف، شماره ۴۳، ص ۱۳۰-۱۰۷.
۱۱. عباسی نژاد، حسین و احمد محمدی (۱۳۸۶)، "پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه عصبی و تبدیل موجک"، نامه مفید، شماره ۶۰، ص ۱۹-۴۲.
۱۲. محمدی، احمد (۱۳۸۵)، پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه عصبی و تبدیل موجک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده اقتصاد.
۱۳. منهای، محمد باقر (۱۳۷۹)، هوش محاسباتی، مبانی شبکه عصبی، جلد اول، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۱۴. موسوی فرد، فاطمه (۱۹۹۳)، طراحی یک الگوی هوش محاسباتی ترکیبی برای پیش‌بینی نرخ ارز در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران.

1. Civcir, I. (2012), "The Monetary Models of the Turkish Lira/ Dollar Exchange Rate: Long-Run Relationships, Short-run Dynamics and Forecasting", Forthcoming in Eastern European Economics.
2. Dornbusch, R (1976), Expectation and Exchange Rate Dynamics. Journal of Political Economy 84, P 1161-1176.
3. Gen, M and cheng, R. 2007. Genetic Algorithm and Engineering Optimization, New York: Wiley- Inter science Publlication.
4. Gharleghi, B., Shaari, A. H. & M. D. Nor (2012), "Is Monetary Variable Determinant in the Ringgit- Dollar Exchange Rates Model?: A Co Integration Approach", Sains Malaysiana, Vol. 41, No. 9, P. 1163-1169.
5. Imam, T. 2012. Intelligent computing and Foreign Exchange rate prediction: What we know and we Do not progress in intelligent computing and Applications, 1, pp: 1-15
6. Kennedy, J., Eberhart, R.C., (1995). Particle Swarm Optimization. In Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Network IV.
7. Poli, R., Kennedy, j., Blackwell, T., (2007). Particle Swarm Optimization: an overview. Swarm Intell, 1: 33-57

8. Nelly, C.J. and Weller. 2002. "Predicting Exchange Rate Volatility: Genetic Programming versus GARCH and Risk Metrics", *The Federal Reserve Bank of St. Louis*, May/June, Volume 84, no.3. pp: 43-54.

9. Zhang, G, Patuwo, B.E. and Hu, M.Y(1997) " forecasting with artificial neural Networks: The state of the art" , neurocomputing, 56, p, 205-232.

The Modeling of Exchange Rate Predict in Iran by Using Neural Network Based on Genetic Algorithms and Particle Swarm Algorithm

Abstract

The use of artificial intelligence techniques in the financial and investment markets instead of customary quantitative methods has been increasing in recent years and gives better performance towards classic methods usually. Artificial Neural Network (ANN), has weaknesses points despite its enormous benefits also. In this study, in order to overcome the weaknesses of the network consists of combining artificial intelligence methods with Evolutionary algorithms, means of artificial neural network combined with genetic algorithm (GA) and Particle Swarm algorithm (PSO) to model and daily predict of nominal exchange rates or the exchange rate dollar by Rial in Iran in the period 21.03.2013 to 22.12.2022 is used. This combined model with neural networks method as one artificial intelligence model according to the criteria of MSE, RMSE, MAE, U.Theil compared. The results of this research show the superiority of synthetic neural network model -Particle Swarm algorithm compare to other models of investigation.

Keywords: Exchange Rate predict, Artificial neural networks, Genetic algorithms, Particle Swarm algorithm.

JEL classification: D51,C53