فصلنامه‌ی اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق). دوره‌ی ۱۵. شماره‌ی ۴. زمستان ۱۳۹۷. صص ۸۳- ۵۱

کاربرد الگوریتم فاخته و الگوریتم کرم شب‌تاب در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای پول در ایران تا افق ۱۴۰۴

حسین اکبری فرد*، امید ستاری**، امین قاسمی نژاد*** و مریم رضائی جعفری****

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۷

چکیده

تقاضای پول، یکی از متغیرهای اساسی در اقتصاد است که در تعیین الویت‌ها و انتخاب سیاست‌های پولی، مورد استفاده‌ی سیاست‌گذاران قرار می‌گیرد؛ زیرا اثرات سیاست‌های پولی از کانال رفتار تقاضای پول، توسط بخش خصوصی به بخش واقعی اقتصاد منتقل می‌شود؛ بنابراین استفاده از تکنیک‌های پیشرو در زمینه‌ی پیش‌بینی این متغیر اساسی، می‌تواند برای سیاست‌گذاران پولی راهگشا باشد. در این پژوهش، رفتار تقاضای پول با تعریف محدود با استفاده از الگوریتم فاخته و الگوریتم کرم شب‌تاب شبیه‌سازی شده است. برای هر یک از این الگوریتم‌های تکاملی، سه فرم تبعی خطی و درجه دو و نمایی در نظر گرفته شده است؛ سپس با بررسی دقت پیش‌بینی‌های داخل نمونه با استفاده از معیارهای مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های رقیب، دقیق‌ترین مدل برای پیش‌بینی میزان تقاضای پول در ایران تا افق ۱۴۰۴ تحت سه سناریو خوشبینانه، بینابین و بدبینانه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این پژوهش، حاکی از دقت بالای الگوریتم فاخته در مقایسه با الگوریتم کرم شب‌تاب، انتخاب مدل نمایی به عنوان دقیق‌ترین مدل بررسی شده و رابطه‌ی مستقیم تقاضای پول با تولید ناخالص داخلی و نرخ ارز و رابطه غیرمستقیم با نرخ تورم است؛ همچنین رشد متوسط سالانه ۱۱/۲۳ درصدی و ۶/۲۹ درصدی و ۰/۶۸ درصدی تقاضای پول به ترتیب در اثر وقوع سناریو خوش‌بینانه، بینابین و بدبینانه و کاهش تقاضای واقعی پول از سال ۱۴۰۱ در صورت بروز سناریو بدبینانه از نتایج دیگر این پژوهش هستند. یافته‌های حاصل از سناریوسازی، نشان می‌دهد که کارایی و تیجه‌ی تصمیمات مقامات پولی، در همراهی با تقاضای پول به اتخاذ سیاست‌های مناسب در عرصه‌ی نرخ تورم و نرخ ارز وابسته است.

طبقه‌بندی *JEL*: E41، E47، E58، E61

واژه‌های کلیدی: *تقاضای پول، شبیه‌سازی، پیش‌بینی، الگوریتم فاخته، الگوریتم کرم شب‌تاب*

---

* استادیار اقتصاد، دانشکده‌ی مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

** استادیاراقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان،کرمان، ایران.

*** کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده‌ی مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. (نویسنده‌ی مسئول) (amin.ghasemieco@gmail.com).

**** کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده‌ی مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

۱- مقدمه

اقتصاد، علم بهینه‌سازی تصمیمات است و پیش‌بینی، نقشی عمده و مؤثر در بهینه‌سازی و نحوه‌ی طراحی و اجرای سیاست‌های پولی و مالی ایفا می‌کند؛ زیرا سیاست‌گذاران، راهکارهای خود را نه صرفاً بر مبنای وضع موجود، بلکه بر مبنای پیش‌بینی‌های
کوتاه‌مدت و بلندمدت از متغیرهای کلیدی اقتصادی، تدوین می‌کنند و به اجرا می‌گذارند. بدیهی است که میزان صحت پیش‌بینی، از جمله رموز موفقیت این سیاست‌ها، به شمار می‌آید؛ در واقع، دست‌یابی به رشد پرشتاب و مستمر، نیازمند اطلاعات مناسب و کافی از شرایط متغیرهای آتی اقتصادیاست و پیش‌بینی شرایط و متغیرهای آتی اقتصاد ملی، یکی از راهکارهای اصلی برای دستیابی به اطلاعات مناسب محسوب می‌شود (حسینی و همکاران ۱۳۸۸).

چنین اهمیّتی، باعث شده است که تحقیقات در زمینه‌ی مدل‌ها و تکنیک‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی در چند دهه‌ی اخیر، با شتاب بیشتری مواجه شوند. اتخاذ سیاست‌های پولی و مالی در اقتصاد هر کشور و تأثیر حداکثری این سیاست‌ها، منوط به شناخت صحیح تابع تقاضای پول آن کشور است. از طرفی، شناخت ثبات و پیش‌بینی تقاضای پول نیز، می‌تواند در جهت کنترل حجم پول در راستای تحقق هدف‌های اقتصادی و به حداقل رساندن خسارت‌های ناشی از عملکرد ناصحیح نظام پولی مؤثر باشد (ایزدی و دهمرده، ۱۳۹۱).

یافته‌های دانش اقتصاد کلان پیشرفته، نشان می‌دهد که حتی زمانی که نرخ رشد پول ثابت است، امکان ایجاد ابرتورم در اقتصاد وجود دارد. ریشه‌ی این ابر تورم احتمالی، می‌تواند رفتار تقاضای پول توسط بخش خصوصی و سرعت تعدیل انتظارات باشد (بلاچارد و فیشر[1]، ۱۹۸۹). از این‌رو، با توجه به اهمیّت تقاضای پول، استفاده از تکنیک‌های پیشرو در زمینه‌ی پیش‌بینی این متغیر اساسی، می‌تواند برای سیاست گذاران پولی راهگشا باشد. استفاده از روش‌های غیرکلاسیک، در شناسایی مدل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده، مدت‌هاست در محافل علمی و حتی حرفه‌ای متداول و معمول شده است. در بسیاری از سیستم‌های پیچیده، خصوصاًغیرخطی که مدل‌سازی و به دنبال آن پیش‌بینی و کنترل آن‌ها از طریق روش‌های کلاسیک و

[1] Blanchard & Fischer

تحلیلی، امری بسیار دشوار و حتی بعضاً غیرممکن می‌نماید، از روش‌های غیرکلاسیک که از ویژگی‌هایی همچون هوشمندی مبتنی بر معرفت و خبرگی برخوردار هستند، استفاده می‌شود (جلایی و ستاری،۱۳۹۰). در این بین، می‌توان به الگوریتم‌های فاخته[۲]، کرم شب‌تاب[۳] و ... که جز کارآمدترین روش‌های پیش‌بینی در این حوزه هستند، اشاره کرد؛ بنابراین در پژوهش حاضر، با بررسی تقاضای پول در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۲و متغیرهای اثرگذار بر آن با توجه به مبانی نظری، ضمن برازش فرم‌های تبعی خطی و غیرخطی گوناگون، برای تابع تقاضای پول با استفاده از دو رهیافت الگوریتم فاخته و الگوریتم کرم شب‌تاب، دقیق‌ترین رهیافت و بهترین شکل تبعی برازش شده، برای پیش‌بینی میزان تقاضای پول در ایران تا سال ۱۴۰۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس، در ادامه، ابتدا به بررسی اجمالی مطالعات پیشین و مبانی نظری تقاضای پول پرداخته می‌شود؛ سپس روش‌های الگوریتم فاخته و کرم شب‌تاب توضیح داده خواهد شد. در ادامه، به تصریح مدل و معرفی فرم‌های تبعی مورد نظر و ارائه‌ی نتایج برازش مدل‌های شش‌گانه پرداخته و در پایان با استفاده از معیارهای مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های رقیب، بهترین مدل انتخاب و اقدام به پیش‌بینی خارج از نمونه و نتیجه‌گیری خواهد شد.

۲- ادبیات موضوع

از آن‌جاکه تقاضای پول، مبنای مهمی در ساز و کار انتقال سیاست پولی به بخش واقعی اقتصاد به‌شمار می‌آید، مطالعات نظری و تجربی زیادی هم در کشورهای توسعه یافته و هم در کشورهای درحال توسعه، به منظور تعیین عوامل اثرگذار بر تقاضای پول و همچنین در ارزیابی ثبات تقاضای پول[۴] انجام گرفته است (سریرام[۵] ۱۹۹۹). فریدمن بر خلاف کینز معتقد است که تابع تقاضای پول باثبات است؛ بدین معنا که مقدار پول تقاضا شده را می‌توان به درستی به‌وسیله‌ی تابع تقاضای پول پیش‌بینی کرد (شهرستانی و شریفی رنانی ، ۱۳۸۷). بنابراین به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اساسی جستجوی ثبات در تابع تقاضای پول، دست‌یابی و قابلیت اتکا به پیش‌بینی‌های دقیق از میزان تقاضای پول در جوامع مختلف بوده است.

---

[2] Cuckoo Algorithm

[3] Firefly Algorithm

[4] Stability of Money Demand

[5] Sriram

مطالعات اولیه بررسی کننده‌ی ثبات تقاضای پول، عمدتاً بر رهیافت هم‌جمعی با و یا بدون تصحیح خطا بوده‌اند. استفاده از این روش، به پژوهشگران کمک کرد تا مسائل مربوط به فرموله‌کردن پویایی‌های کوتاه‌مدت تقاضای پول را مستقل از تصریح پارامترهای بلند مدت مرتفع کنند (سریرام ۱۹۹۹). کارهای اولیه و مبتکرانه در این زمینه، توسط جوهانسن و جوسلیوس[۶] (۱۹۹۰)، چوی و اکسلی[۷] (۲۰۰۴) و ولدخانی[۸] (۲۰۰۵) صورت گرفته است. دنگ و لیو[۹] (۱۹۹۹) در پژوهشی متفاوت، پس از فرموله کردن تقاضای پول با استفاده از مدل‌های هم‌جمعی و تصحیح خطا با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی، اقدام به پیش‌بینی حجم پول و حجم نقدینگی برای کشور چین کردند

در بررسی اثرات هم‌گرایی بر ثبات تقاضای پول در کشورهای هم‌گرا شده می‌توان به مطالعه لی و همکاران[۱۰] (۲۰۰۸) اشاره کرد که اثر هم‌گرایی را بر کشورهای عضو شورای همکاری خلیج[۱۱] بررسی کرده‌اند و نتیجه‌ی این پژوهش، عدم خدشه به ثبات تقاضای پول است و البته این یافته‌ها با مطالعه روتر[۱۲] (۱۹۹۸) که نشان داده بود چگونه تابع تقاضای پول با پیوستن به اتحادیه‌ی پولی اروپا و اتخاذ نرخ ارز ثابت دچار تغییرات قابل توجه شده است، همخوانی ندارد. همچنین کومار[۱۳] (۲۰۱۱) در همین رابطه، اثر اصلاحات مالی را در۲۰ کشور درحال‌توسعه‌ی آفریقایی و آسیایی مورد بررسی قرار داده است. یافته‌های وی حاکی از آن است که این اصلاحات بر ثبات تقاضای پولی اثری نداشته‌اند.

انتقاداتی به روش سنتی هم‌جمعی در سال‌های اخیر از سوی پژوهش‌گران وارد شده است. از جمله چن و وو[۱۴] (۲۰۰۵) با بیان اینکه تحلیل هم‌جمعی خطی تبدیل به رهیافت اصلی بررسی رفتار بلندمدت تقاضای پول شده است، بخاطر این فرض که

---

[6] Johansen & Juselius
[7] Choi & Oxley
[8] Valadkhani
[9] Deng & Liu
[10] Lee & et al.
[11] Gulf Cooperation Countries (GCC)
[12] Rother
[13] Kumar
[14] Chen, Wu

تعدیلات لازم به سوی تعادل بلندمدت در این روش به شکل خطی صورت می‌پذیرد و این رفتار خطی به دلیل درنظر نگرفتن هزینه‌های مبادله است که معمولاً در مطالعات مغفول واقع می شود، بر این روش نقد وارد می‌کنند و برای درنظر گرفتن تعدیل غیر خطی به سمت تعادل، مدل رگرسیون انتقال هموار نمایی[۱۵] را پیشنهاد می‌کنند.

آستین و همکاران[۱۶] (۲۰۰۷) با استفاده از یک مدل رگرسیون انتقال هموار تقاضای پول در چین را مدل‌سازی کردند. یافته‌های آن‌ها در تأیید نظر چن و وو، نشان داد که تورم های بسیار بالا و تورم‌های بسیار پایین اثرات نامتقارنی بر تقاضای پول دارند که در مدل‌های خطی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. در همین زمینه جوادی و سوسا[۱۷] (۲۰۱۳) معادلات تقاضای پول را برای حوزه یورو و آمریکا و انگلستان با استفاده روش غیرخطی STAR تخمین زده‌اند و یافته‌های آن‌ها حاکی از دست‌یابی به پویایی‌های غیرخطی تقاضای پول با استفاده از این روش و همچنین تفاوت کشش تقاضای پول نسبت به تورم و نرخ بهره و تولید داخلی و نرخ ارز براساس تفاوت رژیم‌های پولی و تفاوت محیط اقتصادی کشورهاست.

بن سلها و جیدی[۱۸] (۲۰۱۴) با استفاده از رهیافت چئون تانگ[۱۹] (۲۰۰۷) به منظور بررسی عوامل مؤثربر تقاضای پول در تونس، در رهیافتی جدید اقدام به در نظر گرفتن اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی درآمد ملّی در کنار نرخ بهره در تابع تقاضای پول کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که بین این گروه متغیرها رابطه هم‌جمعی برقرار است. یافته‌های آن‌ها، حاکی از این است که تقاضای پول در کوتاه مدت با نرخ بهره و مخارج سرمایه‌گذاری مرتبط بوده است؛ در حالی‌که در بلند مدت، مخارج مصرفی و نرخ بهره، تعیین کننده‌ی تقاضای پول در تونس بوده‌اند.

پژوهش‌های متعددی بر روی رفتار تقاضای پول در ایران متمرکز شده است که اکثر این مطالعات به بررسی ثبات تقاضای پول پرداخته‌اند که می‌توان به مطالعات کمیجانی و بوستانی (۱۳۸۳)، جعفری صمیمی و همکاران (۱۳۸۵)، دادگر و نظری (۱۳۸۷)، شهرستانی و شریفی رنانی (۱۳۸۷)، سامتی و یزدانی (۱۳۸۷) و دهمرده و

---

[15] Exponential Smooth Transition Autoregressive (ESTAR)

[16] Austin & et al

[17] Jawadi &Sousa

[18] Ben-salha & Jaidi

[19] Cheon Tang

ایزدی (۱۳۸۸) اشاره کرد. نتیجه‌ی اصلی همه‌ی این مطالعات، ثبات تقاضای پول در ایران است که در برخی مطالعات هم در مورد حجم پول و هم حجم نقدینگی تأیید شده است. در مورد اثر نرخ ارز بر تابع تقاضای پول در ایران، یافته‌های مطالعه فلاحی و نگهداری (۱۳۸۴) نشان می‌دهد که رابطه‌ی معنی‌دار و معکوس میان تقاضای پول و نرخ ارز در اقتصاد ایران، تأییدی بر اثر جانشینی است؛ همچنین این مطالعه با دستیابی به رابطه‌ی معنی‌دار و معکوس میان تقاضای پول با نرخ تورم و جانشین‌های آن مانند شاخص بهای مسکن نشان می‌دهد که به دلیل فقدان بازارهای مالی مناسب در ایران، نرخ تورم را می توان به عنوان متغیر مناسب برای هزینه فرصت نگهداری پول محسوب کرد؛ البته در خصوص اثر تورم بر تقاضای پول، پژوهش حسینی و بخشی (۱۳۸۵) بیان می‌کند که تقاضای واقعی پول نسبت به تغییرات تولید ناخالص داخلی، حساسیت بیشتری در مقایسه با نرخ تورم و نرخ سود سپرده‌های بلندمدت دارد و این مبین این واقعیت است که تابع تقاضای پول نسبت به تغییرات سطح عمومی قیمت‌ها از قدرت عکس‌العملچندانی برخوردار نیست.

آگاهی از میزان تقاضای پول آتی کشور، به‌منظور تعیین اولویت‌ها و انتخاب سیاست پولی در راستای مساعدت به رشد و توسعه‌ی اقتصادی، ضروری است. از طرفی همان‌گونه که ذکر شد، یکی از اهداف مهم بررسی ثبات تقاضای پول، اطمینان به پیش‌بینی‌های انجام گرفته از تقاضای پولی برای سیاستگذاران پولی است.

زراء نژاد و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضا پول ایران، طی دوره‌ی زمانی ۱۳۹۱-۱۳۵۷ با استفاده از روش اقتصادسنجی خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیعی پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که درآمد، دارای اثری مثبت و معنادار بر تابع تقاضا پول است؛ همچنین رابطه‌ی منفی و معناداری نیز بین تورم و نرخ ارز و تقاضا پول در ایران وجود دارد. نتایج آزمون‌های مجموع تجمعی باقی‌مانده‌ها و مجموع تجمعی مربعات باقی‌مانده نیز، وجود ثبات درضرایب برآورد شده تقاضا پول را نشان داد.

بیابانی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی، تأثیر ابداعات مالی بر تقاضای پول در ایران بین سال‌های ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۹ با استفاده از مدل خودبازگشتی با وقفه‌های توزیع شده مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش، حاکی از آن است که با وجود ابداعات مالی، همچنان تقاضای پول در ایران باثبات است.؛به عبارت دیگر، رابطه‌ی تعادلی بین تقاضای پول، تورم، سطح فعالیت‌های اقتصادی (تولید ناخالص داخلی) و ابداعات مالی

وجود دارد؛ همچنین، نتایج تخمین مدل نشان داد که ابداعات مالی بر تقاضای پول در کوتاه‌مدت و بلندمدت اثر منفی دارد. سرعت تعدیل مدل به سمت تعادل بلندمدت در هر دو متغیر به نسبت کم بوده است؛ به‌طوری‌که کشش کوتاه‌مدت ابداعات مالی بیشتر از کشش بلندمدت است.

گوگردچیان و همکاران (۱۳۹۴) به برآورد تابع تقاضای پول ایران با استفاده از الگوی سیدراسکی پرداختند. نتایج این پژوهش، طی دوره‌ی ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲ نشان داد که مصرف دارای اثر مثبت و معنادار بر تقاضای پول در دوره‌ی کوتاه‌مدت و بلندمدت است؛ بنابراین، رابطه‌ای تعادلی و بلندمدت بین تقاضای پول و مصرف بخش خصوصی وجود دارد. مالیات تورمی نیز در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت اثر مثبت و معناداری بر تقاضای پول داشته، امّآ مالیات مصرفی اثر معناداری بر تقاضای پول در دوره مورد بررسی نداشته است.

دائی‌کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) تابع تقاضای پول ایران را طی دوره‌ی ۱۳۹۲-۱۳۵۸ با توجه به پدیده‌ی جانشینی پول مورد آزمون قرار دادند. نتایج کار ایشان، حاکی از آن است که تولید ناخالص داخلی اثر مستقیم بر تقاضای پول و متغیرهای نرخ تورم، نرخ ارز و بی‌ثباتی نرخ ارز اثر معکوس بر تقاضای پول دارند که منفی بودن ضریب نرخ ارز، پدیده‌ی جانشینی پول در ایران را تأیید می‌کند؛ همچنین آزمون‌های ثبات ساختاری ضرایب، نشان داد که تابع تقاضای پول در ایران کاملاً با ثبات است.

باستانی فر (۱۳۹۵) در مقاله‌ای تابع تقاضای پول ایران را با استفاده از الگوی تعدیل شده کیگان[۲۰] مبتنی بر تکانه‌های برون‌زا طی سال‌های ۱۳۵۸تا ۱۳۹۲مورد بررسی قرار داد. نتایج برآورد این پژوهش، نشان داد که سه متغیر انتظارات تورمی، تعاملات خارجی تعارضی و قیمت نفت، بر تقاضای پول کیگان اثرگذار است؛ به‌گونه‌ای انتظارات تورمی با سه وقفه بر حجم پول اثر منفی دارد و اثر تعاملات خارجی با دو وقفه و قیمت نفت بر تقاضای پول مثبت است. وی در ادامه بیان می‌کند که رفتار تقاضای پول در اقتصاد ایران، سازگار با الگوی تعدیل شده کیگان است؛ به‌نحوی‌که یک درصد افزایش در متغیرهای مذکور، در نهایت۱/۵۲ درصد حجم پول را افزایش می‌دهد.

درچند دهه‌ی گذشته، کاربرد تکنیک‌های هوش مصنوعی و ابزارهای مدل‌سازی مانند شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان و منطق فازی، از

[20] cagan

موضوعاتی بوده‌اند که توجه بسیاری از دانشگاهیان و پژوهش‌گران را به خود جلب کرده‌است. لازم به ذکر است که از الگوریتم‌های فاخته و کرم شب‌تاب که به‌عنوان الگوریتم‌های نوین و کاربردی در حوزه‌ی هوش مصنوعی یاد می‌شود، به‌صورت معدود در زمینه‌ی موضوعات مرتبط با اقتصاد استفاده شده است. در این زمینه، می‌توان به مطالعه اپوستولوپوس (۲۰۱۰)[۲۱] در مورد الگوریتم کرم شب‌تاب اشاره کرد که از این الگوریتم برای ایجاد یک سیستم حمل و نقل اقتصادی استفاده کرد و به نوعی بر توانمندی این الگوریتم در بهینه‌سازی مسائل پیچیده، صحه گذاشت.

وانگ و همکاران (۲۰۱۵)[۲۲] در مطالعه‌ای جهت استفاده و توسعه‌ی اانرژی خورشیدی، میزان تابش نور خورشید در شش منطقه از ایالات متحده را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته مدل‌سازی و پیش‌بینی کردند. آن‌ها در این مطالعه، ضمن برآورد وزن ضرایب با استفاده از الگوریتم فاخته، روش مذکور را با روش‌هایی نظیر شبکه‌ی عصبی، میانگین متحرک خودهمبسته یک‌پارچه و ... بررسی کردند و بیان کردند مدل تخمینی با استفاده از الگوریتم فاخته بهترین عملکرد در پیش‌بینی را دارد.

بیگی و صالحی (۱۳۹۲) در پژوهشی از الگوریتم فاخته در پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران استفاده کردند. نتایج پژوهش ایشان، نشان داد که الگوریتم فاخته با دقت بسیار بالایی (۹۸درصد) توانست ورشکستگی شرکت‌ها را پیش‌بینی کند.

قاسمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از داده‌های سری زمانی سالانه اقتصاد ایران، در طی دوره‌ی ۱۳۵۳- ۱۳۹۱ نقش شاخص‌های اقتصاد دانش بنیان شامل آموزش و منابع انسانی، زیر ساخت اطلاعات و ارتباطات، موجودی سرمایه و درجه باز بودن تجاری بر رشد تولیدات با بهره‌گیری از الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب تاب مورد آزمون تجربی قرار دادند. نتایج یافته‌های این پژوهش، نشان داد که روابط مفروض در فرضیه‌های پژوهش، شامل اثرات مثبت اقتصاد دانشی و ابعاد آن در رشد تولیدات داخلی اقتصادی مورد پذیرش واقع شد.

رضوی و احمدی شادمهری (۱۳۹۴) در مقاله‌ای، تابع تقاضای برق بخش خدمات با دو الگوریتم کرم شب تاب و الگوریتم فاخته طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۶۷ برآورد

[21] Apostolopoulos

[22] Wang

کردند.مدل برآورد شده با الگوریتم کرم شب‌تاب با خطای جذر میانگین مربعات[۲۳] (۲/۲۲۰۹) جهت بررسی عوامل مؤثربر تقاضای برق در این بخش انتخاب شد.

اکبری و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته و به‌کارگیری متغیرهای تأثیرگذار بر تورم از جمله حجم نقدینگی، نرخ ارز، نرخ بهره حقیقی، تورم انتظاری و تولیدات صنعتی طی دوره‌ی ۱۳۹۴-۱۳۵۴ به مدل‌سازی تورم به صورت خطی و غیرخطی پرداختند. نتایج این پژوهش، نشان داد 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 به‌منظور پیش‌بینی تورم در آینده از آن استفاده نمود.

۳- مبانی نظری

مفهوم تقاضای پول، یکی از بنیادی‌ترین عناصر تحلیل کلان اقتصادی معاصر است. این مفهوم به یک رابطه‌ی تابعی میان مقدار پولی که مردم تمایل دارند نگهداری کنند و متغیرهایی که بر این تمایل اثر دارند، اشاره دارد. نظریات تقاضای پول را می‌توان با الویت تاریخی به صورت زیر معرفی کرد (سریرام ۱۹۹۹):

الف) پول در اقتصاد کلاسیکی

در اقتصاد کلاسیکی، که بازارهای کالا، به‌طور مستمر با مکانیزم قیمت‌های نسبی تسویه می‌شوند و اقتصاد عموماً در اشتغال کامل است؛ نقش پول، واحد شمارشگر است که ارزش‌ها و قیمت‌ها را مشخص می‌کند؛ امّا ارزش خود پول از این ناحیه تغییر نمی‌کند؛ همچنین پول در تعیین قیمت‌های نسبی، نرخ بهره‌ی واقعی و مقادیر تعادلی کالاها و در نتیجه درآمدکل تأثیرگذار نیست؛ بر این اساس، پول خنثی است؛ امّا نظریه‌ی تقاضای پول، برای اولین بار در مطالعه‌ی والراس و به عنوان بخشی از تئوری تعادل عمومی وی مطرح شد (شومپیتر[۲۴] ۱۹۵۴). میل[۲۵] (۱۸۴۸) و ویکسل[۲۶] (۱۹۰۶) بیان کردند که نگهداری مقداری پول برای عوامل اقتصادی در مواجهه با شرایط خاص اجتناب ناپذیر است.

---

[23] RMSE

[24] Schumpeter

[25] Mill

[26] Wicksell

ب) نظریه مقداری

بحث تقاضای پول با نظریات فیشر[۲۷] (۱۹۱۱) و پیگو[۲۸] (۱۹۱۷) شکل رسمی به خود گرفت. نظریه‌ی مقداری با دو بیان که در ظاهر متفاوت و در مفهوم شباهت فراوان داشتند؛ به بیان رابطه‌ی متناسب حجم پول در گردش و سطح قیمت‌ها پرداخت و پایه‌ی شکل‌گیری اولین توابع تقاضای پول بود. شکل اول، معادله‌ی مبادله[۲۹] فیشر و شکل دوم رهیافت کمبریج[۳۰] یا رهیافت تراز نقدی بود که توسط اقتصاددانان دانشگاه کمبریج، به‌ویژه پیگو ارائه شد. هردو شکل، تنها انگیزه‌ی نگهداری پول را، برآورده کردن نیازهای معاملاتی برشمردند.

فیشر بر جزئیات نهادی مکانیسم‌های پرداخت[۳۱] و اقتصاددانان کمبریج بر انگیزه‌های فردی نگهداری پول[۳۲] تأکید کردند. شکل معادله‌ی فیشر، به صورت $M_S.V_T = P_T.T$ بود که بر سرعت معاملاتی گردش پول[۳۳] و حجم معاملات در اقتصاد تأکید می‌کرد؛ امّارهیافت کمبریج که ابتدا توسط پیگو و سپس توسط مارشال مطرح شد به شکل $M.V = P.Y$ ارئه شد که در آن سرعت درآمدی گردش پول ثابت فرض می‌شد و با فرض اشتغال کامل رأی به خنثایی پول می‌داد.

ج) سایر رهیافت‌های نئوکلاسیکی

در این رهیافت‌ها، برای نخستین‌بار نقش متغیرهای مؤثر بر میزان پول نگهداری شده توسط عوامل اقتصادی به‌طور جدی مورد تأکید قرار گرفت؛ به عنوان مثال، مارشال و پیگو بر عدم اطمینان از آینده و کانن[۳۴] (۱۹۲۱) بر رابطه‌ی معکوس تقاضای پول و تورم انتظاری و لاوینگتون[۳۵] (۱۹۲۱) بر نقش نرخ بهره، به‌عنوان کلیدی‌ترین عامل تعیین کننده‌ی هزینه فرصت زمانی نگه‌داری پول تأکید کردند.

---

[27] Fisher
[28] Pigou
[29] Equation of Exchange
[30] Cambridge Approach
[31] Institutional Details of the Payment Mechanism
[32] Motives for Holding Money by Individual
[33] Transactions Velocity of Circulation
[34] Canon
[35] Lavington

د) نظریه کینزی

کینز برای نخستین‌بار توانست توضیحات قانع‌کننده‌ای راجع به اهمیت اثر متغیر نرخ بهره بر تقاضای پول ارائه و با بحث رجحان نقدینگی بر حساسیت تقاضای پول نسبت به نرخ بهره تأکید کند. نهایتاً شکل تئوری تقاضای پول، با ارائه‌ی انگیزه‌های معاملاتی و احتیاطی و سفته بازی به صورت $M_d = f(y, i)$ مطرح شد که نرخ بهره و درآمد را عوامل تعیین‌کننده‌ی تقاضای پول در سطح کلان معرفی می‌کرد. دلالت بسیار مهم نظریه‌ی کینز، تعیین دام نقدینگی بود. وضعیتی که درآن همه‌ی افراد، انتظار افزایش نرخ بهره را درآینده دارند و تمامی پول عرضه شده را نگه‌داری می‌کنند.

ه) نظریه‌های تقاضای پول بعد از کینز[۳۶]

براساس نوآوری‌های کینز در بحث تقاضای پول، نظریات دیگری با تکیه بر درآمد و نرخ بهره، به‌عنوان عوامل اصلی اثرگذار بر تقاضای پول مطرح شدند. این نظریات در چهاردسته‌ی کلی قابل بررسی‌اند:

۱) رهیافت نظریه موجودی[۳۷] : مشهورترین نظریه‌ی مرتبط با این رهیافت نظریه‌ی بامول[۳۸] (۱۹۵۲) و توبین[۳۹] (۱۹۵۶) است. آن‌ها با بهینه‌سازی نگهداری پول، به‌عنوان یک موجودی با درنظرگرفتن منافع و مزایای نگهداری پول، مقدار بهینه‌ی تقاضای پول را به‌صورت $m^* = \sqrt{\frac{\alpha_0 y}{2r}}$ مطرح کردند که α_0 هزینه‌های معاملاتی را نشان می‌دهد.

۲) رهیافت تقاضای احتیاطی پول: این رهیافت با در نظر گرفتن نقش نااطمینانی‌ها و نقش آن‌ها در تعیین مقدار نگهداری پول، توسط عاملان اقتصادی تأکید می‌کند. بارو و فیشر[۴۰] (۱۹۷۶) کارهای انجام گرفته توسط پژوهشگران در این حوزه را شرح داده‌اند.

۳) رهیافت پول به‌عنوان دارایی: این مدل‌ها به پول نه به‌عنوان یک وسیله‌ی مبادله، بلکه به عنوان یک دارایی نگریستند که این تلقی، ناشی از دوام و قابلیت ذخیره ارزش پول بود؛ امّا مهم‌ترین انتقاد وارد بر این نظریات، این است که در توضیح تمایل مشاهده شده، عوامل اقتصادی در نگهداری پول در شرایط وجود سایر دارائی‌های ریسکی اما دارای بازده، توفیق چندانی نداشتند.

---

[36] Post-Keynes Theories of Money Demand

[37] Inventory-Theoretic Approach

[38] Baumol

[39] Tobin

[40] Barro & Fischer

۴) رهیافت نظریه‌ی تقاضای مصرف کننده: رفتار نگهداری پول توسط فریدمن[۴۱] (۱۹۵۶) و بارنت[۴۲] (۱۹۸۰) با درنظر گرفتن پول به‌عنوان یک کالای موجد مطلوبیت، در تابع مطلوبیت فردی بررسی شد.

امّا آن‌چه‌که از مرور نظریات تقاضای پول، می‌توان نتیجه گرفت این است که علی‌رغم اینکه هر دسته از این نظریات، از زاویه‌ی خاصی به مسئله‌ی تقاضای پول نگریسته‌اند، امّا دلالت‌های منتنج شده از این نظریات، تقریباً یکسانند. در همه‌ی این نظریات، موجودی بهینه ترازهای پولی واقعی[۴۳] به‌طور غیرمستقیم با نرخ بازدهی دارایی‌ها و به طورمستقیم با درآمدواقعی رابطه دارند. تفاوت اصلی این نظریات را می‌توان در به کارگیری متغیر مقیاس[۴۴] مناسب و انتخاب هزینه‌ی فرصت نگهداری پول دانست. برای توضیح بیشتر این مطلب، لازم است که مسائل مربوط به تصریح مدل‌های تقاضای پول اشاره شود.

۳-۱- مسائل مربوط به تصریح مدل‌های تقاضای پول

همان‌گونه که ملاحظه شد، نظریه‌های تقاضا پول گوناگونی وجود دارند که از جهات زیادی با یکدیگر مشابهت دارند. سرلتیس[۴۵] (۲۰۰۷) بیان می‌کند که عموماً رابطه‌ی تئوریک تقاضای پول را می‌توان به صورت $\frac{M_t}{P_t} = \Phi(R_t, Y_t)$ درنظر گرفت که درآن M_t ترازهای پولی اسمی تقاضا شده، P_t شاخص قیمت مبدل ترازهای اسمی به حقیقی، Y_t متغیر مقیاس و R_t هزینه فرصت نگهداری پول است. پیش از بررسی تجربی این مدل، بایستی به انتخاب متغیرهای مختلف متناسب با نظریه‌ی تقاضای پول مورد نظر پرداخت؛ درواقع تصریح مدل تقاضای پول وابسته به نظریه تقاضای پول و مشخصه‌های اقتصادی است که تقاضای پول درآن مورد توجه پژوهشگر است. تابع تقاضای پول معمولاًدر سه گام تصریح می شود:

---

[41] Friedman

[42] Barnett

[43] Optimal Stock of Real Money Balances

[44] Scale Variable

[45] Serletis

الف) اولین مسئله در تخمین تجربی تابع تقاضای پول، انتخاب معیار صریحی برای پول است. تئوری‌های معاملاتی تقاضای پول[۴۶] معمولاً بر تعریف محدود[۴۷] پول و تئوری‌های مبتنی بر دارائی تقاضای پول، تعریف گسترده‌ی پول[۴۸] را معیار تقاضای پول قرار می‌دهند.
ب) متغیر مقیاس در تابع تقاضای پول به‌عنوان معیار سنجش معاملات مربوط به فعالیت‌های اقتصادی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این زمینه، تئوری‌های معاملاتی تقاضای پول بر سطح درآمد و نظریات مبتنی بر دارائی تأکید بر ثروت دارند.
ج) هزینه‌ی فرصت نگهداری پول[۴۹] به‌صورت کلی، عبارت است از تفاوت بین نرخ بازدهی دارائی‌های جانشین پول و نرخ بازدهی خود پول. دراین زمینه نیز، نظریه‌پردازان معاملاتی تقاضای پول (استفاده‌کنندگان از تعریف محدود پول) نرخ‌های بهره‌ی کوتاه‌مدت مثل نرخ بهره اسناد خزانه[۵۰] یا سپرده‌های پس‌انداز را مدنظر قرار داده‌اند و آن‌ها که بر نظریه‌ی رهیافت دارائی (استفاده کنندگان از تعریف گسترده‌ی پول) متکی هستند نرخ‌های بهره بلندمدت‌تر را مورد استفاده قرار داده‌اند.
دراین پژوهش، در زمینه‌ی تصریح مدل به‌صورت زیر عمل شده است:
۱) پول محدود یا M_1 شامل دارائی‌هایی است که در هر معامله در دسترس و انتقال پذیرند و نقش پول را به‌عنوان وسیله‌ی مبادله ایفا می‌کنند. تعریف مشهور از پول محدود مجموع سپرده‌های دیداری و اسکناس و مسکوک در دست اشخاص است. پول گسترده M_2 شامل M_1 و سپرده‌های مدت‌دار بانک‌های تجاری، حساب‌های پس‌انداز، حساب سپرده بازار پول، حساب سپرده‌ی صندوق‌های مشترک سرمایه‌گذاری فعال در بازار پول و قراردادهای باز خرید یک روزه است (شهرستانی و شریفی رنانی ۱۳۸۷). هیچ تعریف مشخص و عاری از ابهامی در مورد متغیر وابسته، یعنی تقاضای واقعی پول که مورد قبول همه باشد، وجود ندارد و معمولاً این متغیر از تقسیم حجم پول M_1 یا حجم نقدینگی M_2 بر یک شاخص قیمتی مناسب حاصل می‌شود (جعفری‌صمیمی و همکاران، ۱۳۸۵).

در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی، ادبیات و مطالعات تقاضای پول با مسئله‌ای جدی در زمینه‌ی عدم ثبات تقاضای پول روبه رو شدند. سرعت گردش پول کاهش یافت و تابع

---

[46] Transactions-Based Theories of the Demand for Money
[47] Narrow Definition of Money
[48] Broad Definition of Money
[49] Opportunity Cost of Holding Money
[50] Treasury Bill Rate

تقاضای پول، نمی‌توانست آن را پیش‌بینی کند. داده‌های آماری، طی دهه‌ی مذکور، حاکی از آن است که سرعت گردش پول M_1 بسیار با ثبات‌تر از M_2 بوده است و با ارائه‌ی تعریف گسترده‌تر پول، محققان دریافتند که تابع تقاضای پول در دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی ثبات بیشتری دارد (کمیجانی و بوستانی ۱۳۸۳). البته این مطالعات در کشورهای توسعه یافته و با سیستم پولی و بانکی کاملاً مدرن و پیشرفته انجام گرفته است و چه بسا با ساختار کشورهای درحال توسعه سازگار نباشد؛ در واقع مطالعات درباره‌ی کشورهای درحال توسعه، نشان می‌دهد که تابع تقاضای پول با در نظر گرفتن تعریف محدود پول M_1 رفتار بهتری نسبت به تعریف گسترده‌ی پول M_2 از خود نشان می‌دهد؛ زیرا اولاً M_2 در معرض اثرات کامل نرخ بهره قرار دارد و این مسئله تاحدی از ثبات پول می‌کاهد. ثانیاً این گونه کشورها، معمولاً دارای سیستم بانکی ضعیف و توسعه نیافته هستند و این توسعه نیافتگی استفاده از تعاریف گسترده‌تر پول را در معرض نتایج غیر قابل اتکا قرار می‌دهد (موسی[۵۱] ۱۹۹۲ و سریرام ۱۹۹۹). برخی از مطالعات دیگر هر دو مفهوم را مناسب می دانند (هافر و جانسن[۵۲] ۱۹۹۱). از این‌رو با درنظر گرفتن این مباحث در این مطالعه برای ایران از حجم پول M_1 به عنوان معیار تقاضای پول استفاده شده است.

۲) در کشورهای در حال توسعه، دسترسی به آمار ثروت به عنوان متغیر مقیاس عملاً ممکن نیست. از این‌رودر این مطالعه، تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ به عنوان متغیر مقیاس مورد استفاده قرار گرفته است.

۳) در بیشتر کشورهای درحال توسعه، نرخ بهره به جای آنکه از سوی مکانیسم بازار تعیین شود؛ به‌صورت دستوری تعیین می‌شود و منعکس‌کننده‌ی عرضه و تقاضا در بازار پول نیست و به همین دلیل بعضاً در این کشورها، چندین نرخ بهره (رسمی و غیررسمی) موجود است. از طرف دیگر نرخ بهره در اینگونه کشورها، معیار مناسبی برای نشان دادن هزینه‌ی فرصت نگهداری پول نیست؛ زیرا فقدان بازارهای مالی توسعه یافته، دارائی‌های حقیقی را جذاب‌تر می‌کند و نرخ بازدهی این دارائی ها نیز، مساوی با تفاوت نرخ تورم انتظاری و هزینه‌های انبارداری و استهلاک است که البته در مورد کالاهایی مثل زمین و مسکن این هزینه‌ها قابل اغماض است. نتیجه‌ی اندازه‌ی محدود بازارهای مالی، چسبندگی نهادی نرخ بهره، وجود دارائی‌های مالی محدود و درجه‌ی محدود جانشینی میان پول و دارایی‌های مالی در مقایسه با کشورهای توسعه یافته، جایگزینی نرخ بهره با نرخ تورم

[51] Moosa

[52] Hafer & Jansen

انتظاری در تابع تقاضای پول کشورهای کمتر توسعه یافته است (سامتی و یزدانی، ۱۳۸۷). بر این اساس، در این پژوهش از نرخ تورم شاخص قیمتی مصرف کننده، به‌عنوان متغیر هزینه فرصت استفاده شده است.

۴) بایستی به این مسئله توجه کرد که صاحبان ثروت، سبد دارائی خود را بر اساس پول داخلی ارزیابی می‌کنند. در این حالت، کاهش ارزش پول می‌تواند به افزایش ارزش دارایی‌های خارجی افراد داخل و آن‌گاه افزایش پایه پولی بی‌انجامد و در نهایت به واسطه‌ی کاهش نرخ بهره، موجب افزایش تقاضای پول شود. علاوه بر این، درکشورهایی که به شدت به واردات متکی هستند، در صورت کاهش ارزش پول ملی، بخش‌های دولتی احتیاج بیشتری به پول جهت واردات کالاهای مصرفی، واسطه‌ای و سرمایه‌ای خود دارند. اما از نظر تحلیلی با انتظار کاهش ارزش پول داخلی، مردم به منظور جلوگیری از کاهش بیشتر قدرت خرید خود، تقاضای پول خارجی را افزایش می‌دهند و تقاضای پول داخلی را کاهش می دهند که این رابطه‌ی معکوس بین نرخ ارز و تقاضای پول را اثر جانشینی گویند (فلاحی و نگهداری، ۱۳۸۴). از این نقطه نظر، نرخ ارز بیانگر هزینه‌ی فرصت خارجی تقاضای پول است.

مطالعات بسیاری نقش نرخ ارز در تقاضای پول را مورد بررسی قراردادند که در این میان، می‌توان به پژوهش بهمنی اسکویی[۵۳] (۱۹۹۶) پیرامون اثر نرخ ارز برتقاضای پول در ایران اشاره کرد. با توجه به توضیحات بالا، علامت اثر نرخ ارز در تابع تقاضای پول از لحاظ نظری می‌تواند مثبت یا منفی باشد؛ به‌همین دلیل در مطالعات گوناگون در اقتصاد ایران، علائم متفاوتی برای اثر نرخ ارز استخراج شده است. در مجموع با توجه به اهمیت نرخ ارز در تعیین تقاضای پول، این متغیر نیز در تابع تقاضای پول قرار داده شده است.

۴- شبیه‌سازی مدل تقاضای پول ایران

شواهد ارائه شده، نشان داد که تعیین عوامل اثرگذار بر تقاضای پول و مسئله‌ی ثبات تقاضای پول، از اهمیّت بسیار زیادی در بین نظریه‌پردازان اقتصادی برخوردار است. همان‌گونه‌که ذکر شد، یکی از مهم‌ترین دلایل این اهمیت، این است که تنها با تکیه بر ثبات تقاضای پول می‌توان به ارائه پیش‌بینی‌های قابل اتکا از تقاضای پول به منظور تصمیم‌سازی در حوزه‌ی سیاست‌های پولی و میزان اثرگذاری این سیاست‌ها بر بخش واقعی اقتصاد پرداخت؛ به‌ویژه اینکه در چند سال اخیر در مباحث اقتصادی، اجتماعی،

[53] Bahmani-oskooee

فرهنگی و سیاسی، اصطلاح جدیدی تحت عنوان چشم انداز بیست ساله، رایج شده است. در حال حاضر نیز، اغلب برنامه‌ها و سیاست‌های اقتصادی با معیار چشم انداز مورد بررسی قرار می‌گیرند. چشم‌انداز الزاماً بایستی تلفیقی از دو ویژگی آرمانی بودن و واقع‌نگری باشد. دستیابی به اهداف چشم‌انداز، مرهون پیش‌بینی‌های دقیق از وضعیت متغیرهای اقتصادی تأثیرگذار بر سیاست‌ها از جمله تقاضای پول است. همان‌گونه که شرح داده شد، کلیه‌ی مطالعات انجام گرفته در حوزه‌ی ثبات تقاضای پول در ایران، نشان دادند که توابع تقاضای پول در ایران از ثبات لازم برخوردارند؛ بنابراین می‌توان با تکیه بر این رفتار با ثبات، اقدام به پیش‌بینی میزان تقاضای پول ایران در افق چشم‌انداز (سال۱۴۰۴) کرد.

در این مسیر، دست‌یابی به تکنیکی قدرتمند، با توانایی‌های بالا و خطای کم در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای پول، اهمیّت به‌سزایی دارد. ضمن اینکه با توجه به انتقادات وارد بر تحلیل خطی تقاضای پول که به آن 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 شده است که الگوریتم‌های تکاملی[۵۴] در میان این روش‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. 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 استفاده می‌شود. الگوریتم‌های تکاملی با الهام ازطبیعت 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؛ سپس براساس قوانین معین، عملگرهای مختلف بر روی هر فرد برای ارتقا و بهبود نتیجه اعمال می‌شود. اگرچه این روش از دیدگاه زیستی، بسیار ساده‌انگارانه به نظر می‌رسد؛ امّا یک ساز و کار جستجوی انطباقی بسیار قدرتمند و کارا ایجاد می‌کند که قادر به یافتن پاسخ بهینه در بسیاری از مسائل پیچیده است (یانگ، ۲۰۰۸)[۵۵].

دراین پژوهش از بین الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در اینجا به مبانی نظری آن‌ها اشاره می‌شود.

---

[54] Evolutionary Algorithms
[55] Yung

۴-۱- الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

الگوریتم فاخته، یکی از جدیدترین و قوی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی تکاملی است. این الگوریتم، توسط رجبیون (۲۰۱۱) با الهام از نحوه‌ی زندگی پرنده‌ای به نام فاخته معرفی شد. همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با یک جمعیت اولیه کار خود را شروع می‌کند. این جمعیت، متشکل از تعدادی فاخته است که در ناحیه‌ای زندگی می‌کنند. این جمعیت از فاخته، تعدادی تخم دارند که آن‌ها را در لانه‌ی تعدادی پرنده میزبان خواهند گذاشت. تعدادی از این تخم‌ها که شباهت بیشتری به تخم‌های پرنده‌ی میزبان دارند، شانس بیشتری برای رشد و تبدیل شدن به فاخته‌ی بالغ را خواهند داشت. سایر تخم‌هایی که توسط پرنده‌ی میزبان شناسایی شده، از بین می‌روند. میزان تخم‌های رشد کرده، مناسب بودن لانه‌های آن منطقه را نشان می‌دهند. هر چه تخم بیشتری دریک ناحیه، قادر به زیست باشند و نجات یابند به همان اندازه، تمایل (سود) بیشتری به آن منطقه اختصاص داده می‌شود؛ بنابراین موقعیتی که در آن بیشترین تعداد تخم نجات یابند، پارامتری خواهد بود که فاخته‌ها قصد بهینه‌سازی آن را دارند.

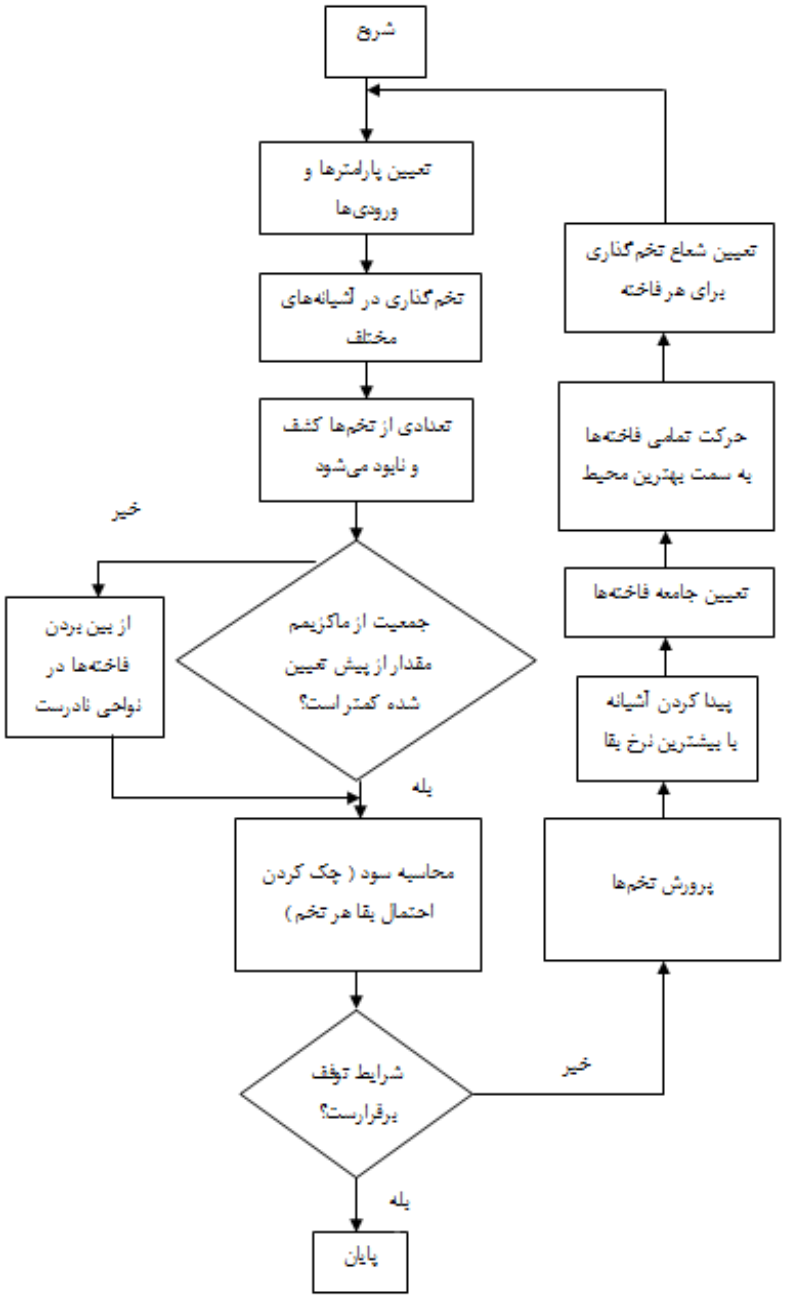
فاخته‌ها برای بیشینه کردن نجات تخم‌های خود، به‌دنبال بهترین منطقه می‌گردند. پس از آن‌که جوجه‌ها ازتخم درآمدند و تبدیل به فاخته‌ی بالغ شدند، جوامع و گروه‌هایی تشکیل می‌دهند. هر گروه، منطقه‌ی سکونت خود را برای زیست دارد. بهترین منطقه‌ی سکونت تمام گروه‌ها، مقصد بعدی فاخته‌ها در سایر گروه‌ها خواهد بود. تمام گروه‌ها به سمت بهترین منطقه مهاجرت می‌کنند. هرگروه در منطقه‌ای نزدیک بهترین موقعیت فعلی ساکن می‌شوند و با در نظرگرفتن تعداد تخمی که هر فاخته خواهد گذاشت و همچنین فاصله‌ی فاخته‌ها از منطقه‌ی بهینه‌ی فعلی برای سکونت، تعدادی شعاع تخم‌گذاری با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شده و شکل می‌گیرد.

$$ELR = \beta \times (Var_{hi} - Var_{lo}) \times \frac{\text{مجموع تخم‌گذاری هر فاخته}}{\text{تعداد تخم‌گذاری فاخته در هر مرحله}} \qquad (۱)$$

Var_{hi} حد بالای متغیر، Var_{lo} حد پایین متغیر و β متغیری که توسط آن حداکثر ELR تنظیم می‌شود؛ سپس فاخته‌ها شروع به تخم‌گذاری تصادفی در لانه‌هایی داخل شعاع تخم‌گذاری خود می‌کنند. این فرآیند، تا رسیدن به بهترین محل برای تخم‌گذاری (منطقه بهینه با بیشترین سود) ادامه می‌یابد. این محل بهینه، جایی

است که بیشترین تعداد فاخته‌ها در آن گرد می‌آیند. پس از چند تکرار، تمام جمعیت فاخته‌ها به یک نقطه با حداکثر شباهت تخم‌ها به تخم‌های پرندگان میزبان و همچنین بیشترین منابع غذایی می‌رسند. این محل بیشترین سود کلی را خواهد داشت و در آن کمترین تعداد تخم‌ها از بین خواهد رفت. همگرایی بیش از ۹۵ درصد تمام فاخته‌ها به سمت یک نقطه، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را به انتهای خود می‌رساند (رجبیون، ۲۰۱۱).

شکل ۱: روندنما الگوریتم بهینه‌سازی فاخته



۴-۲- الگوریتم کرم شب تاب

الگوریتم کرم شب‌تاب، برای نخستین بار توسط یانگ در سال ۲۰۰۸ ارائه شد. این الگوریتم، الگوریتمی فرا ابتکاری است که با الهام از رفتار ساطع کردن نور کرم‌های شب‌تاب

به‌دست آمده است. هدف اولیه‌ی کرم شب‌تاب از ساطع کردن نور به مانند یک سیستم علامت‌دهی برای جذب کرم‌های شب‌تاب دیگر است. در سال ۲۰۰۹ مقایسه‌ی این الگوریتم با الگوریتم پرندگان[۵۶] و الگوریتم ژنتیک، مشخص کرد که این الگوریتم برای پیدا کردن نقطه‌ی بهینه‌ی عمومی[۵۷] در برخی کاربردهای مورد آزمون قرار گرفته، از کارایی بهتری برخوردار است. پدیدآورنده‌ی الگوریتم کرم شب‌تاب، در سال ۲۰۱۰ نتایج آزمون‌های انجام پذیرفته‌ی 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. دراین 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 تعریف شود. فرایند بهینه‌سازی این الگوریتم از تغییرات شدت نور و جذابیت استفاده می‌کند. جذابیت یک کرم شب‌تاب، براساس درخشندگی یا شدت نور تعیین می‌شود که از تابع هدف به‌دست آمده است. در ساده‌ترین حالت برای مسائل بهینه‌سازی که در آن مقدار بیشینه تابع هدف به‌دست می‌آید، بیشینه‌ی 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 درجه‌ی جذب تغییر کند. در ساده‌ترین حالت، شدت نور $I(r)$ با مسافت r به‌طور پیوسته و نمایی تغییر می‌کند. بیان ریاضی تغییرات شدت در رابطه‌ی (۲) آمده است

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \qquad (۲)$$

I_0 شدت نور اولیه و γ ضریب جذب نور است.. 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 رابطه‌ی (۳) تعریف کرد.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \qquad (۳)$$

---

[56] Particle Swarm Optimization (Pso)

[57] Global Optimum

β_0 مقدار جذابیت در مسافت صفر است. فاصله‌ی بین هر دو کرم شب‌تاب i , j در X_i و X_j را می‌توان از مختصات کارتزین طبق رابطه‌ی (۴) به‌دست آورد.

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^{n}(X_{i,k} - X_{j,k})^2} \quad (۴)$$

$X_{i,k}$ 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 رابطه‌ی (۵) تعیین می‌شود.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}(x_i - x_j) + \alpha\varepsilon_i \quad (۵)$$

قسمت دوم رابطه، با جذب در ارتباط است؛ در حالی‌که 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؛ به‌عنوان مثال اگر تغییرات در یک بعد از 10^{-5} تا 10^{5} و در دیگر ابعاد از 10^{-3} تا 10^{3} باشد، یک ایده‌ی مناسب جایگزینی α با αS_k است که S_k بردار مقیاس‌دهی برای اجزای پارامترهای ورودی به الگوریتم است.

در مقاله‌ی حاضر، نرمال‌کردن کلیه‌ی پارامترهای ورودی در بازه‌ی $[-1\ ,1]$ باعث شده است تا علاوه بر افزایش سرعت آموزش و کاهش خطا در شبکه‌ی عصبی، همسان‌سازی داده به وجود آمده در اثر نرمال‌سازی، باعث تغییرات در ابعاد مختلف، همسان شود. پارامتر γ تغییر جذابیت را مشخص می‌کند و مقدار آن مشخص کننده‌ی 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 ناحیه‌ی دامنه دیده شود؛ بنابراین یک نقطه‌ی 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 بتوان 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؛ از این‌رو کرم‌ها به سمت بهینه‌های محلی جذب نمی‌شوند. در صورت چندین نقطه‌ی بهینه در فضایی که کرم‌ها رها می‌شوند، در صورتی که تعداد کرم‌ها به شکل قابل توجهی از نقاط بهینه بیشتر باشد ،هیچ نقطه‌ی بهینه‌ای از چشم کرم‌ها دور نخواهد ماند.

شکل ۲: روندنما الگوریتم کرم شب‌تاب

۴-۳- طراحی مدل و نتایج تجربی

مدل در نظرگرفته شده برای شبیه‌سازی تقاضای پول درایران، با توجه به مباحث مطرح شده در بخش‌های مبانی نظری و ادبیات موضوع به شکل زیر خواهد بود:

$$\frac{M_t}{P_t} = f(GDP_t, \dot{P}_t, ER_t) \qquad (۶)$$

که درآن M_t حجم پول بخش خصوصی شامل سپرده‌های دیداری و اسکناس و مسکوک در دست اشخاص و P_t شاخص قیمتی مصرف کننده (CPI) و بنابراین $\frac{M_t}{P_t}$ حجم پول حقیقی بخش خصوصی،GDP_t تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳، $\dot{P}_t$ نرخ تورم و ER_t نرخ ارز در بازار موازی بوده و سری زمانی تمامی متغیرها در دوره‌ی ۱۳۹۵-۱۳۵۲مورد بررسی قرارگرفته است. داده‌های مورد نظر از اطلاعات سری زمانی بانک مرکزی استخراج شده است. به‌منظور دستیابی به دقیق‌ترین شبیه‌سازی ممکن، سه فرم تبعی مختلف به کار گرفته شده است که عبارتند از فرم خطی[۵۸] و فرم درجه‌ی دو[۵۹] و فرم نمایی[۶۰]. این سه فرم، به‌صورتصریح به شکل زیر هستند:

$$\frac{M_t}{P_t} = \alpha_0 + \alpha_1 GDP_t + \alpha_2 \dot{P}_t + \alpha_3 ER_t \quad (۷)$$

$$\frac{M_t}{P_t} = \alpha_0 + \alpha_1 GDP_t + \alpha_2 \dot{P}_t + \alpha_3 ER_t + \alpha_4 {GDP_t}^2 + \alpha_5 {\dot{P}_t}^2 + \alpha_6 {ER_t}^2 + \alpha_7 GDP_t.\dot{P}_t + \alpha_8 GDP_t.ER_t + \alpha_9 \dot{P}_t.ER_t \quad (۸)$$

$$\frac{M_t}{P_t} = \alpha_0 + \alpha_1 {GDP_t}^{\alpha_2} + \alpha_3 {\dot{P}_t}^{\alpha_4} + \alpha_5 {ER_t}^{\alpha_6} \quad (۹)$$

در این پژوهش، به کمک الگوریتم فاخته و الگوریتم کرم شب‌تاب و با استفاده از نرم‌افزار متلب[۶۱] اقدام به بهینه‌سازی مقادیر پارامترهای مدل شده است. برای شروع کار با الگوریتم‌ها، بایستی مقادیر ثابتی را تعریف کرد. با شبیه‌سازی تقاضای پول توسط الگوریتم فاخته، معادلات برای فرم‌خطی و درجه‌دوم و نمایی به ترتیب به صورت زیر برآورد شد:

$$\frac{M_t}{P_t} = 0.2458 + 0.6352 GDP_t - 0.0389 \dot{P}_t + 0.0041 ER_t \quad (۱۰)$$

$$\frac{M_t}{P_t} = 0.226 + 0.421 GDP_t - 0.004 \dot{P}_t + 0.289 ER_t + 0.023 {GDP_t}^2 + 0.061 {\dot{P}_t}^2 - 0.609 {ER_t}^2 - 0.380 GDP_t.\dot{P}_t + 0.652 GDP_t.ER_t + 0.007 \dot{P}_t.ER_t \quad (۱۱)$$

---

[58] Linear
[59] Quadratic
[60] Exponential
[61] Matlab

$$\frac{M_t}{P_t} = -0.0025 + 0.4410GDP_t^{1.8807} - 0.1326\dot{P}_t^{3.4458} + 0.5044ER_t^{0.1543} \quad (۱۲)$$

همچنین نتایج شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب، به‌صورت زیر است:

$$\frac{M_t}{P_t} = 0.3449 + 0.6019GDP_t - 0.2314\dot{P}_t - 0.0053ER_t \quad (۱۳)$$

$$\frac{M_t}{P_t} = 0.221 + 0.920GDP_t - 0.028\dot{P}_t + 0.1081ER_t + 1.0324GDP_t^2 - 0.1058\dot{P}_t^2 - 0.224ER_t^2 - 0.1898GDP_t.\dot{P}_t - 1.7589GDP_t.ER_t + 0.6950\dot{P}_t.ER_t \quad (۱۴)$$

$$\frac{M_t}{P_t} = 0.4079 + 0.4323GDP_t^{0.413} - 0.6829\dot{P}_t^{0.4749} + 0.3391ER_t^{0.8020} \quad (۱۵)$$

با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش، پیش‌بینی میزان تقاضای پول در ایران تا سال ۱۴۰۴ بوده است، ارزیابی عملکرد توابع شبیه‌سازی شده در پیش‌بینی مصرف با استفاده از سه معیار میانگین انحراف معیار (MSE)، میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)، میانگین خطای مطلق (MAE) انجام شده‌هاست. این معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_i^{observed} - E_i^{simulated}\right)^2}{n} \quad (۱۶)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{E_i^{observed} - E_i^{simulated}}{E_i^{simulated}}\right|}{n} \quad (۱۷)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|E_i^{observed} - E_i^{simulated}\right|}{n} \quad (۱۸)$$

در روابط فوق، n نشانگر تعداد مشاهدات است. با بررسی و مقایسه‌ی برآوردهای به دست آمده از شبیه‌سازی توابع فوق توسط الگوریتم فاخته و الگوریتم کرم شب‌تاب نتایج زیر به‌دست آمد:

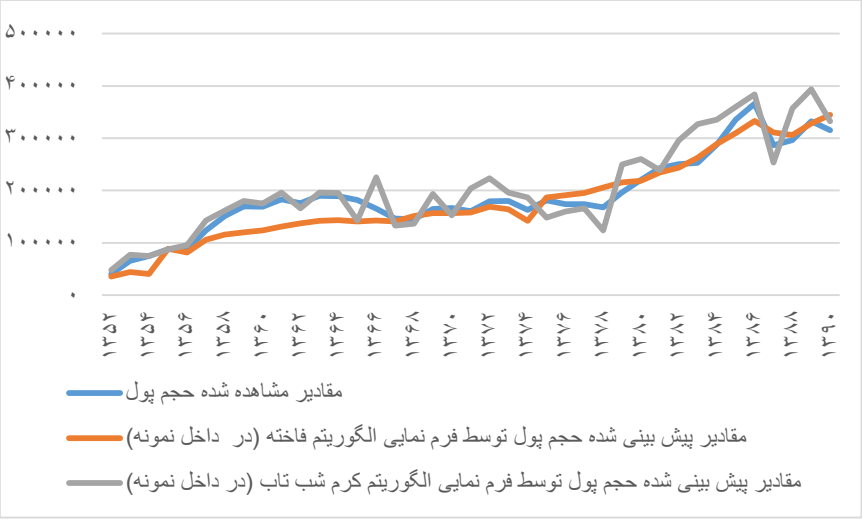
جدول ۱: مقایسه عملکرد پیش‌بینی فرم‌های تبعی مختلف

الگوریتم	معیار دقت برازش	فرم تبعی تابع تقاضای پول		
		فرم خطی	فرم درجه دوم	فرم نمایی
الگوریتم فاخته	MSE	۱/۹۷۱۴	۱/۷۰۲۶	۰/۱۴۲
	MAPE	۰/۷۱۳۵	۰/۸۰۲۹	۰/۰۷۵۰
	MAE	۰/۹۰۸۶	۰/۳۱۲۱	۰/۰۶۱۳
الگوریتم کرم شب‌تاب	MSE	۷/۰۱۱۲	۴/۱۸۹۱	۳/۹۸۵۳
	MAPE	۴/۸۸۱۸	۲/۹۴۴۴	۲/۰۰۴۵
	MAE	۲/۰۸۵۱	۲/۰۴۵۲	۱/۶۶۷۰۱

مأخذ: محاسبات تحقیق

براساس جدول ۱ می‌توان گفت که اولاً الگوریتم فاخته در شبیه‌سازی تابع تقاضای پول در هر سه فرم تبعی دقیق‌تر از الگوریتم کرم شب‌تاب عمل کرده است. ثانیاً در میان فرم‌های تبعی مختلف، الگوریتم فاخته در فرم نمایی با دقت بالاتری شبیه‌سازی را انجام داده است. همانگونه که نمودار ۱ نشان داده شده است پیش‌بینی‌های درون نمونه‌ای انجام گرفته توسط فرم نمایی از دقت قابل توجهی برخوردار است و به همین دلیل این فرم به عنوان دقیق‌ترین شبیه‌سازی برای پیش‌بینی خارج از نمونه تا افق ۱۴۰۴ مورد استفاده قرار گرفته است.

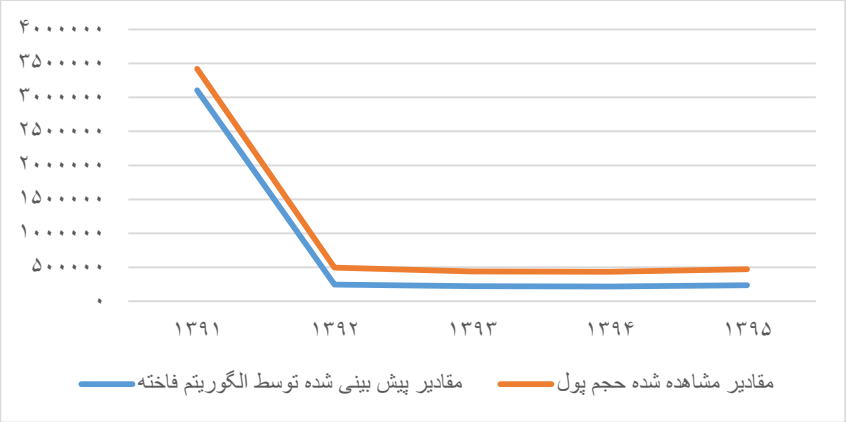
نمودار ۱: روند پیش‌بینی درون نمونه‌ای مدل برتر



مأخذ: محاسبات تحقیق

جهت اعتبار سنجی دقت مدل نمایی برآورد شده الگوریتم فاخته، به پیش‌بینی مقادیر حجم پول از سال ۱۳۹۱-۱۳۹۵ پرداخته شده است. نمودار۲، تأییدکننده‌ی دقت بالای این الگوریتم، در پیش‌بینی مقادیر حجم پول است.

نمودار ۲: پیش‌بینی مقادیر حجم پول (۱۳۹۵-۱۳۹۱) توسط الگوریتم فاخته



مأخذ: محاسبات تحقیق

۴-۴-پیش‌بینی خارج از نمونه

پس از مقایسه‌ی کارایی هر روش در پیش‌بینی مقادیر آتی تقاضای پول و تشخیص بهترین الگو، با تدوین سناریوهای مختلف برای روند متغیرهای مستقل، می‌توان روند آتی تقاضای پول را پیش‌بینی کرد. روش سناریوسازی، یکی از روش‌های کیفی آینده‌نگری است که بر طبق آن به ترسیم و تصور آینده با طراحی سناریوهای فرضی پرداخته می‌شود. سناریوها، تصویر روشنی از آینده‌اند که برنامه‌ریزان و سیاستگذاران به کمک آن‌ها می‌توانند مسائل، چالش‌ها و فرصت‌های محیط را به روشنی ببینند و بشناسند. بدیهی است به سبب گوناگونی عوامل و نیروهای سازنده‌ی آینده و پیچیدگی و تعامل میان آن‌ها، هرگز نمی‌توان آینده را به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد. از این رو، متخصصان آینده‌نگری، انتخاب محتمل‌ترین تصویر آینده را چندان درست نمی‌دانند. درنتیجه، باید سناریوهای مختلفی را برای برنامه‌ریزی به‌کار برد. بنابراین، اگر سناریو، شامل همه‌ی تصاویر ممکن آینده باشد، می‌تواند ابزار قدرتمندی برای برنامه‌ریزی به‌شمار آید (صادقی و همکاران ۱۳۹۱). از این رو، در این مطالعه، به منظور پیش‌بینی تقاضای پول، سه سناریوی احتمالی (خوش‌بینانه، بینابین، بدبینانه) برای متغیرهای

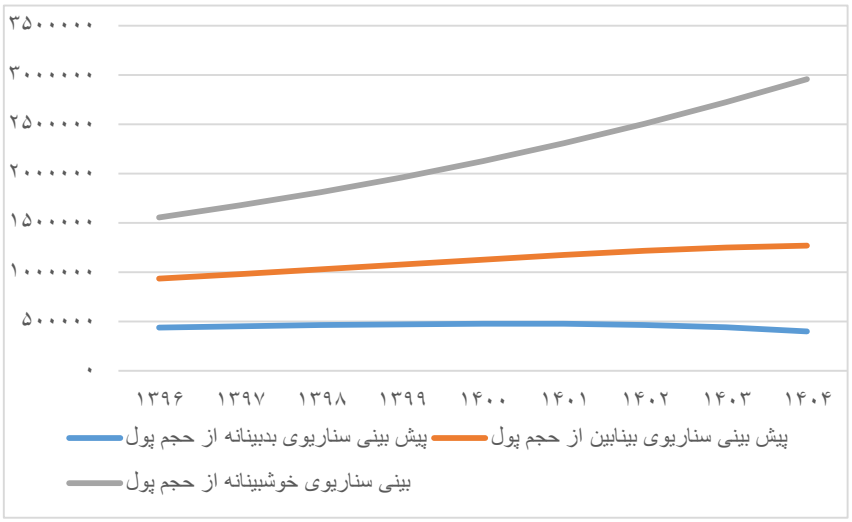
مستقل در نظرگرفته و سپس براساس آن‌ها مقادیر آتی تقاضای پول پیش‌بینی می‌شود. سناریوهای مورد نظر، در جدول شماره‌ی ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: سناریوهای طراحی شده برای پیش‌بینی تا افق ۱۴۰۴

سناریو	درصد رشد سالانه تولید ناخالص داخلی	درصد سالانه تغییر نرخ تورم	درصد تغییر سالانه نرخ ارز
خوش‌بینانه	۸	-۵	۵
بینابین	۵	۵	۱۰
بدبینانه	۳	۱۵	۲۰

نتایج اعمال این سناریوها و پیش‌بینی تا افق ۱۴۰۴ در نمودار ۲ نشان داده شده است: در سناریوی خوش‌بینانه و بینابین و بدبینانه تا سال ۱۴۰۴ تقاضای پول به طور متوسط سالانه ۱۱/۲۳ و ۶/۲۹ و ۰/۶۸ درصد رشد خواهد داشت. نکته‌ی بسیار مهم این است که در سناریوی بدبینانه، حجم پول واقعی در اقتصاد از سال ۱۴۰۱ شروع به کاهش خواهد کرد که در بخش بعد، نتایج احتمالی ناشی از این کاهش، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

نمودار ۳: روند تقاضای پول درایران تا افق ۱۴۰۴ تحت وقوع سناریوهای مختلف



مأخذ: محاسبات تحقیق

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با تکیه بر مبانی نظری تقاضای پول (با تعریف محدود پول) اقدام به شبیه‌سازی رفتار تقاضای پول با استفاده از الگوریتم فاخته و الگوریتم کرم شب‌تاب با سه فرم تبعی مختلف گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، شش مدل مختلف برای تقاضای

پول نشان داد که اولاً الگوریتم فاخته برازش دقیق‌تری از تابع تقاضای پول ارائه می‌دهد. ثانیاً فرم نمایی با دقت بیشتری رفتار تقاضای پول را مدل‌سازی می‌کند. ثالثاً این برازش حاکی از رابطه‌ی غیرمستقیم تقاضای پول و نرخ تورم و رابطه‌ی مستقیم تقاضای پول و نرخ ارز و تولید ناخالص داخلی است که با توجه به مبانی نظری مطرح شده، منطقی است. هدف اصلی این پژوهش، پیش‌بینی تقاضای پول در ایران، در افق ۱۴۰۴ با استفاده از بهترین مدل شبیه‌سازی شده بود. پیش‌بینی، تحت سه سناریو خوش‌بینانه و بینابین و بدبینانه صورت گرفت. در سناریوی خوش‌بینانه، به‌طور متوسط، تقاضای پول رشد ۱۱/۲۳ درصدی داشت. درسناریوی بینابین، نرخ رشد متوسط به ۶/۲۹ درصد کاهش یافت و با وقوع سناریوی بدبینانه، تقاضای واقعی پول ضمن رشد بسیارکند از سال ۱۴۰۱ شروع به کاهش می‌کند. از آن‌جاکه سناریوها، به‌گونه‌ای طراحی شده بود که با حرکت به سمت سناریوی بدبینانه، تورم و نرخ ارز رشد بالا و تولید ناخالص داخلی رشد پایین داشته باشند، کاهش رشد تقاضای پول و در نهایت کاهش تقاضای پول، کاملاً منطقی است. در واقع، بروز نوسانات شدید سطح قیمت‌ها و نرخ ارز به عاملان اقتصادی نااطمینانی را منتقل می‌کند و در این شرایط کاهش رشد تقاضای پول مورد انتظار است.

بنابراین برنامه‌ریزی و تدوین هر گونه سیاست پولی برای دستیابی به اهداف چشم‌انداز، مستلزم توجه به نوسانات سطح قیمت‌ها و نرخ ارز خواهد بود. کاهش تقاضای پول با توجه به توسعه نیافتگی بازارهای مالی مناسب برای جایگزینی پول، می‌تواند حامل این پیام باشد که به‌تدریج بازارهای مربوط به دارائی‌های فیزیکی، مثل زمین و مسکن و خودروهای سواری در معرض نوسانات شدید قرار گیرند که این نوسانات، کانال دیگری برای رشد هر چه بیشتر تورم و نااطمینانی بیشتر خواهد بود. نبایستی از این آموزه‌ی مهم دانش اقتصاد کلان مدرن غافل شد که حتی در شرایط رشد ثابت و قاعده‌مند عرضه‌ی پول، اگر رفتار تقاضای پول بخش خصوصی و فرآیند شکل‌گیری انتظارات آن‌ها به‌خوبی مدنظر و مدیریت قرار نگیرد، امکان بروز تورم‌های شدید[۶۲] وجود خواهد داشت.

[62] Hyper Inflation

فهرست منابع

- اکبری فرد، حسین، امین قاسمی نژاد و مریم رضائی جعفری. (۱۳۹۶). «مدلسازی عوامل موثر بر نرخ تورم در اقتصاد ایران با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته». *نظریه‌های کاربردی*. ۴(۳): صص ۱۶۸-۱۴۳.
- باستانی فر، ایمان. (۱۳۹۵). «برآورد تابع تقاضای پول تعدیل شده کیگان با تکانه‌های برون‌زا در اقتصاد ایران». *تحقیقات اقتصادی*. ۵۱(۴): صص۷۷۶-۷۵۹.
- بیابانی، جهانگیر، اصغر ابوالحسنی هستیانی، نادر مهرگان و داریوش حسنوند. (۱۳۹۳). «تأثیر ابداعات مالی در بخش بانکی بر تقاضای پول در ایران». *پژوهش‌های پولی و بانکی*. ۶(۱۸): صص ۱۵۵-۱۳۱.
- بیگی، ریحانه و مهدی صالحی. (۱۳۹۲). «کاربرد الگوریتم فاخته در پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران». *یازدهمین همایش ملی حسابداری ایران*.
- جعفری صمیمی، احمد، زهرا (میلا) علمی و علی صادق زاده یزدی. (۱۳۸۵). «بررسی ثبات تابع تقاضای پول در ایران: کاربرد روش جوهانسون- جوسیلیوس». *تحقیقات اقتصادی*. (۷۲): صص ۲۲۵-۱۹۱.
- جلایی اسفندآبادی، سید عبدالمجید و امید ستاری. (۱۳۹۰). «بررسی و پیش‌بینی اثر جهانی شدن اقتصاد بر توزیع درآمد در جامعه شهری ایران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی». *پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*. ۱(۴): صص ۱۴۱-۱۱۷.
- حسینی، سید صفدر، حبیب شهبازی و حلیمه جهانگرد. (۱۳۸۸). «پیش‌بینی تقاضای پول در افق ۱۴۰۴ در ایران (کاربرد الگوهای سری زمانی)». *پژوهش‌نامه اقتصادی*. ۱۰(۳): صص ۸۶-۶۷.
- حسینی، سیدصفدر و محمدرضا بخشی. (۱۳۸۵). «تجزیه و تحلیل تقاضای پول در ایران: کاربرد الگوی خود رگرسیو با وقفه‌های توزیعی». *پژوهش‌های اقتصادی ایران*. ۸(۲۸): صص۱۳-۱.
- دادگر، یداله و روح الله نظری. (۱۳۸۷). «تجزیه و تحلیل تقاضای پول در اقتصاد ایران (۱۳۵۳-۱۳۸۵)». ۱۴(۶۶): ۲۱ صص ۴۸-۲۱.

- دائی کریم زاده، سعید، مجید صامتی و نجمه محمودی. (۱۳۹۴). «بررسی پدیده جانشینی پول و اثر تنش نرخ ارز بر تقاضای پول در ایران». *نظریه‌های کاربردی*. ۵: صص ۴۶-۳۶.
- دهمرده، نظر، حمیدرضا ایزدی. (۱۳۸۸). «بررسی تابع تقاضای پول در ایران». *پژوهش‌نامه اقتصادی*. ۹ (۲): صص ۱۶۹-۱۵۳.
- دهمرده، نظر، حمیدرضا ایزدی. (۱۳۹۱). «رابطه بین عملکرد سیاست‌های پولی و مالی و ثبات تابع تقاضای پول و پیش‌بینی این تابع در ایران». *فصل‌نامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*. ۱ (۱): صص ۱۹۰-۱۶۵.
- رضوی، سید علی و محمد طاهر احمدی شادمهری. (۱۳۹۴). «بررسی عوامل موثر بر تقاضای برق بخش خدمات با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته». *اقتصاد و الگوسازی*. ۴(۱۷): صص ۱۳۴-۱۱۱.
- زراءنژاد، منصور، ابراهیم انواری و محمد هادی اکبرزاده. (۱۳۹۳). «تخمین تابع تقاضا برای پول در ایران». *کنفرانس بین‌المللی اقتصاد، حسابداری، مدیریت و علوم اجتماعی*. پاییز ۱۳۹۳.
- سامتی مرتضی و مهدی یزدانی. (۱۳۸۹). «تحلیل اقتصاد سنجی تابع تقاضای پول در ایران». *پژوهش‌نامه علوم اقتصادی*. ۱۰(۲): صص ۱۲۲-۹۹.
- شهرستانی، حمید و حسین شریفی رنانی. (۱۳۸۷). «تخمین تابع تقاضای پول و بررسی ثبات آن در ایران». *تحقیقات اقتصادی*. ۴۳(۸۳): صص ۱۱۴-۸۹.
- صادقی، حسین، مهدی ذوالفقاری، حسین سهرابی و یونس سلمانی. (۱۳۹۱). «کاربرد الگوریتم انبوه ذرات و الگوریتم ژنتیک و در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای انرژی». *نشریه انرژی*. ۱۵(۲): صص ۶۰-۴۵.
- فلاحی، محمدعلی و ابراهیم نگهداری. (۱۳۸۴). «بررسی عوامل موثر بر تقاضای پول در اقتصاد ایران با تاکید بر نرخ ارز (کاربرد الگوی ARDL)». *دانش و توسعه*. (۱۷): صص۱۶۶-۱۴۷.
- قاسمی‌نژاد، امین، نینا میرانی، پریچهر آذری و سعیده سمندری. (۱۳۹۴). «بررسی اثر اقتصاد دانش بنیان بر رشد تولیدات در ایران با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم‌شب تاب ». *کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع*. تهران.

- کمیجانی، اکبر و رضا بوستانی. (۱۳۸۳) ثبات تابع تقاضای پول در ایران. *تحقیقات اقتصادی*. زمستان ۱۳۸۳، - (۶۷): ۲۳۵-۲۵۸.
- گوگردچیان، احمد، رسول بخشی دستجردی و عاطفه هاشمی فرد. (۱۳۹۴). «رهیافتی از تقاضای پول سیدراسکی در اقتصاد ایران». *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*. ۲۳(۷۵): صص ۲۳۰-۲۱۱.
- Apostolopoulos, T. (2010). Application of the Firefly Algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem. International Journal of Combinatorics, 2: 121-143.
- Austin, D., B. Ward & P. Dalziel. (2007) .The Demand for Money in China 1987–2004: A Non-linear Modeling Approach. China Economic Review, 18: 190–204.
- Bahmani-Oskooee, M. (1996). The Black Market Exchange Rate and Demand for Money in Iran. Journal of macroeconomics, 18: 171-176.
- Barnett, W.A. (1980). Economic Monetary Aggregates: An Application of Index Number and Aggregation Theory. Journal of Econometrics, 14(1): 11-48.
- Barro, R.J. & S. Fischer. (1976). Recent Developments in Monetary Theory. Journal of Monetary Economics, 2 (2): 133-67.
- Baumol, W.J. (1952). The Transactions Demand for Cash: An Inventory Theoretic Approach. The Quarterly Journal of Economics, 66(4): 545-56.
- Ben-Salha, O. & Z. Jaidi. (2014). Some New Evidence on The Determinants of Money Demand in Developing Countries–A Case Study of Tunisia. The Journal of Economic Asymmetries, 11, 30-45.
- Blanchard, O.J. & S. Fischer. (1989). Lectures on Macroeconomics. The MIT press: 195-197.
- Cannan, E. (1921). The Application of The Theoretical Apparatus of Supply and Demand to Units of Currency. The Economic Journal, 31(124): 453-61.
- Chen, Sh. L. & J.L. Wu. (2005). Long-Run Money Demand Revisited: Evidence From A Non-Linear Approach. Journal of International Money and Finance, 24: 19–37.
- Cheong Tang, T. (2007). Money Demand Function for Southeast Asian Countries: An Empirical View From Expenditure Components. Journal of Economic Studies, 34(6), 476-496.

- Choi, D. & L. Oxley. (2004). Modeling the Demand for Money in New Zealand, Mathematics and Computers in Simulation, 64 (1): 185-191.
- Deng, S. & B. Liu. (1999). Modeling and Forecasting The Money Demand in China: Co-Integration and Nonlinear Analysis. Annals of Operations Research, 87: 177–189.
- Fisher, I. (1911). The Purchasing Power of Money. (New York: the Macmillan Co).
- Friedman, M. (1956). The Quantity Theory of Money: A Restatement. In M. Friedman, ed. Studies in the Quantity Theory of Money. University of Chicago Press.
- Hafer, R. W. & D.W. Jansen. (1991). The demand for Money in The United States: Evidence From Co Integration Tests. Journal of Money, Credit, and Banking, 23(2): pp. 155-168.
- Jawadi, F. & R.M. Sousa. (2013). Money Demand in the Euro Area, the US and the UK: Assessing the Role of Nonlinearity, Economic Modeling, 32: 507–515.
- Johansen. S. & K. Juselius. (1990). Maximum Likelihood Estimation and Inference on Co-Integration With Applications to The Demand for Money. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 52 (2): 169-210.
- Kumar, S. (2011). Financial Reforms and Money Demand: Evidence From 20 Developing Countries, Economic Systems, 35: 323–334.
- Lavington, F. (1921). The English Capital Market (London: Methuen).
- Lee, C.C., C.P. Chang & P.F. Chen. (2008). Money Demand Function Versus Monetary Integration: Revisiting Panel Co Integration Among GCC Countries. Mathematics and Computers in Simulation 79 (1) 85–93.
- Mill, J.S. (1848). Principles of Political Economy (London: John W. Parker).
- Moosa, I.A. (1992). the demand for Money in India: A Co-Integration Approach. The Indian Economic Journal, 40(1): 101-115.
- Pigou, A.C. (1917). The Value of Money, The Quarterly Journal of Economics, 37: 38-65.
- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo Optimization Algorithm. Applied Soft Computing, 11(8), 5508-5518.
- Rother, Ph. C. (1998). European Monetary Integration and The Demand for Money, Journal of International Money and Finance,17: 691-711

- Schumpeter, J.A. (1954). History of Economic Analysis (New York: Oxford University Press).
- Schumpeter, Joseph A. (1954) History of Economic Analysis. New York: Oxford University Press.
- Serletis, A. (2007). The demand for Money: Theoretical and Empirical Approaches. 2nd Edition.
- Sriram, S. (1999). Survey of Literature on Demand for Money: Theoretical and Empirical Work with Special Reference to Error-Correction Models. IMF Working Paper 99/64.
- Tobin, J. (1956). The Interest-Elasticity of Transactions Demand for Cash. The Review of Economics and Statistics, 38 (3): 241-47.
- Valadkhani, A. (2005). Modeling Demand for Broad Money in Australia. Australian Economic Papers, 44(1): 47-64.
- Wang, J., H. Jiang, Y. Wu & Y. Dong. (2015). Forecasting Solar Radiation Using an Optimized Hybrid Model by Cuckoo Search Algorithm. Energy, 81: 627-644.
- Wicksell, K. (1906). Lectures on Political Economy. Translation by E. Classen (London: Reutledge & Kegan Paul, 1935, Vol. II; New York: A.M. Kelley, 1967).
- Yang, X. S. (2008). Nature-Inspired Met Heuristic Algorithms. Luniver Press.
- Yang, X. S. (2010). Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimization. International Journal of Bio-Inspired Computation, *2*(2), 78-84.