مقایسه دقت روش الگوریتم ژنتیک با روش‌های دیگر پیش‌بینی‌های نرخ ارز

شهرام فتاحی[1]
استادیار دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه رازی کرمانشاه
آرش احمدی[2]
استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه رازی کرمانشاه
علی اکرم میرزائی[3]
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۲۰
تاریخ تأیید: ۹۱/۰۵/۲۴

چکیده

کارشناسان اقتصادی و متخصصان بازارهای مالی همواره در پی یافتن روش‌هایی برای پیش‌بینی رفتار متغیرهای اقتصادی و مالی از جمله نرخ ارز بوده‌اند. مطالعات زیادی بر روی مدل‌های ساختاری و سری زمانی پیش‌بینی نرخ ارز انجام شده است. با این حال پیش‌بینی نرخ ارز همواره یک مسئله پیچیده بوده است و مدل‌سازی نرخ‌های ارز به چالشی در میان محققان حوزه مالیه بین‌الملل و متخصصان اقتصادسنجی تبدیل شده است. در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک یک الگوی ترکیبی شامل مدل‌های ساختاری و سری زمانی ارائه می‌شود. سپس عملکرد آن با مدل‌های ساختاری و سری زمانی منفرد و همچنین با روش‌های دیگر ترکیب مانند استفاده از میانگین مقایسه می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در میان روش‌های پیش‌بینی نرخ ارز، روش ترکیب مدل‌ها به وسیله الگوریتم ژنتیک دقت بالاتری دارد.

واژگان کلیدی: نرخ ارز، مدل ساختاری، مدل سری زمانی، ترکیب پیش‌بینی‌ها، الگوریتم ژنتیک
طبقه بندی موضوعی: C۵۳, F۳۱, F۳۷

مقدمه

بررسی تغییرات نرخ ارز، تحلیل و پیش‌بینی دقیق نرخ ارز دارای اهمیت بالایی است. نرخ ارز و سیستم مناسب ارزی یکی از محورهای اصلی سیاست‌های کلان اقتصادی محسوب می‌شود و نوسانات نرخ‌های ارز یکی از عمده‌ترین مسائل بخش بازرگانی خارجی هر کشوری می‌باشد. توانایی در پیش‌بینی نرخ‌های ارز می‌تواند ریسک ناشی از نوسانات نرخ های ارز را کاهش دهد. اما پیش‌بینی نرخ ارز همواره یک مسئله پیچیده بوده است. پیش‌بینی نرخ ارز دارای دو رویکرد است، اولین رویکرد، رویکرد بنیادی (ساختاری) است که نرخ ارز را بر اساس دیگر متغیرهای اقتصادی

«نویسنده مسئول»
۱. Email: sfattahi@razi.ac.ir
۲. Email: aahmadi@razi.ac.ir
۳. Email: ali.mirzaee۸۸@gmail.com

پیش‌بینی می‌کند و دوم رویکرد سری زمانی، تک متغیره یا تکنیکال است که فقط از رفتار گذشته نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن استفاده می‌کند. پیش‌بینی‌های بر اساس اصول اقتصادی و همچنین پیش‌بینی‌های بر اساس مدل‌های سری زمانی هر کدام دارای ضعف‌هایی هستند که موفقیت آن‌ها را در فرآیند پیش‌بینی تا حد زیادی کاهش می‌دهد. از یک طرف مدل‌های ساختاری به دلیل مجرد بودن از بسیاری دیگر از منابع تأثیرگذار بر روی نوسانات نرخ ارز یک برازش آماری نسبتاً پایین را فراهم می‌کنند و از طرف دیگر مدل‌های سری‌های زمانی بدون توجه به نظریات اقتصادی به مدل‌سازی نرخ ارز می‌پردازند (Brandel et al, ۲۰۰۹: ۷۸۰). از این رو با ترکیب این مدل‌ها، می‌توان از منافع مدل‌های مختلف ساختاری و سری زمانی به طور همزمان بهره برد.

ترکیب پیش‌بینی‌ها بارها در مطالعات تجربی به کار گرفته شده است تا پیش‌بینی‌هایی بهتر نسبت به مدل‌های پیش‌بینی منفرد تولید کند. در مواجهه با پیش‌بینی‌های مختلف از یک متغیر، مسئله‌ای که بلافاصله مطرح می‌شود این است که چگونه در پیش‌بینی‌های منفرد به بهترین شکل می‌توان از اطلاعات استفاده کرد. حتی اگر بتوان بهترین مدل را در هر نقطه از زمان تعیین کرد، به واسطه مزایای گوناگونی که ترکیب پیش‌بینی‌ها دارد، ترکیب پیش‌بینی‌ها هنوز هم می‌تواند یک استراتژی جذاب باشد، هر چند موفقیت این رویکرد وابسته به چگونگی تعیین وزن‌های ترکیب است (Smith & Wallis, ۲۰۰۹: ۳۳۲). بر اساس این اظهار نظر، در اینجا این فرضیه‌ها مطرح می‌شود که آیا ترکیب پیش‌بینی‌ها، دقت پیش‌بینی‌ها را بالا می‌برد؟ آیا مدل ترکیبی با استفاده روش‌های تکاملی (الگوریتم ژنتیک) عملکرد بهتری نسبت به دیگر مدل‌های ترکیب و مدل‌های منفرد دارد؟

در این مقاله در بخش دوم به بررسی مدل‌های مختلف پیش‌بینی نرخ ارز از جمله مدل‌های ساختاری و مدل‌های سری زمانی پرداخته شده است. در بخش سوم در مورد ترکیب پیش‌بینی‌ها، دلایل ترکیب و استراتژی‌های ترکیب بحث می‌شود. بخش چهارم به مبانی نظری الگوریتم ژنتیک اختصاص دارد. در بخش پنجم، مطالعات انجام شده در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز به وسیله روش الگوریتم ژنتیک آورده شده است. در بخش ششم مدل‌ها برآورد گشته و اعتبار آن‌ها آزمون می‌شود. در بخش هفتم مدل‌ها با استفاده از روش‌های مختلف ترکیب می‌شوند و در بخش آخر نیز در مورد نتایج بحث می‌شود.

۱-مدل های پیش‌بینی نرخ ارز

الگوهای توضیح‌دهنده نرخ ارز را می‌توان در سه قالب کلی دسته‌بندی کرد. دسته اول روش‌هایی هستند که برای تحلیل تراز پرداخت‌ها و نرخ ارز، بر روی حساب جاری متمرکز می‌شوند. از جمله روش‌های حساب جاری، می‌توان به نظریه برابری قدرت خرید، روش کشش‌ها و روش جذب اشاره کرد. دسته دوم روش‌هایی هستند که به جریان‌های سرمایه و قسمت حساب سرمایه تراز پرداخت‌ها

اهمیت می‌دهند. مدل ماندل – فلمینگ و مدل‌های پولی با قیمت‌های انعطاف‌پذیر و چسبنده در این دسته قرار می‌گیرند. اما در دسته سوم روش‌هایی قرار می‌گیرند که به تراز پرداخت‌ها و نرخ ارز، نگرش بازار دارایی دارند. مدل تراز سبد دارایی نمونه‌ای از مدل‌های این دسته است.

۱-۱-مدل‌های ساختاری

۱-۱-۱-مدل برابری قدرت خرید

نظریه برابری قدرت خرید، یک روش ساده تخمین نرخ ارز تعادلی در وضعیت عدم تعادل تراز پرداخت‌های یک کشور است. برابری قدرت خرید بیان می‌کند که قیمت کالا در یک کشور باید با قیمت همان کالا در کشور دیگر برابر و قابل تبدیل با نرخ جاری باشد و به این ترتیب، این نظریه بیانگر قانون یکسان بودن قیمت در دو کشور است. نظریه برابری قدرت خرید برای تفسیر و تعیین نرخ مبادله ارز، بر دوره بلندمدت تغییرات قیمت ارز تأکید می‌کند و به دو صورت شرح داده می‌شود: مفهوم مطلق و مفهوم نسبی برابری قدرت خرید.

۱-۱-۱-۱-مدل برابری قدرت خرید مطلق (APPP)

روایت مطلق از برابری قدرت خرید فرض می‌کند نرخ مبادله ارز بین دو کشور نسبتی از سطح عمومی قیمت‌ها در آن دو کشور است. فرم تبعی این مدل از مقاله (Cheung, ۲۰۰۵: ۱۱۵۶) به این ترتیب اقتباس شده است.

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1(P_t / P_t^*) + U_t$$

که در آن ER_t نرخ ارز، P_t سطح قیمت کشور داخلی، $P_t^{\times}$ سطح قیمت کشور خارجی و U_t نشان‌دهنده جمله اخلال می‌باشد.

۱-۱-۱-۲-مدل برابری قدرت خرید نسبی (RPPP)

بر طبق این تئوری، تغییرات نرخ ارز برابر با اختلاف تورم داخل و خارج است، به طوری که با گذشت زمان قدرت خرید پول دچار تغییر نمی‌شود (درگاهی و انصاری،۱۳۸۷: ۳). معادله مدل برابری قدرت خرید نسبی برای تخمین و پیش‌بینی به صورت زیر تصریح می‌شود (Mark, ۱۹۹۰: ۱۲۰) :

$$\Delta ER_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta(P_t / P_t^*) + U_t$$

در این معادله ΔER_t بیانگر تغییرات نرخ ارز اسمی، P_t سطح قیمت کشور داخلی، $P_t^{\times}$ سطح قیمت کشور خارجی است.

۱-۱-۲-مدل ماندل - فلمینگ (MFM)

این مدل بر اساس نظریات ماندل[۱] (۱۹۶۸) و فلمینگ[۱] (۱۹۶۲) در دهه ۱۹۶۰ مطرح گشت

۱. Mundell

(درگاهی،۱۳۷۸: ۳). در سال‌های دهه شصت کشورهای صنعتی اقدام به آزادسازی جریان سرمایه در اقتصاد کشورهای خود نمودند و در مدت زمان کوتاهی مشخص گردید که حساب سرمایه تراز پرداخت‌ها نیز از اهمیت بالایی در تحلیل تراز پرداخت‌ها برخوردار است. نظریه برابری قدرت خرید، روش کشش‌ها و روش جذب اگر چه به نوبه خود تحلیلی منطقی از حساب جاری تراز پرداخت‌ها به دست می‌دهند، اما در قالب این روش‌ها هیچ‌گونه تحلیلی در زمینه حساب سرمایه تراز پرداخت‌ها ارائه نمی شود.

این مدل بر این اساس استوار است که مازاد تقاضای خالص برای ارز همان میزان مازاد تراز پرداخت‌ها است که تحت شرایط تعادل و نرخ ارز شناور این مقدار (مازاد تراز پرداخت‌ها) باید مساوی با صفر شود. تقاضا برای ارز همان تقاضای افراد داخلی برای پول خارجی است که خواهان خرید کالا و سرمایه از افراد خارجی می‌باشند. از طرف دیگر، عرضه ارز در واقع تقاضای افراد خارجی برای پول داخلی است که برای خرید کالا و سرمایه از افراد داخلی ایجاد می‌شود. عرضه و تقاضای ارز هر دو به عنوان مقادیر جریان هستند که بر حسب واحد ارز در یک زمان اندازه‌گیری می‌شوند. مطالعات انجام شده در زمینه این مدل نشان می‌دهند که تأثیرگذارترین عوامل بر روی نرخ ارز تولید ناخالص داخلی، عرضه پول، مخارج دولت، نرخ بهره حقیقی داخلی و درآمدهای مالیاتی می‌باشد. با این توضیحات مدل ماندل –فلمینگ به این صورت تصریح می‌شود (Eichenbaum, ۱۹۹۵: ۹۸۰):

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 GDP_t + \beta_2 G_t + B_3 i_t + \beta_4 TAX_t + \beta_5 M_t + U_t$$

ER_t نشان‌دهنده نرخ ارز اسمی، GDP_t تولید ناخالص داخلی، G_t مخارج دولت، i_t نرخ بهره حقیقی داخلی، TAX_t درآمد مالیاتی داخلی، M_t عرضه پول داخلی و U_t جمله اخلال است.

۱-۱-۳- مدل پولی (MM)

تحت نظام نرخ ارز انعطاف‌پذیر، عدم تعادل تراز پرداخت‌ها با تغییرات خودکار نرخ ارز و بدون انتقال پول یا ذخایر خارجی سریعاً تعدیل می‌شود. بنابراین با وجود نظام نرخ ارز انعطاف‌پذیر، کشور تسلط خود را بر کنترل عرضه پول و سیاست پولی حفظ می‌کند. به عنوان مثال در وضعیت کسری تراز پرداخت‌ها (که به علت مازاد عرضه پول به وجود آمده است)، کاهش خودکار ارزش پول کشور، موجب افزایش قیمت و افزایش تقاضای پول می‌شود و لذا مازاد عرضه پول جذب می‌گردد و کسری تراز پرداخت‌ها کاملاً از بین می‌رود (سالواتوره،۱۳۷۹: ۲۲۱).

---

۱. Fleming

بنابراین ارزش واقعی پول یک کشور بر حسب پول سایر کشورها توسط نرخ رشد عرضه پول و درآمد حقیقی آن کشور نسبت به سایر کشورها تعیین می‌شود. این رویکرد در مورد عرضه و تقاضای پول در هر کشور دو فرض را بیان می‌کند:

۱- میزان تقاضای ارز (پول) به درآمد واقعی، سطح عمومی قیمت‌ها و نرخ بهره بستگی دارد.

۲- میزان عرضهٔ ارز (پول) به وسیلهٔ بانک مرکزی و به طور مستقل مشخص می‌شود.

هر چه نرخ بهره بالاتر رود، هزینهٔ فرصت نگهداری پول افزایش می‌یابد، بنابراین مردم تمایل کمتری به نگهداری پول نقد دارند و در نتیجه تقاضا برای مانده حقیقی پول کاهش می‌یابد. از طرف دیگر رشد سطح عمومی قیمت‌ها وافزایش درآمد واقعی، تقاضا برای پول را افزایش خواهد داد. افزایش عرضهٔ پول توسط بانک مرکزی نیز با فرض تعادل در نرخ بهره منجر به افزایش سطح عمومی قیمت‌ها می‌شود و در نتیجه ارزش ارز کاهش می‌یابد. انتقاد به این رویکرد از آنجا ناشی می‌شود که نقش مبادلات بازرگانی و تجارت بین‌المللی حذف شده است. حال آنکه تجارت بین‌الملل یکی از مؤلفه‌های مهم اقتصاد است و نمی‌توان اثر آن را در بلندمدت نادیده انگاشت. این نظریه نیز در دو حالت مدل‌های پولی با قیمت انعطاف‌پذیر و یا چسبنده بررسی می‌شود. مدل‌های پولی با فرض قیمت انعطاف‌پذیر، برابری قدرت خرید را به طور پیوسته برقرار فرض می‌کنند.

۱-۱-۳-۱-الگوی پولی نرخ ارز با قیمت‌های انعطاف پذیر (FPMM)

مدل پولی با قیمت‌های انعطاف‌پذیر در دهه ۷۰ میلادی بسیار مورد استفاده واقع می‌شد. در این مدل فرض می‌شود برابری عرضه و تقاضای پول، تعیین‌کننده سطح قیمت‌ها در هر کشوری است. به علاوه فرض می‌کند قیمت‌های نسبی در هر کشوری از طریق نظریه برابری قدرت خرید با نرخ‌های ارز رابطه دارد. بر اساس مورا و لیما[1] (۲۰۰۷) معادله اقتصادسنجی الگوی پولی نرخ ارز با قیمت‌های متغیر به صورت زیر است:

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1(M_t - M_t^*) + \beta_2(GDP_t - GDP_t^*) + \beta_3(i_t - i_t^*) + U_t$$

که ER_t نرخ ارز اسمی، M_t عرضه پول داخلی، M_t^* عرضه پول خارجی، GDP_t تولید ناخالص داخلی، GDP_t^* درآمد اقتصاد خارجی، i_t سطح نرخ بهره حقیقی داخلی و i_t^* سطح نرخ بهره حقیقی خارجی را نشان می‌دهد.

۱-۱-۳-۲-الگوی پولی تعیین نرخ ارز با قیمت‌های چسبنده (SPMM)

دومین نسل الگوهای پولی تعیین نرخ ارز براساس مطالعات در نبوش شکل گرفت.

---

۱. Moura & Lima

Dornbusch (۱۹۷۶) ایده چسبندگی قیمت‌ها در کوتاه‌مدت را برای مدل‌های نرخ ارز مطرح کرد (Moura & Lima, ۲۰۰۷: ۳). این الگو امکان می‌دهد که نرخ ارز اسمی و حقیقی و نرخ بهره نسبت به سطح تعادلی بلندمدت خود (PPP) افزایش و یا کاهش سریع یافته، در حالی که سایر متغیرها مانند سطح قیمت کالاها تغییرات کند و تدریجی داشته باشند. از جمله فروض مختلف برای این الگو می‌توان به فرض انتظارات عقلایی، فرض رشد پول و تورم اشاره کرد. شکل رگرسیونی این الگو را می‌توان به صورت زیر توصیف کرد (Lam, ۲۰۰۸: ۶):

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1(M_t - M_t^*) + \beta_2(GDP_t - GDP_t^*) + \beta_3(i_t - i_t^*) + \beta_4(P_t - P_t^*) + U_t$$

در این رابطه ER_t نشان‌دهنده نرخ ارز اسمی است و M_t عرضه پول داخلی، M_t^* عرضه پول خارجی، GDP_t تولید ناخالص داخلی، GDP_t^* درآمد اقتصاد خارجی، i_t سطح نرخ بهره حقیقی داخلی و i_t^* سطح نرخ بهره حقیقی خارجی را نشان می‌دهد. همچنین P_t سطح تورم داخلی و P_t^* نشان‌دهنده سطح تورم در کشور خارجی است.

۱-۱-۴-الگوی تراز سبد دارایی (PBM)

رویکرد پولی بیشتر بر تقاضا و عرضه پول داخلی تأکید دارد. این نظریه هیچ نقشی برای دیگر دارایی‌ها قائل نیست و تقاضا برای دارایی‌های خارجی به جای پول داخلی به هیچ‌وجه در رهیافت پولی در نظر گرفته نشده است. این کمبود توسط رویکرد بازار دارایی رفع شده است. در این الگو مازاد (کسری) حساب جاری نشان‌دهنده افزایش (کاهش) میزان خالص موجودی دارایی‌های خارجی است که بر سطح دارایی کل تأثیر می‌گذارد. با توجه به این نکته می‌توان گفت که الگوی تراز سبد دارایی (PBM) یک الگوی پویای تعدیل نرخ ارز است به طوری که بازارهای سرمایه، حساب جاری، سطح قیمت‌ها و نرخ انباشت دارایی را شامل می‌شود. در این الگو غیر از پول، بر دارایی‌های دیگری نظیر اوراق قرضه داخلی و خارجی نیز تأکید می‌شود. این رویکرد بیان می‌کند که تقاضای ارز به وسیله تقاضا برای دارایی‌های مالی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و نه به خودی خود توسط تقاضای ارز. رویکرد تراز سبد دارایی بر این نکته تأکید دارد که تعیین نرخ مبادله ارز در نتیجه تعادل دارایی‌های مالی به دست می‌آید و برخلاف رویکرد پولی، نقش تجارت بین‌الملل و مبادلات بازرگانی در نظر گرفته می‌شود. معادله الگوی تراز سبد دارایی در تعیین نرخ ارز دو کشوری را می‌توان به صورت زیر نوشت (Bisingnano, ۱۹۸۲: ۲۲):

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 M_t + \beta_2 M_t^* + \beta_3 NFA_t + \beta_4 NFA_t^* + U_t$$

که در این رابطه ER_t نشان‌دهنده نرخ ارز اسمی، M_t عرضه پول داخلی، M^*_t عرضه پول خارجی، NFA_t خالص موجودی دارایی‌های کشور داخلی، NFA_t^* خالص موجودی دارایی خارجی برای کشور خارجی می‌باشد.

۱-۲-مدل‌های تکنیکال (Technical Model)

در برابر مدل‌های بنیادی تحلیل نرخ ارز، مدل‌های سری زمانی (تکنیکال) قرار دارند. این مدل‌ها برخلاف مدل‌های بنیادی به دنبال یافتن روابط علی بین نرخ ارز و سایر متغیرهای کلان اقتصادی نیستند. تحلیل تکنیکال بر اساس رفتار گذشته متغیرها استوار است. اقبال به تحلیل تکنیکال به علت ناتوانی مدل‌های بنیادی درتعیین رفتار نرخ ارز بوده است. تحلیل تکنیکال بر این فرض استوار است که نرخ ارز یک متغیر تصادفی نیست، بلکه از الگوهای تکرار شونده و قابل تشخیص پیروی می‌کند. بر اساس اصول این نوع تحلیل سری زمانی نرخ ارز نشان‌دهنده همه اطلاعاتی است که بر اساس آن تصمیمات عرضه و تقاضا گرفته می‌شود. این اطلاعات شامل متغیرهای بنیادی اقتصادی و نیز سایر متغیرهای غیرقابل کمی سازی، همچون انتظارات و عوامل روانی است. مدل‌های سری‌های زمانی یک متغیره دربردارنده مقادیر گذشته آن متغیر و جملات خطا است. فرم عمومی این مدل‌ها عبارت است از:

$$x_1 = f(x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3}, \ldots, x_{t-k}, u_t)$$

مدل‌های ARMA دسته‌ای از مهم‌ترین الگوهای سری زمانی هستند که با نام دو محقق باکس و جنکینز شناخته می‌شوند. این مدل‌ها در مواردی به کار برده می‌شوند که مدل‌های ساختاری عملکرد نامناسبی نداشته باشند. به عنوان مثال مدل‌های ساختاری در دوره‌های کوتاه‌مدت قدرت پیش‌بینی out-of-sample کمتری دارند و استفاده از این مدل‌ها می‌تواند مفید واقع شود.

۱-۲-۱-روش اتورگرسیو میانگین متحرک (ARMA)

پس از انتشار مطالعات باکس و جنکینز[۱] در ۱۹۷۰، تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی مترادف با روش‌هایی شناخته می‌شود که از سوی این دو مؤلف در رابطه با پیش‌بینی مطرح شده است. در این روش‌ها، پیش‌بینی با استفاده از متغیرهای توضیحی که در واقع بازگوکننده رفتار گذشته آن‌هاست، انجام می‌گیرد. روش‌های باکس - جنکینز جهت تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی از

۱. Box & Jenkins

روش‌های برون‌یابی قوی به شمار می‌آیند. بنابراین، اگر قصد پیش‌بینی رفتار متغیر X را داشته باشیم، ابتدا لازم است با طی مراحل لازم حالت مانای متغیر مزبور به دست آورده شود تا بدین ترتیب از مستقل بودن ویژگی‌های تصادفی آن از عامل زمان اطمینان حاصل شود. سپس از بین الگوهای با وقفه‌های مختلف، الگو مناسب انتخاب می‌شود. در مرحله بعد پارامترهای الگو برآورد می‌شود. برآورد پارامترها معمولاً با استفاده از روش کمترین مجذورات و به عنوان تقریبی برای برآوردکننده ماکسیمم درست‌نمایی انجام می‌شود. آنگاه به کمک مجموعه‌ای از آزمون‌ها از درستی مدل‌ها اطمینان حاصل می‌شود. در این مرحله کفایت و مناسب بودن الگو مورد آزمون قرار می‌گیرد و ممکن است باعث تجدیدنظر در الگو و تبیین مجدد آن شود.

برآورد مدل‌های خودرگرسیون میانگین متحرک، شامل سه مرحله تشخیص، تخمین و کنترل است. در این قسمت مدل‌های ARMA با پنج وقفه برای هر کدام از جملات AR و MA در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر، ترکیب‌های مختلف AR(۱)، AR(۲)، ... AR(۵) و MA(۱)، MA(۲)، ... MA(۵) برآورد شده و با مقایسه معیار اطلاعاتی شوارتز - بیزین مدل‌ها با هم، مدلی که دارای کمترین معیار جریمه شوارتز - بیزین است انتخاب شد.

۲-ترکیب پیش‌بینی‌ها

ترکیب پیش‌بینی‌ها بارها در مطالعات تجربی به کار گرفته شده است تا پیش‌بینی‌های بهتر از مدل‌های پیش‌بینی منفرد تولید کند. در مورد تفاوت در روش‌های مدل‌سازی، دو پیش‌بینی‌کننده بسته به فروض مدل ممکن است به دو نتیجه کاملاً متفاوت دست یابند. این ایده که ترکیب پیش‌بینی‌های مختلف از یک پدیده می‌تواند نتایج ارزشمندی در پی داشته باشد از زمان انتشار مقاله پیش‌رو و پایه‌ای (Bates & Granger, ۱۹۶۹) مقبولیت گسترده‌ای یافت. بیست سال بعد (Clemen, ۱۹۸۹) در یک بازنگری، بیش از ۲۰۰ مورد مقاله با عنوان ترکیب پیش‌بینی‌ها را بررسی می‌کند و می‌نویسد: «نتایج واقعاً هم رأی بوده‌اند: ترکیب پیش‌بینی‌های مختلف منجر به افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود. در بسیاری از موارد می‌توان عملکرد را با میانگین‌گیری ساده از پیش‌بینی‌ها بهبود بخشید»(Smith & Wallis, ۲۰۰۹: ۳۳۱).

۲-۱-دلایل ترکیب پیش‌بینی‌ها

با بررسی تحقیقات انجام گرفته چهار دلیل عمده را برای ترکیب پیش‌بینی‌ها ذکر شده است. اولین دلیل برای استفاده از ترکیب پیش‌بینی‌ها، استدلال ساده تنوع سبد پیش‌بینی است که ایده ترکیب پیش‌بینی‌ها را القاء می‌کند (Timmermann, ۲۰۰۶: ۱۳۸). دلیل دوم برای استفاده از ترکیب‌های پیش‌بینی این است که پیش‌بینی‌های فردی ممکن است به طور متفاوتی تحت تأثیر

شکست‌های ساختاری ایجاد شده مانند تغییرات نهادی یا توسعه تکنولوژیکی قرار بگیرند بعضی مدل‌ها ممکن است به سرعت و به صورت موقت تحت تأثیر شکست‌های ساختاری قرار بگیرند، در حالی که بعضی دیگر ممکن است دارای پارامترهایی باشند که به تدریج نسبت به داده‌های جدید تعدیل شوند (Timmermann, ۲۰۰۶: ۱۳۸). سومین و مهم‌ترین دلیل برای ترکیب پیش‌بینی‌ها این است که با نظر به مدل‌های پیش‌بینی به عنوان تقریب‌های محلی، غیرممکن است که یک مدل در تمام نقاط زمان بر تمام مدل‌های دیگر غلبه کند. بهترین مدل ممکن است در طول زمان تغییر کند به طوری که به سختی بتواند عملکرد پیش‌بینی گذشته را دنبال کند. ترکیب پیش‌بینی‌های مدل‌های مختلف را می‌توان به عنوان راهی برای ساختن پیش‌بینی مقاوم‌تر در برابر چنین اریب‌های تصریح مدل اشتباه و خطاهای اندازه‌گیری در مجموعه داده‌های پیش‌بینی منفرد در نظر گرفت (Makridakis, ۱۹۸۹: ۶۰۲). چهارمین استدلال برای ترکیب پیش‌بینی‌ها این است که هر کدام از پیش‌بینی‌ها ممکن است براساس تابع زیان، با سایرین متفاوت باشد. این استدلال حتی در صورتی که پیش‌بینی‌کننده‌ها از مجموعه اطلاعات مشابهی استفاده کنند برقرار می‌باشد. در این حالت ممکن است توزیع خطای پیش‌بینی، چولگی مثبت یا چولگی منفی داشته باشد (Timmermann, ۲۰۰۶: ۱۴۰).

۲-۲-دلایل عدم استفاده از ترکیب

در مخالفت با ترکیب پیش‌بینی نیز استدلال‌های زیادی می‌توان برشمرد. اولین استدلال بیانگر این مطلب است که خطاهای تخمین وزن‌های ترکیب را می‌آلاید و این مسئله به عنوان یک مشکل جدی برای بسیاری از تکنیک‌های ترکیب مطرح است مخصوصاً هنگامی که اندازه نمونه نسبت به تعداد پیش‌بینی‌ها کوچک‌تر است (Diebold & Pauly, ۱۹۹۰: ۵۰۵). دومین استدلال نامانایی داده‌ها است. اگرچه نامانایی در فرآیند تولید داده‌ها می‌تواند یک استدلال برای استفاده از ترکیب باشد، این امر همچنین می‌تواند منجر به بی‌ثباتی در وزن‌های ترکیب و ایجاد مشکلاتی در عملکرد صحیح مدل ترکیبی شود (Diebold & Pauly, ۱۹۸۷: ۲۹). بین مشکلات ترکیب پیش‌بینی و مشکلات معمول در ساختن یک مدل اقتصادسنجی منفرد وجه تشابه‌های زیادی وجود دارد. در هر دو مورد متغیرهای پیش‌بینی منفرد باید از بین مجموعه بزرگی از متغیرهای بالقوه انتخاب شوند. همچنین در هر دو مورد شکل تبعی مدل و روش تخمین مدل نیز باید انتخاب شود.

با توجه به مطالب پیش گفته، سؤالات زیر مطرح می‌شوند:

۱- با وجود پیش‌بینی‌های مختلف از یک متغیر آیا پیش‌بینی‌ها را باید ترکیب نمود یا اینکه باید تلاش کرد تا بهترین مدل پیش‌بینی منفرد را شناسایی کرد؟

۲- در صورت قابل مشاهده بودن مجموعه اطلاعات به کار برده شده در پیش‌بینی‌های فردی،

آیا ترکیب پیش‌بینی‌ها هنوز هم قابل توجیه است؟

محققان بیان می‌کنند که هنگامی که استفاده‌کنندگان از پیش‌بینی برای ساختن مدل پیش‌بینی منفرد به مجموعه کامل اطلاعات دسترسی دارند، ترکیب آن پیش‌بینی‌های منفرد کمتر توصیه می‌شود (Timmermann, ۲۰۰۶: ۱۴۰). در اینجا نکته مهم، تمایز قائل شدن بین قابل مشاهده یا غیرقابل مشاهده بودن مجموعه اطلاعات به کار برده شده در پیش‌بینی‌های فردی برای استفاده‌کننده است. هنگامی که مجموعه اطلاعات غیرقابل مشاهده باشند اغلب ترکیب پیش‌بینی‌هاتوجیه می‌شود. اما نکته قابل بحث در اینجا این است که همواره یافتن یک مدل منفرد برتر امکان‌پذیر نیست. به عنوان مثال یافتن یک مدل برتر در مواردی که فضای مدل دارای ابعاد بیشتری باشد و سری زمانی کوتاه باشد به نسبت مشکل‌تر می‌شود.

۳-مبانی نظری الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌سازی و جستجو است. الگوریتم ژنتیک جزیی از محاسبات تکاملی است که خود جزیی از هوش مصنوعی می‌باشد. ویژگی‌های خاص این الگوریتم باعث می‌شود که نتوانیم آن را یک جستجوگر تصادفی ساده قلمداد کنیم. ایده اولیه این روش از نظریه تکاملی داروین الهام گرفته شده است و کارکرد آن بر اساس ژنتیک طبیعی و قوانین وراثت استوار می‌باشد. ایده محاسبات تکاملی اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط رچنبرگ که در زمینه استراتژی‌های تکاملی تحقیق می‌کرد به وجود آمد و بعدها این نظریه توسط دیگر محققان توسعه داده شد. اولین بار جان هالند[۱] مشاهدات علم ژنتیک را به صورت فرمول‌بندی ریاضی و منطق ژنتیک در کتاب خود تحت عنوان «*انطباق در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی*» آورد و شرح داد که در سیستم‌های طبیعی چگونه انتخاب‌ها صورت می‌گیرد. در سال ۱۹۹۲، جان کوزا از الگوریتم ژنتیک برای حل و بهینه‌سازی مسائل مهندسی پیشرفته استفاده کرد و توانست برای اولین بار روند الگوریتم ژنتیک را به زبان کامپیوتر درآورد و برای آن یک زبان برنامه‌نویسی ابداع کند.

۳-۱-کلیات الگوریتم ژنتیک

مدل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تحقیق به عناصر زیر نیازمند هستند.

۳-۱-۱- جمعیت اولیه

الگوریتم‌های ژنتیک بر اساس تئوری تکاملی داروین شکل گرفته و جواب مسئله‌ای که از طریق

---

۱. John Holland

الگوریتم ژنتیک حل می‌شود به طور مرتب بهبود می‌یابد. الگوریتم ژنتیک با یک مجموعه از جواب‌ها که از طریق کروموزوم‌ها نشان داده می‌شوند شروع می‌شود. این مجموعه جواب‌ها جمعیت اولیه نام دارند (رضایی و رنجبران،۱۳۸۶: ۱۳). در این الگوریتم جواب‌های حاصل از یک جمعیت جدید برای تولید جمعیت بعدی استفاده می‌شوند. بنابراین جمعیت اولیه یک مجموعه اولیه از اعضاء (کروموزوم‌ها) است که معمولاً به صورت رشته‌هایی از ژن‌ها کد می‌شوند و هر کدام تقریب‌هایی از جواب نهایی‌اند. در الگوریتم ژنتیک با شکل کد شده متغیرها کار می‌شود. روش‌های کدگذاری معمول در این الگوریتم عبارتند از کدینگ باینری، کدینگ جهشی، کدینگ ارزشی و کدینگ درختی (علیرضا،۱۳۸۶: ۲۵). هر جمعیت یا یک نسل از کروموزوم‌ها دارای یک اندازه می‌باشد که به اندازه جمعیت معروف است. اگر در هر مرحله تعداد کروموزوم‌ها یا اندازه جمعیت کم باشد، امکان شکل‌گیری عملیات جابجایی توسط الگوریتم کم خواهد بود و تنها قسمتی از فضای جستجو مورد کاوش قرار خواهد گرفت. از طرف دیگر اگر تعداد کروموزوم‌ها خیلی زیاد باشد الگوریتم بسیار کند خواهد شد. بر اساس تحقیقات انجام گرفته جمعیت‌های با اندازه مناسب، حدود بیست تا سی کروموزوم دارند (رضایی و رنجبران،۱۳۸۶: ۱۵).

۳-۱-۲- تابع برازندگی

روشی برای اندازه‌گیری میزان خوب بودن هر عضو جمعیت (جواب) می‌باشد. مناسب بودن یا نبودن جواب، با معیاری که از تابع هدف به دست می‌آید سنجیده می‌شود. هر چه یک جواب مناسب‌تر باشد مقدار برازندگی بزرگ‌تری دارد. برای آنکه شانس بقای جواب‌های مناسب بیشتر باشد، احتمال بقای آن متناسب با مقدار برازندگی آن در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۳- انتخاب

فرآیندی برای گزینش اعضای مناسب برای تولید و ترکیب مجدد است و تعیین‌کننده تعداد دفعاتی است که یک فرد خاص می‌تواند در مرحله تکثیر شرکت کند. در مرحله انتخاب یک جفت از کروموزوم‌ها برگزیده می‌شوند تا با هم ترکیب شوند (رضایی و رنجبران،۱۳۸۶: ۱۸). بعد از انتخاب، عملگرهای ژنتیک روی دو عضو برگزیده اعمال می‌شوند. انتخاب مستقیم و ترتیبی به این صورت که بهترین اعضاء دو به دو انتخاب شوند. معمول‌ترین روش‌های انتخاب عبارتند از: انتخاب چرخ دولت، انتخاب ترتیبی، انتخاب بولتزمن، انتخاب حالت پایدار، انتخاب نخبه سالاری، انتخاب رقابتی و انتخاب مقیاس‌بندی (باوی و صالحی،۱۳۸۷: ۱۴).

۳-۱-۴- عملگر تقاطع

مهم‌ترین عملگر در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع است. ترکیب فرآیندی است که در آن نسل قدیمی کروموزوم‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا جمعیت جدیدی از کروموزوم‌ها به وجود

آیند (رضایی و رنجبران،۱۳۸۶: ۱۸). این عملگر بر روی یک جفت از کروموزوم‌ها عمل می‌کند که در قسمت انتخاب به عنوان والدین در نظر گرفته شدند. در مرحله تقاطع والدین ژن‌هایشان را با هم مبادله می‌کنند و اعضایی جدید به وجود می‌آورند. اشکال مختلفی از عملگر تقاطع وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: تقاطع تک نقطه‌ای، تقاطع دو نقطه‌ای، تقاطع n نقطه‌ای، تقاطع یکنواخت و تقاطع حسابی (باوی و صالحی،۱۳۸۷: ۱۵).

تقاطع در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتن پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می‌شود. عملگر تقاطع با یک احتمال تقاطع P_C بر روی کروموزوم‌های والد عمل می‌کند. بدین معنی که با احتمال P_C عمل تقاطع انجام می‌گیرد. اگر احتمال تقاطع صفر باشد، هیچ تقاطعی صورت نمی‌گیرد و فرزندان دقیقاً مشابه والدین خواهند بود. اگر احتمال تقاطع یک باشد، تمامی فرزندان از طریق تقاطع ایجاد می‌شوند. مقدار P_C بین ۰/۵ تا ۰/۸ و بیشتر بین ۰/۷ تا ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود (رضایی و رنجبران،۱۳۸۶: ۱۹).

۳-۱-۵- عملگر جهش

در طبیعت جهش فرآیندی است که در آن یک بخش از یک ژن به صورت تصادفی تغییر می‌کند. این عملگر روی هر یک از کروموزوم‌های حاصل از عملگر تقاطع عمل می‌کند. به این ترتیب که به ازای هر بیت از کروموزوم، یک عدد تصادفی تولید می‌گردد. اگر مقدار این عدد تصادفی از مقدار احتمال جهش P_m کمتر باشد، در آن بیت عمل انجام می‌شود و در غیراین صورت در آن بیت عمل جهش انجام نمی‌گیرد. این عملگر تضمین می‌کند که بدون توجه به پراکندگی جمعیت اولیه احتمال جستجوی هر نقطه از فضای مسئله هیچ‌گاه صفر نشود. عملیات جهش به منظور جلوگیری از افتادن الگوریتم ژنتیک در دام بهینه‌های محلی انجام می‌شود. باید توجه داشت که نباید احتمال جهش را خیلی بزرگ در نظر گرفت چون در این صورت الگوریتم ژنتیک به یک جستجوگر تصادفی ساده تبدیل می‌گردد و سرعت به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. تحقیقات نشان داده است که احتمال جهش بین ۱ تا ۵ درصد بهترین مقدار می‌باشد (رضایی و رنجبران،۱۳۸۶: ۲۱).

شکل (۱)- نمای کلی الگوریتم ژنتیک

۴- مروری بر تحقیقات انجام شده

از اوایل دهه هشتاد میلادی بحث بر سر آنکه آیا الگوهای گام تصادفی در پیش‌بینی نرخ ارز نسبت به الگوهای ساختاری عملکرد بهتری دارند یا خیر آغاز شد. بنیانگذار این مباحث علمی میس و روگف بودند.

میس و روگف[۱] (۱۹۸۳) با بررسی داده‌های زمانی ماهانه و سالانه نرخ‌های ارز دلار - پوند، دلار - مارک و دلار - ین ثابت کردند که مدل گام تصادفی در مقایسه با مدل‌های ساختاری عملکرد بهتری دارد. پس از این، محققان بسیاری در این زمینه تحقیق کردند و برخی از آن‌ها به نتایجی مخالف با نتایج میس و روگف رسیدند. بحث در مورد برتری الگوها هنوز ادامه دارد و محققان از این مسئله با نام معما یاد می‌کنند. در سال‌های اخیر، علاوه بر مدل‌های ساختاری و مدل‌های تکنیکال، روش‌های نوینی برای پیش‌بینی نرخ ارز ارائه شده است. روش‌های شبکه عصبی، روش‌های سری زمانی فازی، روش الگوریتم ژنتیک و روش‌هایی که دو یا چند روش مختلف را با هم ترکیب می‌کنند از جمله

۱. Meese & Rogoff

جدیدترین تکنیک‌های پیش‌بینی نرخ ارز و به طور کلی پیش‌بینی قیمت دارایی‌های مالی است.

۴-۱-تحقیق‌های خارجی

شین و هان[۱] (۲۰۰۰) یک الگوی تشکیل یافته از تبدیل موجک و الگوریتم ژنتیک ارائه می‌کند تا مناسب‌ترین سیگنال معنادار برای مدل‌های شبکه عصبی تولید کند. نتایج تجربی برای داده‌های روزانه نرخ وون - دلار نشان می‌دهد که این رویکرد جامع با استفاده از الگوریتم ژنتیک دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم‌های موجک دیگر است. گونزالس و رودریگز[۲] (۲۰۰۱) یک فرآیند جدید برای انتخاب مدل‌های اقتصادسنجی ارائه کردند. این فرآیند مبتنی بر روش الگوریتم ژنتیک است. این مدل تنها از معیار SIC به عنوان تابع زیان استفاده می‌کند و عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های انتخاب مدل ارائه می‌کند. اندرو ودیگران[۳] (۲۰۰۲) یک الگوریتم ترکیبی بر اساس شبکه‌های عصبی وفقی بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک را برای پیش‌بینی روزانه نرخ ارزهای دلار، مارک، فرانک و پوند انگلیس در مقابل دراخما یونان مورد آزمون قرار دادند. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها، الگوریتم ژنتیک و فیلتر کالمن را برای استخراج یک ساختار مناسب ترکیب می‌کند. نتایج شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که این روش نتایج بسیار موفقی ارائه می‌کند. نیلی و ولر[۴] (۲۰۰۲) به بررسی عملکرد پیش‌بینی نوسانات روزانه نرخ‌های ارز دلار - مارک و دلار - ین با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته و آن را با عملکرد مدل گارچ[۵] مقایسه کردند. آن‌ها برتری الگوریتم ژنتیک را در مقابل گارچ نشان دادند. ناگ و میترا[۶] (۲۰۰۲) از روش ترکیبی هوش مصنوعی براساس شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی نرخ‌های ارز روزانه مارک - دلار، ین - دلار و دلار - پوند استفاده کردند. مقایسه این روش با سایر مدل‌ها نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های سری زمانی غیرخطی و همچنین شبکه عصبی ثابت است. لارنز و وسترهوف[۷] (۲۰۰۳) مدلی براساس ترکیب قواعد معامله ساختاری و تکنیکی ساختند و الگوریتم ژنتیک را برای ترکیب این قواعد به کار گرفتند. آن‌ها به این وسیله رفتار روزانه و هفتگی نرخ ارز را مدل‌سازی کردند. کوی و وو[۸] (۲۰۰۳) به

---

۱. Shin & Han

۲. Gonzalez, E.A. & Rodriguez

۳. Andreou et al

۴. Neely & Weller

۵. GARCH

۶. Nag & Mitra

۷. Lawrenz & Westerhoff

۸. Qi & Wu

منظور بررسی قدرت پیش‌بینی غیرخطی چهار نرخ ارز در افق‌های زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه، یک شبکه عصبی به کار گرفتند. آن‌ها دریافتند که مدل شبکه عصبی با ساختارهای بازار قادر به غلبه بر گام تصادفی نیست و نمی‌تواند پیش‌بینی out-of-sample صحیح‌تری ارائه دهد. اما مدل شبکه عصبی که فاقد ساختارهای اقتصادی است دارای عملکرد بهتری است. میترا و میترا[۱] (۲۰۰۶) تکنیک مدل‌سازی هوش مصنوعی را با روش موجک برای پیش‌بینی نرخ ارز روزانه ترکیب کرد. در این مقاله ابتدا با استفاده از فیلتر موجک سری‌های نرخ ارز به فرکانس‌های قابل تبدیل مرتبط با اجزا تجزیه شده سپس شبکه‌های عصبی بهینه‌سازی شده توسط الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی این سری‌ها به کار رفته است نتایج مطالعه تجربی نشان‌دهنده برتری عملکرد مدل ارائه شده در مقایسه با مدل‌های پیش‌بینی سنتی نرخ ارز است. براندل و دیگران[۲] (۲۰۰۹) مدل‌های ساختاری، شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک را با هم تلفیق کردند و به پیش‌بینی‌های دقیقی دست یافتند. آن‌ها از مدل‌های ساختاری به عنوان چارچوبی برای تعیین عوامل تأثیرگذار بر نرخ ارز استفاده کردند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک به انتخاب مدل پرداخته و سپس شبکه‌های عصبی را برای تولید پیش‌بینی نرخ ارز به کار گرفتند. آن‌ها این روش را به وسیله داده‌های ماهیانه پنج نرخ ارز عمده آزمون کردند.

۴-۲-تحقیق‌های داخلی

در مرزبان و سایرین (۱۳۸۴) استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و برخی الگوهای متداول در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز مورد آزمون و تحلیل قرار گرفته است. در این مقاله عملکرد پنج الگوی رگرسیون خطی در مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ ارز اسمی ماهانه (ریال - دلار) مورد بررسی قرار گرفته است و در پایان نتیجه گرفته شده است که مدل‌های شبکه عصبی از قدرت بیشتری در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز برخوردارند. در خاشعی و بیجاری (۱۳۸۶) روش ترکیبی ARIMA و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی پیشنهاد شده است. مقایسه نتایج حاصله بیانگر آن است که مدل تلفیقی نسبت به مدل‌های ARIMA و شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP) نتایج دقیق‌تری در پیش‌بینی نرخ ارز (یورو در مقابل ریال) ارائه نموده است. همچنین خاشعی و بیجاری (۱۳۸۶) در مقاله دیگری مدل‌های ARIMA را با مدل رگرسیون فازی ترکیب کرده‌اند و از آن به منظور پیش‌بینی نرخ ارز دلار - ریال استفاده کرده‌اند. نتایج حاصله بیانگر آن است که مدل ARIMA فازی نه تنها توانایی انجام یک پیش‌بینی مناسب را داشته بلکه برای تصمیم‌گیرندگان بهترین و بدترین حالت ممکن را نیز فراهم می‌سازد. همچنین مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های ARIMA به داده‌های کمتری نیازمندند. یعقوبی و

---

۱. Mitra & Mitra

۲. Brandl et al

سایرین (۱۳۸۶) یک روش جدید برای پیش‌بینی نرخ ارز ارائه کردند. آن‌ها برای پیش‌بینی سری‌های زمانی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. در مدل پیشنهادی از سری‌های زمانی فازی وزن‌دار استفاده شده و به این ترتیب از میزان خطای محاسبات کاسته‌اند. همچنین این مدل برای نرخ‌های ارز یورو – دلار و ین – دلار آزمون شده است و نتایج عملی به دست آمده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی قدرت بالایی در پیش‌بینی نرخ ارز دارد. طیبی و سایرین (۱۳۸۷) برای پیش‌بینی نرخ ارز در ایران با استفاده از داده‌های ۱۳۳۸-۱۳۸۱ یک مدل شبکه عصبی طراحی و اجرا کردند و به این نتیجه رسیدند که در صورت طراحی دقیق، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز نسبت به رقبای خود عملکرد بهتری دارند. زراء نژاد و سایرین (۱۳۸۷) به مقایسه توانایی پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی و ARIMA پرداخته و با استفاده از داده‌های نرخ ارز روزانه ایران نشان دادند که عملکرد مدل شبکه عصبی نسبت به مدل ARIMA بهتر است. درگاهی و انصاری (۱۳۸۷) در مقاله خود بر نقش شاخص‌های تلاطم در بهبود روش‌های شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی روزانه دو نرخ ارز دلار و پوند در برابر یورو در بازار ارز تأکید کردند. بدین منظور آن‌ها دو شاخص واریانس و گارچ را به عنوان شاخص‌های تلاطم نرخ ارز در نظر گرفته و به دو طریق در مدل مورد استفاده قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل‌های سطوح بالای تلاطم در مقایسه با مدل مبنا دقت پیش‌بینی را بهبود می‌بخشند. راسخی و سایرین (۲۰۱۱) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به ترکیب مدل‌های ساختاری و تکنیکی نرخ ارز ریال، دلار پرداختند و وزن‌های بهینه مدل ترکیبی را به دست آورده و نتیجه گرفتند عملکرد الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر مدل‌ها بهتر است.

۵-برآورد مدل‌ها و اعتبارسنجی آن‌ها

در این قسمت مدل‌ها برآورد و درستی آن‌ها آزمون می‌شود. به این منظور ابتدا متغیرهای استفاده شده در مدل‌ها معرفی شده است. در بخش دوم الگوهای انتخاب شده ساختاری و ARMA از روش OLS برآورد شده و با استفاده از آزمون‌های خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس، درستی و قابل اطمینان بودن آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با توجه به اینکه بعضی از متغیرهای مدل‌ها نامانا بوده و درجه انباشتگی آن‌ها متفاوت می‌باشد با آزمون مانایی پسماندهای هر مدل از هم جمع بودن متغیرها در مدل‌ها اطمینان حاصل کرده و پس از تأیید مدل‌ها، پیش‌بینی‌های out-of-sample برای نرخ‌های ارز به دست آمد. در بخش سوم به ترکیب این الگوها پرداخته شده است. ابتدا با استفاده از یک مکانیسم ساده میانگین‌گیری و میانگین‌گیری وزنی یک مدل ترکیبی ساده شکل داده می‌شود. آنگاه جهت ترکیب الگوها از طریق الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. این عمل، با استفاده از دو رویکرد انجام گرفته است. رویکرد اول، یافتن وزن‌های بهینه مدل‌ها در ترکیب خطی پیش‌بینی‌های out-of-sample آن‌هاست و در رویکرد دوم متغیرهای استفاده شده در این

مدل‌ها با هم ترکیب می‌شود و یک مدل واحد تشکیل داده می‌شود. سپس در بخش آخر عملکرد الگوهای منفرد ساختاری، ARMA و مدل‌های ترکیبی مختلف با هم مقایسه می‌شود.

۵-۱- متغیرها

با بررسی سری زمانی متغیرها و کشورها مشخص شد که با توجه به کمبود داده‌ها در بعضی دوره‌ها، بهترین بازه زمانی برای بررسی نرخ ارز ریال - دلار بازه سال‌های بین ۱۹۷۰ و ۲۰۰۸ است. این متغیرها از منابع مختلف از جمله سایت بانک جهانی، سایت بانک داده‌های بانک مرکزی اروپا و فدرال رزرو و گردآوری شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده برای مدل‌ها به این شرح می‌باشند: شاخص قیمت مصرف‌کننده، تولید ناخالص داخلی، مخارج دولت، نرخ بهره حقیقی، درآمد مالیاتی، حجم پول، خالص دارایی‌های خارجی.

۵-۲- پیش‌بینی مدل‌های ساختاری و تکنیکی

پس از حصول اطمینان از درستی مدل‌ها، مقادیر این نرخ ارز برای پنج دوره پیش‌بینی می‌شود. این پنج دوره پیش‌بینی برای نرخ ارز ریال - دلار عبارت است از بازه سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۸.

۵-۳- ترکیب مدل‌ها به وسیله میانگین

۵-۳-۱- میانگین با وزن‌های یکسان

به منظور میانگین‌گیری از پیش‌بینی‌ها به عنوان یکی از استراتژی‌های معمول ترکیب، ابتدا هر کدام از پیش‌بینی‌ها در یک وزن ثابت ضرب شده و سپس حاصل آن‌ها با هم جمع شدند. این رویکرد، میانگین‌گیری با وزن‌های یکسان است.

$$\hat{f}_t = \sum_{i=1}^{7} \beta \hat{f}_{ti} \quad و \quad \beta = \frac{1}{7} = 0.14286$$

۵-۳-۲- میانگین وزنی

برای انتخاب معیار مناسب جهت وزن دهی به مدل‌ها در میانگین وزنی، معیارهای مختلفی نظیر RMSE، MSE، MAE، MAPE و TIC مورد آزمون قرار گرفت و نتایج مشابهی حاصل شد، از این رو تنها نتایج حاصل از استفاده از معیار MSE گزارش شده است. در رویکرد میانگین وزنی، وزن‌ها متناسب با معیار MSE انتخاب می‌شوند. به منظور اختصاص وزن‌های مناسب هر مدل، به مدل‌هایی که دارای MSE کمتری نسبت به سایرین هستند، وزن بیشتری داده می‌شود و این فرآیند را می‌توان از طریق رابطه زیر دنبال کرد.

$$\hat{f}_t = \sum_{i=1}^{7} \beta_i \hat{f}_{ti} \quad و \quad \beta_i = \frac{\frac{1}{MSE_i}}{\sum_{i=1}^{7} \frac{1}{MSE_i}}$$

۵-۴-الگوریتم ژنتیک در ترکیب مدل‌ها

۵-۴-۱- ترکیب مدل‌های ساختاری و تکنیکی

ترکیب پیش‌بینی‌ها همانند سایر تخمین‌زن‌ها ممکن است دچار اریب و ناکارایی شود. در مواردی که تعداد پیش‌بینی‌ها بیشتر از اندازه نمونه است، ماتریس کوواریانس نمونه دچار عدم قطعیت می‌شود و مدل ترکیبی دارای اریب می‌شود. با اعمال محدودیت بر روی وزن‌های ترکیب می‌توان عناصر ماتریس کوواریانس را که دارای مقدار بزرگ هستند به سمت صفر میل داد و مدلی نااریب و کارا به دست آورد (Timmermann, ۲۰۰۶: ۱۴۰).

در این بخش با استفاده از نرم افزار MATLAB مدل‌های برآورده شده از طریق الگوریتم ژنتیک با هم ترکیب می‌شوند. پارامترهای الگوریتم ژنتیک به این صورت تنظیم شد. به منظور یافتن مناسب‌ترین مقدار برای این پارامتر، الگوریتم مسئله با تعداد ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ کروموزوم اجرا شد. مطلوب‌ترین نتایج برای تعداد جمعیت ۵۰ کروموزوم حاصل شد.

مهم‌ترین قسمت الگوریتم ژنتیک، تعریف تابع برازش برای الگوریتم می‌باشد. تابع برازش همان تابع هدفی است که الگوریتم به دنبال حداقل کردن آن است. با توجه به مقایسه نتایج حاصله از جایگذاری توابع مختلف و عملکرد بهتر تابع مجذور میانگین مربعات خطا، تابعی که برای این قسمت تعیین شد، تابع مجذور میانگین مربعات خطا است.

$$Fitness\ Function = RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(f_t - \hat{f}_t)^2}$$

در صورتی که مدل ترکیبی به صورت زیر مفروض باشد:

$$\hat{f}_t = \sum_{i=1}^{7} \beta_i \hat{f}_{ti}$$

قیدهای اعمال شده بر روی وزن‌های ترکیب برای اطمینان از نااریب بودن و کارایی پیش‌بینی‌های مدل ترکیبی به صورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^{7} \beta_i = 1$$
$$0 \le \beta_i \le 1$$

به دلیل سرعت همگرایی مناسب، در اینجا تابع انتخاب رقابتی به کار برده می‌شود و برای تابع

تقاطع، تابع تقاطع پراکنده انتخاب شده است. براساس این تابع، یک بردار باینری ساخته می‌شود و مؤلفه‌های با مقدار یک ژن‌های والد اول را به ارث می‌برند و مؤلفه‌های با مقدار صفر ژن‌های والد دوم را به ارث خواهند برد. در اینجا احتمال جهش، پنج درصد در نظر گرفته شد. پس از تعیین پارامترهای مدل، هزار بار تولید نسل انجام گرفت.

۵-۴-۲-ساختن مدل واحد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در بخش ترکیب پیش‌بینی‌ها، قسمت استدلال‌های موجود در مخالفت با ترکیب پیش‌بینی‌ها اشاره شد. در حالتی که مجموعه داده‌های استفاده‌شده در پیش‌بینی‌های منفرد غیرقابل مشاهده باشند، ترکیب‌های پیش‌بینی می‌تواند با ارزش باشد. با این حال، هنگامی که مجموعه کامل متغیرهایی که در ساختن پیش‌بینی‌های مختلف استفاده می‌شود قابل مشاهده باشد، استفاده از یک استراتژی ترکیب به جای تلاش برای تعیین یک مدل منفرد برتر می‌تواند با چالش روبرو شود.

با این پیش‌زمینه می‌توان این فرضیه را شکل داد که چون تمام متغیرهای استفاده شده در برآورد مدل‌های منفرد در دسترس است بنابراین ساختن یک مدل واحد از مجموعه متغیرهای در دسترس نتیجه مطلوب‌تری نسبت به ترکیب مدل‌ها به دست می‌دهد. در این قسمت تلاش بر این است تا با استفاده از مجموعه متغیرهای به کار برده شده در برآورد مدل‌ها، یک مدل منفرد برتر ساخته شود. برای مدل واحد، انتخاب متغیرها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و یک فرآیند تکرار شونده انجام شد که در آن الگوریتم ژنتیک از طریق تابع برازش مربوطه بهترین متغیرها با کمترین خطای مدل را انتخاب کرد. به این ترتیب متغیرهای استفاده شده در مدل واحد به این شرح تعیین شدند: نسبت سطح عمومی قیمت‌ها کشور داخلی به کشور خارجی (PP)، میزان مخارج دولت (G)، درآمد مالیاتی دولت (TAX)، تفاوت مقدار تولید ناخالص داخلی کشور داخلی از تولید ناخالص داخلی کشور خارجی (*GDP-GDP)، تفاوت نرخ بهره حقیقی کشور داخلی و کشور خارجی (*I-I)، تفاوت نرخ تورم کشور داخلی و کشور خارجی (*INF-INF)، تفاوت میزان حجم پول در کشور داخلی و کشور خارجی (*M۲-M۲)، خالص دارایی‌های خارجی کشور داخلی (NFA)، خالص دارایی‌های خارجی کشور خارجی (*NFA) و عبارت AR(۱).

ساختن مدل واحد با استفاده از روش‌های معمول اقتصادسنجی از جمله OLS به دلیل زیاد بودن پارامترهای مدل، کاهش درجه آزادی و کارا نبودن تخمین‌زن‌ها امکان‌پذیر نیست. به همین خاطر مدل واحد به وسیله روش الگوریتم ژنتیک برآورد می‌شود. از آنجا که متغیرهای مدل دارای واحدهای مختلفی می‌باشد استفاده از آن‌ها بدون توجه به این مسئله منجر به عملکرد نادرست الگوریتم ژنتیک می‌شود. بنابراین این داده‌ها باید نرمالیزه شوند. تابع زیر داده‌های مدل را به اعدادی بین ۱- و ۱ تبدیل می‌کند.

$$X_n = \frac{2*(X - X_{MIN})}{(X_{MAX} - X_{MIN})} - 1$$

به منظور برآورد مدل، پارامترهای الگوریتم ژنتیک به این صورت تنظیم می‌شود. انـدازه جمعیـت ۱۰۰ کروموزوم، مجذور میانگین مربعات خطا به عنوان تابع برازش، تابع انتخاب رقابتی، تابع تقاطع دو نقطـه‌ای و احتمال جهش پنج درصد تعیین شده است. پس از تولید دو هزار نسل، نتایج برآورد مدل ثبت گردید.

۵-۵- ابزار تجزیه و تحلیل

در این مطالعه با استفاده از داده‌ها و به کمک نرم افزارهای مذکور، الگوریتم ژنتیک مورد نظـر جهت ترکیب، پیاده‌سازی می‌شود و نتایج پیش‌بینی‌های out of sample برای هرکدام از روش‌ها بـه دست آمده، سپس آن‌ها را بـا اسـتفاده از معیـارهـای RMSE، MAE، TIC و DA مقایسـه مـی‌کنـیم. معیارDA به منظور تعیین درستی جهت تغییرات نرخ ارز به‌کار گرفته می‌شود. ایـن معیارهـای مـذکور بـه صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(f_t - \hat{f}_t)^2}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|(f_t - \hat{f}_t)\right|$$

$$DA = \sum_{t=1}^{n}\frac{A_i}{n}$$

$$if\,(x_{i+1} - x_i)(\tilde{x}_{i+1} - x_i) \geq 0, A_i = 1, Else\, A_i = 0$$

$$TIC = \frac{\sqrt{\sum_{t=T+1}^{T+h}(f_t - \hat{f}_t)^2 / h}}{\sqrt{\sum_{t=T+1}^{T+h}(\hat{f}_t)^2 / h} + \sqrt{\sum_{t=T+1}^{T+h}(f_t)^2 / h}}$$

جدول (۱): مقایسه نتایج مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز

مدل واحد	۸/۹۹۳۸	۹/۰۰۶۸	۸/۹۹۳۹	۸/۹۵۱۰	۸/۹۳۵۰	۰/۰۶۵۳	۰/۰۶۰	۰/۰۳۴۴	۰
ترکیب مدل ها به GAوسیله	۹/۰۵۲۷	۹/۱۱۰۷	۹/۱۴۰۳	۹/۱۷۰۴	۹/۱۶۲۷	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۰۹	۱

زمان	مدل APPP	مدل PPP	مدل MFM	مدل FPM	مدل SPM	مدل PBM	مدل ARMA	میانگین ساده	میانگین وزنی
۲۰۰۴	۹/۰۸۹	۹/۱۳۷۷	۹/۰۳۶	۹/۱۰۳۸	۹/۱۰۶۱	۹/۰۵۵۸	۹/۰۹۱	۹/۰۸۸۵	۰/۰۹۳۶
۲۰۰۵	۹/۱۳۰۱	۹/۱۷۱۸	۹/۰۷۵۹	۹/۱۶۳۵	۹/۱۷۲۸	۹/۱۰۴۹	۹/۲۴۵۴	۹/۱۵۲۱	۹/۲۲
۲۰۰۶	۹/۱۶	۹/۱۹۴۶	۹/۱۸۸۳	۹/۲۲۳۹	۹/۲۴۴۹	۹/۱۳۲۷	۹/۱۶۷۳	۹/۱۸۷۴	۹/۱۸۱۸
۲۰۰۷	۹/۱۴۴۶	۹/۲۵۰۹	۹/۱۴۳۱	۹/۲۸۰۹	۹/۳۳۸	۹/۱۲۸۲	۹/۲۹۳۱	۹/۲۲۵۵	۹/۲۸۷۷
۲۰۰۸	۹/۰۶۸۵	۹/۳۰۸۲	۹/۰۱۹۲	۹/۳۴۷۵	۹/۴۲۳۶	۹/۰۸۹۷	۹/۱۹۹۳	۹/۲۰۸	۹/۲۳۲۲
RMSE	۰/۰۵۱۲	۰/۰۹۰۱	۰/۰۷۸۶	۰/۱۱	۰/۱۵۲۹	۰/۰۴۰۵	۰/۳۷۰۷	۰/۰۵۰۸	۰/۰۸۸۳
MAE	۰/۰۳۴۴	۰/۰۸۵۴	۰/۰۵۸۱	۰/۰۹۶۷	۰/۱۲۹۹	۰/۰۲۶۱	۰/۳۳۷۶	۰/۰۴۵۱	۰/۰۷۵۸
TIC	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴۸
DA	۰/۸	۱	۰/۶	۱	۱	۰/۶	۱	۱	۱

با مقایسه معیارهای خطای RMSE، MAE و TIC می‌توان نتیجه گرفت که مدل PBM در بین مدل‌های ساختاری و تکنیکی، دارای عملکرد بهتری در پیش‌بینی بوده است و براساس معیار DA، چهار مدل RPPP، FPM، SPM و ARMA جهت تغییرات نرخ ارز را در تمام موارد درست پیش‌بینی کرده‌اند.

مقایسه نتایج پیش‌بینی‌هادر جدول (۱) نشان می‌دهد که مدل واحد برای نرخ ارز ریال - دلار

تنها بر مدل ترکیب شده به وسیله میانگین وزنی برای این ارزها برتری دارد و در سایر موارد این مدل دارای عملکرد بدتری می‌باشد و در مجموع عملکرد مدل ترکیب شده به وسیله الگوریتم ژنتیک بر مدل‌های منفرد و سایر روش‌های ترکیب برتری نسبی دارد. از لحاظ کمینه بودن مقادیر خطای RMSE ، MAE و TIC، بعد از مدل ترکیب شده به روش الگوریتم ژنتیک، مدل PBM و سپس مدل ترکیب شده به روش میانگین ساده قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

ترکیب پیش‌بینی‌ها یکی از ایده‌های کاربردی و مفید در زمینه بهبود عملکرد مدل‌های پیش‌بینی است و در زمینه پیش‌بینی متغیرهایی نظیر نرخ ارز می‌تواند راهگشا و قابل اتکاء باشد. موضوع مورد بحث این پژوهش بررسی این ایده با استفاده از رویکردهای معمول و رویکرد الگوریتم ژنتیک می‌باشد. نتایج به دست آمده بیانگر این مطلب است که در میان مدل‌های ساختاری و تکنیکی با توجه به مقادیر RMSE، MAE و TIC مدل تراز سبد دارایی دارای عملکرد بهتری است. همچنین در میان رویکردهای ترکیب از طریق میانگین‌گیری، میانگین ساده با وزن‌های ثابت دارای خطای کمتری است. این ایده که ترکیب پیش‌بینی‌ها با میانگین‌گیری از آن‌ها بهبود می‌یابد در مورد ترکیب پیش‌بینی‌های نرخ های ارز ریال - دلار از طریق میانگین‌گیری آزمون شد و این فرضیه رد می‌شود. زیرا در مقایسه عملکرد این الگوهای ترکیبی با عملکرد بهترین الگوهای منفرد در ظرف زمان مورد بررسی، این نتیجه حاصل شد که خطای پیش‌بینی مدل‌های منفرد کمتر است.

در مرحله بعد روش الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای ترکیب پیش‌بینی‌ها مورد آزمون قرار گرفت. این روش ابتدا در ترکیب مدل‌ها و یافتن وزن مناسب هر الگو و سپس در ساختن یک مدل واحد به کار گرفته شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که ترکیب مدل‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک قدرت پیش‌بینی بالاتری نسبت به تمام مدل‌های بررسی شده دارد. اشاره شد که در مواقعی که اطلاعات استفاده شده در مدل‌های منفرد در دسترس است، ترکیب پیش‌بینی‌ها ایده مناسبی نیست. نتایج گزارش شده در این قسمت، این اظهار نظر را رد می‌کند. با مقایسه این نتایج با نتایج حاصل شده قبلی در می‌یابیم که برخلاف یافته‌های (Timmermann, ۲۰۰۶)، استفاده از میانگین ساده در ترکیب پیش‌بینی‌ها منجر به دستیابی به پیش‌بینی‌های بهتر نمی‌شود. در عین حال الگوریتم ژنتیک نسبت به رویکرد میانگین‌گیری از پیش‌بینی‌ها و همچنین نسبت به مدل‌های منفرد عملکرد بسیار بهتری دارد.

در پایان به سیاست‌گذاران، فعالان عرصه تولید و تجارت خارجی توصیه می‌شود با توجه به عملکرد بهتر و نتایج پیش‌بینی دقیق‌تر روش ترکیب توسط الگوریتم ژنتیک، از این روش به منظور پیش‌بینی نرخ بلندمدت ارز استفاده نمایند و به این ترتیب ریسک ناشی از نوسانات نرخ ارز را کاهش دهند.

منابع

الف- فارسی

۱. باوی، امید؛ صالحی، منوچهر؛ ***الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی سازه‌های مرکب***، انتشارات عابد، چاپ اول، ۱۳۸۷.

۲. خاشعی، مهدی؛ بیجاری، مهدی؛ «**بهبود عملکرد پیش‌بینی‌های مالی با ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته و شبکه‌های عصبی مصنوعی**»، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۱۳۸۷، شماره۲.

۳. خاشعی، مهدی؛ بیجاری، مهدی؛ «**بکارگیری مدل میانگین متحرک خودرگرسیون انباشته فازی به منظور پیش‌بینی نرخ ارز**»، استقلال، ویژه‌نامه روش‌های عددی در مهندسی، ۱۳۸۶، شماره۲.

۴. درگاهی، حسن؛ «**پویایی نرخ ارز با تأکید بر نقش انتظارات و اطلاعات جدید**»، مؤسسه تحقیقات پولی و بانکی، چاپ دوم، ۱۳۷۸.

۵. درگاهی، حسن؛ انصاری، رضا؛ «**بهبود مدل‌سازی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز، با بکارگیری شاخص تلاطم**»، تحقیقات اقتصادی، ۱۳۸۷، شماره ۵.

۶. رضایی، علیرضا؛ رنجبران، سجاد؛ ***آموزش کاربردی الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار MATLAB***، نشر آذر، چاپ اول، ۱۳۸۶.

۷. زراء نژاد، منصور؛ فقه مجیدی، علی؛ رضایی، روح الله؛ «**پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ARIMA**»، فصلنامه اقتصاد مقداری، ۱۳۸۷، شماره ۴.

۸. سالواتوره، دومینیک؛ ***مالیه بین‌الملل: نظریه‌ها و سیاست‌های اقتصاد بین‌الملل***، نشر نی، ۱۳۷۹.

۹. طیبی، کمیل؛ موحدنیا، ناصر؛ کاظمینی، معصومه؛ «**بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی و مقایسهٔ آن با روش‌های اقتصادسنجی: پیش‌بینی روند نرخ ارز در ایران**»، مجله علمی و پژوهشی شریف، ۱۳۸۷، شماره ۴۳.

۱۰. علیرضا، مهدی ؛(۱۳۸۶)؛ ***مقدمه‌ای بر الگوریتم ژنتیک و کاربردهای آن***، انتشارات ناقوس اندیشه، چاپ دوم، ۱۳۸۶.

۱۱. مرزبان، حسین؛ اکبریان، رضا؛ جواهری، بهنام؛ «**یک مقایسه بین مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری، سری زمانی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز**»، مجله تحقیقات اقتصادی، ۱۳۸۴.

۱۲. یعقوبی، مهدی؛ اکبرزاده توتونچی، محمدرضا؛ بهره‌پور، مجید؛ «**ارائه یک روش نوین سری زمانی فازی**

برای پیش‌بینی نوسانات قیمت ارز»، سیزدهمین کنفرانس ملی انجمن ملی کامپیوتر ایران، ۱۳۸۶.

ب- لاتین

۱۳. Andreou, S.A. & Georgopoulos, E.F. & Likothanassis, S.D; ۲۰۰۲, "**Exchange-Rates Forecasting: A Hybrid Algorithm Based on Genetically Optimized Adaptive Neural Networks**", Computational Economics, ۲۰, pp, ۱۹۱–۲۱۰.

۱۴. Bates, J.M. & Granger, C.W.J; ۱۹۶۹, "**The combination of forecasts**", Operations Research Quaeterly, ۲۰,pp, ۴۵۱–۴۶۸.

۱۵. Beenstock, M. & Szpiro, G; ۲۰۰۲, "**Specification search in nonlinear time-series models using the genetic algorithm**", Journal of Economic Dynamics & Control, ۲۶, pp, ۸۱۱–۸۳۵.

۱۶. Bisignano, J. & Hoover, k; ۱۹۸۲, "**Some Suggested Improvements to a Simple Portfolio Balance Model of Exchange Rate Determination with Special Reference to the US Dollar Rate**", American Economic Review, ۱۱۹, ۱۹–۳۷.

۱۷. Brandl, B. & Wildburger, u.l. & Pickl, s; ۲۰۰۹, "**Increasing the fitness of fundamental exchange rate forecast models**", International Journal Contemp. Math. Sciences, ۴, No۱۶, pp, ۷۷۹–۷۹۸.

۱۸. Cheung, Y.W. & Chinn, M.D. & Pascual, A.G; ۲۰۰۵, "**Empirical exchange rate models of the nineties: Are any fit to survive?**", Journal of Internatinal Money and Finance, ۲۴, pp, ۱۱۵۰–۱۱۷۵.

۱۹. Diebold, F.X. & Pauly, P; ۱۹۹۰, "**The use of prior information in forecast combination**", International Journal of Forecasting, ۶, pp, ۵۰۳–۵۰۸.

۲۰. Diebold, F.X. & Pauly, P; ۱۹۸۷, "**Structural change and the combination of forecasts**", Journal of Forecasting, ۶, pp, ۲۱–۴۰.

۲۱. Eichenbaum, M. & Evans, C; ۱۹۹۵, "**Some empirical evidence on the effects of shocks to monetary policy on exchange rates**", Quarterly Journal. Economics, ۱۱۰, pp, ۹۷۵–۹۹۹.

۲۲. Gonzalez, E.A. & Rodriguez, F.F; ۲۰۰۱, "**Model selection via genetic algorithms**", Spanish Ministry of Science and Technology, ۲–۸.

۲۳. Holland J. H; ۱۹۷۵, ***Adaptation in Natural and Artificial Systems***, University of Michigan Press.

۲۴. Lam, L. & Fung, L. & Yu, I.W; ۲۰۰۸, "**Comparing forecast performance of**

exchange rate models", Hong Kong Monetary Authority, ۶.

۲۵. Lawrenz, C. & Westerhoff, F; ۲۰۰۳, "**Modeling exchange rate behavior with a genetic algorithm**", Computational Economics, ۲۱, pp, ۲۰۹–۲۲۹.

۲۶. Makridakis, S; ۱۹۸۹, "**Why combining works?**", International Journal of Forecasting, ۵: ۶۰۱–۶۰۳.

۲۷. Mark, N.C; ۱۹۹۵, "**Exchange rates and fundamentals: Evidence on long-horizon predictability**", American Economic Review, ۸۵, pp, ۲۰۱–۲۱۸.

۲۸. Meese, R.A. & Rogoff, K; ۱۹۸۳, "**Empirical exchange rate models of the Seventies: Do they fit out of sample?**", Journal of International Economics, ۱۴, pp, ۳-۲۴.

۲۹. Mitra, SH. & Mitra, A; ۲۰۰۶, "**Modeling exchange rates using wavelet decomposed genetic neral networks**", Statistical Methodology, ۳, pp, ۱۰۳–۱۲۴.

۳۰. Moura, M.L. & Lima, A.R.S; ۲۰۰۷, "**Empirical exchange rate models fit: The case of Brazil**", IMF, ۳.

۳۱. Nag, A.K. & Mitra, A; ۲۰۰۲, "**Forecasting daily foreign exchange rates using genetically optimized neural networks**", Journal of Forecasting, ۲۱, pp, ۵۰۱–۵۱۱.

۳۲. Neely, CH.J. & Weller, P.A; ۲۰۰۲, "**Predictiog exchange rate volatility: Genetig programming versus GARCH and RiskMetrices**", Federal Reserve Bank of St. Louis, ۴۳.

۳۳. Qi, M. & Wu, Y.(۲۰۰۳), "**Nonlinear prediction of exchange rates with monetary fundamentals**", Journal of Empirical Finance, ۱۰, ۶۲۳–۶۴۰.

۳۴. Rasekhi, S. & Jafari Samimi, A. & Abounoori, E. & Rostamzadeh, M; ۲۰۱۱, "**Application of genetic algorithms in the fundamental and technical models of exchange rate optimization: A case study for Iran**", World Applied Sciences Journal, ۱۴, pp, ۹۸–۱۰۷.

۳۵. Shin, T. & Han, I; ۲۰۰۰, "**Optimal signal multi-resolution by genetic algorithms to support artificial neural networks for exchange rate forecasting**", Expert System with Application, ۱۸, pp, ۲۵۷–۲۶۹.

۳۶. Smith, J. & Wallis, K F; ۲۰۰۹, "**A Simple Explanation of the Forecast**

Combination Puzzle", OXFORD BULLETIN OF ECONOMICS AND STATISTICS, ۷۱, PP, ۳۳۱–۳۵۵.

۳۷. Timmermann, A; ۲۰۰۶, "**Forecast combination**", In Elliott G., Granger C. W. J. and Timmermann A.(eds), Handbook of Economic Forecasting, North-Holland, Amesterdam, pp, ۱۳۵–۱۹۶.