

## الگوسازی مداخله‌ی ارزی در بازار ارز ایران

جعفر عبادی\*\*

دانشیار دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه تهران jebadi@ut.ac.ir

هاجر جهانگرد

دانشجوی دوره‌ی دکترای اقتصاد دانشگاه تهران jahangardh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۵

### چکیده

این مقاله برای اولین بار در ایران به تحلیل سیاست‌های مداخله در بازار ارز ایران و سپس طراحی الگوی مداخله در بازار ارز ایران و شبیه‌سازی مونت کارلویی الگو می‌پردازد. مقاله در بخش نخست با تحلیل مداخله‌ی ارزی در بازار ارز ایران به این نتیجه می‌رسد که تزریق بیش از حد درآمدهای نفتی و فقدان تکیه‌گاه‌های برانزده‌ی ساخت اقتصاد کشور موجب مداخله‌ی خرید ارز بانک مرکزی و بنابراین افزایش تورم و کاهش توان تولید اقتصاد می‌شود. پس از آن مقاله به طراحی الگوی مداخله در بازار ارز ایران می‌پردازد. از آن جا که حل دقیق عددی برای الگوی طراحی شده متصور نیست، برنامه‌ی شبیه‌سازی شده‌ی الگوی طراحی شده با استفاده از نرم‌افزار R ارائه می‌شود\*\*.

طبقه‌بندی JEL: C15, C61, C63, E42, E44, E58, E61, G18

**کلید واژه:** نرخ ارز، مداخله‌ی ارزی، بازار ارز ایران، لگاریتم خطی کردن، شبیه‌سازی مونت کارلو، نرم افزار R

\* - نویسنده مسئول

\*\* - بدین وسیله از جناب آقای دکتر افشین فلاح عضو هیأت علمی دانشگاه امام خمینی برای کمک در برنامه‌نویسی R قدردانی می‌شود.

## ۱- مقدمه

سیاست ارزی مشخص‌کننده‌ی قاعده‌ی رفتاری مقام پولی هر کشور برای مبادله‌ی پول ملی با پول‌های خارجی است. این قاعده‌ی رفتاری با مؤلفه‌هایی همانند روش تعیین ارزش و نرخ برابری پول ملی با پول‌های خارجی در هر لحظه از زمان مشخص می‌شود. بانک‌های مرکزی عهده‌دار اجرای سیاست‌های پولی و ارزی هستند. بانک مرکزی در قالب وظیفه‌ی اصلی خود که همان حفظ ارزش پول ملی باشد، مجموعه‌ای از سیاست‌های پولی و ارزی را به عنوان برنامه‌ی کاری خویش برای هر دوره‌ی زمانی خاص برمی‌گزیند. اما در اقتصادهایی مانند ایران که جدا کردن کامل حرکت‌های پولی و مالی به دلیل وجود درآمدهای ارزی دولت (مانند درآمد نفت و گاز) امکان‌پذیر نیست، ورود دارایی خارجی به جهت عملیات دولت (دریافت ارز حاصل از صادرات نفت و گاز) به ناچار به افزایش حجم پول می‌انجامد. بنابراین سیاست ارزشیابی پول ملی هر چه باشد، بانک مرکزی باید برای کنترل پایه‌ی پولی ترکیبی از تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت ارزی و ریالی (پول ملی) را در هم بیامیزد. به این ترتیب بانک مرکزی نمی‌تواند با استقلال کامل عمل کند و تنها می‌تواند به پاره‌ای از آثار نفوذ دولت در شبکه‌ی پولی تخفیف ببخشد.<sup>۱</sup> در حالتی که بانک مرکزی مجبور می‌شود به جای دولت برخی از عملیات مالی و بودجه‌ای را انجام دهد یا فعالیت‌هایی داشته باشد که تأثیری مشابه سیاست مالی دارند، پاره‌ای از عملیات شبه بودجه‌ای<sup>۲</sup> انجام می‌پذیرد. بانک مرکزی با تصور کمک به توسعه‌ی اقتصادی وظایف بودجه‌ای را بر عهده می‌گیرد و از این راه پذیرای فشارهایی می‌شود که در واقع منشاء مالی دارد. بنابراین دولت قادر است تحمیلی یک جانبه بر بانک مرکزی و سیاست‌های پولی وارد آورد.

ارزیابی بازار ارز و سیاست‌های ارزی ایران که در این مقاله از دیدگاه مداخله‌ی ارزی انجام می‌گیرد، برای شناخت نابسامانی‌های این بازار انجام می‌شود. سپس در قالب این شناخت، الگوی مداخله در بازار ارز ایران را شبیه‌سازی می‌کنیم. بدین ترتیب این مقاله ابتدا طی دو بخش به ارزیابی سیاست‌های ارزی ایران در قبل و بعد از یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ می‌پردازد. این تحلیل بر شکل و هدف مداخله در بازار ارز تأکید دارد. سپس مقاله بر مبنای این تحلیل به طراحی و شبیه‌سازی مونت کارلویی الگوی مداخله در بازار ارز ایران می‌پردازد.

1- Canales, K and J. Ivan, 2006.

2- Quasi fiscal operations.

## ۲- سیاست‌های ارزی ایران قبل از یکسان‌سازی نرخ ارز (۸۱-۱۳۷۰)

در این بخش به بررسی سیاست‌های ارزی ایران قبل از یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ می‌پردازیم. همان‌گونه که بیان شد این بررسی بر شکل و هدف مداخله‌ی ارزی در بازار تأکید دارد.

در سال ۱۳۶۵ با کاهش قیمت نفت در بازارهای جهانی، ذخایر ارزی بانک مرکزی کاهش یافت و با شدت گرفتن جنگ طی سال‌های ۶۷-۱۳۶۵ نیاز به منابع ارزی، انگیزه‌های لازم را در ایجاد سیستم چند نرخ‌ی ارز و بازنگری دوباره در وضعیت صادرات غیرنفتی ایجاد کرد. از آن سال به بعد کشور شاهد وجود سیستم چند نرخ‌ی ارز بود. طی دهه‌ی هفتاد پس از پایان جنگ ایران و عراق، بانک مرکزی طی چند مرحله اقدام به ساده کردن نظام ارزی کشور و ابقا تدریجی سازوکار بازار آزاد کرد. با این همه طی این دهه نظام ارزی هم‌چنان یک سیستم چند نرخ‌ی باقی ماند که شدت کنترل و میزان محدودیت‌های آن در واکنش به شرایط داخلی و خارجی به ویژه نوسان‌های قیمت نفت تغییر می‌کرد. در سال ۱۳۷۰ دولت تعداد نرخ‌های رسمی (دولتی) ارز را از هفت نرخ به سه نرخ رسمی، رقابتی و شناور کاهش داد. علاوه بر سه نرخ رسمی یک نرخ ارز آزاد نیز معرفی شد که توسط بازار آزاد تعیین و برای انجام سایر مبادله‌ها آزادانه خرید و فروش می‌شد.

در اول فروردین سال ۱۳۷۲ دولت سه نرخ رسمی فوق را حذف و یک نرخ نیمه‌شناور واحد را جایگزین آن‌ها کرد. سطح نرخ جدید که ابتدا برابر ۱۵۰۰ ریال در مقابل دلار آمریکا اعلام شد، روزانه توسط بانک مرکزی تعیین و اعلان می‌گردید. اما به علت افزایش فشار بدهی‌های خارجی و رشد بی‌رویه‌ی واردات و به دنبال آن کاهش قیمت نفت سیاست جدید دوام نیاورد. بنابراین در آذر ماه ۱۳۷۲ دولت برای مقابله با این وضعیت مجبور شد نرخ رسمی ارز را در سطحی بالاتر یعنی دلاری ۱۷۵۰ ریال نگه دارد.

در سال ۱۳۷۲ به دنبال تک نرخ‌ی کردن ارز حساسی به نام حساب "ذخیره‌ی تعهدات ارزی" تشکیل شد، اما تغییر نسبت تبدیل درآمد ارزی به ریال و عدم برآورد صحیح از بار هزینه‌ای ناشی از یکسان‌سازی نرخ ارز موجب گردید که این حساب در همان اوایل پیدایش با کسری بسیار مواجه گردد. در جدول زیر مانده‌ی بدهکار حساب "ذخیره‌ی تعهدات ارزی" و تغییر در مانده‌ی این حساب طی سال‌های ۸۶-۱۳۷۲ آورده شده است.

جدول ۱- مانده و تغییر در مانده‌ی بدهکار حساب "ذخیره‌ی تعهدات ارزی" (میلیارد ریال)

۱۳۷۸	۱۳۷۷	۱۳۷۶	۱۳۷۵	۱۳۷۴	۱۳۷۳	۱۳۷۲	
۳۵۴۴۶/۱	۳۳۶۳۳/۵	۲۸۵۵۶/۸	۲۳۲۲۰/۳	۱۸۸۱۳/۷	۱۲۲۰۵/۴	۶۱۲۰/۴	مانده‌ی بدهکار حساب
۱۸۱۲/۶	۵۰۷۶/۲	۵۳۳۶/۵	۴۴۰۶/۶	۶۶۰۸/۳	۶۰۸۵/۰	۶۱۲۰/۴	تغییر در مانده‌ی حساب

ماخذ: گزارش اعتبارات اعطایی بانک مرکزی ج.ا.ا، سال‌های مختلف

ادامه‌ی جدول ۱- مانده و تغییر در مانده‌ی بدهکار حساب "ذخیره‌ی تعهدات ارزی" (میلیارد ریال)

۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۴	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۱	۱۳۸۰	۱۳۷۹	
۳۶۱۳۱/۶	۳۶۱۳۰/۹	۳۶۱۲۰/۳	۳۵۹۵۵/۷	۳۴۷۵۵/۴	۳۱۱۰۲/۷	۳۱۳۱۸/۱	۳۳۶۶۵/۷	مانده‌ی بدهکار حساب
-۰/۷۵	۱۰/۶	۱۶۴/۶	۱۲۰۰/۳	۳۶۵۲/۷	-۲۱۵/۴	-۲۳۴۷/۶	-۱۷۸۰/۴	تغییر در مانده‌ی حساب

ماخذ: گزارش اعتبارات اعطایی بانک مرکزی ج.ا.ا، سال‌های مختلف

بدین ترتیب طی سال‌های متمادی با افزایش کسری حساب "ذخیره‌ی تعهدات ارزی" بر بدهی دولت به بانک مرکزی بابت قلم فوق افزوده شد.<sup>۱</sup>

در اردیبهشت سال ۱۳۷۳ یک نرخ رسمی جدید موسوم به نرخ صادراتی نیز به بازار ارز اضافه شد که در سطح ۲۳۴۵ ریال در برابر دلار آمریکا تمام مبادلات مربوط به صادرات غیرنفتی و واردات غیرضروری را شامل می‌شد. در این سال افزایش نرخ تورم و تشدید تحریم‌های آمریکا موجب کاهش ارزش ریال شد. در اردیبهشت ۱۳۷۴ نرخ صادراتی به ۳۰۰۰ ریال افزایش یافت.<sup>۲</sup>

در تیر ماه سال ۱۳۷۶ بانک مرکزی اقدام به عرضه‌ی اوراق ارزی در بازار بورس تهران کرد. به این ترتیب نرخ جدید دیگری موسوم به نرخ بورس تهران وارد بازار ارز شد که سطح آن در ابتدا نزدیک به ۵۰۰۰ ریال در برابر دلار آمریکا بود. طی دو سال اول که درآمد نفت پایین بود، بانک مرکزی نتوانست مقدار ارزی را که برای تأمین سطح تقاضا لازم بود را به بازار بورس عرضه کند. در نتیجه اضافه قیمت ارز آزاد به نرخ بورس تهران از ۲۰ درصد به ۵۰ درصد افزایش یافت. بالاخره در سال ۱۳۷۸ بانک مرکزی مجبور شد که قیمت ارز را در دو مرحله، ۲۰ درصد در فروردین ۱۳۷۸ و ۱۶ درصد در اردیبهشت ۱۳۷۸ افزایش دهد. در مجموع طی سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ قیمت دلار در بورس تهران ۴۲ درصد و در سال ۷۹-۱۳۷۸، ۲۰ درصد افزایش یافت.

بین اردیبهشت ۱۳۷۸ تا اسفند سال ۱۳۷۹ بانک مرکزی توانست با استفاده از افزایش قیمت نفت عرضه‌ی ارز را در بازار بورس تهران افزایش دهد و نرخ دلار در این

۱- تحلیل وضعیت اقتصاد کشور: عملکرد برنامه‌ی سوم و چشم انداز سال ۱۳۸۴.

۲- گزارش اقتصادی و ترازنامه‌ی سال ۱۳۷۴.

بازار را حدود ۸۰۰۰ ریال تثبیت نماید. به این ترتیب فزونی نرخ ارز آزاد به نرخ ارز بورس تهران به ۲ درصد کاهش یافت و به تدریج وارداتی که قبلاً به نرخ ارز صادراتی انجام می‌گرفت به بازار ارز بورس تهران منتقل شد. در سال ۱۳۷۹ نرخ ارز صادراتی حذف و نرخ بورس تهران به نرخ غالب برای انجام مبادله‌های بخش خصوصی تبدیل شد. تا قبل از یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ بانک مرکزی بخشی از ارز را به نرخ بالاتر از نرخ رسمی (معادل ۱۷۵۰ ریال برای هر دلار) در سطح نرخ واریزنامه‌ای خریداری و معادل ریالی آن را به خزانه واریز می‌نمود. مابه‌التفاوت نرخ رسمی تا نرخ واریزنامه‌ای ارز، بدهی دولت محسوب شده و باید پس از فروش ارز مذکور در بازار توسط بانک مرکزی این بدهی تسویه می‌شد. اما به علت عدم کشش بازار ارز، بانک مرکزی قادر به فروش همه‌ی ارزهای مذکور در بازار نگردید. در نتیجه اختلاف میان نرخ رسمی ارز خریداری شده و نرخ واریزنامه‌ای در حسابی به نام "حق الامتیاز خرید ارز" در فصل "دارایی‌های متفرقه" ثبت و به عنوان بدهی دولت محسوب می‌شد. پس از یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ مانده‌ی حساب "حق الامتیاز خرید ارز" (حدود ۴۸ هزار میلیارد ریال) پس از تعدیل بابت درآمد ناشی از تجدید ارزیابی ترازنامه‌ی بانک مرکزی در رابطه با یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ (حدود ۳۶ هزار میلیارد ریال) که صرف کاهش بدهی دولت بابت حساب "حق الامتیاز خرید ارز" شد به عنوان یکی از اقلام بدهی دولت بابت یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ در ترازنامه‌ی بانک مرکزی ثبت گردید.<sup>۱</sup>

در بخش بعد به بررسی سیاست‌های ارزی ایران پس از یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ می‌پردازیم. همان‌گونه که بیان شد این بررسی به شکل و هدف مداخله‌ی دولت و مقام پولی در بازار ارز تأکید دارد.

### ۳- سیاست‌های ارزی ایران پس از یکسان‌سازی نرخ ارز (۸۶-۱۳۸۱)

پس از یکسان‌سازی نرخ ارز در سال ۱۳۸۱ معاملات ارز در بازارهای معاملات بین بانکی و فرعی ارز انجام می‌گردد که هر یک دارای سازوکار خاص خود است. خرید ارز در بازار معاملات بین بانکی عمدتاً صرف پرداخت وجه اعتبارات اسنادی گشایش شده می‌شود ولی در بازار فرعی، ارز خریداری شده توسط شبکه‌ی بانکی به خارج از کشور حواله گردیده یا به مصرف صرافی‌های داخل کشور می‌رسد.

آمارهای فروش ارز در بازارهای ارزی حاکی از آن است که میزان خرید و فروش ارز توسط شبکه‌ی بانکی در بازار فرعی ارز از بدو تاسیس این بازار تا هم‌اکنون همواره

۱- تحلیل وضعیت اقتصاد کشور: عملکرد برنامه‌ی سوم و چشم‌انداز سال ۱۳۸۴.

رشدی فزاینده داشته است. این امر عمدتاً به دلیل شرایط نامطمئن جامعه و عدم هرگونه محدودیت در خرید، فروش و حواله‌ی ارز به خارج از کشور در این مناطق می‌باشد. از سوی دیگر در بازار معاملات بین بانکی ارز عوامل دیگری مانند دیون نقدی و میزان استفاده از تسهیلات یوزانس توسط بانک‌ها بر میزان فروش ارز تأثیرگذار بوده است. به علاوه وضعیت نقدینگی بانک‌ها و واردات و صادرات کالا نیز عوامل مهم در تعیین میزان فروش ارز توسط بانک مرکزی هستند. فروش ارز بانک مرکزی طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۲ در بازارهای اصلی و فرعی ارز در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۲- فروش ارز بانک مرکزی در بازارهای اصلی و فرعی و سهم هر بازار (میلیون دلار)

سال	فروش بانک مرکزی		سهم بازار اصلی	سهم بازار فرعی	خرید ارز از مشتری	فروش ارز به مشتری
	اصلی	فرعی				
۱۳۸۲	۱۱۶۰۳	۷۳۳۷	۰/۶۱	۰/۳۹	۴۵۶۸	۱۶۳۴۴
۱۳۸۳	۱۰۰۰۰	۸۹۵۷	۰/۵۳	۰/۴۷	۷۴۱۸	۲۱۱۳۹
۱۳۸۴	۱۲۸۹۳	۱۱۴۷۳	۰/۵۳	۰/۴۷	۱۰۴۲۱	۲۴۴۹۴
۱۳۸۵	۱۴۸۴۸	۱۷۶۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۱۴۸۳۱	۲۹۸۴۹
۱۳۸۶	۱۵۰۴۶	۲۴۵۹۵	۰/۳۸	۰/۶۲	۱۶۹۵۰	۳۴۲۳۹

ماخذ: اداره‌ی صادرات بانک مرکزی ج.ا.ا.

در سال ۱۳۸۶ حدود ۷۰ درصد (رقمی معادل ۲۰۸۳۳ میلیون دلار) از مجموع ارز فروخته شده توسط بانک‌ها در بازار فرعی (۲۹۸۱۳ میلیون دلار) صرف حواله به خارج شده و تنها ۷۲۰ میلیون دلار آن به صورت اعتبار اسنادی و حواله به داخل هزینه شده است.<sup>۱</sup>

جدول ۳- عملیات ارزی بازار فرعی طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۳ (میلیون دلار)

سال	خرید				فروش				
	از بازار فرعی	نقدی از مشتری	حواله از خارج	جمع	در بازار فرعی	نقدی به مشتری	اعتبار اسنادی	حواله به داخل	حواله به خارج
۱۳۸۳	۹۶۹۹	۲۰	۳۴۸	۱۰۰۶۷	۲۹۵	۱۶	۶۱۵	۱۱۴۴	۸۰۵۹
۱۳۸۴	۱۱۵۸۴	۴۷	۴۲۲	۱۲۰۵۳	۴۷۷	۱۰	۴۳۵	۱۴۷۷	۹۶۶۲
۱۳۸۵	۱۸۲۴۳	۴۰	۴۲۳	۱۸۷۰۶	۶۶۹	۴۶۷	۵۶۷	۲۹۵۹	۱۴۰۳۳
۱۳۸۶	۲۵۲۷۸	۲۴	۴۰۱۷*	۲۹۳۱۹	۱۱۴۷	۶۱	۵۵۵	۷۲۱۷	۲۰۸۳۳

ماخذ: اداره‌ی صادرات بانک مرکزی ج.ا.ا.

\* رقم خرید حواله از خارج در سال ۱۳۸۶ مربوط به خرید حواله از خارج شرکت نفت، شرکت نفت کش و مسکن‌سازان شهر به حساب بانک ملت بوده است.

قانون‌های بودجه‌ی سالانه‌ی دولت با تعیین حدود ارز قابل تخصیص، صدور مجوز تخصیص درآمد نفت، صدور مجوز برای عقد قراردادهای تأمین مالی به صورت‌های مختلف و تأیید رویه‌ی دریافت و پرداخت ارز توسط بانک مرکزی، شبکه‌ی مدیریت منابع ارزی کشور را مشخص می‌نمایند.

در قانون بودجه‌ی سال ۱۳۸۶، از مجموع ۳۶/۷ میلیارد دلار منابع ارزی بودجه‌ی این سال، حدود ۳۲/۹ میلیارد دلار دارای مصارف ریالی است. از آن جا که بانک مرکزی موظف به تأمین ریال بودجه است، با وجود حکم جزء ۲ بند (ب) تبصره‌ی ۲ قانون بودجه‌ی سال ۱۳۸۶<sup>۱</sup>، طبق روال سال‌های گذشته مازاد عرضه‌ی ارز نسبت به تقاضای بازار به منظور مدیریت نرخ ارز توسط بانک مرکزی خریداری می‌گردد. به بیان دیگر نرخ ارز ضمنی بودجه‌ی سال ۱۳۸۶ برابر ۸۹۰۰ ریال به ازای یک دلار است. این در حالی است که بند (الف) تبصره‌ی ۲ قانون بودجه این سال تصریح دارد که عواید ارزی ناشی از فروش نفت و سایر عواید ارزی به نرخ روز به خزانه‌داری کل کشور واریز می‌شود. از طرف دیگر سقف ریالی ردیف‌هایی که درآمدهای ارزی به آن واریز می‌شود، همه ساله در قانون‌های بودجه تعیین شده است. یعنی اگر نرخ ارز بالاتر رود، مقدار کم‌تری ارز به فروش می‌رسد و اگر نرخ ارز پایین‌تر آید، مقدار بیش‌تری ارز به فروش می‌رسد. پس تعیین نرخ ارز در قانون بودجه و کاهش یا افزایش آن تأثیری در سقف‌ها ندارد. از این‌رو بانک مرکزی به طور ضمنی متعهد شده است تا از سقوط نرخ ارز در اثر تزریق دلارهای نفتی به بازار جلوگیری کند. یعنی دولت به عنوان عرضه‌کننده‌ی عمده‌ی ارز، ریسک ناشی از عدم امکان فروش ارز دولت به نرخ ارز محاسباتی را به طور کامل به بانک مرکزی منتقل نموده است.

وقتی بازار ارز با مازاد عرضه روبروست، بانک مرکزی خود ارز دولت را می‌خرد و به قیمت افزایش پایه‌ی پولی و نقدینگی، منابع ریالی مورد نیاز دولت را تأمین می‌کند. افزایش نقدینگی در قدم بعد، به رشد قیمت‌ها می‌انجامد که به کاهش نرخ واقعی ارز و کاهش توان رقابتی کشور می‌انجامد. به عنوان مثال مهم‌ترین عامل افزایش پایه‌ی پولی در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ خالص دارایی‌های خارجی بانک مرکزی با سهمی به ترتیب معادل ۳۰/۶، ۵۰/۷، ۴۹/۱ و ۵۱/۵ واحد درصد بوده که ناشی از افزایش دارایی‌های خارجی بانک مرکزی به دلیل خرید ارز از دولت برای تأمین منابع

۱- لازم به ذکر است که جزء ۲ بند (ب) تبصره‌ی (۲) قانون بودجه‌ی سال ۱۳۸۶ عبارت است از: بانک مرکزی ج.ا.ا. مکلف است فروش مبالغ ارزی مذکور در احکام و ردیف‌های این قانون را به گونه‌ای انجام دهد که تا تاریخ تصویب ترازنامه‌ی سال ۱۳۸۶ آن بانک، خالص دارایی‌های خارجی نسبت به پایان سال ۱۳۸۵ از این محل افزایش نیابد.

ریالی بودجه و برداشت‌های مکرر از حساب ذخیره‌ی ارزی (به طور مثال در سال ۱۳۸۵ طی چهار متمم بودجه، سه بار از حساب ذخیره‌ی ارزی برداشت شد) و عدم فروش کامل آن در بازار بود.<sup>۱</sup>

بدیهی است که افزایش استفاده از درآمدهای نفتی در بودجه‌های سالانه‌ی دولت مستلزم خرید ارز بیش‌تر از دولت برای تأمین ریالی بودجه توسط بانک مرکزی است. هرچه سهم درآمدهای ارزی دولت در جبران عدم تحقق درآمدهای ریالی بیش‌تر باشد، فشار بر بانک مرکزی برای مداخله در بازار و خرید ارز دولت بیش‌تر خواهد بود. با این تحلیل مقاله در بخش بعد به طراحی الگوی مداخله در بازار ارز ایران و شبیه‌سازی مونت کارلویی الگو می‌پردازد.

#### ۴- الگوی مداخله در بازار ارز ایران

مطالعه‌های اندکی در زمینه‌ی برآورد الگوی مداخله در بازار ارز انجام گرفته است. بیش‌تر این مطالعه‌ها به طراحی یک الگوی تک قیدی کنترل تصادفی می‌پردازند. به طور مثال مونداکا و آکساندال (۱۹۹۸)<sup>۲</sup> الگوی کنترل بهینه‌ی نرخ ارز را در شرایط نااطمینانی طراحی می‌کنند. در حالی که کادنیللاس و زاپاترو (۱۹۹۹)<sup>۳</sup> الگوی کنترل بهینه‌ی نرخ ارز را با فرض یک رژیم ارزی منطقه‌ی هدف طراحی می‌کنند که باید نرخ ارز همواره نزدیک به ارزش میانی نوار ارزی نگه داشته شود. در مطالعه‌ی دیگر کادنیللاس و زاپاترو (۲۰۰۰)<sup>۴</sup> یک مسأله‌ی کنترل تصادفی را طراحی می‌کنند که برای رسیدن به هدف نرخ ارز دو ابزار سیاستی مداخله و نرخ بهره در نظر گرفته می‌شود. هدف اونیشی و تسومورا (۲۰۰۶)<sup>۵</sup> پیدا کردن کنترل بهینه‌ای از حداقل‌سازی کل هزینه‌های انتظاری مداخله طی یک افق زمانی نامحدود است. این مطالعه‌ها تنها به طراحی الگوی کنترل تصادفی می‌پردازند.

الگوی مورد استفاده در این مقاله که برای نخستین بار برای ایران طراحی شده است، یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی پویا<sup>۶</sup> است که در آن توابع به صورت تصادفی و پیوسته طی زمان در نظر گرفته شده‌اند. فرض شده است که متغیرهای وضعیت<sup>۷</sup> در این

۱- گزارش اقتصادی و ترازنامه‌ی سال‌های مختلف بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.

2- Mundaca, G. and B. Oksendal, 1998.

3- Cadenillas A. and F. Zapatero, 1999.

4- Cadenillas A. and F. Zapatero, 2000.

5- Onishi, M. and M. Tsujimura, 2006.

6- Non-linear dynamic programming model.

7- State variables.



الگو که نرخ ارز، سطح تولید و تورم هستند از فرآیند تصادفی براونی<sup>۱</sup> پیروی می‌کنند.<sup>۲</sup> متغیر کنترل<sup>۳</sup>، حجم مداخله‌ی ارزی در بازار است. مداخله‌ی ارزی عبارت از حضور غیربازاری دولت یا مقام مسوول در بازار پول/ ارز با هدف جهت دادن به وضعیت بازار پول/ ارز در سوی مطلوب برای دولت است. در زیر به بررسی فرآیند حرکت متغیرهای وضعیت و کنترل در الگوی مداخله در بازار ارز ایران می‌پردازیم.

### الف- فرآیند پویای نرخ ارز

در اقتصاد ایران تعهد بانک مرکزی به تأمین معادل ریالی منابع ارزی دولت موجب مداخله‌ی این بانک در بازار از طریق خرید ارز مازاد بر تقاضای بازار شده است. به بیان دیگر تأمین مالی بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف بودجه‌ی دولت‌ها در ایران از طریق درآمدهای ارزی حاصل از صدور نفت و موجودی حساب ذخیره‌ی ارزی انجام می‌گیرد. از این رو الزام بانک مرکزی به تأمین منابع ریالی بودجه، این بانک را ناگزیر از خرید ارز در بازار به منظور تسویه‌ی بازار در نرخ تعیین شده توسط این بانک می‌نماید. بنابراین نحوه‌ی تعیین نرخ ارز در اقتصاد ایران بر اساس ملاحظه‌های تأمین منابع مالی بودجه‌ی دولت و بنابراین مداخله‌ی دولت در بازار به صورت خرید ارز مازاد بر تقاضا برای حفظ نرخ ارز مذکور انجام می‌گیرد:

$$x_{t+1} = x_t + \int_t^t \mu_s ds + \int_t^t \sigma_s dw_s + \sum_{s=t}^{t-1} I(\zeta_s) \quad (1)$$

چنانچه از معادله‌ی (۱) مشاهده می‌شود نرخ ارز ( $x$ ) تحت تأثیر فشار اقتصادی برونزا ( $\mu$ ) مانند فشار تأمین ریالی بودجه‌ی کل دولت است ( $\mu_s \in \mathbb{R}$ )، به طوری که پارامتر  $\mu_s$  فشار افزایش ارزش نرخ ارز و  $\mu_s < 0$  فشار کاهش ارزش نرخ ارز است. پارامتر  $\sigma_s$  نوسان برونزای نرخ ارز به دلیل دیگر متغیرهای سیاسی و اقتصادی (مانند نوسان قیمت نفت و تحریم‌های بین‌المللی) می‌باشد. در ادبیات اقتصادی به پارامتر  $\mu_s$  زائده<sup>۴</sup> و به پارامتر  $\sigma_s$  نوسان<sup>۵</sup> می‌گویند.  $x$  نرخ ارز در زمان شروع،  $w_s$  شوک نرخ ارز که دارای فرآیند وینر<sup>۶</sup> است و  $I(\zeta_s)$  تابع اثر مداخله‌ی ارزی روی نرخ ارز می‌باشد. پارامترهای  $\mu_s$ ،  $\sigma_s$  پارامترهای توزیع تصادفی براونی هستند که به مقدار نرخ ارز و زمان بستگی دارند. بنابراین نرخ ارز متأثر از فشارهای تأمین ریالی بودجه‌ی

1- Brownian motion.

2- Karatzas, I and S. E. Shreve, 1991, Chs 3 and 5.

3- Control variable.

4- Drift.

5- Volatility.

6- Wiener process.

دولت و میزان مداخله‌ی ارزی بانک مرکزی در بازار ارز ( $\zeta_s$ ) در نظر گرفته شده است. هر چه حجم بودجه‌ی دولت بزرگ‌تر و وابستگی به درآمدهای نفتی بیش‌تر شود، فشار بر بانک مرکزی برای تأمین ریال بودجه افزایش می‌یابد. بر اساس انتگرال‌گیری ریمان - استیلجس<sup>۱</sup> تابع نرخ ارز  $x_t$  را می‌توان به شکل گسسته‌ی زیر بیان کرد:

$$x_{t+1} = x_t + \mu_t^x x_{t-1} + \sigma_t^x x_{t-1} dw_t + I(\zeta_{t-1})$$

که در آن  $dw_t = \varepsilon_t \sqrt{dt}$  می‌باشد. به طوری که  $\varepsilon_t$  شوک نرخ ارز است که دارای فرآیند تصادفی یکنواخت و یکسان (i.i.d)<sup>۲</sup> است.  $x_{t+1}$  نرخ ارز در زمان  $t+1$ ،  $x_t$  نرخ ارز در زمان  $t$ ،  $x_{t-1}$  نرخ ارز در زمان  $t-1$ ،  $I(\zeta_{t-1})$  تابع اثر مداخله‌ی ارزی دوره‌ی قبل روی نرخ ارز،  $\mu_t^x$  و  $\sigma_t^x$  به ترتیب پارامترهای زایده (میانگین) و نوسان نرخ ارز زمان  $t$  می‌باشند.

ب- فرآیند پویای نرخ تورم

$$\pi_{t+1} = \pi_t + \int_t^{t+1} \mu_s ds + \int_t^{t+1} \sigma_s dw_s + q \int_t^{t+1} (x_s - \bar{x}) ds + f \int_t^{t+1} (y_s - \bar{y}) ds \quad (2)$$

همان‌طور که از معادله‌ی بالا نیز مشاهده می‌شود نرخ تورم از فرآیند پویای تصادفی براونی پیروی می‌کند. در این فرآیند  $\pi_t$  نرخ تورم در زمان شروع،  $\mu_s$  فشار اقتصادی برون‌زا روی سطح تورم،  $\sigma_s$  نوسان برون‌زای تورم به دلیل دیگر متغیرهای اقتصادی و سیاسی،  $w_s$  شوک نرخ تورم که دارای فرآیند وینر است، ضریب ثابت  $q$  ضریب اثرگذاری نوسان نرخ ارز روی تورم و ضریب ثابت  $f$  ضریب اثرگذاری شکاف تولید روی تورم است.  $x_t$  نرخ ارز در زمان  $t$ ،  $\bar{x}$  نرخ ارز هدف،  $y_t$  سطح تولید در زمان  $t$  و  $\bar{y}$  سطح تولید هدف یا تعادلی در اقتصاد است. پارامترهای  $\mu_s$ ،  $\sigma_s$  پارامترهای توزیع تصادفی براونی هستند که به نرخ تورم و زمان بستگی دارند.

بسیاری از اقتصاددانان مانند تیلور با طرح الگوهای سه شکافه در مورد کشورهای در حال توسعه، تغییرات نرخ ارز را به دلیل نقش مؤثری که در اقتصاد ایفا می‌کند، بر تحریک و تقویت پویایی‌های تورمی مؤثر دانسته‌اند.<sup>۳</sup> تورم در ماهیت یک فرآیند و جریان پویای دوگانه است. یعنی گرچه به طور اجتناب‌ناپذیری یک بعد پولی دارد، اما در عین حال قیمت‌ها را هزینه‌ها تعیین می‌کنند. به بیان دیگر در تبیین تورم علاوه بر

1- Riemann - Stieltjes integration. (L. C. Evans, 2005)

2- Identically independently distribution.

3- Taylor Lance, 1991, pp. 3-50.

متغیرهای پول و نقدینگی باید به هزینه‌ها و علل افزایش هزینه‌ها توجه شود.<sup>۱</sup> دیگر عوامل مؤثر بر تورم مانند پول، نقدینگی، دستمزدها و غیره در پارامترهای نوسان  $\sigma_s$  و  $\mu_s$  لحاظ شده‌اند. بنابراین طبق این رابطه تورم متأثر از فشارهای اقتصادی برون‌زا، نرخ ارز، شکاف تولید و شوک‌های تورمی است. همانند قبل با استفاده از انتگرال‌گیری ریمان - استیلجس می‌توان تابع نرخ تورم را به شکل گسسته‌ی زیر نوشت:

$$\pi_{t+1} = \pi_t + \mu_t^\pi \pi_{t-1} + \sigma_t^\pi \pi_{t-1} dw_t + q x_{t-1}(x_t - \bar{x}) + f y_{t-1}(y_t - \bar{y})$$

که در آن  $dw_t = u_t \sqrt{dt}$  می‌باشد. به طوری که  $u_t$  شوک تورم است که دارای فرآیند تصادفی یکنواخت و یکسان (i.i.d) است.

### پ- فرآیند پویای سطح تولید

$$y_{t+1} = y_t + \int_t^t \mu_s ds + \int_t^t \sigma_s dw_s + h \int_t^t (\pi_s - \bar{\pi}) ds \quad (3)$$

سطح تولید از فرآیند پویای تصادفی براونی پیروی می‌کند. در این فرآیند  $y_t$  مقدار سطح تولید در زمان شروع،  $\mu_s$  فشار اقتصادی برون‌زا روی سطح تولید،  $\sigma_s$  نوسان برون‌زای تولید به دلیل دیگر متغیرهای اقتصادی و سیاسی و  $w_s$  شوک تولید است. پارامترهای  $\mu_s$ ،  $\sigma_s$  پارامترهای توزیع تصادفی براونی می‌باشند که به سطح تولید و زمان بستگی دارند. ضریب ثابت  $h$  ضریب اثرگذاری تورم روی سطح تولید است.  $\pi_s$  نرخ تورم در زمان  $s$  و  $\bar{\pi}$  نرخ تورم هدف یا تعادلی در اقتصاد است. نوسان نرخ تورم از تورم هدف روی تولید اثرگذار می‌باشد. از آن جا که نهاده‌های تولید کمیاب هستند، تورم از طریق هزینه‌ی نهایی روی تولید اثر می‌گذارد. به بیان دیگر هزینه‌ی نهایی تابعی صعودی از تولید می‌باشد.<sup>۲</sup> بنابراین طبق این رابطه‌ی سطح تولید متأثر از فشارهای اقتصادی برون‌زا، تورم و شوک‌های تولید است.

همانند قبل با استفاده از انتگرال‌گیری ریمان - استیلجس تابع تولید را می‌توان به شکل گسسته‌ی زیر نوشت:

$$y_{t+1} = y_t + \mu_t^y y_{t-1} + \sigma_t^y y_{t-1} dw_t + h \pi_{t-1} (\pi_t - \bar{\pi})$$

که در آن  $dw_t = v_t \sqrt{dt}$  می‌باشد. به طوری که  $v_t$  شوک تولید و دارای فرآیند تصادفی یکنواخت و یکسان (i.i.d) است.

1- Deravi, K. and P. Gregorowicz and C.E. Hegji, 1995.

همچنین تحلیل بسیار کامل‌تری میان تغییرات نرخ ارز و تورم داخلی به وسیله‌ی کان (۱۹۸۷) و هافر (۱۹۸۹) ارائه شده است. به ماخذ شماره‌ی ۸ و ۹ نگاه کنید.

2- Chadha, J. S. and C. Nolan, 2004, pp. 271- 287.

حال می‌توان شکل‌های گسسته‌ی معادله‌های نرخ ارز، تورم و تولید که معادله‌های قید<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند را به صورت معادله‌های تصادفی زیر در نظر گرفت:

$$x_{t+1} = x_t + x_{t-1} \mu_t^x + x_{t-1} \sigma_t^x + I(\zeta_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (۴)$$

$$\begin{aligned} \pi_{t+1} = & \pi_t + \pi_{t-1} \mu_t^\pi + \pi_{t-1} \sigma_t^\pi + q x_{t-1} (x_t - \bar{x}) \\ & + f y_{t-1} (y_t - \bar{y}) + u_t \end{aligned} \quad (۵)$$

$$y_{t+1} = y_t + y_{t-1} \mu_t^y + y_{t-1} \sigma_t^y + h \pi_{t-1} (\pi_t - \bar{\pi}) + v_t \quad (۶)$$

که در آن‌ها  $\varepsilon_t$ ،  $u_t$  و  $v_t$  شوک‌های تصادفی نرخ ارز، تورم و تولید هستند که دارای فرآیند تصادفی i.i.d می‌باشند.  $\zeta_t$  میزان مداخله‌ی ارزی در بازار در زمان  $\tau$  است. اگر مداخله‌ی ارزی در بازار وجود نداشته باشد، نرخ ارز تنها متأثر از فشارهای اقتصادی برون‌زا (فشار تأمین ریالی بودجه‌ی کل دولت) و نوسان برون‌زای نرخ ارز به دلیل دیگر متغیرهای سیاسی و اقتصادی است. از یک طرف نوسان تورم روی تولید و از طرف دیگر شکاف تولید و نرخ ارز روی تورم اثرگذار فرض شده است.

فرض می‌شود که تابع اثرگذاری مداخله‌ی ارزی روی نرخ ارز به شکل  $I(\zeta_t) = \lambda \zeta_t$  است که در آن  $\lambda \leq 1$  می‌باشد.  $\lambda$  ضریب تأثیر مداخله‌ی ارزی روی نرخ است. حال تابع هدف بانک مرکزی در اقتصاد طراحی می‌شود.

#### ت- تابع هدف مقام پولی در اقتصاد

بانک مرکزی به عنوان مقام پولی در اقتصاد به دنبال حداقل کردن تابع زیان خود می‌باشد. در رابطه‌ی زیر تابع زیان بانک مرکزی تابعی از نوسان‌های نرخ ارز (جمله‌ی اول)، نوسان‌های نرخ تورم (جمله‌ی دوم) و شکاف تولید در اقتصاد<sup>۲</sup> (جمله‌ی سوم) و هزینه‌های سازمانی مداخله‌های ارزی (جمله‌ی چهارم) در نظر گرفته شده است. بنابراین اگر  $J$  تابع زیان بانک مرکزی باشد، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \text{Min } J = & E \left\{ \int_0^\infty e^{-\lambda t} [\alpha_\delta (x_t - \rho)^{2\delta} + k \{ (1 - \iota) (\pi_t - \bar{\pi})^2 + \iota (y_t - \bar{y})^2 \}] dt \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^{\tau(\infty)} e^{-\lambda \tau_i} g(\zeta_i) \right\} \end{aligned}$$

که در آن  $J$  تابع زیان بانک مرکزی،  $E$  مقدار مورد انتظار (امید ریاضی)،  $\alpha_\delta$  ضریب اهمیتی که بانک مرکزی به نوسان‌های نرخ ارز از نرخ ارز هدف یا تعادلی می‌دهد،  $x_t$  نرخ ارز در زمان  $t$ ،  $\rho$  نرخ ارز تعادلی یا هدف بانک مرکزی،  $\delta = \pm 1$

1- Restriction equations.

2- Taylor rule.

اندیسی برای نشان دادن اثر متفاوت نوسان‌های نرخ ارز در بالا و پایین نرخ ارز هدف،  $k$  ضریب تأثیر شکاف تولید و تورم بر مقدار زیان بانک مرکزی،  $1$  ضریب اهمیتی که بانک مرکزی به نوسان‌های تولید در مقابل تورم می‌دهد،  $1-t$  ضریب اهمیتی که بانک مرکزی به نوسان‌های تورم در مقابل تولید می‌دهد،  $\bar{\pi}$  سطح تورم هدف،  $\bar{y}$  سطح تولید هدف،  $\zeta_t$  شدت مداخله‌ی ارزی در بازار ارز،  $\tau$  زمان مداخله‌ی ارزی در بازار ارز،  $g(\zeta_t)$  تابع هزینه‌ی مداخله‌ی ارزی بانک مرکزی است. همان طور که از رابطه‌های نرخ ارز، تورم و تولید هم دیده می‌شود،  $x_{t+1}$  تابعی از  $\zeta_t$  است، اما  $\pi_{t+1}, y_{t+1}$  این ویژگی را ندارند.

در این جا تابعی که باید تصریح شود، تابع  $g(\zeta_t)$  می‌باشد. این تابع یک تابع هزینه است که می‌توان همانند سایر توابع با آن برخورد کرد. اگر فرض کنیم که بانک مرکزی قصد دارد میزان مداخله‌ی خود را به حداقل برساند، بنابراین تغییر نرخ ارز در حالت بهینه در اثر دخالت بانک مرکزی برابر با صفر خواهد بود. بنابراین تابع  $g$  را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$g(\zeta_t) = \psi (\zeta_t - 0)^2 = \psi \zeta_t^2$$

به این ترتیب تابع زیان بانک مرکزی را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$\text{Min } J = E \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} [\alpha_{\delta} (x_t - \rho)^2 + k \{ (1-t)(\pi_t - \bar{\pi})^2 + t(y_t - \bar{y})^2 \}] dt \right.$$

$$\left. + \psi \sum_{\tau=1}^{\tau(\infty)} e^{-\lambda \tau} \zeta_{\tau}^2 \right\} \quad \tau = 1, 2, \dots, t-1$$

انتگرال‌های موجود در تابع زیان بانک مرکزی از نوع انتگرال‌های تصادفی<sup>۱</sup> هستند. این انتگرال‌ها از قواعد خاصی پیروی می‌کنند. از این رو برای این گونه مسایل حل دقیق عددی قابل تصور نیست. در این مقاله از روش شبیه‌سازی مونت کارلو<sup>۲</sup> با استفاده از نرم‌افزار R به حل مسأله‌ی حداقل‌سازی تابع زیان مقام پولی با توجه به قیود نرخ ارز، تولید و تورم می‌پردازیم. ابزار کنترلی مقام پولی، مداخله‌ی ارزی در بازار ارز است.

قبل از تشریح روش شبیه‌سازی مونت کارلویی ابتدا معادله‌های نرخ ارز، تولید و تورم را به صورت خطی می‌نویسیم. از این توابع در برنامه‌نویسی R استفاده خواهد شد. برای خطی کردن از روش خطی کردن لگاریتمی<sup>۳</sup> استفاده می‌کنیم. اساس کار خطی کردن

1- Stochastic integrals.

2- Monte Carlo simulation.

3- Log linear approximation.

لگاریتمی استفاده از تقریب تیلور حول وضعیت پایدار<sup>۱</sup> است. در این روش معادله‌ها با تقریب خود جایگزین می‌شوند که برحسب نوسان‌های لگاریتمی متغیرها<sup>۲</sup> خطی می‌شوند:<sup>۳</sup>

الف- در معادله‌ی نرخ ارز تمامی جمله‌ها خطی هستند. بنابراین می‌توان برای سادگی معادله را به شکل زیر نوشت:

$$x_{t+1} = x_t + (\mu_t^x + \sigma_t^x) x_{t-1} + \gamma (\zeta_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (7)$$

ب- در معادله‌ی نرخ تورم جمله‌ی چهارم و پنجم در طرف راست معادله با استفاده از تقریب تیلور عبارتند از:

$$x_{t-1}(x_t - \bar{x}) \approx \bar{x}^2 (1 + x_{t-1} + x_t - 1 - x_{t-1}) = \bar{x}^2 x_t$$

$$y_{t-1}(y_t - \bar{y}) \approx \bar{y}^2 y_t$$

بنابراین معادله‌ی خطی شده‌ی تورم عبارت است از:

$$\pi_{t+1} = \pi_t + (\mu_t^\pi + \sigma_t^\pi) \pi_{t-1} + q \bar{x}^2 x_t + f \bar{y}^2 y_t + u_t \quad (8)$$

پ- در معادله‌ی تولید جمله‌ی چهارم در طرف راست معادله با استفاده از تقریب تیلور عبارت است از:

$$\pi_{t-1}(\pi_t - \bar{\pi}) \approx \bar{\pi}^2 \pi_t$$

بنابراین معادله‌ی خطی شده‌ی تولید عبارت است از:

$$y_{t+1} = y_t + (\mu_t^y + \sigma_t^y) y_{t-1} + h \bar{\pi}^2 \pi_t + v_t \quad (9)$$

به طور خلاصه الگوی طراحی شده‌ی مداخله در بازار ارز ایران شامل تابع زیان انتظاری مقام پولی است که باید با توجه به قیود نرخ ارز، تولید و تورم حداقل شود. تابع زیان انتظاری مقام پولی تابعی از هزینه‌های عملیاتی مداخله و نوسان‌های سه متغیر وضعیت نرخ ارز، تولید و تورم است.

همان‌طور که بیان شد به دلیل وجود انتگرال‌های تصادفی برای این مسأله حل دقیق عددی قابل تصور نیست. از طرف دیگر حل عددی این مسأله مستلزم اطلاعات دقیق در مورد مقدار پارامترها است. از آن جا که مقدار این پارامترها در اقتصاد ایران مجهول می‌باشند و از طرف دیگر بسیاری از این پارامترها به جز تعداد اندکی از آن‌ها در دیگر

1- Steady state.

2- Log- deviations of variables.

3- Campbell, J. and J. Cochrane, 1994

متون تحقیقاتی یافت می‌شوند، نمی‌توان از calibration<sup>۱</sup> استفاده نمود. به علاوه در بیش‌تر موارد استفاده از پارامترهایی که از الگوهای مشابه برآورد شده‌اند، نمی‌تواند در چارچوب اقتصاد ایران برازنده باشند و باید با توجه به شرایط اقتصاد نفتی ایران از ابتدا برآورد شوند. بنابراین این مقاله به ارائه‌ی برنامه‌ی شبیه‌سازی الگوی پیشنهادی بر اساس نرم‌افزار R می‌پردازد. با تعیین ضرایب و پارامترهای الگو، برنامه‌ی شبیه‌سازی اجرا و مقدار زیان بانک مرکزی در هر لحظه از زمان شبیه‌سازی می‌شود.

##### ۵- شبیه‌سازی الگوی مداخله‌ی ارزی در بازار ارز ایران با روش مونت کارلو

روش مونت کارلو یک الگوی ریاضی - آماری با جز کلی تعیین‌پذیر و تصادفی برای متغیر مورد بررسی است. فرض کنید  $Y$  متغیری با توزیع احتمالی ناشناخته است که وابسته به متغیر تصادفی  $X$  با یک توزیع شناخته شده است. از روش مونت کارلو برای برآورد ویژگی‌های توزیع  $Y$  استفاده می‌شود که ابتدا با استفاده از الگوریتم تولید اعداد تصادفی پسدو<sup>۲</sup> از یک توزیع احتمال با یک مقدار اولیه سری اعدادی تصادفی تولید می‌شود. سپس این اعداد را به سری اعدادی با توزیع احتمال یکنواخت بین صفر و یک تبدیل و از این سری در ایجاد سری اعدادی تصادفی با هر نوع توزیع احتمال شناخته شده‌ی دیگر استفاده می‌کنیم. از این سری به عنوان داده‌ی ورودی برای تولید متغیری که توزیع آن شناخته شده نیست، استفاده می‌شود. این سری به عنوان نمونه‌ای از جامعه‌ی اصلی به حساب می‌آید و از این طریق می‌توان پارامترهای مربوط به ویژگی‌های توزیع آن را برآورد نمود.<sup>۳</sup>

اساس روش شبیه‌سازی این است که کمیت‌های مورد علاقه را می‌توان به صورت امید ریاضی توابعی از متغیرهای تصادفی به شکل زیر بیان کرد:

$$E(g(x)) = \int g(x) \cdot f_x(x) dx$$

در روش مونت کارلو نمونه‌ی تصادفی  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  از توزیع  $f_x(x)$  شبیه‌سازی و براساس آن  $E(g(x))$  تقریب زده می‌شود.<sup>۴</sup>

برای انجام این کار ابتدا تابع زیان بانک مرکزی را در نظر می‌گیریم (در این جا زیان را با  $L$  نشان می‌دهیم). سپس آن را به صورت چهار تابع مجزا می‌نویسیم:

۱- calibration، برآورد برخی از پارامترهای یک الگو با این فرض است که الگو درست می‌باشد. این عمل گامی در جهت مطالعه‌ی دیگر پارامترهاست.

2- Pseudo random number generator.

3- Ruppert, David, 2006, chapter 2.

4- <http://www.est.ufpr.br/geoR>

$$\text{MIN } L = E \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} [\alpha_{\delta} (x_t - \rho)^{\gamma \delta} + k \{ (1 - \beta)(\pi_t - \bar{\pi})^{\gamma} + \beta (y_t - \bar{y})^{\gamma} \}] dt \right\} \\ + \psi \sum_{\tau=1}^{\tau(\infty)} e^{-\lambda \tau} \xi_{\tau}^{\gamma} \quad \text{where } \tau = 1, 2, \dots, t-1$$

$$L_1 = E \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \alpha_{\delta} (x_t - \rho)^{\gamma \delta} dt \right\}$$

$$L_2 = E \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} k (1 - \beta) (\pi_t - \bar{\pi})^{\gamma} dt \right\}$$

$$L_3 = E \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} k \beta (y_t - \bar{y})^{\gamma} dt \right\}$$

$$L_4 = E \left\{ \sum_{t=1}^{\infty} e^{-\lambda \tau_t} g(\xi_t) \right\}$$

که در آن  $\lambda, \beta, \alpha_{\delta}, k, \rho, \bar{\pi}, \bar{y}$  پارامترهایی هستند که هر یک تأثیر خاص خود را بر مقدار تابع زیان دارند. ابتدا با استفاده از قواعد نظریه‌ی احتمال در مورد جابه‌جایی انتگرال‌ها در یک فضای احتمال، امیدهای ریاضی را به شکل‌های ساده‌تری می‌نویسیم. سپس با استفاده از روش‌های انتگرال‌گیری مونت کارلو مقدار آن‌ها را تقریب می‌زنیم. به طور مثال برای محاسبه‌ی  $L_1$  می‌توان نوشت:

$$L_1 = \alpha_{\delta} E \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} (x_t - \rho)^{\gamma \delta} dt \right\}$$

امید ریاضی را به شکل انتگرال در فضای نمونه‌ای  $\Omega$  می‌نویسیم:

$$L_1 = \alpha_{\delta} \int_{\Omega} \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} (x_t - \rho)^{\gamma \delta} dt \cdot dP(w)$$

$\Omega$  فضای نمونه‌ای و  $P$  تابع احتمال مربوط به فضای احتمال  $(\Omega, F, P)$  است. براساس قضیه‌ی فوبینی<sup>۱</sup> در نظریه‌ی احتمال می‌توان ترتیب انتگرال‌گیری را عوض کرد<sup>۲</sup>؛

$$L_1 = \alpha_{\delta} \int_0^{\infty} \int_{\Omega} e^{-\lambda t} (x_t - \rho)^{\gamma \delta} dP(w) dt$$

بدین ترتیب امید ریاضی وارد انتگرال می‌شود. سپس دو جمله‌ای درون انتگرال را باز می‌کنیم که بر اساس خاصیت خطی بودن امید ریاضی معادله به شکل ذیل نوشته می‌شود:

1- Fubini's theorem.

2- Tsay, S.R, 2005. Ch. 3, 4, 5.



$$L_1 = \alpha_\delta \int_0^\infty e^{-\lambda t} E(x_t^*) dt - \rho \alpha_\delta \int_0^\infty E(x_t) e^{-\lambda t} dt + \alpha_\delta \rho^2 \int_0^\infty e^{-\lambda t} dt$$
 به طوری که  $\langle \lambda, t \rangle = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$  تابع چگالی احتمال توزیع نمایی با پارامتر  $\lambda$  است، بنابراین  $\int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} dt = 1$ . سپس با به کار بردن تعریف تابع چگالی توزیع نمایی معادله‌ی  $L_1$  را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$L_1 = \alpha_\delta / \lambda \int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} E(x_t^*) dt - \rho \alpha_\delta / \lambda \int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} E(x_t) dt + \alpha_\delta \rho^2 / \lambda$$

از آن جا که  $E(x_t)$  و  $E(x_t^*)$  هر دو تابعی از زمان  $t$  هستند، می‌توان آن‌ها را به ترتیب  $g(t)$  و  $h(t)$  نامید و برای هر  $t$  معین این امیدهای ریاضی را بر اساس نمونه‌های شبیه‌سازی شده از فرآیند ایتو<sup>۱</sup> محاسبه نمود. با فرض معلوم بودن  $g(t)$  و  $h(t)$  برای هر  $t$  می‌توان نوشت:

$$L_1 = \alpha_\delta / \lambda \int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} h(t) dt - \rho \alpha_\delta / \lambda \int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} g(t) dt + \alpha_\delta \rho^2 / \lambda$$

بر اساس تعریف امید ریاضی و تابع چگالی توزیع نمایی:

$$L_1 = \alpha_\delta / \lambda E(h(t)) - \rho \alpha_\delta / \lambda E(g(t)) + \alpha_\delta \rho^2 / \lambda \quad (10)$$

در این مرحله می‌توان  $E(g(t))$  و  $E(h(t))$  را برای هر  $t$  معین با استفاده از روش‌های مونت کارلو که مبتنی بر تولید اعداد شبه تصادفی از توزیع جامعه‌ی هدف و تقریب گشتاورهای جامعه‌ای با استفاده از گشتاورهای نمونه‌ای هستند، به صورت زیر تقریب زد:

$$E(g(t)) \approx \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M g(t_j) \quad (11)$$

$$E(h(t)) \approx \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M h(t_j)$$

که در آن‌ها  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_M$  نمونه‌های شبه تصادفی تولید شده از توزیع نمایی با پارامتر  $\lambda$  هستند. (در این جا برای سهولت برنامه‌نویسی ضریب  $\alpha_\delta$  را ضریب  $\alpha$  در نظر گرفته‌ایم) در این مقاله از نرم‌افزار R برای نوشتن برنامه استفاده شده است. در این برنامه،  $m$  مربوط به تشکیل امید ریاضی و  $n$  مربوط به تشکیل توزیع تصادفی وینر است.

1- Ito's process.

در این مرحله به نحوه‌ی محاسبه‌ی توابع  $g(t) = E(x_t)$  و  $h(t) = E(x_t^2)$  به ازای هر  $t$  معین می‌پردازیم. از آن جا که  $x_t$  یک متغیر تصادفی با فرآیند وینر است، می‌توان بر اساس قضیه‌ی دانسکر<sup>۱</sup> این فرآیند را به کمک نمونه‌های شبه تصادفی از توزیع نرمال به وجود آورد.<sup>۲</sup> پس از تولید یک توزیع وینر بر اساس قانون اعداد بزرگ و روش انتگرال‌گیری مونت‌کارلو، توابع  $g(t) = E(x_t)$  و  $h(t) = E(x_t^2)$  براساس کمیت‌های نمونه‌ای متناظر تقریب زده می‌شوند. به همین ترتیب دو تابع دیگر  $L_3$ ،  $L_4$  را تقریب می‌زنیم.

سپس با توجه به تابع  $g(\xi_t) = \psi \xi_t^2$  و بر اساس قضیه‌ی فوبینی تابع  $L_4$  را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$L_4 = \sum_{t=1}^{\infty} \psi e^{-\lambda \tau_t} E(\xi_t^2)$$

همان طور که می‌دانیم پارامتر ثابت از امید ریاضی و عملگر سیگما بیرون می‌آید:

$$L_4 = \psi \sum_{t=1}^{\infty} e^{-\lambda \tau_t} E(\xi_t^2)$$

$\tau$  زمان مداخله‌ی ارزی و نسبتی از زمان  $t$  است که با استفاده از رابطه‌ی  $\tau_j = \inf \{ t \mid \tau_{j-1} < x_t \notin (a, b) \}$  محاسبه می‌شود. مداخله‌ی ارزی دارای توزیع وینر است. همان طور که در بالا شرح داده شد، می‌توان  $E(\xi_t^2)$  را بر اساس نمونه‌های شبیه‌سازی شده از فرآیند ایتو به دست آورد.

متغیرهای وضعیت و کنترل این الگو از فرآیند ایتو تولید می‌شوند. شبیه‌سازی فرآیندهای نرخ ارز، تورم و تولید از فرآیند ایتو بر اساس معادله‌های خطی شده‌ی آن‌ها یعنی معادله‌های (۷)، (۸) و (۹) انجام گرفته است. برنامه‌ی شبیه‌سازی این الگو که در محیط نرم افزار R نوشته شده است، در ضمیمه آورده شده است.

## ۶- جمع‌بندی

هدف این مقاله، الگوسازی مداخله‌ی ارزی در بازار ارز ایران است که برای نخستین بار در ایران انجام می‌شود. الگوی مورد استفاده در این مقاله یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی پویا با توابع تصادفی پیوسته است که از نرم‌افزار R برای شبیه‌سازی آن

1- Donsker's theorem.

2- Tsay, S.R., 2005, ch.6.

استفاده شده است. برای حل عددی این مسأله نیاز به اطلاعات دقیق در مورد مقدار پارامترها داریم که یا باید از الگوهای مشابه گرفته شوند یا باید برای اقتصاد ایران محاسبه شوند. اما در بیش‌تر موارد استفاده از پارامترهایی که از الگوهای مشابه برآورد شده‌اند، نمی‌تواند در چارچوب اقتصاد ایران برازنده باشند. بنابراین مقاله به طراحی الگوی مداخله بر اساس شرایط اقتصاد ایران و سپس شبیه‌سازی مونت کارلویی الگو در محیط برنامه‌نویسی R پرداخته است. با تعیین پارامترها و ضرایب الگو، برنامه‌ی شبیه‌سازی در محیط R اجرا و مقدار زیان بانک مرکزی در هر لحظه از زمان به دست می‌آید.

### ضمیمه

#### برنامه‌ی شبیه‌سازی الگوی مداخله‌ی ارزی بانک مرکزی ایران بر مبنای روش

#### مونت کارلو

```
##### Simulation Winer Motion #####
Winer<-function (n,t){
z<-rnorm (n)
CS<-cumsum (z)
Wnt<-CS[CS<=floor (n*t)]/sqrt (n)
Wnt}
##### Ito Parameters #####
Mu3<-0.1
sigma3<-0.01
Mu2<-0.1
sigma2<-0.03
Mu1<-0.9
sigma1<-0.05
Xbar<-895
Pibar<-9
Ybar<-8.6
Winerbar1<-1.5
Winerbar2<-1
Winerbar3<-0.9
q<-0
f<-0.3
G<-1 ##### G=the effect of intervention on exchange rate#####
Lambda<-0.0001
rho<-895
alpha<-0.5
k<-1
Beta<-0.5
Phi<-0.5
a<-895
```

```

b<-a+200
#####Iteration#####
M<-100      ##### Times t1, t2, t3...
n<-10000    ##### Number of samples generated from Ito Process
##### Initial Values#####
X1<-919
X2<-928
Y1<-0.54
Y2<-0.546
Pi1<-18.6
Pi2<-19.1
##### Ito Generation#####
Ito<
function(M,Time,n,Y1,Y2,Pi1,Pi2,X1,X2,Mu3,sigma3,Mu2,sigma2,Pibar,Mu1
,sigma1,Xbar,Ybar,G,Winerbar1,Winerbar2,Winerbar3){
  Yt<-Pit<-Xt<-c ()
  Yt[1]<-Y1
  Yt[2]<-Y2
  Pit[1]<-Pi1
  Pit[2]<-Pi2
  Xt[1]<-X1
  Xt[2]<-X2
  for (t in 2:floor (Time)){
    Yt[t+1]<-Yt[t]+Mu3*Yt[t-1]+sigma3*Ybar*Winerbar3* (1+Yt[t-1]+Winer
(1000,t)[1000])-sigma3*Ybar*Winerbar3* (1+Yt[t-1]+Winer (1000,t-1)[1000])
    Pit[t+1]<-Pit[t]+Mu2*Pit[t-1]+sigma2*Pibar*Winerbar2* (1+Pit[t-1]+Winer
(1000,t)[1000])-sigma2*Pibar*Winerbar2* (1+Pit[t-1]+Winer (1000,t-1)[1000])+f*
(Yt[t-1]-Ybar)
    Xt[t+1]<-Xt[t]+Mu1*Xt[t-1]+sigma1*Xbar*Winerbar1* (1+Xt[t-1]+Winer
(1000,t)[1000])-sigma1*Xbar*Winerbar1* (1+Xt[t-1]+Winer (1000,t-1)[1000])+q*
(Pit[t-1] Pibar)+G*Winer (1000,t)[100]
  }
  list (Xt=Xt,Pit=Pit,Yt=Yt)
}
#plot(na.omit(Ito(M,rep(1,Lambda),n,Y1,Y2,Pi1,Pi2,X1,X2,Mu3,sigma3,Mu
2,sigma2,Pibar,Mu1,sigma1,Xbar,Ybar,G,Winerbar1,Winerbar2,Winerbar3)$Xt),ty
pe="l")
##### EXPECTATION#####
EXPECT<-function (alpha,rho,Lambda,k,Beta,Pibar,Phi,a,b,M,n){
gXt<-hXt<-c ()
gPit<-hPit<-c ()
gYt<-hYt<-c ()
tau<-c ()
tau[1]<-0
for (j in 1:M){

```

```

Time<-c (rexp (M,Lambda))   ### times t1, t2, t3,...,tM are generated from
exponential distribution#####
RESULT<-
Ito(M,Time,n,Y1,Y2,Pi1,Pi2,X1,X2,Mu3,sigma3,Mu2,sigma2,Mu1,sigma1,Xb
ar,Pibar,Ybar,G,Winerbar1,Winerbar2,Winerbar3)
gXt[j]<-mean (RESULT$Xt)
gPit[j]<-mean (RESULT$Pit)
gYt[j]<-mean (RESULT$Yt)
hXt[j]<-mean (RESULT$Xt^2)
hPit[j]<-mean (RESULT$Pit^2)
hYt[j]<-mean (RESULT$Yt^2)
tau[j+1]<-min (Time[Time>tau[j] & (RESULT$X<a || RESULT$X>b)])
tau<-tau[- (j+1)]
}
EgXt<-mean (na.omit (gXt))
EgPit<-mean (na.omit (gPit))
EgYt<-mean (na.omit (gYt))
EhXt<-mean (na.omit (hXt))
EhPit<-mean (na.omit (hPit))
EhYt<-mean (na.omit (hYt))
L1<-alpha/Lambda*EhXt+alpha*rho^2/Lambda-2*alpha*rho/Lambda*EgXt
L2<-k* (1-Beta)/Lambda* (EhPit+Pibar^2-2*Pibar*EgPit)
L3<- (k*Beta/Lambda)* (EhYt+Ybar^2-2*Ybar*EgYt)
U<-Phi*exp (-Lambda*na.omit (tau))*Winer (n,Time)
L4<-sum (U)
EXP<-L1+L2+L3+L4
list (L1=L1,L2=L2,L3=L3,L4=L4,EXP=EXP)
}
EXPECT (alpha,rho,Lambda,k,Beta,Pibar,Phi,a,b,M,n)

```

### فهرست منابع

- ۱- "تحلیل وضعیت اقتصاد کشور: عملکرد برنامه‌ی سوم و چشم انداز سال ۱۳۸۴، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
- ۲- گزارش "خالص فروش ارز"، اداره‌ی صادرات، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵.
- ۳- گزارش اقتصادی و ترازنامه‌ی سال‌های مختلف بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
- ۴- گزارش اعتبارات اعطایی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، سال‌های مختلف.
- 5- Cadenillas Abel and Fernando Zapatero, "Optimal Central Bank Intervention in the Foreign Exchange Market", Journal of Economic Theory, Vol. 87, 1999, PP. 218-242.

- 6- Cadenillas Abel and Fernando Zapatero, "Classical and Impulse Stochastic Control of the Exchange Rate Using Interest Rates and Reserves", *Mathematical Finance*, Vol. 10, No. 2 April 2000, PP. 141-156.
- 7- Campbell, J and J. Cochrane, "By Force of Habit: A Consumption – Based Explanation of Aggregate Stock Market Behavior", *Draft, Harvard University*, 1994.
- 8- Chadha Jagjit S and Charles Nolan, (2004), "Output, Inflation and the New Keynesian Philips Curve", *International Review of Applied Economics*, Vol.18, No. 3, pp.271- 287
- 9- Canales, K and J. Ivan, "Survey of Foreign Exchange Intervention in Developing Countries", *International Monetary Fund, Occasional Papers*, No. 249, 2006.
- 10- Deravi K, P. Gregorowicz and C. E. Hegji, (1995), "Exchange Rates and the Inflation Rate", *Quarterly Journal of Business and Economics*, Vol. 34, No. 1
- 11- Evans, Lawrence C, (2005), "An Introduction to Mathematical Optimal Control Theory", *Lecture Notes, University of California, Department of Mathematics, Berkeley*, version 0.1
- 12- Hafer, Richard W, (1989), "Does Dollar Depreciation Cause Inflation?" *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, Vol. 71, July/ August, pp 16- 28
- 13- Kahn, George .A, (1987), "Dollar Depreciation and Inflation", *Federal Reserve Bank of Kansas City, Economic Review*, November, pp. 32-49.
- 14- Karatzas, I and S. E. Shreve, (1991), "Brownian Motion and Stochastic Calculus", 2nd. Ed. New York, Springer-Verlag, Chs. 3 and 5
- 15- Mundaca, Gabreila and Bernt Oksendal, "Optimal Stochastic Intervention Control with Application to the Exchange Rate", *Journal of Mathematical Economics*, Vol. 29, 1998, PP. 225-243.
- 16- Onishi, Masamitsu and Moto Tsujimura, "An Impulse Control of a Geometric Brownian Motion with Quadratic Costs", *European Journal of Operational Research*, Vol. 168, 2006, pp 311-321
- 17- Ruppert, David," *Statistics and Finance: An Introduction*", Cornell University, Ithaca, NY, USA, 2006, Chapter 2.
- 18- Taylor Lance, (1991), "Income Distribution, Inflation and Growth", *Lectures on Structuralist Macroeconomics Theory*, pp, 3-50
- 19- Tsay, Ruey S, (2005), "Analysis of Financial Time Series", *Wiley Series in Probability and Statistics*.
- 20- <http://www.est.ufpr.br/geoR>