مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
شهریور ۱۳۸۷، شماره‌ی چهل و سوم، ص. ۹۹-۱۰۴

به‌کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی و مقایسه‌ی آن با روش‌های اقتصادسنجی: پیش‌بینی روند نرخ ارز در ایران

سید کمیل طیبی (دانشیار)
دانشکده‌ی علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان

ناصر موحدنیا (دانشیار)
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، گروه کامپیوتر، دانشگاه اصفهان

معصومه کاظمینی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان

امروزه پیش‌بینی روند متغیرهای اقتصادی از اهمیت ویژه‌یی برای سیاست‌گذاران دولتی و خصوصی در تنظیم روابط و مناسبات اقتصادی برخوردار است، به‌طوری که نیاز به ابزار و شیوه‌های پیش‌بینی متغیرها با کم‌ترین خطا احساس می‌شود. بدین‌لحاظ، مدل‌های گوناگونی برای پیش‌بینی این متغیرها توسعه یافته است. ضرورت این امر به‌خصوص درمورد نرخ ارز یکسان‌سازی شده در ایران نیز به چشم می‌خورد. اخیراً روش‌های دیگری تحت عنوان «شبکه‌های عصبی مصنوعی» در پیش‌بینی متغیرهای پولی و مالی به‌موازات مدل‌های ساختاری و سری‌های زمانی به کار گرفته شده‌اند. این مدل‌ها که درحقیقت برگرفته از فرایند یادگیری مغز هستند، با استفاده از سرعت محاسباتی رایانه، روابط ــ هرچند پیچیده ــ بین متغیرها را یاد گرفته و از آن برای پیش‌بینی مقادیر آتی استفاده می‌کنند. در این نوشتار، علاوه بر طراحی و اجرای یک مدل شبکه‌ی عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز در ایران با استفاده از اطلاعات سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۳۸، این فرضیه که شبکه‌ی عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های معمول اقتصادسنجی و مدل‌های سری‌های زمانی در پیش‌بینی روند نرخ ارز کارایی بیشتری دارد، بررسی می‌شود. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در صورت طراحی دقیق، مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی در زمینه‌ی پیش‌بینی نرخ ارز ــ نسبت به رقبای خود ــ عملکرد بهتری دارند.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی، نرخ ارز، مدل‌های ساختاری، سری‌های زمانی، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN).

komail@econ.ui.ac.ir
naserm@eng.ui.ac.ir
m.kazemaini@staf.ui.ac.ir

۱. مقدمه

اصولاً یکی از هدف‌های اساسی تجزیه‌وتحلیل‌های اقتصادی، پیش‌بینی صحیح و دقیق متغیرهای اقتصادی، و درنتیجه کمک‌رسانی به سیاست‌گذاران در جهت اخذ تصمیمات صحیح و متناسب با مقادیر پیش‌بینی شده است. بدیهی است که هرچه مقادیر پیش‌بینی شده دقیق‌تر باشند، اتخاذ سیاست‌های مناسب و به‌کارگیری ابزار متناسب با آن نیز می‌تواند به‌شکل کارآمدتری صورت بگیرد.

در این زمینه، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی متغیرها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدل‌های سری زمانی «میانگین متحرک انباشته‌ی اتورگرسیو[1]» (ARIMA)، مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] (ANN) اشاره کرد.[1] از آنجا که تغییرات نرخ ارز همواره در ادبیات اقتصادی به‌لحاظ تأثیرگذاری بر بخش‌های داخلی و خارجی اقتصاد و تأثیرپذیری از سایر متغیرهای کلان نقش تعیین‌کننده‌یی در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی ایفا می‌کند، برآورد و پیش‌بینی روند آن ــ چه به‌صورت گذشته‌نگر[3] و چه به‌صورت آینده‌نگر[4] ــ از اهمیت ویژه‌یی در تنظیم روابط اقتصادی داخلی و بین المللی برخوردار است.[2] از این رو، هدف این مطالعه ابتدا معرفی مدل‌های شبکه‌ی عصبی است که اخیراً جایگاه ویژه‌یی در ادبیات اقتصادی، به‌ویژه درخصوص پیش‌بینی متغیرها، یافته است، ثانیاً نتایج کاربرد این مدل‌ها را در پیش‌بینی گذشته‌نگر نرخ ارز در ایران با نتایج مدل‌های رگرسیونی و سری‌های زمانی مورد مقایسه قرار دهد.

در بخش دوم، مبانی نظری شبکه‌های عصبی مصنوعی مطرح، و سپس در بخش‌های سوم و چهارم با استفاده از مدل‌های سری زمانی ARIMA و رگرسیون تک‌معادله‌یی نحوه‌ی پیش‌بینی نرخ ارز و روند آن تجزیه و تحلیل می‌شود. بخش

Archive of SID

www.SID.ir

پنجم نیز به استفاده از ANN در پیش‌بینی نرخ ارز در ایران اختصاص دارد، به‌طوری که نتایج ناشی از هر سه روش در ادامه‌ی این بخش مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند. بخش ششم (بخش پایانی) به نتیجه‌گیری کلی مطالعه همراه با ارائه‌ی نظرات پیشنهادی اختصاص دارد.

۲. کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در اقتصاد

از شبکه‌های عصبی می‌توان برای پیش‌بینی روند متغیرهای اقتصادی، در قالب دو مرحله‌ی آموزش و کاربرد بهره جست.[۳] در مرحله‌ی آموزش، داده‌ها به «مجموعه‌ی آموزشی» ــ که عمده‌ی داده‌ها را شامل می‌شود ــ و «مجموعه‌ی آزمون» قابل تقسیم‌اند. در این مرحله، هم ورودی و هم خروجی متناظر با آن به شبکه‌ی عصبی داده می‌شود و طبق الگوریتم آموزش به شبکه می‌آموزد که خروجی مناسب را تولید کند. پس از آموزش شبکه، ورودی‌های موجود در مجموعه‌ی آزمون اعمال، و با مقایسه‌ی مقدار خروجی تولیدشده و مقدار خروجی واقعی موجود در مجموعه‌ی آزمون، دقت شبکه در پیش‌بینی داده‌های مربوط به متغیرهای اقتصادی ارزیابی می‌شود.[۴]

بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی در اقتصاد از پیش‌بینی و طبقه‌بندی در بازارهای مالی و پولی (مانند پیش‌بینی تغییرات نرخ سهام) شروع، و به اقتصاد کلان (از اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰) نیز سرایت کرد.[۵] مدل‌های شبکه‌های عصبی به‌رغم کاربردهای بسیار مفید و مثبتی که در زمینه‌های گوناگون داشته‌اند، از برخی لحاظ مورد نقد قرار گرفته‌اند. در واقع نقطه‌ی قوت مدل‌های شبکه‌های عصبی از لحاظ آزادی از قیدوبندهای فروض مدل‌های آماری و اقتصادسنجی از نظر برخی آماردانان و اقتصاددانان همانا نقطه‌ی ضعف این مدل‌ها برشمرده می‌شوند. این منتقدین بعضاً مدل‌های شبکه‌های عصبی را به جعبه‌های سیاهی تشبیه می‌کنند که هیچ‌گونه اطلاعی از کم وکیف مدل و انفعالات درونی آن در دست نیست. منتقدین بر این باورند که اگر نتوان از لحاظ آماری مدل و نتایج یک شیوه را ارزیابی کرد (به‌عنوان مثال نتوان سطح اعتماد مقادیر پیش‌بینی شده را مشخص کرد)، از آن شیوه استفاده‌ی مناسب نخواهد شد.[۶]

به نظر می‌رسد در تقدیر و نیز در انتقاد از این‌گونه مدل‌ها زیاده‌روی شده است. از یک سو، این ادعا که این مدل‌ها متخصصین را از آزمون نظریه‌های اقتصادی و همچنین تجزیه و تحلیل‌ها و استنباط‌های آماری بی‌نیاز ساخته‌اند، بی‌پایه و اساس است. از سوی دیگر جعبه‌ی سیاه تلقی‌کردن مدل‌های شبکه‌های عصبی را نیز نمی‌توان بسیار معتبر دانست، به‌ویژه آن که سازوکار یادگیری برخی از ساختارهای شبکه‌ی عصبی براساس تحلیل‌های محققین و با معیار کاهش خطا تدوین شده است. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که اگرچه می‌توان بدون استفاده‌ی جزء به جزء از نظریه‌های اقتصادی به برازش خوبی از متغیرهای مورد نظر دست یافت، نمی‌توان نتایج خوبی در پیش‌بینی به دست آورد.[۷] از نظر آماری نیز تحقیقات زیادی در ارتباط با یافتن ویژگی‌های آماری این مدل‌ها و انطباق آنها با مفاهیم رگرسیون صورت گرفته و نتایج قابل ارائه‌یی نیز داشته‌اند.[۸]

۳. فرایند میانگین متحرک انباشته‌ی اتورگرسیو (ARIMA)

شاخص‌ترین روش‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی پایا، فرایند میانگین متحرک انباشته‌ی اتورگرسیو (ARIMA) است که با نام متدولوژی باکس ـ جنکینز[۵] (BJ) شناخته می‌شود. در این فرایند داده‌های سری‌های زمانی پایا طی سه مرحله‌ی شناسایی، تخمین و پیش‌بینی به کار گرفته می‌شوند. هدف متدولوژی BJ این است که پس از شناسایی و تخمین، روند متغیرهای اقتصادی را در مسیر زمانی آینده پیش‌بینی کند.[۹] بدین‌لحاظ، برتری فرایند ARIMA نسبت به سایر روش‌ها در به‌کارگیری سری‌های زمانی پایا در فرایند پیش‌بینی روند متغیرهای اقتصادی است.

نوعی فرایند تصادفی که در سری‌های زمانی مورد بحث قرار می‌گیرد، فرایند تصادفی پایا (ایستا)[۶] است. به‌طور کلی، یک فرایند تصادفی هنگامی پایا (ایستا) تلقی می‌شود که میانگین و واریانس آن در طی زمان ثابت باشد و مقدار کوواریانس آن بین دو دوره‌ی زمانی فقط به فاصله یا وقفه‌ی بین دو دوره بستگی داشته و ارتباطی به زمان نداشته باشد. اگر سری‌های زمانی پایای y_t وجود داشته باشد و دوره‌ی زمانی از t به $t+m$ منتقل شود، آنگاه باید میانگین، واریانس و کوورایانس در وقفه‌های مختلف در طول زمان یکسان و ثابت باقی بمانند، در غیر این صورت، سری ناپایا (ناایستا)[۷] خواهد بود. در عمل، سری‌های زمانی میانگین متحرک انباشته‌ی اتورگرسیو (ARIMA) مبتنی بر مدلی است که در آن p تعداد جملات اتورگرسیو، d تعداد دفعات تفاضل‌گیری برای پایاشدن، و q تعداد جملات میانگین متحرک است، یعنی ARIMA (p, d, q).[۱۰] بدین‌ترتیب، امکان پیش‌بینی روند پایای نرخ ارز در ایران با استفاده از ARIMA نیز فراهم می‌شود.

۱.۳. پیش‌بینی نرخ ارز در ایران با استفاده از ARIMA

در این بخش برای پیش‌بینی نرخ ارز بازار آزاد از مدل ARIMA استفاده می‌شود. با استفاده از لگاریتم این متغیر (LFER) برای دوره‌ی مورد نظر (۸۱ـ۱۳۳۸) و نرم‌افزار Stata9.2، خلاصه‌ی نتایج به دست آمده از دو مرحله‌ی شناسایی و تخمین روش ARIMA در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج ارائه شده بیانگر تصریح مناسب ARIMA $(۱, ۱, ۱)$ برای لگاریتم متغیر نرخ ارز بازار آزاد است که در آن متغیر نرخ ارز دارای مرتبه‌ی یک اتورگرسیو $(p = ۱)$، مرتبه‌ی یک هم‌انباشتگی $(d = ۱)$ و مرتبه‌ی یک میانگین متحرک $(q = ۱)$ است.

اطلاعات جدول ۱ مبین آن است که ضرایب $AR(۱)$ و $MA(۱)$ به‌ترتیب

جدول ۱. نتایج مراحل شناسایی و تخمین ضریب زمانی متغیر نرخ ارز آزاد به روش ARIMA.

DLFER	ضریب	SE	Z	P > |Z|	۹۵٪ فاصله اطمینان
مقدار ثابت	۰٫۱۰۳	۰٫۰۷۹۸	۱٫۲۷	۰٫۲۰۳	[−۰٫۰۵۴۹ ۰٫۲۵۸]
AR $(p = ۱)$	۰٫۷۳۹	۰٫۳۱۱	۲٫۳۸	۰٫۰۱۷	[۰٫۲۹۶۱ ۱٫۳۴۹۱]
MA $(q = ۱)$	−۰٫۵۲۸	۰٫۳۰۴	−۱٫۷۳	۰٫۰۸۳	[−۱٫۱۲۴۱ ۰٫۰۶۸۸]
$\hat{\sigma}$	۰٫۱۷۳	۰٫۲۵۰	۷٫۰۰	۰٫۰۰	[۰٫۱۲۴۲ ۰٫۲۲۰۷]

مأخذ: محاسبات تحقیق

DLFER: تفاضل مرتبه یک لگاریتم نرخ ارز آزاد

SE: خطای استاندارد

Z: آماره‌ی توزیع نرمال (Z)

$P > |Z|$: احتمال آماره‌ی Z (پذیرش فرضیه‌ی صفر)

$\hat{\sigma}$: خطای معیار برآوردشده جمله‌ی اخلال

Archive of SID
www.SID.ir

معادل ۰٫۷۳۹ و ۰٫۵۲۸- برآورد شده‌اند، در شرایطی که اولی در سطح ۵٪ اهمیت و دومی در سطح ۱۰٪ اهمیت معنی‌دار است. ضریب برآوردی خطای معیار عامل اخلال در وضعیت خوش‌رفتاری (White Noise) نیز معادل ۰٫۱۷۳ برآورد شده است. باتوجه به نتایج به دست آمده، فرایند پیش‌بینی گذشته‌نگر نرخ ارز به‌وسیله‌ی مدل برآوردی ARIMA (۱, ۱, ۱) برای سال‌های ۱۳۸۱ـ۱۳۷۴ انجام می‌شود. نتایج مربوط به پیش‌بینی متغیر نرخ ارز بازار آزاد در ستون ۳ از جدول ۴ گزارش شده است. در مجموع، مقادیر پیش‌بینی گذشته‌نگر در این سال‌ها با مقادیر واقعی تفاوت دارد.

۴. تعیین‌کننده‌های رگرسیونی نرخ ارز

اگرچه مدل‌های رگرسیونی زمانی که در قالب فرم‌های صحیح و نهایی‌شده‌تصریح می‌شوند برای سیاست‌گذاری‌های مورد نظر ــ و نه پیش‌بینی روند متغیرهای وابسته ــ کاربرد دارند، مطالعه‌ی تأثیرگذاری متغیرهای توضیحی و روند تحولات آن‌ها در این مدل‌ها زمینه‌ی پیش‌بینی ضمنی روند متغیرهای وابسته را فراهم می‌سازند. به‌طور کلی، مدل‌های رگرسیونی گوناگونی در ادبیات نرخ ارز وجود دارند. محققین نشان داده‌اند که نرخ ارز یک متغیر درون‌زاست و با حجم پول و قیمت نسبی داخلی ارتباط مثبت دارد. همچنین افزایش شاخص قیمت نسبی داخلی منجر به افزایش تقاضای ارز می‌شود، به‌طوری که افزایش نرخ ارز را به دنبال دارد. افزایش حجم پول نیز باعث افزایش تورم و بالارفتن سطح شاخص قیمت داخلی می‌شود و با فرض ثابت بودن شاخص قیمت خارجی، تقاضای ارز بالارفته و نرخ ارز را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، آن‌ها نشان دادند که بین متغیر نرخ ارز رسمی و نرخ ارز بازار آزاد ارتباط مثبت و معناداری وجود دارد.[۷ و ۱۱] دیگر محققین بیان می‌دارند که کاهش واردات واسطه‌یی و سرمایه‌یی ظرفیت‌های تولیدی صادراتی را کاهش می‌دهد، به‌طوری که بر شاخص حجم ارزی تأثیر منفی دارد و موجب می‌شود که نرخ ارز افزایش یابد[۱۲]؛ همچنین اگر پول ملی به‌طور رسمی بیش از ارزش واقعی خود ارزش‌گذاری شده باشد و دولت از طریق یکسان سازی نرخ رسمی را به نرخ واقعی خود نزدیک کند انتظار می‌رود که نرخ ارز بازار آزاد هم کاهش یابد.[۱۳]

با توجه به ادبیات موجود، یک مدل رگرسیون تک‌معادله‌یی نرخ ارز برای ایران شامل متغیرهای توضیحی نرخ رسمی ارز، واردات، حجم پول، شاخص قیمت نسبی داخلی در دوره‌ی ۸۱ـ۱۳۳۸ تصریح می‌شود.[۱۴و۱۵] در این مدل علاوه بر متغیرهای واقعی، یک متغیر مجازی چگونگی سیاست تک‌نرخی شدن ارز را براساس روند نرخ ارز در سال ۱۳۷۲ بررسی می‌کند. بدین لحاظ، تصریح لگاریتم خطی از معادله نرخ ارز آزاد در ایران به‌صورت زیر خواهد بود:[۱۶]

$$LFER_t = c_1 + c_2 LOER_t + c_3 LEM_t + c_4 LM_t + c_5 LPDW_t + c_6 D_{72} + U_t \qquad (1)$$

که در آن:

$LFER_t$: لگاریتم نرخ ارز بازار آزاد در زمان t؛

$LOER_t$: لگاریتم نرخ ارز بازار رسمی در زمان t؛

LEM_t: لگاریتم واردات کل در زمان t؛

$LPDW_t$: لگاریتم شاخص نسبی داخلی (نسبت قیمت داخلی به قیمت خارجی) در زمان t؛

LM_t: لگاریتم حجم پول در زمان t؛

D_{72}: متغیر مجازی سیاست تک‌نرخی کردن ارز در سال ۱۳۷۲ (به‌طوری که ارزش ۱ برای این سال و ارزش صفر برای سایر سال‌ها منظور می‌شود)؛

U_t: عامل اخلال رگرسیون که در برگیرنده‌ی کلیه‌ی عوامل توضیح داده نشده در مدل است.

به‌طور معمول چون سری‌های زمانی متغیرهای فوق در سطح اقتصادکلان ناپایا (ناایستا) هستند، ممکن است نتایج برآوردی ناشی از تخمین ضرایب مدل رگرسیون از دقت لازم برخوردار نباشد و تفسیرهای اقتصادی ناشی از آنها نیز چندان اعتباری نداشته باشند، و ضریب تعیین تعدیل‌شده ($\bar{R}^2$) بالا و آماره‌های (t) معنی‌داری ایجاد کنند. بنابراین پایایی یک سری زمانی را می‌توان با آزمون ریشه‌یی واحد[۸] مورد بررسی قرار دارد. نتایج حاصل از آزمون ریشه‌یی واحد متغیرهای مورد استفاده در مدل با محاسبه‌ی آماره‌های DF و ADF در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تعیین وقفه از سه معیارAIC [۹]، SBC [۱۰] و HQC [۱۱] استفاده شده است. مقادیر این معیارها تعیین می‌کنند که از بین فرایندهای دیکی ـ فولر (DF) و دیکی ـ فولر تعمیم‌یافته (ADF) کدام باید انتخاب شوند.[۱۰] به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهند که متغیرهای مورد استفاده در مدل در سطح پایا نیستند، بلکه با یک بار تفاضل‌گیری پایا می‌شوند و بدین‌ترتیب انباشته‌ی از مرتبه‌ی اول[۱۲] هستند و به‌عبارتی آماره‌های t محاسبه شده از طریق فرایندهای DF و ADF در سطح معنی‌داری ۵٪ یا کم‌تر بیان‌گر ناپایایی آن‌ها در سطح و پایایی آن‌ها با یک بار تفاضل‌گیری است.

در عمل، برای بررسی پایایی نتایج رگرسیون از آزمون انگل ـ گرنجر که مبتنی بر آزمون ریشه‌ی واحد بر روی جمله‌های پسماند (e_t) است، استفاده می‌شود. برای بررسی پایایی رگرسیون، انگل و گرنجر رابطه‌ی تعادلی بلندمدت آزمون انباشتگی را پیشنهاد می‌کنند، به‌طوری که وجود رابطه‌ی بلندمدت به‌معنی انباشتگی متغیرها از مرتبه‌ی ۱ در رگرسیون است. لذا برای بررسی انباشتگی متغیرها، پایایی پسماندهای رگرسیون به دست آمده به روش OLS آزموده می‌شود.[۱۷] روش دیکی- فولر (DF) پایایی جملات پسماند (e_t) را چنین می‌آزماید:

$$\Delta e_t = \alpha_1 e_{t-1} + v_t \qquad (2)$$

چنانچه فرضیه‌ی صفربودن α_1 مورد پذیرش قرارگیرد، روش دیکی ـ فولر تعمیم‌یافته (ADF) این موضوع را بررسی می‌کند:

$$\Delta e_t = \alpha_1 e_{t-1} + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i + {}_1 e_{t-i} + v_t \qquad (3)$$

نتایج آزمون ریشه‌یی واحد بر روی جملات پسماند ناشی از برآورد مدل رگرسیون ۱ در جدول ۳ خلاصه شده است.

با مقایسه‌ی آماره‌های محاسبه‌شده و مقادیر بحرانی در جدول ۳ نتیجه‌گیری می‌شود که سری پسماندها ایستا بوده و به این ترتیب نتایج برآوردی مدل رگرسیونی تصریح‌شده در معادله‌ی ۱ به‌روش حداقل مربعات معمولی (OLS) ایستا و دارای اعتبار است. پس از تخمین این مدل در دوره‌ی زمانی موردنظر (۱۳۸۱ـ۱۳۳۸)، این نتایج حاصل می‌شود:

$$LFER_t = 8.05 - 0.24 LOER_t - 0.51 LEM_t + 0.64 LM_t + 0.64 LPDW_t + 0.16 D_{72} \qquad (4)$$

$$t: (10.75)(-3.74)(-4.1)(5.35)(3.99)(3.76)$$

$$\bar{R}^2 = 0.98 \quad DW = 1.85 \quad F_{RESET} = 2.147 (df = 2, 35, p = 0.001)$$

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون ریشه‌ی واحد برای متغیرهای مدل.

متغیر در سطح	آماره‌ی آزمون ریشه‌یی واحد	مقدار بحرانی	سطح اهمیت	متغیر در تفاضل مرتبه اول	آماره‌ی آزمون ریشه‌یی واحد	مقدار بحرانی	سطح اهمیت
$LFER$	$DF(۱) = -۱/۰۲۲$ $ADF = ۱/۲۰۶$	$-۳/۲۸۳$ $-۲/۹۵۰$	٪۵ ٪۵	DLFER	$DF(۱) = -۳/۱۹۱$ $ADF = -۴/۸۶۳$	$-۲/۹۷۶$ $-۲/۹۵۲$	٪۱۰ ٪۵
LOER	$DF(۱) = -۱/۰۹۳$ $ADF = ۰/۲۴۱$	$-۳/۲۸۳$ $-۲/۹۵۰$	٪۵ ٪۵	DLOER	$DF(۱) = -۴/۳۶۲$ $ADF = -۶/۵۳۵$	$-۳/۲۹۳$ $-۲/۹۵۲$	٪۵ ٪۵
LEM	$DF(۱) = -۱/۴۹۴$ $ADF = -۱/۷۰۶$	$-۳/۲۸۳$ $-۲/۹۵۰$	٪۵ ٪۵	DLEM	$DF(۱) = -۳/۲۳۷$ $ADF = -۴/۲۷۱$	$-۲/۹۷۶$ $-۲/۹۵۲$	٪۱۰ ٪۵
LM	$DF(۱) = -۲/۰۱۳$ $ADF = -۲/۴۳۶$	$-۳/۲۸۳$ $-۲/۹۵۰$	٪۵ ٪۵	DLM	$DF(۱) = -۲/۴۷۲$ $ADF = -۴/۵۳۳$	$-۲/۹۷۶$ $-۲/۹۵۲$	٪۱۰ ٪۵
LPW	$DF(۳) = -۱/۸۸۶^{*}$ $ADF = -۰/۹۰۹$	$-۳/۲۸۳$ $-۲/۹۵۰$	٪۵ ٪۵	DLPW	$DF(۱) = -۳/۰۰۲^{**}$ $ADF = -۳/۳۷۲^{***}$	$-۲/۹۷۶$ $-۲/۹۵۵$	٪۱۰ ٪۵

مأخذ: محاسبات تحقیق

* معیار SBC دارای حداقل مقدار در وقفه ۳ از LPW است. حداقل این مقدار در وقفه‌ی یک سایر متغیرها مشاهده می‌شود.

** معیار SBC دارای حداقل مقدار در وقفه ۳ از DLPW است. حداقل این مقدار در وقفه‌ی یک سایر متغیرها مشاهده می‌شود.

*** سطح اهمیت آماره‌ی مک‌کینون در آزمون ADF در وقفه‌ی یک متغیر DLPW و در سایر متغیرها بدون وقفه قرار دارد.

به‌طورکلی، آماره‌های t و دوربین ـ واتسون (DW) مؤید اعتبار نتایج کسب‌شده‌اند. وجود $\overline{R}^{۲} = ۰/۹۸$ نشان می‌دهد که متغیرهای توضیحی انتخاب‌شده، متغیرهای مناسبی برای توضیح نرخ ارز بازار آزاد هستند، به‌طوری که تغییرات بیشینه‌ی این متغیر تحت تأثیر عوامل رگرسیونی یادشده قرار دارد. نتایج حاصله امکان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل را هم منتفی می‌سازد، زیرا اگرچه ضریب تعیین تعدیل‌شده ($\overline{R}^{۲}$) از مقدار بالایی برخوردار است، اما کلیه‌ی ضرایب این متغیرها (به‌ویژه متغیرهای قیمت و حجم پول که احتمال وجود همبستگی خطی بین آن‌ها بیشتر است) از لحاظ آماری معنی‌دار بوده که نشانه‌ی کارایی تخمین‌زننده‌های آن‌ها (دارای واریانس کمینه) در مدل نرخ ارز است. به‌علاوه، آزمون خطای تصریح رگرسیون(RESET)[۱۳] ارائه‌شده توسط رمزی[۱۴] که دارای توزیع F و درجه‌ی آزادی ($df = ۲, n-k-۳$) است، بر درستی فرم تابعی مدل نرخ ارز تأکید دارد.[۱۸]

با توجه به نتایج فوق، نرخ ارز بازار رسمی، بر نرخ ارز بازار آزاد اثر منفی دارد و هرگاه کاهش ارزش پول ملی به‌طور رسمی شکل گیرد تضعیف نرخ ارز بازار آزاد را به همراه دارد. به‌عبارت دیگر، تقویت نرخ ارز بازار رسمی همواره بر تضعیف نرخ ارز بازار آزاد تأثیرگذار است. بدین‌ترتیب، یک درصد افزایش در نرخ ارز بازار رسمی از لحاظ آماری به‌طور معنی‌داری باعث ۰/۲۴ درصد کاهش در نرخ ارز بازار آزاد می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهند که متغیر واردات بر نرخ ارز بازار آزاد اثر منفی دارد و افزایش حجم واردات باعث کاهش نرخ بازار آزاد می‌شود. چنان که ملاحظه می‌شود یک درصد افزایش در حجم واردات باعث ۰/۵۱ درصد کاهش در نرخ ارز بازار آزاد می‌شود، زیرا آزادسازی ناشی از واردات نهایتاً منجر به افزایش ظرفیت صادراتی کشور می‌شود و از طریق افزایش عرضه‌ی ارز، نرخ ارز در بازار آزاد کاهش می‌یابد. نقدینگی نیز بر نرخ ارز بازار آزاد اثر مثبت دارد و یک نوع اثر پولی در بازار ارز دیده می‌شود. به‌عبارتی فشار نقدینگی موجب افزایش نرخ ارز بازار آزاد شده و تنزل ارزش پول ملی در مقابل پول خارجی را به همراه دارد. در عمل، افزایش یک درصدی در حجم پول باعث ۰/۶۴ درصد افزایش در نرخ ارز بازار آزاد و کاهش ارزش پول ملی می‌شود.

عملکرد متغیر قیمت نسبی داخلی مطابق انتظارات نظری است، به‌طوری که تغییرات قیمتی هم‌جهت با تغییرات نرخ ارز است. به‌طور مشخص‌تر، اگر سطح تورم داخلی از سطح تورم جهانی بیشتر شود، اثر افزایشی بر نرخ ارز ایجاد کرده و باعث

جدول ۳. نتایج آزمون ریشه‌یی واحد برای جملات پسماند.

جملات پسماند	آماره‌ی t محاسبه‌شده	آماره‌ی t بحرانی	سطح اهمیت
e_t	$DF(۱) = -۳/۵۶۲$	$-۳/۲۸۳$	٪۵
e_t	$ADF = -۳/۷۱۰$	$-۲/۹۵۰$	٪۵

مأخذ: محاسبات تحقیق

مقدار احتمال آماره مک کینون: ۰/۰۰۴

کاهش ارزش پول داخلی در برابر پول خارجی می‌شود. و نهایتاً این که معنی‌دار بودن ضریب متغیر مجازی سیاست تک‌نرخی کردن ارز در سال ۱۳۷۲، علی‌رغم انتظارات نظری، حاکی از آن است که اعمال این سیاست ارزی بر متغیر نرخ ارز اثر افزایشی داشته و باعث تضعیف پول ملی شده است.

پس از تخمین مدل و با استفاده از نتایج به دست آمده درخصوص ضرایب برآوری مدل، روند پیش‌بینی گذشته‌نگر نرخ ارز به‌وسیله‌ی مدل رگرسیونی برای سال‌های ۱۳۸۱ـ۱۳۷۴ حاصل می‌شود. نتایج مربوط به پیش‌بینی متغیر نرخ ارز در ستون ۴ از جدول ۴ گزارش شده است. در مجموع، نتایج پیش‌بینی در سال‌های مختلف نسبت به مقادیر واقعی در برخی سال‌ها نوسان‌های متفاوتی داشته است.

۵. پیش‌بینی نرخ ارز در ایران: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

در این بخش، نتایج مدل ANN از نوع پس‌انتشار خطا[۱۵] برای پیش‌بینی نرخ ارز در ایران ارائه می‌شود. این متغیر به‌صورت درون‌زا تعیین می‌شود، به‌طوری که تحت تأثیر عوامل بازار و غیر بازار است. بنابر این با توجه به عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری نرخ ارز، که به اکثر آن‌ها در بخش قبل اشاره شد، ارزش‌های مقداری نرخ یکسان‌سازی شده در نظر گرفته می‌شود که عملاً از سال ۱۳۷۲ سیاست‌های ارزی مبتنی بر تک‌نرخی‌کردن ارز و تعدیل شکاف نرخ رسمی و بازار آزاد اتخاذ شده است.

با بررسی‌های انجام شده مشخص می‌شود که هر متغیر تأثیرگذار که در مدل

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده‌ی نرخ ارز آزاد به سه روش ARIMA، رگرسیون و ANN برای دوره‌ی زمانی ۸۱ـ۱۳۷۴.

(۱) سال	(۲) مقدار واقعی	(۳) مقدار پیشی‌بینی توسط ARIMA	(۴) مقدار پیش‌بینی توسط مدل رگرسیون	(۵) مقدار پیش‌بینی توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)
۱۳۷۴	۴۰۴۹/۳	۳۲۳۱/۶	۳۵۵۷/۸۳۴	۴۰۲۸/۹
۱۳۷۵	۴۴۴۵/۵۵	۴۵۶۳/۲	۴۰۵۰/۹۳	۴۴۲۹/۵۲
۱۳۷۶	۴۷۸۱/۵	۴۶۶۳/۷	۵۴۰۵/۹۳۳	۴۷۹۶/۴
۱۳۷۷	۶۴۶۸/۳۶	۶۰۳۷/۸	۶۹۱۵/۵۲۸	۶۴۸۲/۳۲
۱۳۷۸	۸۶۵۷/۶۸	۸۴۴۲/۴	۹۳۱۶/۷۸۷	۸۶۳۹/۶
۱۳۷۹	۸۱۸۸/۱۳	۸۵۶۷/۵	۱۰۵۷۵/۱۳	۸۱۷۰/۲
۱۳۸۰	۸۰۰۸/۴۵	۸۰۱۲/۶	۸۴۹۵/۷۷۸	۷۹۹۰/۵
۱۳۸۱	۸۰۱۸/۹۴	۸۳۷۰/۹	۸۷۰۹/۱۷	۸۰۰۶/۶۶

مأخذ: محاسبات تحقیق

رگرسیونی شناسایی شده است با دو تأخیر بر نرخ ارز اثر دارد، به‌طوری که داده‌ها به‌صورت ماتریسی، و در هر ستون ماتریس متغیرها با دو وقفه‌ی زمانی وارد می‌شوند. برای ملاحظه‌ی تأثیر سیاست تک‌نرخی کردن ارز در سال ۱۳۷۲، سه وضعیت مختلف زمانی در نظرگرفته می‌شود. براین اساس، در وضعیت اول میزان تأثیرگذاری این سیاست برای سال‌های قبل از ۱۳۷۲ معادل صفر منظور می‌شود. با این حال بیشترین اثر ناشی از شوک تک‌نرخی شدن ارز مربوط به این سال است که در اینجا فرض بر تأثیرگذاری کامل تک‌نرخی کردن ارز است و ارزش ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود (تأثیرگذاری صددرصد در وضعیت دوم.) این در حالی است که برای سال‌های بعد (وضعیت سوم) تأثیر این سیاست به‌تدریج کاهش می‌یابد، به‌گونه‌یی که این تغییر ناشی از اعمال مدیریت نرخ ارز از طریق تعدیل اثرات سیاست یکسان‌سازی نرخ ارز طی سال‌های بعد است.

از آنجا که ANN برای یادگیری نیازمند داده‌های زیادی است، مثال‌های متعددی با ایجاد اغتشاش‌های گوناگون در روند داده‌ها به دست می‌آید و البته بهترین حالت در این شرایط وقتی است که داده‌های اصلی تکرار می‌شوند. روش اضافه‌کردن اغتشاش به ورودی‌ها، روشی شناخته‌شده و مؤثر در افزایش فضای داده‌های ورودی و تسریع یادگیری شبکه‌ی عصبی است. اکنون هدف این است که با در نظرگرفتن شبکه‌ی داده‌های دو سال، نرخ ارز دو سال بعد به‌عنوان هدف تعیین شود. به‌عنوان مثال داده‌های سال ۱۳۳۸ و ۱۳۳۹ را مبنا قرار داده و نرخ ارز سال ۱۳۴۱ را تعیین کند. بنابراین ماتریسی با ۴۱ ستون تشکیل می‌شود و با ۵ بار تکرار به‌صورت اغتشاش ماتریسی با ۲۰۵ ستون ایجاد می‌شود. بردار هدف، سری‌های زمانی نرخ ارز یکسان‌سازی شده است که به‌صورت استاندارد وارد می‌شود.

همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد، پیش‌بینی روند یک متغیر به‌وسیله‌ی ANN در دومرحله‌ی آموزش و پیش‌بینی شکل می‌گیرد. در مرحله‌ی آموزش، داده‌ها به دو قسمت تفکیک می‌شوند: ۱. مجموعه‌ی آموزشی، که عمده‌ی داده‌ها را شامل می‌شود و دوره‌ی زمانی ۱۳۷۳ـ۱۳۳۸ برای آموزش انتخاب می‌شود؛ ۲. مجموعه‌ی آزمون، که در ارزیابی دقت شبکه‌ی عصبی کاربرد دارد. از آنجا که خطای شبکه در مرحله‌ی آموزش بسیار ناچیز است، در این مرحله نیازی به مجموعه‌ی آزمون نخواهد بود. اکنون در مرحله‌ی پیش‌بینی برای دوره‌ی ۱۳۸۱ـ۱۳۷۴ که بخشی از دوره‌ی تخمین است، پیش‌بینی گذشته‌نگر انجام می‌شود.[۱۶] آنچه در روش ANN دارای اهمیت زیادی است، تعداد واحدهای لایه‌ی میانی و لایه‌ی خارجی است.

جدول ۵. میزان خطاهای پیش‌بینی نرخ ارز آزاد به سه روش مورد مطالعه به‌وسیله‌ی معیارهای انتخابی: MSE، RMSE و TIC.

معیار خطا / مدل	MSE	RMSE	TIC
مدل رگرسیونی	۹۷۸۴۰۶/۸۶	۹۸۹/۱	۰/۰۲
ARIMA	۱۴۹۴۸۶/۷	۳۸۶/۶	۰/۰۲۸۴۲۹
شبکه‌ی عصبی	۲۷۶/۴۲۳	۱۶/۶۲۶	۰/۰۰۱۲۲

مأخذ: محاسبات تحقیق

لایه‌ی خارجی فقط یک عصب دارد ولی تعداد واحدهای لایه‌ی میانی در ابتدا ۲ یا ۳ برابر تعداد واحدهای لایه‌ی ورودی در نظرگرفته شده است. پس از آموزش، پیش‌بینی انجام شده و میزان خطا به‌وسیله‌ی معیارهای انتخابی اندازه‌گیری می‌شود. سپس بر تعداد واحدهای لایه‌ی میانی اضافه و کم‌شده و معیار ارزیابی پیش‌بینی با قبل مقایسه و بهترین حالت انتخاب می‌شود. در این مطالعه بهترین روند پیش‌بینی از نرخ ارز بازار آزاد با ۴۰ واحد در لایه‌ی میانی ANN به دست آمده است، که نتایج مربوط در ستون ۵ از جدول ۴ گزارش شده است.

حال با توجه به آنچه که در این بخش و بخش‌های قبلی اشاره شد، نتایج پیش‌بینی روند متغیر نرخ ارز به‌صورت گذشته‌نگر در بخشی از دوره‌ی تخمین (۸۱ـ۱۳۷۴) براساس هر سه روش ARIMA، مدل رگرسیونی و ANN در جدول ۴ ارائه می‌شود. پیش‌بینی نرخ ارز (نرخ یکسان‌سازی شده نزدیک به بازار آزاد) توسط هریک از روش‌های سه‌گانه و همچنین مقایسه‌ی آن با مقادیر واقعی نرخ ارز، که عمدتاً مبتنی بر مقادیر بازار آزاد است، اشاره به این واقعیت دارد که روند آن براساس مدل رگرسیون و ARIMA از نوسان بیشتری نسبت به مقادیر واقعی برخوردار بوده است، به‌طوری که شکاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی این متغیر در سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۶ به‌شدت زیاد می‌شود. در مقابل، مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی نرخ ارز مبتنی بر ANN از مسیر زمانی هموارشده‌یی نسبت به مقادیر واقعی خود برخوردار بوده و روند این متغیر نسبت به مقادیر واقعی خود سال‌ها بر پایه‌ی عوامل تعیین‌کننده‌ی بازار مثل عوامل قیمتی و پولی و سیاست‌های بازرگانی حرکت کرده است.

جدول ۵ نیز ملاک ارزیابی مقادیر پیش‌بینی‌شده روند متغیر نرخ ارز یکسان‌سازی شده را به‌وسیله‌ی معیارهای میانگین انحراف معیار (MSE)[۱۷]، ریشه‌ی میانگین انحراف معیار (RMSE)[۱۸] و نابرابری تایل (TIC)[۱۹] نشان می‌دهد. نتایج مربوطه مؤید صحت مطالب فوق است به‌طوری که در مقایسه، روش شبکه‌های عصبی از کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های رقیب برخوردار است؛ زیرا مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر و از خطای اندازه‌گیری کم‌تری برخوردار است.

۶. نتیجه‌گیری

شبکه‌های عصبی فاقد مشکلات رایج مدل‌سازی کلاسیک از قبیل بررسی پایایی و ناپایایی سری‌های زمانی هستند و از این نظر، نیازمند آماده‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقتصادی همانند مدل‌سازی کلاسیک برای رفع مشکلات خودهمبستگی، هم‌خطی و واریانس ناهمسانی نیستند. در مقابل، امتیاز پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط روش‌های اقتصادسنجی نسبت به شبکه‌های عصبی داشتن توجیه آماری قوی‌تری است. زیرا می‌توان برای هریک از پیش‌بینی‌های انجام‌شده یک فاصله‌ی اطمینان تعریف کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

شبکه‌های عصبی به‌صورت واقعی می‌آموزند که چگونه آینده را پیش‌بینی کنند، بنابراین نسبت به مدل‌های ARIMA ارجحیت دارند.[۱] از طرف دیگر، برای یک پیش‌بینی دقیق احتیاج به ابزاری است که به‌وسیله‌ی آن تمام عوامل مورد ملاحظه قرارگیرد. مدل‌های سری‌های زمانی به گذشته‌ی خود نگاه می‌کنند ولی عوامل واقعی ایجادکننده‌ی نوسان‌ها را در روندهای ایجادشده‌ی متغیرها مورد توجه قرار نمی‌دهند. مدل‌های رگرسیونی نیز با مشکلات متعددی (نظیر تورش طراحی و خطای تشخیص) مواجه‌اند و پیش‌بینی را کم‌اعتبار می‌سازند. لذا شبکه‌های عصبی می‌توانند برای پیش‌بینی دقیق‌تر مورد استفاده قرارگیرند. البته باید توجه داشت که درصورتی روش شبکه‌های عصبی به پاسخ مناسب می‌رسد که ساختار آن، مجموعه‌ی ورودی‌ها و خروجی‌ها در مرحله‌ی آموزش و روش یادگیری به‌دقت طراحی و انتخاب شود.

در این مطالعه روند متغیر نرخ ارز در یک دوره‌ی زمانی مورد نظر توسط سه روش رگرسیونی، ARIMA و ANN پیش‌بینی شد. نتایج حاکی از آن است که روند پیش‌بینی شده به‌وسیله‌ی ANN همواره از کارایی بیشتری در کمینه‌سازی خطای پیش‌بینی برخوردار است. بنابراین، می‌توان در جهت تعیین یک مسیر زمانی بهینه برای نرخ ارز در ایران که هم‌اکنون نیز تک‌نرخی شده گام برداشت و با گزینش برنامه‌ی مناسب ارزی آینده‌ی واقعی و مطلوبی را به‌ویژه به‌وسیله‌ی روش ANN پیش‌بینی کرد.

پانوشت

1. auto-regressive integrated moving average
2. artificial neural network
3. ex-post forecasting
4. ex-ante forecasting
5. box-jenkins
6. stationary
7. non-stationary
8. unit root test
9. akaike information criterion
10. schwarz bayesian criterion
11. hannan-quinn criterion
12. integrated of degree one
13. Regression Specification Error Test (RESET)
14. ramsey

۱۵. در سال ۱۹۸۶، روش «پس‌انتشار خطا» (Back Propagation) به‌کار گرفته شد.[۱۹] که سعی بر آن داشت تا با استفاده از خواص آماری یک مجموعه‌ی ورودی-خروجی، شبکه را نسبت به اطلاعاتی غیر از مجموعه‌ی یادگیری (آموزش) تعمیم دهد.

۱۶. البته این روش قادر است با توجه به ویژگی‌های اشاره‌شده پیش‌بینی آینده‌نگر از روند متغیر ارز را (برای مثال: سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) اندازه‌گیری کند.

17. Mean Squard Error. $MSE = \frac{1}{T}\sum(P-A)^2$

18. Root Mean Squard Error. $RMSE = \sqrt{\frac{1}{T}\sum(P-A)^2}$

۱۹. Theils Inequality Coefficient $TIC = \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\sum(P-A)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T}\sum P^2}+\sqrt{\frac{1}{T}\sum A^2}}$

که در آن P و A به‌ترتیب عبارت‌اند از مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی نرخ ارز در دوره‌ی زمانی T.[۲۰]

منابع

1. Ghasemi, E.;Asadpour, H. and Shasadeghi,"An application of neural networks to time series forecasting and its comparision with ARIMA Model", *the Iranian Journal of Trade Studies Quarterly*, (14), pp. 87-120 (2000).
2. Shackeri, E. "Effect of exchange rate uninfication on economic variables", *The Journal of the Research Center of the Islamic Majlis*, (32), pp. 26-41 (2001).
3. Menhaj, M., Principles of Neural Networks, Tehran; the Amir Kabir University of Technology Press, (2002).
4. Moshiri S. "Predicting Iran's inflation by using structural models, time series and neural networks", (58) pp.147-184,(2001)
5. Asghari Oskooei, M. "An application of artificial neural network to time series forecasting", *The quarterly Iranian Economy Research*, (12), pp. 69-96 (2002).
6. Donaldson, G. and Kamstra. M. "Forecasting combining with neural network", *Journal of Forecasting*, **13**, pp. 49-61 (1996).
7. Ahmmed, H. and Fane, G. "The gains from exchange rate unification in Bangladesh", *Economic Modelling*, pp. 91-106, (2000); www.Elsevier.nl/locate/econbase.
8. Kuan, L. and White, K. "Application of artificial neural network in ecnomics", (1994): www.digital.re. kr/igdm / issue3/neural network.pdf.
9. Pokorny, M. An Introduction to Econometrics, New York: Basil Blackwell, (1987).
10. Enders, W. Applied Economics Time Series, New York: John Wiley and Sons, (2003).
11. Lizando, P. "Determinants of the long-run equilibrium real exchange rate: an analytical model", (1987): www.worldbank.org /html/extph/exchrate/exchrate.html.
12. Siddiki, J. "Black market exchange rate in india", *Journal of International Money and Finance*, **24**, pp. 318-329, (2001).
13. Boyko, P. "Single equilibrium exchange rate", (2002): www.worldbank.org/html/extphhh/exchrate/exchrate htlm.
14. Banouei, E.A."A survey of impacts of excharge rate unification on price indices, production factors and standard of living", The Journal of the Researc Center Islamic Majlis, (32), pp.26-41 (2001).
15. Pourmoghim, J."Determinants of the Black Market Exchange Rate in Iran," the Journal of Eronomic Research, (54), pp. 83-104 (1999).
16. Tayyebi, S.K. "Economtrics modelling of import demmand in developing countries: the case of iran", Unpublished Doctoral Dissertation, University of Wollongong, Australia (1996).
17. Engle, R. and Granger, C. "Co-integration and error correction: representation, estimation and testing", *Econometrica*, **35**, pp. 251-276 (1987).
18. Wooldbridge, M.J. Interoductory Econometrics: A Modern Approach, Third Edition, USA: Thomson South-Western, (2006).
19. Rumelhart, D.E.; Hinton, G.; and Williams, R. "Learning intenal representation by error propagation", *Parallel Distributed Processing*, pp. 318-362 (1986).
20. Pindyck, R.S. and Rubinfeld, D.L. Econometric Models and Economic Forecasts, Third Edition, New York: McGraw-Hill Inc, (1991).

Archive of SID
www.SID.ir