فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال چهارم/ شماره ۳/ پاییز ۱۳۹۶/ صفحات ۱۶۸-۱۴۳

مدل‌سازی عوامل موثر بر نرخ تورم در اقتصاد ایران با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته

حسین اکبری فرد

استادیار اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، akbari45@gmail.com

امین قاسمی نژاد*

کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، Amin.ghasemieco@gmail.com

مریم رضائی جعفری

کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، m.rezaeejafari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۲

چکیده

تورم به عنوان یکی از پدیده‌های اقتصادی موجب پیامدهای منفی اجتماعی و فرهنگی متعددی همچون فقر، توزیع نامتناسب درآمد و گسترش مفاسد مالی می‌شود که هرکدام به نوبه خود هزینه‌های قابل توجهی را بر اقتصاد تحمیل می‌کند. به همین دلیل، در کلیه کشورها ثبات قیمت‌ها به عنوان هدف اصلی برنامه‌ها و سیاستگذاری‌های اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. لذا بررسی و پیش‌بینی این متغیر کلان اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا مدل‌های پیش‌بینی گوناگونی در رقابت با یکدیگر توسعه یافته‌اند، یکی از این روش‌ها الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد که به عنوان روشی نوین برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف ابداع گردیده‌اند. در مطالعه حاضر با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته و به کارگیری متغیرهای تأثیرگذار بر تورم از جمله حجم نقدینگی، نرخ ارز، نرخ بهره حقیقی، تورم انتظاری و تولیدات صنعتی طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۵۴ به مدل‌سازی تورم به صورت خطی و غیرخطی پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدل غیرخطی برای مدل‌سازی تورم مناسب‌تر است و الگوریتم کرم شب‌تاب نسبت به الگوریتم فاخته نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد و با توجه به دقت مدل غیرخطی مدل‌سازی شده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب می‌توان به منظور پیش‌بینی تورم در آینده از آن استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، نرخ تورم، الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوریتم فاخته.

طبقه بندی JEL: C54، E31، E37.

---

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

مطالعات زیادی در زمینه تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی متغیرهای کلان اقتصادی و فعالیت-های مالی، مانند پیش‌بینی بازار سهام، نرخ بهره، نرخ ارز و ... صورت گرفته است. به طوری که پس از رکود اقتصادی سال ۲۰۰۸ محققین، دولت‌مردان و موسسات مالی توجه ویژه‌ای را به پیش‌بینی فعالیت‌های اقتصادی به خصوص نرخ تورم، مبذول داشتند (مهدییف و انکه[1]، ۲۰۱۴). درک صحیح مفهوم تورم و عوامل اثرگذار برآن از ضروریات دست‌یابی به ثبات قیمت‌ها محسوب می‌گردد. تورم متغیری است که از برآیند نیروهای موجود در سمت عرضه و تقاضای کل اقتصاد حاصل می‌شود. به طور کلی مازاد تقاضای کل نسبت به عرضه موجب افزایش سطح عمومی قیمت‌ها می‌گردد؛ که در این میان به افزایش سطح قیمت‌ها تنها در صورتی که مداوم و خودافزا بوده و دارای حافظه طولانی‌مدت باشد تورم اطلاق می‌گردد. اقتصاددانان معتقدند هزینه‌هایی که تورم بر جامعه تحمیل می‌کند می-تواند بسیار جدی‌تر از هزینه‌های ناشی از کندشدن رشد اقتصادی باشد (صادقی و همکاران[2]، ۱۳۹۰). بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع محور اصلی این پژوهش بر مبنای بررسی تورم به عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی اقتصاد کلان قرار دارد که افزایش غیرمنطقی این متغیر موجب آسیب به ثبات قدرت خرید پول ملی، انحراف در تصمیم-گیری مصرف و پس‌انداز، افزایش نابرابری توزیع درآمد و ایجاد مشکلات مالی می‌گردد. همچنین به دلیل اینکه پروژه‌های سرمایه‌گذاری پرمخاطره‌تر می‌شود، می‌تواند بر رشد اقتصادی اثر منفی بگذارد (هرتادو و همکاران[3]، ۲۰۱۳).

پیش‌بینی دقیق نرخ تورم یک جزء کلیدی برای تنظیم سیاست‌های پولی هر کشور است، که در این راستا بانک مرکزی برای جلوگیری از تنظیم سیاست‌ها و مدل‌هایی که ابهاماتی را در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری و پس‌انداز ایجاد می‌کند و به طور بالقوه منجر به بی‌ثباتی اقتصادی می‌شود به پیش‌بینی نرخ تورم می‌پردازد (مکنیلس و مکادم[4]، ۲۰۰۴) که با توجه به رفتار پیچیده و ماهیت غیرخطی بازارهای مالی پیش‌بینی دقیق این متغیر امری دشوار است. امروزه روش‌های نوینی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف ابداع گشته است که الگوریتم‌های تکاملی در میان این روش‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند.

---

[1] Mehdiyev & Enke
[2] Sadeghi et al. (2010)
[3] Hurtado et al.
[4] Mcnelis & Mcadam

در بسیاری از سیستم‌های پیچیده و خصوصاً غیرخطی که مدل‌سازی و به دنبال آن پیش‌بینی و کنترل آن‌ها از طریق روش‌های کلاسیک و تحلیلی امری بسیار دشوار و حتی بعضاً غیرممکن می‌نماید، از این الگوریتم‌ها که از ویژگی‌هایی همچون هوشمندی مبتنی بر معرفت و خبرگی برخوردار هستند، استفاده می‌شود. بنابراین هدف این پژوهش جستجو مدل و سیستمی است که بتواند تغییرات شاخص قیمت مصرف‌کننده ایران را طی دوره (۱۳۹۴-۱۳۵۴) با استفاده از حداقل تعداد متغیرهای ورودی به صورت دقیق مدل‌سازی کند که در این راستا نتایج مدل توسط خطای جذر میانگین مربعات[1] (RMSE) اندازه-گیری می‌شود. مروری بر پیشینه تحقیق در این زمینه نشان می‌دهد که تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی فعالیت‌های مالی و اقتصادی اجرا شده‌است. این امر به ویژه در مورد نرخ تورم نیز صادق است. با توجه به ماهیت غیرخطی و پیچیده داده‌های نرخ تورم، به نظر می‌رسد مدل‌های غیرخطی نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهند (سوماراتنا و همکاران[2]، ۲۰۱۰) مزیت مهم این مدل‌ها نسبت به سایر مدل‌های ساختاری و سری‌های زمانی عدم نیاز به اعمال فرض‌های آماری خاص در مورد رفتار متغیرها مانند فرض‌های مربوط به تابع توزیع احتمال آن‌ها و یا اعمال فرض‌های مربوط به نحوه ارتباط بین متغیرها می‌باشد (مشیری[3]، ۱۳۸۰). در ادامه در بخش دوم به پیشینه تحقیق در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی تورم اشاره می‌شود. بخش سوم به بررسی مبانی نظری اختصاص دارد. در بخش چهارم به مدل‌سازی تورم با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و فاخته پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

پیش‌بینی روند تورم برای تنظیم سیاست اقتصادی از اهمیت بسزایی برخوردار است. این نیاز موجب توجه جدی به کاربرد مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی نرخ تورم شده است و بدین منظور مدل‌های گوناگونی در رقابت با یکدیگر توسعه یافته‌اند که در این قسمت به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱- مطالعات داخلی

[1] Root-Mean-Square Error
[2] Somaratna et al.
[3] Moshiri (2001)

مشیری (۱۳۸۰) در پژوهشی به پیش‌بینی تورم ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری زمانی و شبکه‌های عصبی پرداخت. در این پژوهش وی دو مدل تخمینی را به منظور کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی تورم معرفی نمود به این صورت که مدل اول تورم را تابعی از عرضه پول، شکاف تولید، تورم وارداتی، وقفه‌های تورم و مدل دوم تورم را تنها تابعی از مقادیر گذشته در نظر می‌گیرد. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل شبکه عصبی در اغلب موارد عملکرد بهتری در زمینه پیش‌بینی تورم در ایران نسبت به مدل‌های ساختاری و سری زمانی دارد. نصراصفهانی و یاوری[1] (۱۳۸۲) در مقاله‌ای با استفاده از الگوی بردارهای خود رگرسیونی به تجزیه و تحلیل تأثیر متغیرهای اسمی و واقعی بر تورم در ایران پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از متغیرهای رشد نقدینگی، رشد نرخ ارز، نرخ تورم و تورم انتظاری، به عنوان متغیرهای اسمی و متغیرهای شکاف تولید ناخالص داخلی حقیقی به عنوان متغیرهای واقعی استفاده کردند. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که ریشه تورم صرفاً پولی نبوده و مزمن بودن تورم در ایران به متغیرهای واقعی نیز ارتباط دارد. و در کوتاه‌مدت تکانه‌های تورم، رشد نقدینگی و نرخ ارز بر نوسانات تورم مؤثر بوده و پایداری تورم در میان‌مدت بیشتر به تورم انتظاری بستگی دارد، ولی در افق بلندمدت، تکانه‌های بخش واقعی نیز تأثیر به سزایی بر تورم دارد. عمادزاده و همکاران[2] (۱۳۸۴) با استفاده از سیستم معادلات همزمان، تاثیر رشد پول، شکاف نسبی تولید، رشد نرخ ارز بازار موازی، انتظارات تورمی و تورم وارداتی را به عنوان عوامل موثر بر تورم طی دوره (۱۳۸۲-۱۳۳۸) مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که تورم در ایران صرفاً یک پدیده پولی نیست و تورم وارداتی، مشکلات ساختاری اقتصاد و تورم انتظاری نیز بر شکل‌گیری آن تاثیر مثبت داشته به طوری که رشد نقدینگی سهمی بالغ بر ۵۸/۳۲ درصد را در شکل‌گیری تورم دارا بوده است و پس از آن به ترتیب تورم وارداتی (۲۲/۶ درصد)، تورم انتظاری (۷/۳ درصد)، رشد نرخ ارز (۶/۲درصد) و شکاف تولید (۵/۶ درصد)، سهم تعیین کننده‌ای در شکل گیری تورم داشته‌اند. کمیجانی و نقدی[3] (۱۳۸۸) به دنبال پاسخ به این سوال که «آیا تورم صرفا پدیده‌ای پولی است؟» به بررسی ارتباط متقابل بین تولید و تورم در اقتصاد ایران، با استفاده از الگوهای خودرگرسیونی برداری (VAR) و

[1] Naser Esfahani & Yavari (2003)
[2] Emadzadeh et al. (2005)
[3] Komeijani & Naghdi (2009)

الگوهای تصحیح خطای برداری (VEC) پرداختند. در این مقاله نرخ تورم مربوط به سال-های (۱۳۸۴-۱۳۵۳) با استفاده از متغیرهای حجم نقدینگی، نرخ ارز و تولید سه بخش خدمات، صنعت و کشاورزی به عنوان متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان داد که رابطه بین تولید و تورم یک رابطه بلندمدت و منفی است که در این میان بخش خدمات نسبت به سایر بخش‌های کشاورزی و صنعت رابطه کوتاه‌مدت‌تری با تورم دارد و بخش خدمات نسبت به سایر بخش‌های تولیدی در مقابل افزایش تورم حساس‌تر است؛ به طوری که با افزایش تورم، در کوتاه‌مدت تولید بخش خدمات نسبت به سایر بخش‌های اقتصادی سریع‌تر افزایش می‌یابد. در نهایت نتایج حاصل از مقاله نشان داد که تورم صرفا پدیده‌ای پولی نیست و برای کنترل تورم در ایران نمی‌توان صرفاً بر سیاست‌های پولی تکیه کرد و در بلندمدت باید بخش واقعی اقتصاد یعنی تولید را نیز مدنظر قرار داد. صادقی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به بررسی ارتباط بلندمدت بین تورم و عوامل مؤثر بر آن با تأکید بر اندازه دولت در اقتصاد ایران طی دوره (۱۳۸۵-۱۳۵۳) پرداختند. ایشان برای تخمین مدل تحقیق از روش هم‌انباشتگی خود توضیح-برداری با وقفه گسترده (ARDL) استفاده نمودند. نتایج حاصل نشان داد که شاخص قیمت کالاهای وارداتی، حجم نقدینگی، نرخ بهره حقیقی از متغیرهای اثرگذار بر نرخ تورم در اقتصاد ایران می‌باشند و رابطه منفی و معنی‌داری بین تورم و اندازه دولت در اقتصاد ایران وجود دارد. حسینی و آقابیگی[1] (۱۳۹۱) در پژوهشی با هدف پیش‌بینی نرخ تورم در ایران برای سال ۱۳۹۰ از دو الگوی میانگین متحرک هم‌انباشته خود توضیح (ARIMA) و شبکه عصبی (ANN)، داده‌های سری‌زمانی ماهیانه شاخص بهای کالا و خدمات مصرفی ایران طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۹ استفاده نمودند. در این پژوهش به مقایسه الگوهای اقتصادسنجی و شبکه عصبی و توان پیش‌بینی هر یک از این الگوها با توجه به میانگین درصد خطای مطلق آن‌ها پرداخته شد. نتایج پیش‌بینی با استفاده از این دو الگو نشان داد، که اگرچه هر دو الگو دارای توان پیش‌بینی بالایی بوده‌اند، اما الگوی ARIMA نسبت به الگوی ANN از توان پیش‌بینی بالاتری برخودار بوده است. بنابراین در ادامه مقادیر پیش‌بینی شده شاخص بهای کالا و خدمات مصرفی در ایران بر اساس الگوی سری زمانی ARIMA تعیین شد و نتایج پیش‌بینی این الگو نشان داد که با توجه به روند رو به رشد در شاخص بهای کالا و خدمات مصرفی در ایران برای سال ۱۳۹۰، در

[1] Hosseini & Aghabeygi (2012)

پیش‌گرفتن سیاست‌های کنترل حجم پول و نقدینگی از طریق اعمال سیاست‌های پولی و مالی مناسب توسط سیاست‌گذران می‌تواند نقش مهمی در کنترل نرخ تورم داشته باشد. دهدشتی و همکاران[1] (۱۳۹۱) طی مطالعه‌ای حجم نقدینگی و نرخ تورم در ایران را پیش‌بینی نمودند. برای این منظور، ایشان پس از بررسی ایستایی و تصادفی بودن متغیرها، با استفاده از آزمون ناپارامتریک والیس-مور، الگوهای هارمونیک، ARCH و ARMA به پیش‌بینی متغیرهای مذکور پرداختند. الگوی (۲،۱) ARMA در پیش‌بینی نرخ تورم و الگوی (۱و۱) GARCH در پیش‌بینی نقدینگی دارای خطای کمتر و در نتیجه کارایی بیشتر نسبت به سایر الگوهای مورد استفاده در این مطالعه معرفی شد. در نهایت این مطالعه به بررسی تأثیر حجم نقدینگی و نرخ تورم بر ارزش افزوده بخش کشاورزی پرداخت. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان داد که ارتباط مستقیم اما ضعیفی بین حجم نقدینگی، نرخ تورم و ارزش افزوده بخش کشاورزی وجود دارد. ابونوری و همکاران[2] (۱۳۹۲) رابطه بین نرخ تورم و نرخ سود سپرده‌های بانکی در سیستم بانکداری ایران را با استفاده از مدل‌های هم‌انباشتگی و تصحیح خطا بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که در بلندمدت رابطه مثبت معنادار دو طرفه‌ای بین نرخ سود اسمی و نرخ تورم وجود دارد، به طوری که جهت تأثیرگذاری از تورم بر نرخ تمامی سپرده‌ها صحت دارد و تقریبا هرچه مدت سپرده‌گذاری کمتر می‌شود تاثیرپذیری آن از نرخ تورم افزایش می‌یابد و جهت تأثیرگذاری نرخ سپرده‌ها بر تورم در مورد سپرده‌های کوتاه‌مدت، بلندمدت دو ساله، چهار ساله و پنج ساله نیز مورد تأیید است. همچنین آن‌ها در ادامه با مطالعه موردی شعب بانک سپه تهران نشان دادند که نرخ تورم با حجم انواع سپرده‌ها رابطه‌ای معکوس و رابطه مستقیمی با رشد درآمد ملی دارد.

۲-۲- مطالعات خارجی

مالزیوفسکی[3] (۲۰۰۳) در مقاله‌ای تحت عنوان «مدل‌سازی تورم در گرجستان» مدلی مناسب جهت تخمین تورم در گرجستان را معرفی کرد. وی در این مدل از متغیرهای تولید ناخالص داخلی به عنوان درآمد حقیقی، شاخص قیمت مصرف‌کننده در شاخه موادغذایی، قیمت نفت و نرخ ارز، حجم پول (m_3 و m_2) طی سری زمانی (۲۰۰۳/۲-

[1] Dehdashti et al. (2012)
[2] Abounoori et al. (2013)
[3] Maliszewski

۱۹۹۶/۱) استفاده نمود. نتایج این مقاله نشان داد که تورم در بلندمدت تحت تأثیر پول، تغییرات نرخ ارز، درآمد حقیقی قرار دارد و متغیرهای قیمت نفت، رشد پول، تغییرات جاری نرخ ارز و شاخص قیمت مصرف‌کننده در شاخه موادغذایی در کوتاه‌مدت رابطه معناداری با تورم دارد. الترکی و ویپورینا[1] (۲۰۱۰) به منظور ارائه راهکاری جهت مقابله با چالش سیاست پولی تاجیکستان، در مقاله‌ای به تجزیه و تحلیل پویا تورم این کشور با استفاده از مدل تصحیح خطای برداری[2] پرداختند. در این مقاله اثر متغیرهای کلان اقتصادی از جمله تولید ناخالص داخلی واقعی، نرخ ارز موثر اسمی، پول گسترده، قیمت-های خارجی و نرخ بهره طی دوره (۲۰۰۷/۴-۱۹۹۹/۱) بر تورم در کوتاه‌مدت و بلندمدت بررسی شد. نتایج این آنالیز نشان داد که افزایش عرضه پول گسترده اثر قابل توجهی در بلندمدت و کوتاه مدت بر تورم دارد همچنین تولید ناخالص داخلی واقعی (به خصوص در بلندمدت)، نرخ ارز و تورم بین‌المللی به ترتیب اثر زیادی بر تورم داخلی این کشور دارد. آن‌ها با توجه به بی‌تأثیری نرخ (بازپرداخت) بهره بر تورم (به دلیل جدا شدن از نرخ بازار) به عنوان مناسب‌ترین ابزار سیاست پولی معرفی کردند. در پایان نیز آن‌ها با بکارگیری مدل خود رگرسیو میانگین متحرک[3] به پیش‌بینی تورم تا سال ۲۰۱۰ پرداختند. اونچ و همکاران[4] (۲۰۱۳) در مقاله‌ای به پیش‌بینی کوتاه‌مدت تورم ترکیه با استفاده از تعداد زیادی از مدل‌های اقتصادسنجی از جمله مدل‌های تک‌متغیره، روش‌های تجزیه مبتنی بر (فراوانی و دامنه زمان)، مدل پارامتر منحنی فیلیپس در طول زمان، مجموعه‌ای از مدل-های VAR، BVAR و مدل‌های عامل پویا در دوره بحران جهانی (۲۰۰۸) پرداختند. یافته‌های این مقاله نشان داد که مدل‌هایی که در سنجش گام تصادفی اطلاعات بیشتر اقتصادی ترکیب کردند عملکرد نسبی بهتری در پیش‌بینی دارند و ترکیب پیش‌بینی‌ها منجر به کاهش در خطای پیش‌بینی در مقایسه با بسیاری از مدل‌های دیگر شد. آدوسی[5] (۲۰۱۳) در مقاله‌ای به بررسی این موضوع پرداخت که آیا تورم در آفریقای جنوبی یک پدیده پولی است یا ساختاری؟ وی در این بررسی از روش‌های تجزیه و تحلیل همجمعی،

[1] Alturky & Vtyurina
[2] Vector Error Correction Model
[3] Autoregressive Moving Average Model
[4] Öğünç et al.
[5] Adusei

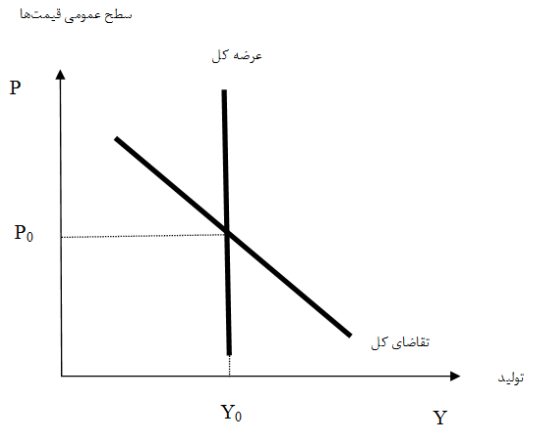
حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح شده[1]، حداقل مربعات دو مرحله‌ای[2] و علیت گرنجر و داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۶ جنوب آفریقا استفاده نمود. یافته‌ها نشان داد که در کوتاه‌مدت باز بودن اقتصاد آفریقا، پول گسترده و مخارج دولت بر روی تورم تأثیر زیادی ندارد. اما تولید ناخالص داخلی دارای تأثیر معنی‌داری بر روی تورم در آفریقای جنوبی است. در بلندمدت بدون کنترل شکست ساختاری، باز بودن اقتصاد آفریقا، تورم آمریکا، تولید ناخالص داخلی، عرضه پول و اندازه دولت، عوامل مهم اثرگذار بر تورم آفریقای جنوبی هستند. در حالی که نرخ بهره اسمی تأثیری بر تورم آفریقا ندارد و زمانی که سقوط بازار مالی آسیا و فروپاشی سیستم آپارتاید کنترل گردد، تنها باز بودن اقتصاد آفریقای جنوبی و عرضه پول گسترده عوامل تأثیرگذار بر تورم آفریقای جنوبی هستند. نتایج حاصل از علیت گرنجر نیز نشان داد که علیت یک‌طرفه‌ای از تورم در ایالات متحده آمریکا و تولید ناخالص ملی بر تورم در آفریقای جنوبی و همچنین رابطه یک طرفه‌ای از تورم به عرضه پول گسترده در آفریقای جنوبی وجود دارد. البوسویواگبنا[3] (۲۰۱۴) در مقاله‌ای جهت بررسی علل تورم در اقتصاد نیجریه به مدل‌سازی فرآیند تورم این کشور مبتنی بر رویکرد متوسط‌گیری بیزین با استفاده از متغیرهای کلان اقتصادی شامل تولید ناخالص داخلی، پول و شبه پول (M2)، نرخ ارز، نرخ مؤثر واقعی، درآمد خالص از خارج از کشور، خالص تفاضل بین صادرات و واردات، پرداخت بدهی خارجی، نرخ بهره وام، واردات، بیکاری، پول محدود[4]، رشد تولید ناخالص داخلی و تولید محصولات کشاورزی پرداخت. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن است که تولید محصولات کشاورزی، نرخ بهره وام، نرخ ارز، نقدینگی و حجم پول مهم‌ترین متغیرهای توضیحی هستند. همچنین نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل نشان‌دهنده آن است که بهترین مدل که شامل این پنج متغیر است، احتمال پسین ۲۶ درصد دارد که به این معنی است این مدل ۷۴ درصد نا اطمینانی دارد. مفات و دیوید[5] (۲۰۱۶) در مقاله‌ای تورم نیجریه را با استفاده از سری زمانی باکس جنکینز و داده‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۳ مدل‌سازی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل ARIMA (0,0,1) با خطای جذر میانگین مربعات ۰/۱۱۶ به عنوان بهترین

[1] FMOLS
[2] Two-stage least squares (2SLS)
[3] Olubsoye & Oghbonna
[4] Narrow money
[5] Moffat & David

مدل معرفی شد. در پایان آن‌ها پیشنهاد کردند برای جلوگیری از خسارات ناشی از تورم از سیاست‌های مالی با هدف نظارت بر روند تورمی نیجریه استفاده شود.

۳- مبانی نظری

براساس نظریات اقتصاد کلان بین حجم پول، تورم، رشد اقتصادی، نرخ بهره اسمی و نرخ ارز در جامعه روابط مشخصی وجود دارد. بانک مرکزی به منظور کنترل سه متغیر مهم اقتصادی یعنی نرخ تورم، نرخ ارز، نرخ بهره که از رفتار پولی بانک مرکزی اثر می‌پذیرد، باید قواعد پولی دقیقی تعریف کند. قابل ذکر است که قاعده پولی با توجه به سوابق رشد اقتصادی یک جامعه، نرخ رشد پول را برای سال‌های متمادی ثابت در نظر می‌گیرد. طبق قاعده دیگر، رشد پول باید با توجه به پیش‌بینی رشد اقتصادی و تغییرات تقاضای جامعه برای پول تعیین شود. جامع‌ترین قاعده پولی، «قاعده پولی تیلور» است که طبق آن رشد پول با توجه به نرخ بهره اسمی، انتظارات تورمی، رشد اقتصادی و نرخ ارز انتظاری تعیین می‌شود (شهیکی تاش و همکاران[1]، ۱۳۹۲). با توجه به نظریه‌های اقتصاد کلان در بلندمدت سطح تولید به تنهایی توسط عوامل عرضه تعیین می‌شود و قیمت‌ها از طریق سطح تقاضا نسبت به تولیدی که اقتصاد می‌تواند عرضه کند مشخص می‌شود. شکل (۱) نشان می‌دهد که چگونه سطح قیمت‌ها با افزایش عرضه و تقاضای کل در بلندمدت افزایش می‌یابد.



شکل (۱): منحنی‌های عرضه و تقاضای کل (در بلند مدت)

منبع: سوماراتنا و همکاران (۲۰۱۰)

[1] Shahiki Tash et al. (2013)

در واقع به بیان اقتصادی، منحنی عرضه کل در هر سطح قیمت، میزان تولیدی که بنگاه تمایل به عرضه آن دارد را ترسیم می‌کند و منحنی تقاضای کل، سطح تولیدی را که در آن تعادل بازار کالا و بازار پول به طور همزمان برقرار می‌شود را برای هر سطح قیمت داده شده ارائه می‌دهد. در نهایت عرضه و تقاضای کل میزان تولید و قیمت را تعیین می‌کنند (دورنبوش فیشر و استارتز[1]، ۲۰۰۴). براساس تئوری اقتصادی کینزین‌ها (کوهلر[2]، ۱۹۹۲) و مدل مثلث رابرت گولدن[3] (۱۹۸۸) این موضوع مطرح می‌شود که سه عامل اصلی نرخ تورم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. که با توجه به این نظریه‌ها و دیدگاه‌ها می‌توان عوامل مؤثر بر تورم را به سه دسته یعنی عوامل طرف تقاضا، عوامل طرف عرضه و عوامل خارجی تقسیم نمود (سوماراتنا و همکاران[4]، ۲۰۱۰).

در مطالعه‌ای سونسن[5] (۱۹۹۷) و بال[6] (۱۹۹۷) مدل گسترش یافته‌ای را در یک اقتصاد باز به صورت زیر مطرح می‌کنند، مدلی ساده که در بطن آن مدل‌های پیچیده اقتصاد کلان بانک مرکزی قرار دارد. این مدل از سه قسمت تشکیل می‌شود:

$$y = -\beta r_{-1} - \sigma e_{-1} + \lambda y_{-1} + \varepsilon \quad (۱)$$

$$\pi = \pi_{-1} + \alpha y_{-1} - \gamma(e_{-1} - e_{-2}) + \eta \quad (۲)$$

$$e = \theta r + \nu \quad (۳)$$

معادله اول همان منحنی (IS) در یک اقتصاد باز است که در این معادله y معرف تولید، r نرخ بهره حقیقی، e نرخ ارز و (۱-) نشان دهنده هر متغیر با یک دوره وقفه می‌باشد. در مدل دوم π معرف تورم و π_{-1} تورم با یک دوره وقفه (تورم انتظاری) و نرخ ارز (به دلیل تاثیری که نرخ ارز از طریق قیمت کالاهای وارداتی بر تورم می‌گذارد) است. در نهایت معادله سوم که رابطه نرخ بهره و نرخ ارز را نشان می‌دهد با این فرض که افزایش در نرخ بهره موجب جذابیت بیشتر دارایی داخلی می‌شود که به عبارتی موجب افزایش بها آن‌ها می‌شود و ν تاثیر متغیرهایی از قبیل انتظارات و اعتماد سرمایه‌گذاران و نرخ بهره خارجی را تحت عنوان یک شوک نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر سونسن (۱۹۹۶) مدلی ساده

---

[1] Dornbusch Fischer & Startz
[2] Kohler
[3] Gordon
[4] Somaratna et al.
[5] Svensson
[6] Ball

به منظور کنترل تورم و پیش‌بینی آن معرفی کرد. این مدل که توسط برخی از بانک‌های مرکزی کشورها استفاده می‌شود به صورت زیراست:

$$y_{t+1} = \beta_1 y_t - \beta_2(i_t - \pi_t) + \beta_3 x_t + \eta_{t+1} \quad (۴)$$

$$\pi_{t+1} = \pi_t + \alpha_1 y_t + \alpha_2 x_t + \varepsilon_{t+1} \quad (۵)$$

$$x_{t+1} = \gamma x_t + \theta_{t+1} \quad (۶)$$

که در آن π_t معرف تورم در سال t، y_t متغیر درون‌زا تولید (لگاریتم تولید نسبت به تولید بالقوه)، i_t نرخ رپو[1] به عنوان ابزار سیاستی پولی، x_t متغیر خارجی، (ε_t ، η_t ، θ_t) شوک‌های مستقل تصادفی توزیع شده موجود در معادله می‌باشد. ضرایب α_1 و β_2 مثبت در نظر گرفته می‌شود و دیگر ضرایب غیرمنفی هستند و $\beta_1 < 1$ و $\gamma < 1$. در ادامه وی بیان می‌کند به دلیل اینکه نرخ رپو با دو دوره وقفه عمل می‌کند بنابراین π_{t+2} به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\pi_{t+2} = \pi_{t+1} + \alpha_1 y_{t+1} + \alpha_2 x_{t+1} + \varepsilon_{t+2} \quad (۷)$$

$$\pi_{t+2} = [\pi_t + \alpha_1 y_t + \alpha_2 x_t + \varepsilon_{t+1}] + \alpha_1[\beta_1 y_t - \beta_2(i_t - \pi_t) + \beta_3 x_t + \eta_{t+1}] + \alpha_2[\gamma x_t + \theta_{t+1}] + \varepsilon_{t+2} \quad (۸)$$

$$\pi_{t+2} = m_1\pi_t + m_2 y_t + m_3 x_t + m_4 i_t(\varepsilon_{t+1} + \varepsilon_{t+2} + \alpha_1\eta_{t+1} + \alpha_2\theta_{t+1}) \quad (۹)$$

$$m_1 = (1 + \alpha_1\beta_2),\ m_2 = \alpha_1(1 + \beta_1),\ m_3 = \alpha_1\beta_3 + \alpha_2(1 + \gamma),\ m_4 = \alpha_1\beta_2$$

با توجه به معادله (۹) تورم تابعی از تولید و تورم انتظاری و متغیر خارجی و نرخ بهره رپو بیان می‌شود.

۴-مدل‌سازی تورم ایران

تورم از معضلات اصلی اقتصاد ایران در طی چند دهه گذشته بوده است. به طوری که بنا به گزارش بانک مرکزی متوسط میزان تورم در دهه ۱۳۵۰ برابر ۱۳ درصد، در دهه ۱۳۶۰، ۱۷ درصد، در دهه ۱۳۷۰، ۲۴ درصد، در دهه ۱۳۸۰، ۱۵ درصد و در نیمه اول دهه ۱۳۹۰، ۲۳ درصد اعلام شده که حـاکی از وجود تورم بالا در حیات اقتصادی ایران است. اقتصاددانان مطالعات زیادی پیرامون علل و راه‌های مقابله با تورم در اقتصاد ایران انجام داده‌اند. پژوهش‌ها و الگوهای ارائه شده نسبتاً متنوع است. شاید یکی از مهم‌ترین دلایل

[1] توافقی بین دو طرف است، به نحوی که یک طرف اوراق بهادار خود را به قیمت مشخص، به طرف دیگر می‌فروشد (پول قرض می‌کند) و به طور همزمان تعهد می‌کند، که همان اوراق بهادار را به قیمت مشخص و در تاریخ مشخص، در آینده بازخرید کند. نرخ بهره‌ای که در قرارداد ذکر می‌شود، نرخ بهره رپو نامیده می‌شود. (REPO)

آن نیز تنوع و گوناگونی مکاتب اقتصادی باشد (کمیجانی و نقدی، ۱۳۸۸). دستیابی به تکنیکی قدرتمند با توانایی‌های بالا و خطای کم در شبیه‌سازی و مدل‌سازی تابع تورم اهمیت به سزایی دارد. ضمن اینکه با توجه به رفتار پیچیده و ماهیت غیرخطی بازارهای مالی که بدان اشاره شد، این تکنیک بایستی قادر باشد که فرم‌های تبعی غیرخطی را نیز مورد بررسی قرار دهد. امروزه روش‌های نوینی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف ابداع گشته است که الگوریتم‌های تکاملی[1] در میان این روش‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. در بسیاری از سیستم‌های پیچیده و خصوصا غیرخطی که مدل‌سازی و به دنبال آن پیش‌بینی و کنترل آن‌ها از طریق روش‌های کلاسیک و تحلیلی امری بسیار دشوار و حتی بعضا غیرممکن می‌نماید، از این الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. الگوریتم‌های تکاملی با الهام از طبیعت یک ساختار جمعیتی ایجاد کرده و براساس قوانینی آن‌ها را نمو می‌دهند. در این روش، به هر فرد در جمعیت براساس تابع شایستگی و براساس موقعیت آن در محیط یک مقدار شایستگی نسبت داده می‌شود و سپس براساس قوانین معین، عملگرهای مختلف بر روی هر فرد برای ارتقا و بهبود نتیجه اعمال می‌گردد. اگرچه این روش از دیدگاه زیستی بسیار ساده‌انگارانه به نظر می‌رسد، اما یک ساز و کار جستجوی انطباقی بسیار قدرتمند و کارا ایجاد می‌کند که قادر به یافتن پاسخ بهینه در بسیاری از مسائل پیچیده می‌باشد (یانگ، ۲۰۰۸)[2]. دراین مطالعه از بین الگوریتم‌های تکاملی الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در اینجا به مبانی نظری آن‌ها اشاره می‌گردد.

۴-۱- الگوریتم کرم شب‌تاب

الگوریتم کرم شب‌تاب[3] برای نخستین بار توسط یانگ در سال ۲۰۰۸ ارائه شد. الگوریتم کرم شب‌تاب یک الگوریتم فرا ابتکاری می‌باشد که با الهام از رفتار ساطع کردن نور کرم-های شب‌تاب به دست آمده است. هدف اولیه کرم شب‌تاب از ساطع کردن نور به مانند یک سیستم علامت‌دهی برای جذب کرم‌های شب‌تاب دیگر است. در سال ۲۰۰۹ مقایسه این الگوریتم با الگوریتم پرندگان[4] و الگوریتم ژنتیک مشخص کرد که این الگوریتم برای

[1] Evolutionary Algorithms
[2] Yung
[3] Firefly Algorithm (FA)
[4] Particle Swarm Optimization (Pso)

پیدا کردن نقطه بهینه عمومی[1] در برخی کاربردهای مورد آزمون قرار گرفته، از کارایی بهتری برخوردار است. پدیدآورنده الگوریتم کرم شب‌تاب در سال ۲۰۱۰ نتایج آزمون‌های انجام پذیرفته دیگری بر روی این الگوریتم را منتشر و علاوه بر اعتبار بخشیدن به این الگوریتم سرعت رسیدن به جواب آن را نیز مورد بررسی قرار داد که در آزمون‌های انجام شده سرعت الگوریتم بالاتر از سایر الگوریتم‌ها ارزیابی شد. در این الگوریتم تابع هدف به سادگی می‌تواند با مقدار روشنایی کرم‌های شب‌تاب متناسب شود. از طرف دیگر روشنایی کرم‌های شب‌تاب می‌تواند توسط یک راه حل ساده با قابلیت کارایی در الگوریتم‌های ژنتیک یا الگوریتم نگهداری باکتری (BFA)[2] تعریف شود. فرایند بهینه‌سازی این الگوریتم از تغییرات شدت نور و جذابیت استفاده می‌نماید. جذابیت یک کرم شب‌تاب براساس درخشندگی یا شدت نور تعیین می‌شود که از تابع هدف به‌دست آمده است. درساده‌ترین حالت برای مسائل بهینه‌سازی که در آن مقدار بیشینه تابع هدف به‌دست می‌آید، بیشینه روشنایی I یک کرم شب‌تاب در مکان منحصر به فرد X می‌تواند مقدار روشنایی با تابع هدف متناسب شود ($I(x) \propto f(x)$).

با این حال جذابیت، β کاملاً نسبی است و باید در چشمان ناظر دیده شود و یا توسط کرم‌های شب‌تاب دیگر قضاوت شود. بنابراین، جذابیت با مسافت r_{ij} بین کرم شب‌تاب i و کرم شب‌تاب j تغییر می‌کند. شدت نور با افزایش فاصله از منبع‌اش کاهش می‌یابد و نور در محیط نیز جذب می‌شود، بنابراین باید اجازه داده شود جذابیت با درجه جذب تغییر کند. در ساده‌ترین حالت شدت نور $I(r)$ با مسافت r به طور پیوسته و نمایی تغییر می‌کند. بیان ریاضی تغییرات شدت در رابطه (۱۰) آمده است

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \qquad (۱۰)$$

I_0 شدت نور اولیه و γ ضریب جذب نور می‌باشد.

میزان جذب کرم شب‌تاب با شدت نوری که از کرم‌های شب‌تاب اطراف ساطع می‌شود، متناسب است. اکنون می‌توان مقدار جذابیت یک کرم شب‌تاب β را طبق رابطه (۱۱) تعریف کرد.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \qquad (۱۱)$$

β_0 مقدار جذابیت در مسافت صفر است.

---

[1] Global Optimum
[2] Bacterial Foraging Algorithm

فاصله بین هر دو کرم شب‌تاب i, j در X_i و X_j را می‌توان از مختصات کارتزین طبق رابطه (۱۲) به‌دست آورد.

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^{n}(X_{i,k} - X_{j,k})^2} \qquad (۱۲)$$

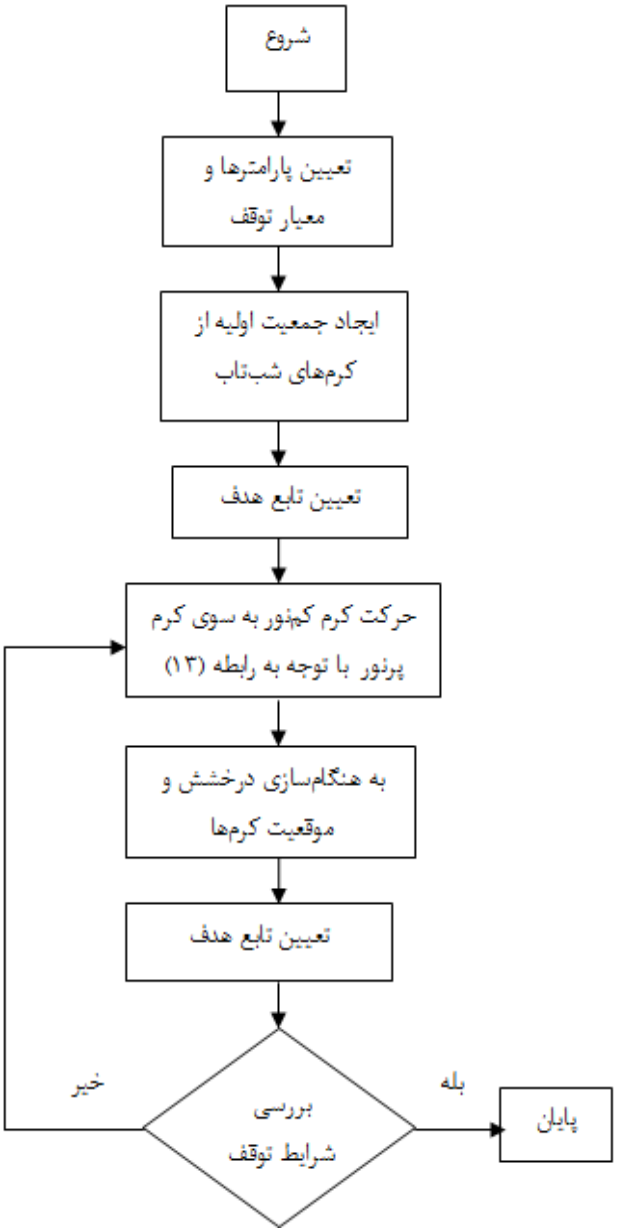
$X_{i,k}$ جز k از کرم شب‌تاب i است.

در این الگوریتم کرم‌های شب‌تاب به سمت کرم‌های با جذابیت بیشتر حرکت می‌کنند. در هر مرحله میزان جابجایی کرم جذب شده i به سوی کرم شب‌تاب جذاب‌تر (روشن‌تر) j، توسط رابطه (۱۳) تعیین می‌شود.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}(x_i - x_j) + \alpha\varepsilon_i \qquad (۱۳)$$

قسمت دوم رابطه با جذب در ارتباط است، در حالی که قسمت سوم تصادفی است که با بردار تصادفی تغییر می‌کند که از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. در بیشتر کاربردها می‌توان مقادیر $\gamma = 1$ ، $\beta_0 = 1$ و $\alpha \in [0\ ,1]$ را در نظر گرفت. علاوه بر این، اگر تفاوت در مقادیر اندازه‌ها در ابعاد مختلف وجود داشته باشد، به عنوان مثال اگر تغییرات در یک بعد از 10^{-5} تا 10^{5} و در دیگر ابعاد از 10^{-3} تا 10^{3} باشد یک ایده مناسب جایگزینی α با αS_k است که S_k بردار مقیاس‌دهی برای اجزای پارامترهای ورودی به الگوریتم است. در مقاله حاضر نرمال‌کردن کلیه پارامترهای ورودی در بازه $[-1\ ,1]$ باعث شده تا علاوه بر افزایش سرعت آموزش و کاهش خطا در شبکه عصبی، همسان‌سازی داده به وجود آمده در اثر نرمال‌سازی، باعث شده تغییرات در ابعاد مختلف، همسان شود. پارامتر γ تغییر جذابیت را مشخص می‌کند و مقدار آن مشخص کننده تعیین سرعت همگرایی و چگونگی رفتار الگوریتم کرم شب‌تاب است. در تئوری $\gamma \in [0\ ,\infty)$ اما در عمل $\gamma = 0$ یا $\gamma = 1$ توسط سیستمی که باید بهینه شود، تعیین می‌شود. در نهایت زمانی که $\gamma = 0$، جذابیت ثابت است $\beta = \beta_0$ در واقع مانند این است گفته شود که شدت نور در یک فضای ایده‌آل کاهش نمی‌یابد. بنابراین یک کرم شب‌تاب روشن می‌تواند در هر جایی از ناحیه دامنه دیده شود. بنابراین یک نقطه بهینه (معمولاً بهینه عمومی) می‌تواند به راحتی قابل دسترس شود که مطابق با یک حالت خاص الگوریتم پرواز پرندگان است. همچنین این امکان وجود دارد که با تنظیم γ به توان چندین نقطه بهینه مختلف را (در صورت وجود چندین نقطه بهینه) در طی تکرارهای مشابه پیدا کرد. در حقیقت با افزایش پارامتر γ جذابیت کم‌رنگ‌تر شده، لذا کرم‌ها به سمت بهینه‌های محلی جذب نمی‌شود. در صورت چندین نقطه بهینه در فضایی که کرم‌ها رها می‌شوند در صورتی که تعداد کرم‌ها به شکل

قابل توجهی از نقاط بهینه بیشتر باشد هیچ نقطه بهینه‌ای از چشم کرم‌ها دور نخواهد ماند.



شکل (۲): روندنما الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب

منبع: یانگ (۲۰۰۸)

۴-۲- الگوریتم فاخته

الگوریتم فاخته یکی از جدیدترین و قوی‌ترین روش های بهینه‌سازی تکاملی می‌باشد که تاکنون معرفی شده است. این الگوریتم که با الهام از روش زندگی پرنده‌ای به نام فاخته طراحی شده است در سال ۲۰۰۹ توسط یانگ و دب[1]مطرح و توسط رجبیون[2] در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته است این الگوریتم توسط پرواز لوی[3] به‌جای پیاده‌روی ایزوتروپیک تصادفی ساده توسعه یافته است از بین ۹۰۰۰ پرنده موجود در دنیا برخی از آن‌ها خود را از دردسر هر گونه لانه‌سازی و وظایف والدین رهانیده و پرورش جوجه‌های خود را به دیگران واگذار می‌کنند. این پرندگان در اصطلاح پارازیت اولادی نامیده می‌شوند. فاخته مشهورترین پارازیت اولادی می‌باشد. استراتژی این پرنده شامل خفیه‌کاری، شگفت‌زده کردن و سرعت عمل است. فاخته مادر یکی از تخم‌های پرنده مادر میزبان را از بین می‌برد و تخم‌گذاری خود را لابه‌لای تخم‌های موجود در لانه میزبان قرار می‌دهد. با این عمل، نگه‌داری از تخم را بر عهده پرنده ماده میزبان می‌گذارد. در این بین پرندگانی هستند که تخم‌های فاخته را در لانه‌های خود تشخیص می‌دهند و حتی بعضی‌ها تخم‌های فاخته را از لانه بیرون می‌اندازند برخی هم لانه لو رفته را ترک‌کرده و لانه جدید بر پا می‌کنند.

برای حل مسئله بهینه‌سازی لازم است تا مقادیر متغیرهای مسئله به فرم یک آرایه شکل گیرند، در این الگوریتم این ارائه محل سکونت یا آشیانه[4] نام دارد. در یک مسئله بهینه-سازی، N_{Var} بعدی، یک آشیانه؛ یک آرایه ۱* N_{Var} خواهد بود که موقعیت فعلی زندگی فاخته را نشان می‌دهد. این آرایه به صورت رابطه (۱۴) تعریف می‌شود.

$$habitat = [x_1, x_2, \dots \dots . x_{N\,Var}] \qquad (۱۴)$$

که در آن x_1 متغیر اول مسئله، $x_{N\,Var}$ متغیر Nام مسئله می‌باشد. مقدار سود در آشیانه فعلی برابر با ارزیابی تابع سود (f_p) در آشیانه می‌باشد .

$$profit = f_p\,(x_1, x_2, \dots \dots . x_{N\,Var}) \qquad (۱۵)$$

برای شروع یک ماتریس آشیانه به سایز N_{Var}*Npop تولید می‌شود که Npop تعداد فاخته‌ها N_{Var} تعداد متغیرهاست. سپس برای هر کدام از این آشیانه‌ها تعدادی تصادفی تخم تخصیص داده می‌شود. به‌طور طبیعی هر فاخته بین ۵ تا ۲۰ تخم می‌گذارد. هر

---

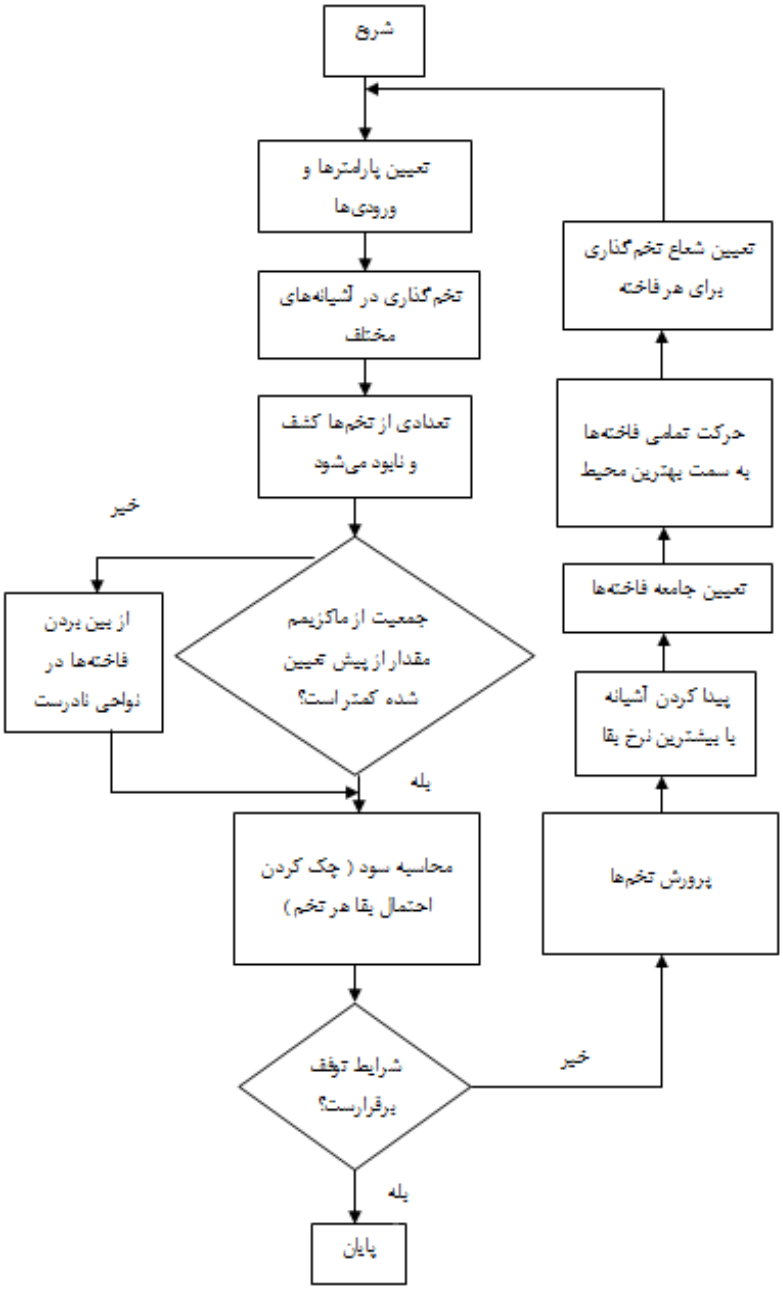
[1] Yang & Deb
[2] Rajabioun
[3] Levy
[4] habitat

فاخته در یک دامنه مشخص تخم‌گذاری می‌نماید که به آن حداکثر دامنه تخم‌گذاری (ELR) گفته می‌شود. می‌توان ELR به صورت رابطه (۱۶) تعریف کرد:

$$ELR = \beta \times (Var_{hi} - Var_{lo}) \times \frac{\text{مجموع تخم‌گذاری هر فاخته}}{\text{تعداد تخم‌گذاری فاخته در هر مرحله}} \qquad (۱۶)$$

Var_{hi} حد بالای متغیر، Var_{lo} حد پایین متغیر و β متغیری است که توسط آن حداکثر ELR تنظیم می‌شود. هر فاخته به صورت تصادفی تخم‌گذاری را در لانه‌گذاری پرنده میزبان که در ELR خود قرار دارد، می‌گذارد. بنابراین تخم‌هایی که شباهت بیشتری به تخم پرنده میزبان دارد شانس بیشتری برای بقا دارند این جوجه‌ها در لانه‌ها میزبان تغذیه شده و رشد می‌کنند در ضمن، فقط یک تخم در هر لانه امکان رشد دارد. وقتی جوجه فاخته‌ها رشد کردند و بالغ شدند مدتی در گروه خود زندگی می‌کنند ولی هنگامی که وقت تخم‌گذاری فرارسد باید به آشیانه‌های بهتر که در آنجا شانس بقا بیشتر است مهاجرت کنند. از بین گروه‌هایی که که فاخته‌ها تشکیل داده‌اند گروهی که دارای بهترین موقعیت است به عنوان نقطه هدف برای سایر فاخته‌ها جهت مهاجرت انتخاب می‌شود. تشخیص این که هر فاخته به کدام گروه تعلق دارد کار چندان ساده‌ای نیست لذا برای حل این مشکل، گروه‌بندی این فاخته‌ها توسط روش کلاس‌بندی Kmeans انجام می‌شود.

حال که گروه‌های فاخته تشکیل شدند سود میانگین گروه را محاسبه کرده تا بهینه نسبی محل زیست آن گروه به دست آید سپس گروهی که دارای بیشترین مقدار متوسط سود می‌باشد، به عنوان گروه هدف انتخاب شده و گروه‌های دیگر به سمت آن مهاجرت می‌کنند. در نهایت با توجه به تعادلی که بین جمعیت پرندگان در طبیعت وجود دارد عددی مثل Nmax حداکثر تعداد فاخته‌هایی را که می‌توانند در یک محیط زندگی کنند کنترل و محدود می‌کند.



شکل(۳): روندنما الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

منبع: رجبیون (۲۰۱۱)

۴-۳-طراحی مدل و نتایج تجربی

با توجه به مبانی نظری و مطالعات تجربی صورت گرفته در مطالعه حاضر تابع تورم بر اساس عوامل طرف تقاضا و عرضه‌کل و عوامل خارجی به صورت زیر تصریح می‌شود:

$$CPI = F(M, R, E, Y, EINFd_t) \quad (۱۷)$$

در این معادله M معرف حجم نقدینگی، R نرخ بهره حقیقی (تفاضل تورم و نرخ بهره اسمی)، E نرخ ارز، Y شاخص تولید صنعتی و $EINFd_t$ تورم انتظاری با دو دوره وقفه است که به منظور مدلسازی تورم یا شاخص قیمت مصرف کننده (CPI) مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه نرخ تورم انتظاری کالاها و خدمات از فرایند خود توضیح مرتبه دوم منطبق برانتظارات تطبیقی استفاده شده است؛ به عبارتی مردم طبق نظریه‌انتظارات تطبیقی، از اطلاعات گذشته برای تعیین تورم انتظاری استفاده می‌کنند که برآورد آن به صورت رابطه زیر است:

$$EINFd_t = ۰/۸۱۲INFd_{t-1} + ۰/۱۴۴INFd_{t-2} \quad (۱۸)$$

تمامی متغیرهای مورد بررسی با استفاده از داده‌های سری زمانی بانک مرکزی ایران طی دوره (۱۳۹۴-۱۳۵۴) استخراج شده است.

به منظور دستیابی به دقیق‌ترین شبیه‌سازی ممکن و همچنین جلوگیری از عدم تحمیل فرم تبعی خاص به مدل، دو فرم تبعی مختلف به کار گرفته شده است که عبارتند از فرم خطی و فرم غیر خطی. این دو فرم به صورت صریح به شکل زیر هستند:

$$CPI = \alpha_0 + \alpha_1 M + \alpha_2 R + \alpha_3 E + \alpha_4 Y + \alpha_5 EINFd_t \quad (۱۹)$$

$$CPI = A_0 (M)^{a_1} (R)^{a_2} (E)^{a_3} (Y)^{a_4} (EINFd_t)^{a_5} \quad (۲۰)$$

در این پژوهش به کمک الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB اقدام به بهینه‌سازی ارزش پارامترهای مدل گردیده است.

با شبیه‌سازی شاخص CPI توسط الگوریتم کرم شب‌تاب معادلات زیر برای فرم‌خطی و غیر خطی به ترتیب به صورت زیر برآورد گردید:

$$CPI = ۰/۷۵۶۳ + ۰/۴۱۸۶M - ۰/۰۶۰R + ۰/۱۰۵۷E - ۰/۱۵۱۱Y + ۰/۰۱۵۲۴EINFd_t \quad (۲۱)$$

$$CPI = ۰/۱۱۲۹(M)^{۰/۳۵۳۷}(R)^{-۰/۱۲۵۵}(E)^{۰/۱۵۸۶}(Y)^{-۰/۲۱۶}(EINFd_t)^{۰/۰۹۵۷} \quad (۲۲)$$

همچنین نتایج مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم فاخته به صورت زیر است:

$$CPI = ۰/۱۱۶۸ + ۰/۵۴۱۹M - ۰/۱۰۶۵R + ۰/۱۱۵۵E - ۰/۳۱۱۸Y + ۰/۰۹۱۲EINFd_t \quad (۲۳)$$

$$CPI = ۱/۰۵۲۴(M)^{۰/۲۹۱۸}(R)^{-۰/۰۹۰}(E)^{۰/۱۳۸۲}(Y)^{-۰/۱۵۱۳}(EINFd_t)^{۰/۰۵۰۸} \quad (۲۴)$$

برای ارزیابی عملکرد توابع شبیه‌سازی شده در پیش‌بینی شاخص CPI از سه معیار جذر میانگین انحراف معیار (RMSE)[1]، میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)[2] و میانگین خطای مطلق (MAE)[3] استفاده شده است. این معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i^{observed} - E_i^{simulated})^2}{n}} \quad (۲۵)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|E_i^{observed} - E_i^{simulated}\right|}{n} \quad (۲۶)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{E_i^{observed} - E_i^{simulated}}{E_i^{simulated}}\right|}{n} \quad (۲۷)$$

در روابط فوق n نشانگر تعداد مشاهدات است. با مقایسه برآوردهای حاصل از شبیه‌سازی توابع فوق توسط الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته نتایج زیر به دست آمد.

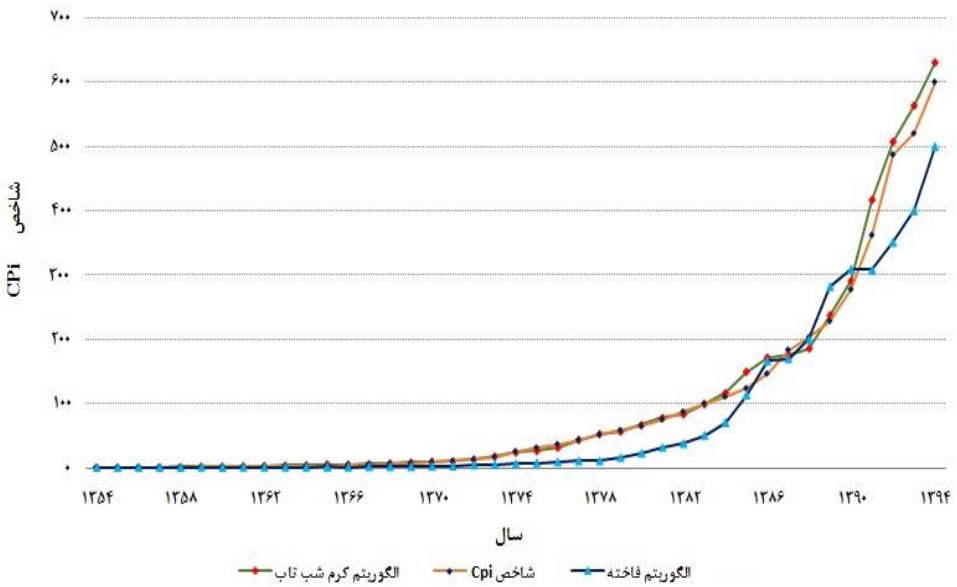
جدول (۱): مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف

مدل	فرم تبعی تابع		
	معیار دقت برازش	مدل خطی	مدل غیر خطی
الگوریتم کرم شب‌تاب	*RMSE*	۱۵/۳۷۵۸	۱۰/۷۱۹۸
	MAE	۹/۶۶۶۴	۴/۶۰۹۰
	MAPE	۰/۴۷۶۲	۰/۱۸۵۱
الگوریتم فاخته	*RMSE*	۴۵/۱۴۴۸	۳۱/۵۰۲۴
	MAE	۲۱/۷۸۲۹	۲۰/۷۳۰۳
	MAPE	۰/۶۴۳۹	۰/۴۵۰۹

منبع: محاسبات تحقیق

بر اساس جدول (۱) می‌توان گفت که الگوریتم کرم شب‌تاب در شبیه‌سازی شاخص CPI در هر دو فرم تبعی دقیق‌تر از الگوریتم فاخته عمل کرده است. نکته جالب در این پژوهش این است در میان فرم‌های تبعی مختلف، فرم غیرخطی با دقت بسیار بالاتری شبیه‌سازی را انجام داده است. نمودار (۱) نشان‌دهنده دقت مدل غیرخطی شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب در مقابل الگوریتم فاخته است.

[1] Root of Mean Squar Error
[2] Mean Absolute Precent Error
[3] Mean Absolute Error



نمودار (۱): مدل غیرخطی شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته

منبع محاسبات تحقیق

نتایج نشان می‌دهد که تورم در اقتصاد ایران پایدار است. در چنین شرایطی انتخاب اهداف و ابزارهای پولی در اجرای سیاست پولی بسیار مشکل می‌شود زیرا سیاست‌های انبساطی اگر چه در کوتاه‌مدت ممکن است به رشد اقتصادی منجر شود ولی با ظهور تدریجی آثار تورمی، روند تولید بلندمدت اقتصاد را با کاهش مواجه می‌سازد. از سوی دیگر سیاست‌های انقباضی اگر چه ممکن است موجب کاهش رشد کوتاه‌مدت شود ولی با کاهش تدریجی روند تورم زمینه افزایش رشد اقتصادی بلندمدت را فراهم می‌سازد. بنابراین طراحی یک قاعده بهینه سیاست‌گذاری پولی با هدف کنترل تورم و ایجاد ثبات تولید با توجه به ماهیت تورم در اقتصاد ایران بسیار دارای اهمیت است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از آن‌جا که در دیدگاه سری زمانی وظیفه پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی به عهده خود سری زمانی گذاشته می‌شود، به محقق اجازه تعیین سهم سایر عوامل مؤثر در تغییرات متغیر مورد نظر داده نمی‌شود و مدل طراحی شده براساس این دیدگاه تنها به فراگیری

و مطالعه داده‌های گذشته متغیر خواهد پرداخت. لذا اگر خطایی در داده‌های گذشته باشد یا رخ دهد، مدل براساس ورودی خود، مقادیر آتی را پیش‌بینی خواهد کرد و خطاهای مقادیر گذشته را به مقادیر آینده منتقل می‌کند. بنابراین اگر متغیرهای تأثیر گذار بر متغیری که خواستار پیش‌بینی رفتار آن هستیم، براساس یک تئوری اقتصادی انتخاب شوند نتایج بهتر و مطمئن‌تری را ایجاد خواهد نمود. لذا پیشنهاد می‌شود برای پیش‌بینی نرخ تورم به جز وقفه‌های شاخص قیمت‌ها (یا نرخ تورم) از دیگر متغیرهای تأثیر گذار بر تورم از جمله حجم نقدینگی، تولید، نرخ ارز و ... بهره گرفته شود. بنابراین در مطالعه حاضر با استفاده از الگوریتم‌های منتخب فرا ابتکاری و متغیرهای مذکور طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۵۴ به شبیه‌سازی تورم پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده با محاسبه شاخص‌های صحت پیش‌بینی مدل، RMSE و MAE با یکدیگر مقایسه گردید. مقایسه نتایج مدل-سازی توسط هر دو مدل نشان داد که الگوریتم کرم شب‌تاب دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم فاخته می‌باشد و با توجه به دقت مدل غیرخطی شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب می‌توان به منظور پیش‌بینی تورم در آینده از آن استفاده نمود. همچنین یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که تورم تنها پدیده پولی نیست بلکه تحت تأثیر متغیرهای کلان اقتصادی قرار دارد به طوری که نتایج تخمین، مهم‌ترین عامل تعیین کننده تورم در کشور، را رشد بالای حجم نقدینگی معرفی می‌کند. به این صورت که ۱۰۰ درصد افزایش حجم نقدینگی، باعث رشد قیمت‌ها به میزان ۳۵ درصد خواهد شد. مهم-ترین متغیر بعد از رشد نقدینگی در تبیین فرایند تورم در ایران شاخص تولید صنعتی، نرخ بهره حقیقی، نرخ ارز و در آخر تورم انتظاری قرار دارد.

بنابراین با توجه به آنچه مطرح شد، به مقام‌های پولی و دولت پیشنهاد می‌شود که در تدوین برنامه‌های توسعه اقتصادی و تنظیم لایحه‌های بودجه سالانه به این متغیرهای اقتصادی و کنترل حجم آن توجه ویژه نمایند. و با نظر به اینکه حجم پول و نرخ رشد نقدینگی یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر تورم در ایران است، بنابراین دولت بایستی سیاست‌های مالی انقباضی اتخاذ کند و به بانک مرکزی به عنوان متولی سیاست-های پولی کشور استقلال بیشتری در جهت طراحی و اجرای سیاست‌های پولی مناسب با هدف مهار تورم و ایجاد تحرک در رشد اقتصاد ایران را اعطا کند.

فهرست منابع

۱. ابونوری، عباسعلی، سجادی، سمیه السادات، و محمدی، تیمور (۱۳۹۲). رابطه بین نرخ تورم و نرخ سود سپرده‌های بانکی در سیستم بانکداری ایران. *فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی*، ۱(۳)، ۵۲-۲۳.

۲. حسینی، سیدصفدر، و آقابیگی، مونا (۱۳۹۱). بررسی توان پیش‌بینی الگوهای اقتصادسنجی و شبکه عصبی تورم در ایران. *فصلنامه اقتصاد کشاورزی*، ۲(۶)، ۲۳-۱.

۳. شهیکی تاش، محمد نبی، مولایی، صابر، و حلاج‌زاده، زینب (۱۳۹۲). پیش‌بینی سطح عمومی قیمت‌ها و تورم در اقتصاد ایران با استفاده از شبکه عصبی. *فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان*، ۱(۴)، ۶۷-۵۱ .

۴. صادقی، سید کمیل ، شیبائی، امینه، و فشاری، مجید (۱۳۹۰). بررسی عوامل مؤثر بر تورم با تأکید بر اندازه دولت *نشریه مدلسازی اقتصادی*، ۴(۱۱)، ۹۱-۷۳.

۵. عمادزاده، مصطفی ، صمدی، سعید، و حافظی، بهاره (۱۳۸۴). بررسی عوامل (پولی و غیرپولی) مؤثر بر تورم در ایران (۱۳۳۸-۱۳۸۲). *پژوهشنامه علوم انسانی و اجتماعی*، ۵(۱۹)، ۵۲-۳۳.

۶. کمیجانی، اکبر، و نقدی، یزدان (۱۳۸۷). بررسی ارتباط متقابل بین تولید و تورم در اقتصاد ایران (با تأکید بر تولید بخشی). *پژوهشنامه علوم اقتصادی*، ۹(۱)، ۱۲۴-۹۹.

۷. دهدشتی، مسعود، محمدی، حمید، دهباشی، وحید، و دهقانپور، حامد (۱۳۹۱). پیش‌بینی نرخ تورم و نقدینگی و اثرات آن‌ها بر ارزش افزوده بخش کشاورزی. *فصلنامه اقتصاد کشاورزی*، ۶(۴)، ۳۶-۱۷.

۸. مشیری، سعید (۱۳۸۰). پیش بینی تورم در ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری زمانی و شبکه‌های عصبی. *مجله تحقیقات اقتصادی*، (۵۸)، ۱۸۴-۱۴۷ .

۹. نصر اصفهانی، رضا، و یاوری، کاظم (۱۳۸۲). عوامل اسمی و واقعی مؤثر بر تورم در ایران- رهیافت خود رگرسیون برداری (VAR). *پژوهشهای اقتصادی ایران*، (۱۶)، ۹۹-۶۹.

۱۰. وبسایت بانک مرکزی ایران، آمار و داده‌ها (www.cbi.ir)

1. Abounoori, A., Sajadi, S.S., & Mohammadi, T. (2013). The relation between the rate of inflation and deposits profit rates in Iran banking system. *Qarterly Journal of Fiscal and Economic Policies*, 1(3), 23-52 (In Persian).

2. Adusei, M. (2013). Is inflation in South Africa a structural or monetary phenomenon? *British Journal of Economics, Management & Trade*, *3*(1), 60-72.
3. Alturki, F., & Vtyurina, S. (2010). Inflation in Tajikistan: forecasting analysis and monetary policy challenges. *IMF Working Paper* 10/17 *(Middle East and Central Asia Department*), 1-20.
4. Ball, L. M. (1999). Policy rules for open economies. *Monetary policy rules*, University of Chicago Press, 127-156.
5. Central Bank of Iran. (www.cbi.ir) (In Persian).
6. Dehdashti, M., Mohammadi, H., Dehbashi, V., & Dehghanpour, H. (2012). Anticipated liquidity and inflation and its effects on agriculture value added. *Agricultural economics*, 6(4), 17-36 (In Persian).
7. Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2004). *Macroeconomics: New Delhi.* Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited.
8. Emadzadeh, M., Samadi, S., & Hafezi, B. (2005). Mounetary and non-monetary factors in fluencing inflation in Iran (1958-2004). *Journal of the Faculty of Humanities and Social Sciences*, 5(19), 33-52 (In Persian).
9. Enke, D., & Mehdiyev, N. (2014). A hybrid neuro-fuzzy model to forecast inflation. *Procedia Computer Science*, *36*, 254-260.
10. Gordon, R. J. (1988). *Macroeconomics: Theory and Policy*.
11. Hosseini, S.S., & Aghabeygi, M. (2012). The examination of forecasting power of econometrics and ANN models of inflation in Iran. *Agricultural economics*, 8(2), 1-23 (In Persian).
12. Hurtado, C., Luis, J., Fregoso, C., & Hector, J. (2013). Forecasting Mexican inflation using neural networks. *International Conference on Electronics, Communications and Computing (CONIELECOMP)*, 32-35.
13. Komeijani, A., & Naghdi, Y. (2009). An analysis of the inter-relationship between production and inflation in Iran (emphasizing on sectoral production). *Journal of the Faculty of Humanities and Social Sciences*, 8 (32), 99-124 (In Persian).
14. Maliszewski, W. (2003) Modeling Inflation in Georgia. *IMF Working Paper* 03/212 *(Washington: International Monetary Fund*), 1-23.
15. McAdam, P., & McNelis, P. (2005). Forecasting inflation with thick models and neural networks. *Economic Modelling*, *22*(5), 848-867.
16. Moffat, I. U., & David, A. E. (2016). Modeling inflation rates in Nigeria: Box-Jenkins' approach. *International Journal of Mathematics and Statistics Studies*, 4(2), 20-27.

17. Moshiri, S. (2001). Forecasting Iranian inflation rates using, structural, time series, and artificial neural networks models. *Tahghighat-E-Eghtesadi*, (58), 147-184 (In Persian).
18. Naser Esfahani, R., & Yavari, K. (2003). The effects of nominal and real variables on inflation in Iran. *Iranian Economic Research*. 5(16), 69-99 (In Persian).
19. Öğünç, F., Akdoğan, K., Başer, S., Chadwick, M.G., Ertuğ, T., Hülagü, D., Kösem, S., Özmen M.U., & Tekatlı, N. (2013). Short-term inflation forecasting models for Turkey and a forecast combination analysis. *Economic Modelling*, 33, 312–325.
20. Olubusoye, O. E., & Ogbonna, A. E. (2014). Modelling inflation process in Nigeria using bayesian model averaging. *Conference: Second Bayesian Young Statisticians Meeting (BAYSM 2014), At Vienna*. September 18-19.
21. Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 11(8), 5508-5518.
22. Sadeghi, S.K., Shibaee, A., & Feshari, M. (2010). The study of inflation main determinants by emphasizing on government size. *Qarterly Journal of Economical Modeling*. 4(11), 73-91 (In Persian).
23. Shahiki Tash, M.N., Seber Moulaee, S., & Hallaj Zade, Z. (2013). Forecasting Inflation and Price Index with Neural Networks. *Journal Management System*, 1(4), 51-67 (In Persian).
24. Somaratna, P. E., Arunatilaka, S., & Premarathna, L. (2010). Which is better for inflation forecasting? Neural networks or data mining. *International Conference on Information Society (i-Society)*, 116-121.
25. Svensson, L. E. (1997). Inflation forecast targeting: Implementing and monitoring inflation targets. *European Economic Review*, *41*(6), 1111-1146.
26. Yang, X. S. (2008). Nature-inspired metaheuristic algorithms. *Luniver press.*
27. Yang, X. S. (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization. *International symposium on stochastic algorithms*, 169-178. Springer, Berlin, Heidelberg.
28. Yang, X.-S., & Deb, S. (2009). Cuckoo search via Lévy flights. *Paper presented at the Nature & Biologically Inspired Computing*. 210-214. IEEE.

29. Yang, X. S. (2010). Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, *2*(2), 78-84.