مجله اقتصادی - ماهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی
شماره‌های ٤ و ٥، تیر و مرداد ١٣٩١، صفحات ١٧٠- ١٥٧

ارزیابی مدل‌های اقتصادسنجی با روش‌های مبتنی بر ریاضیات

معصومه پورجعفری‌مقدم[١]
ابراهیم صیامی‌عراقی[٢]

پیشرفت علم و تکنولوژی باعث پیچیدگی در جهانی شده که امروزه در آن زندگی می کنیم و برای فائق آمدن بر این پیچیدگی‌ها و اتخاذ تصمیمات صحیح از سوی سیاستگذاران نیاز به پیش‌بینی متغیرهای اثرگذار روزافزون شده است. از این رو، از دهه ١٩٧٠ به بعد روش‌های پیش‌بینی در علوم مختلف به ویژه اقتصاد جایگاه مناسبی یافته است. پژوهشگران و سیاستگذاران با پیدایش این روش‌ها در اقتصاد و سایر علوم برخی مواقع با ترکیب این روش‌ها به نتایج مطلوب‌تر و مناسب‌تری دست یافته‌اند. بدین منظور، هدف اصلی در مقاله حاضر بررسی روش‌های مختلف پیش‌بینی در اقتصاد و سایر علوم به ویژه ریاضیات و بیان این موضوع است که تمام این روش‌ها (فازی و شبکه عصبی) به اقتصادسنجی وابسته و به نوعی نتایج حاصل از اقتصادسنجی را بهبود می بخشند و از سوی دیگر آزمون‌هایی غیر از آزمون‌های ایستایی مرسوم در اقتصاد سنجی می‌بایست برای کشش‌سنجی مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های سری زمانی، شبکه عصبی، منطق فازی، پیش‌بینی.

١. مقدمه

با افزایش جمعیت، رشد تکنولوژی و ارتقاء سطح علم و دانش و به‌دنبال آن گسترش ارتباطات بر پیچیدگی‌های جهانی که در آن زندگی می‌کنیم افزوده شده است. مدیریت اقتصاد در این شرایط به استفاده از ابزارهایی به همان نسبت پیچیده برای تصمیم‌گیری و سیاستگذاری نیازمند است و شاید ابزارهای سنتی مرسوم دیگر قادر به پاسخگویی نباشند. بسیاری از مشکلاتی که در حال حاضر با آن مواجه هستیم ناشی از همین عدم پاسخگویی است، لذا اغلب سیاست‌هایی که برای حل این مشکلات بکار رفته، کارا نیست. با توجه به این مطلب امروزه علاوه بر استفاده از روش‌های اقتصادسنجی برای پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی از روش‌های دیگر که اغلب در مهندسی و علوم ریاضی کاربرد دارند نیز استفاده می‌شود. برخی از این روش‌ها به‌عنوان یک روش مکمل برای مدل‌های اقتصادسنجی محسوب

١. کارشناس‌ارشد اقتصاد برنامه‌ریزی و تحلیل سیستم‌های اقتصادی دانشگاه آزاد اسلامی. pourjafari@yahoo.com
٢. کارشناس‌ارشد اقتصاد برنامه‌ریزی و تحلیل سیستم‌های اقتصادی دانشگاه آزاد اسلامی. ebrahimsiami@gmail.com

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

می‌شوند و برخی دیگر به‌عنوان رقیب شناخته می‌شوند. هدف تمام این مدل‌ها قدرت پاسخگویی به مجهولات و نزدیک بودن آنها به واقعیت است.

هدف اصلی این مقاله معرفی روش‌های مستقل و ترکیبی و همچنین آزمون‌های پیش‌بینی یک متغیر اقتصادی است. بر این اساس، در مقاله حاضر در ابتدا روش‌های اقتصادسنجی و نحوه ساخت مدل‌های اقتصادسنجی تک‌متغیره معرفی می‌گردد، سپس سایر روش‌هایی که مبتنی بر ریاضیات می‌باشند از جمله شبکه عصبی و منطق فازی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. از آنجا که رفتار متغیرها در مدلسازی و پیش‌بینی آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است به مطالعه تئوری آشوب و آنتروپی خواهیم پرداخت. در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادات در این زمینه ارائه خواهد شد.

۲. مدلسازی بر مبنای الگوهای اقتصاد سنجی

طی ۸۰ سال که از تولد رسمی علم اقتصادسنجی[۱] می‌گذرد شاهد گسترش بکارگیری روش‌های اقتصادسنجی در حوزه‌های مختلف علوم هستیم. اگرچه اقتصادسنجی بطور سنتی در مورد موضوعات اقتصاد کلان بکار گرفته می‌شد، اما امروزه اقتصادسنجی در سایر حوزه‌های اقتصادی مانند اقتصاد خرد، اقتصاد صنعتی، اقتصاد توسعه، اقتصاد بهداشت، اقتصاد پول، اقتصاد شهری و منطقه‌ای و ... به‌عنوان یک ابزار کارامد برای آزمون نظریه‌ها بکار می رود (جانستون و دیناردو، ۱۳۸۹). می‌توان گفت پیش‌بینی‌های مختلف مسائل اقتصادی متکی بر روش‌های اقتصادسنجی می‌باشد و توان بالای این مدل‌ها در برآورد معادلات خاص منجر به استفاده وسیع از این مدل‌ها شده است (آذر و رجب‌زاده،۱۳۸۴). در واقع، اقتصادسنجی شاخه‌ای از علم اقتصاد و نتیجه طبیعی پیشرفت و تکامل علم است که هر روز بیش از پیش بر دامنه یافته‌های آن افزوده می‌شود و یکی از ابزارهایی است که اقتصاددانان برای پیش‌بینی تغییرات آتی اقتصاد از آن استفاده می‌کنند.

در حال حاضر از اقتصادسنجی به‌عنوان یک ابزار اساسی در پژوهش‌های کاربردی در زمینه‌های مختلف اقتصادی و غیراقتصادی استفاده می‌گردد و هر روز بر دامنه کاربرد آن افزوده می‌شود، بطوری‌که می‌توان از آن به عنوان اصلی‌ترین روش‌های پژوهش در مطالعات اقتصادی نام برد (شیرین‌بخش،۱۳۸۶). اما آنچه حائز اهمیت می‌باشد این است که بکارگیری روش‌های اقتصادسنجی به آمیزه‌ای از نظریات اقتصادی، حقایق پایه‌ای اقتصادی درخصوص اقتصاد و ظرافت‌های ریاضی نیاز دارد، اگر این کار صورت پذیرد نتیجه آن یک مدل اقتصاد ریاضی یا مقداری خواهد بود که گامی مهم به سوی ساخت یک مدل اقتصادسنجی است لذا یکی‌شدن آمار، تئوری‌های اقتصادی و ریاضیات یک مدل اقتصادسنجی را به وجود

۱. کاربرد عبارت اقتصادسنجی درسال ۱۹۲۶ توسط رگنرفریش اقتصاددان معروف نروژی و برنده جایزه نوبل اقتصاد آغاز شد.

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

می‌آورد. همانطور که رگنر فریش در نخستین شماره مجله اکونومتریکا توضیح می‌دهد یکی شدن آمار، تئوری اقتصادی و ریاضیات اقتصادسنجی را می‌سازد. بنابراین اگر قرار باشد مدل اقتصادسنجی بیانگر واقعیت‌های اقتصاد کشورها باشد، باید حاوی ارقامی (پارامتر) باشد که توصیف‌کننده اتفاقاتی است که عملاً در دنیای واقعی روی می‌دهد.

تعیین یا تخمین مقدار تمام پارامترهای یک مدل مرحله‌ای بسیار مهم است که مدل اقتصاد ریاضی را به یک مدل اقتصادسنجی تبدیل می‌کند (هیمانس،۲۰۰۷). یک مدل اقتصادسنجی در صورتی کامل نامیده می‌شود که حاوی معادلات کافی جهت پیش‌بینی مقادیر تمام متغیرهای موجود در آن باشد. بدین ترتیب اهداف اقتصادسنجی را می‌توان محتوای تجربی دادن به روابط اقتصادی برای آزمودن نظریه‌های اقتصادی پیش‌بینی و تصمیم‌گیری دانست.

به کمک تکنیک‌های اقتصادسنجی می‌توان ضرایب مجهول مدل ساخته‌شده را برآورد نمود، سپس (در صورت برقرار بودن تعدادی فرض) به استنتاج آماری درخصوص آنها پرداخت (جوک، هوریتس و پسران، ۲۰۰۰). در واقع، اگر تمام روابط منطقی ریاضی برقرار شده باشند مدل کامل خواهد بود و می‌توان از آن برای پیش‌بینی اقتصادی یا بررسی نظریات مربوط به رفتار مدل استفاده نمود. اصولاً یکی از نقش‌ها و وظایف علمی اقتصاددانان این است که فرضیات و قواعد مربوط به متغیرهای اقتصادی را بیان کنند و یکی از راه‌های ارائه اینگونه نظریات استفاده از ریاضیات است. گاهی بیان ادبیاتی و توصیفی با تمام سادگی و قابل فهم بودن قادر به بیان پیچیدگی بحث‌ها و یا فراوانی متغیرها نیست و تنها راه تجزیه و تحلیل آنها ابزار ریاضی خواهد بود.

همانطور که دانش بشری درخصوص علم اقتصاد طی سال‌های گذشته تحولات شگرفی را تجربه کرده کاربرد ریاضیات پیشرفته در نظریه‌های اقتصادسنجی که هدف آنها تخمین روابط بین متغیرهای اقتصادی است نیز دستخوش پیشرفت‌های بسیاری قرار گرفته و تمام این پیشرفت‌ها در جهت بهبود مدلسازی نوسانات پدیده‌های اقتصادی بوده است، امروزه هرگونه تصمیم و جهت‌گیری در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی مستلزم استفاده از روش‌های اقتصادسنجی است که به‌عنوان یک روش و ابزار مفید جهت تجزیه و تحلیل متغیرهای اقتصادی است (شیوا، ۱۳۷۵). اقتصادسنجی مرسوم در دوره رشد بر فرض مانایی سری‌های زمانی استوار بود، اما بعدها مشخص شد که اکثر سری‌های زمانی نامانا هستند، لزوم تفسیر سری‌های زمانی، اقتصادسنجی را وارد مرحله جدیدی نمود.

اقتصادسنجی سری‌های زمانی با تخمین آن دسته از سری‌های زمانی در ارتباط است که دارای اجزای تصادفی (جمله اختلال) هستند. معادلات تفاضلی تصادفی که بخش مهمی از اقتصاد ریاضی می‌باشند ابزار مناسبی برای تحلیل این نوع سری‌های زمانی هستند. براساس تئوری‌های اقتصادی برخی از

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

متغیرهای سری زمانی دارای رفتار غیرخطی هستند که مدل‌های استاندارد ARMA مبتنی بر معادلات تفاضلی خطی برای حل اینگونه مسائل مناسب هستند، تصریح‌های پویای جدیدی برای مدلسازی رفتار غیرخطی متغیرها لازم است که با کنار نهادن فرض خطی بودن مدل امکان تخمین فرایندهای غیرخطی بالقوه بسیاری را فراهم می‌سازد. درحال حاضر به نظر می‌رسد تحقیقات در این حوزه جدید اقتصادسنجی سری‌های زمانی با آهنگی فزاینده در حال رشد است. می‌توان گفت بطور سنتی از تحلیل‌های سری زمانی عمدتاً برای پیش‌بینی روند زمانی متغیرها استفاده شده است. تجزیه و تحلیل روند پویایی یک سری موجب افزایش دقت پیش‌بینی‌ها می‌شود. اهمیت فزاینده پویایی‌های اقتصادی تأکید دوباره‌ای بر اقتصادسنجی انواع مختلف سری‌های زمانی را به‌دنبال داشته است (اندرز، ۱۳۸۶).

مدل‌های سری زمانی اغلب در شرایطی که انتظار می‌رود همچنان ادامه داشته باشد، کاربرد دارند و برای پیش‌بینی مواردی چون تأثیرات تغییرات ساختار اقتصادی چندان مناسب به نظر نمی‌رسند. بطور کلی، تغییرات سری زمانی می‌تواند به دلیل تغییرات برخی از عوامل طبیعی و برخی عوامل اقتصادی و اجتماعی باشد که معمولاً در این راستا چهار مؤلفه اصلی روند، تغییرات دوره‌ای، تغییرات فصلی و تغییرات نامنظم در نظر گرفته می‌شود. یکی از روش‌های مرسوم در پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی، استفاده از روش‌شناسی باکس- جنکینز[1] می‌باشد. این روش براساس چهار مرحله شناسایی مدل، تخمین مدل، تشخیص دقت برازش و پیش‌بینی عنوان شده است.

روش‌شناسی باکس- جنکینز هم برای داده‌های مقطعی و هم داده‌های پیوسته و نیز ناپیوسته قابلیت پیش‌بینی دارد. بنابراین، داده‌ها می‌بایست در فواصل زمانی برابر اندازه‌گیری شوند. به‌علاوه روش‌شناسی باکس- جنکینز می‌تواند برای پیش‌بینی داده‌های فصلی و غیرفصلی نیز مورد استفاده قرار گیرد. زمانی که از مدل‌های باکس جنکینز صحبت می‌شود در واقع از خانواده‌ای از مدل‌ها صحبت می‌کنیم که ARIMA، ARMA ، AR،MA و ARIMAX را در بر می‌گیرند.

۳. منطق فازی[2]

دستیابی به دانش بدون ابهام سال‌های متمادی انسان را دچار چالش ساخته است. در حوزه‌هایی که آمار و اطلاعات قطعی وجود ندارد و داده‌ها با عدم قطعیت و نااطمینانی مواجهند مدلسازی روابط اقتصادی راه‌حلی است که از سوی اقتصاددانان پیشنهاد و مورد استقبال قرار می‌گیرد. انسان‌ها عناصر هوشمند طبیعت هستند که برای درک محیط خود تلاش می‌نمایند و البته به‌دلیل محدودیت قدرت استدلال

1. Box-Jenkins
2. Fuzzy Logic

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

جامع با عدم قطعیت مواجه هستند. مفاهیم مبهم و نامشخصی وجود دارد که بصورت روزمره در قالب عبارت‌های مختلف بیان می‌شود. در واقع هر انسانی بر اساس عوامل گوناگون و بر پایه تفکر استنتاجی خود جملات را تعریف و تعیین می‌کند که الگوبندی آنها به زبان و فرم ریاضی کاری مشکل به نظر می‌آید. نظریه مجموعه‌های فازی در شرایط ابهام و عدم اطمینان کاربرد دارد و قادر است بسیاری از مفاهیم و عبارات مبهم را با زبان ریاضی بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. به‌عبارت ساده‌تر، منطق فازی یک مدل ریاضی است که می‌تواند حوزه‌های مبهم را تا حدودی توضیح دهد. منطق کلاسیک هر چیزی را براساس یک سیستم دوتایی نشان می‌دهد (درست یا غلط)، (۰ یا ۱)، (سیاه یا سفید) و ... اما منطق فازی صحت هرچیزی را براساس یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است نشان می‌دهد. به عنوان مثال، اگر رنگ سیاه عدد (۰) و رنگ سفید عدد (۱) باشد رنگ خاکستری عددی نزدیک (۰) است و در واقع منطق فازی همین رنگ خاکستری است. در مجموعه فازی برخلاف مجموعه ریاضی عناصر به دو دسته عضو و غیرعضو تقسیم نمی‌شوند، بلکه در مجموعه فازی اعضا بصورت پیوسته در فاصله [۱و۰] قرار دارند و نزدیکی درجه عضویت به یک نشان‌دهنده تعلق بیشتر و نزدیکی به صفر نشان‌دهنده تعلق کمتر است. بدین‌ترتیب به هرگزینه یک شاخص ترتیبی ۵ گزینه‌ای (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) نسبت می‌دهد و متغیرهای سببی یک پدیده که ارتباط تابعی آنها قبلاً اثبات شده است وارد مدل می‌گردند و پس از طی مراحلی در نهایت پاسخی از صفر تا یک یا بین ۵ گزینه مذکور به دست می‌آید (غفاری و همکاران، ۱۳۸۰).

اگرچه منطق فازی از حل بسیاری از مسائل ناتوان است، اما خصوصیات منحصر به فردی برای کنترل دارد. این تکنیک با روش کدکردن و بکارگرفتن اطلاعات مبهم می‌تواند سیستم‌های غیرخطی را کنترل نماید که مدل کردن آنها با قواعد ریاضی بسیار دشوار است و در واقع این منطق ابزاری ساده و کاربردی برای مدل‌کردن پیچیدگی‌های دنیای واقعی است. بکارگیری منطق فازی دو مزیت دارد: نخست اینکه می‌توان از محاسبات پیچیده مدل‌های اقتصادسنجی اجتناب نمود و دیگر اینکه قواعد فازی با الفاظ وابسته به زبان‌شناسی برای درک انسان‌ها آسان‌تر می‌شوند. مدلسازی فازی همانند مدلسازی اقتصادسنجی دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد و آنچه در مدلسازی فازی اهمیت دارد، اجماع بر سر معنادار بودن متغیرهای تبیین‌کننده پدیده مورد بررسی است.

در ارتباط با منطق فازی و آمار دو مفهوم ابهام و نااطمینانی وجود دارد. گاهی اوقات این دو مفهوم یکسان تلقی می‌شوند، زیرا هر دو حالت عدم قطعیت را بیان می‌کنند و هر دو بازه[۱و۰]را جهت اندازه‌گیری توابع خود استفاده می‌کنند، اما این دو مفهوم بطور کامل از یکدیگر متفاوت می‌باشند. در مورد نظریه مجموعه فازی یکی از نظریات مرسوم آن نظریه امکان است. تمرکز اولیه این نظریه بر عدم

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

دقت تأکید دارد. حال آنکه نظریه احتمالات اینگونه نیست. در واقع، نااطمینانی به وقایع آینده مربوط می‌شود که امکان دارد اتفاق بیفتد یا نیفتد، اما مفهوم مبهم به وجود یا عدم وجود تأکید دارد. یک مثال ساده در این زمینه می‌تواند به روشن‌شدن مباحث کمک کند. عنصر X با توجه به عضویت ۰/۵ به مجموعه فازی تعلق دارد. به این معنا نیست که بگوییم عنصرX ممکن است با احتمال ۵۰ درصد به این مجموعه تعلق داشته باشد حال اگر مشخص شود که Xعنصر مجموعه می‌باشد احتمال عضویت آن ۱۰۰ درصد خواهد بود.

در حوزه اقتصاد با استفاده از تفکر فازی و با در نظرگرفتن عدم قطعیت می‌توان ارزیابی طرح‌های اقتصادی را بیش از پیش به واقعیت نزدیک کرد. در تخمین میزان فقر (الگوی برآورد روند فقر بر اساس منطق فازی)، تخمین حجم اقتصاد پنهان، تعیین قیمت تعادل سهام، پیش‌بینی در شرایط نادقیق و ... که بررسی آنها با ابهام مواجه است را می‌توان با استفاده از منطق فازی مدلسازی نمود.

یکی از محدودیت‌های عمده روش باکس- جنکینز احتیاج به مشاهدات بسیار برای ارائه نتایج مناسب از پیش‌بینی است. علاوه بر این، اینگونه مدل‌ها از جملات خطا برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند. از سوی دیگر، رگرسیون فازی برای جلوگیری از بروز خطای مدلسازی توسط تاکانا[1] پیشنهاد شد، اما این مدل نیز معایبی دارد که از جمله مهم‌ترین آن می‌توان به وسیع‌شدن بیش از حد فاصله پیش‌بینی که به دلیل وجود برخی از مقادیر پرت ایجاد می‌شود اشاره کرد. بر این اساس، برخی از محققان با ترکیب روش رگرسیون فازی و مدل‌های اریما برخی از ایرادات هر دو مدل را برطرف نموده و مدلی تحت عنوان اریمای فازی[2] را معرفی کردند. مراحل انجام در این روش بصورت زیر است:

مرحله اول: برازش مدل با استفاده از اطلاعات موجود در مشاهدات (که به‌صورت غیرفازند) نتیجه فاز یک جواب بهینه پارامترها $\alpha^* = (\alpha_{11}^* \alpha_{21}^* ... \alpha_{p+q}^*)$ خطای خالصند که به‌عنوان یکی از مجموعه داده‌های ورودی در فاز دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مرحله دوم: حداقل ابهام با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (LP) و $\alpha^* = (\alpha_{11}^* \alpha_{21}^* ... \alpha_{p}^*)$ تعداد محدودیت‌ها در این برنامه‌ریزی خطی برابر با تعداد مشاهدات می‌باشد و مدل اریمای فازی بدین صورت است:

$$\breve{\omega}_t = (\alpha_{11} c_1) w_{t-1} + (\alpha_{21} c_2) w_{t-2} + ... + (\alpha_1 cp) w_{t-p} + q_t - \left(\alpha_{p+1}{}' c_{p+1}\right) a_{t-1} - ... - (\alpha_{p+q} c_{p+q}) a_{t-q} \qquad (۱)$$

که در برنامه‌ریزی ریاضی خطی بالا α_1 و c_i به ترتیب مراکز و پهنای اعداد فازی هستند.

1. Tankana
2. FUZZY ARIMA (Farima)

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

مرحله سوم: با توجه به نظرات ایشیبوچی[1] هنگامی که دامنه مدل اریمای فازی وسیع شود، داده‌های حد بالا و پایین مدل حذف خواهند شد. به منظور ساختن مدلی با شرایط ممکن اریمای فازی، در صورتی که مجموعه داده‌ها شامل تفاوت‌های مشخص یا موارد خارج از محدوده باشند؛ C_j ها بسیار گسترده خواهند شد. طبق نظرات ایشیبوچی داده‌های اطراف مرزهای بالا و پایین مدل حذف می‌شود، سپس مدل مجدداً فرمولبندی خواهد شد.

٤. شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[2]

شبکه عصبی بصورت یکی از بخش‌های پیچیده مغز انسان به‌عنوان یک ساختار یادگیری غیرقابل درک مشهور شده است. این شناخت و درک ساختار بیولوژی مغز انسان می‌تواند ما را در ایجاد شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یک ابزار کارا در حل مسائل یاری رساند. در حال حاضر دانشمندان در ابتدای راه شناخت شبکه‌های عصبی هستند و تنها بر نحوه عملکرد این مجموعه تمرکز کرده‌اند. در ده سال اخیر هزاران مقاله در این زمینه نگارش شده و شبکه‌های عصبی دارای کاربرد بسیار زیادی شده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در برخی از عملیات‌ها مانند پیش‌بینی و دسته‌بندی در مقایسه با سایر روش‌ها دارای مزایای نسبی بوده و معمولاً در کارهای تجربی ترجیح داده می‌شوند. از جمله مواردی که از این روش استفاده می‌شود زمانی است که با داده‌های مغشوش مواجهیم یا دانش بسیار کمی در مورد مسأله وجود دارد.

از مزایای این روش می‌توان نتیجه گرفت که این روش می‌تواند به عنوان روشی مناسب در ایجاد و برخورد با داده‌های متفاوت سازمانی در حوزه‌ها و پروژه‌های متفاوت داده‌کاوی[3] بکارگرفته شوند، از این رو در اقتصاد کاربردهای ویژه‌ای دارند. به عنوان مثال، در عملیات پیش‌بینی سری‌های زمانی و داده‌های پیچیده بازارهای مالی روش شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اخیراً رساله‌ها و تحقیقات کاربردی بسیاری درخصوص پیش‌بینی قیمت سهام، انرژی، طلا، نرخ ارز و ... با استفاده از این روش صورت گرفته است که نتایج نشان داده شبکه عصبی قادر است پیش‌بینی‌های دقیق‌تری نسبت به روش‌های معمول سری زمانی ارائه نماید. برای طراحی یک مدل شبکه عصبی می‌بایست مراحل زیر را طی نمود:

- تعیین واحدهای لایه ورودی و یا به‌عبارت دیگر متغیرهای توضیحی مدل، برحسب خصوصیات آماری که بدین منظور از روش اقتصادسنجی که اغلب مدل‌های ARMA هستند برای تعیین لایه ورودی استفاده می‌شود.
- تعیین حجم نمونه برای بخش یادگیری و بخش آزمون.

1. Ishibuchi
2. Artificial Neural Network
3. Data Mining

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

- تعیین تعداد واحدهای خروجی و لایه میانی. تعداد واحدهای لایه خروجی براساس مسئله تحقیق می‌باشد. به عنوان مثال، اگر پیش‌بینی یک متغیر خاص باشد لایه خروجی تنها یک می‌باشد. تعداد واحدهای لایه میانی از طریق روش آزمون و خطا تعیین می‌گردد. این عمل از طریق مقایسه معیار ارزیابی پیش‌بینی (RMSE) انجام می‌پذیرد و در مرحله‌ای که کمترین مجذور میانگین مربعات خطا حاصل می‌شود بعنوان لایه میانی انتخاب می‌گردد.
- مشخص کردن قاعده یادگیری که الگوریتم‌های متفاوتی در این زمینه وجود دارد. دو نوع یادگیری در این ادبیات وجود دارد: یادگیری تحت نظارت و یادگیری بدون ناظر.

یادگیری تحت نظارت که به یادگیری با معلم نیز معروف است با استفاده از الگوریتم‌های مختلف تکرار وزن‌ها شبکه را تعدیل می‌کند که مشهورترین آنها الگوریتم پس از انتشار خطا است.

۵. آشوب[1]

هرچند که امور جهان بی نظم، تصادفی و در نتیجه غیرقابل پیش‌بینی به نظر می‌رسند، اما در عین حال از یک نظم و قطعیت برخوردار هستند. این دیدگاه تحول شدیدی در پژوهش‌های علمی دهه ۱۹۷۰ به بعد به ویژه درعلم اقتصاد و در بازارهای مالی و پولی ایجاد کرد. مسئله مشترک این پژوهش‌ها شناسایی راه‌های تشخیص نظم نهفته در سیستم‌های بسیار پیچیده‌ای بود که در صورت موفقیت اجازه می‌داد روند آتی حرکت آنها برخلاف باورهای قبلی پیش‌بینی شوند. در این دیدگاه سیستم‌های پیچیده صرفاً ظاهری پرآشوب دارند و نامنظم به نظر می‌رسند. در حالی که در واقعیت تابع یک جریان معین با یک فرمول ریاضی مشخص هستند، از این رو موضوع آشوب در ریاضیات بر پایه نظریه رشد غیرخطی با بازخورد شکل گرفته است.

نکته اصلی و کلیدی تئوری آشوب این است که در هر بی‌نظمی، نظمی نهفته است به این معنا که نباید نظم را تنها در یک مقیاس جستجو کرد. پدیده‌ای که در مقیاس محلی کاملاً تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی به نظر می‌رسد ممکن است در مقیاس بزرگتر پایا[2] و قابل پیش‌بینی باشد. در این روش بر وابستگی یا حساسیت به شرایط اولیه تأکید وجود دارد به‌این معنا که تغییرات بسیار جزئی در مقادیر اولیه یک فرایند می‌تواند منجر به اختلاف چشمگیری در سرنوشت فرایند شود. فرایند آشوبی محصول یک سیستم غیرخطی پویا است که تصادفی نیست اما تصادفی به نظر می‌رسد و تکرارشونده می‌باشد.

1. Chaos
2. Stationary

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

نوسانات اقتصادی به نوعی رفتار غیرخطی پویا را به نمایش می‌گذارند و اساس کلیه سیستم‌های آشوب‌گونه و حتی سیستم‌های پویای اقتصادی حلقه‌های بازخورد مثبت و منفی می‌باشد که رشد نمایی یا کاهشی در سیستم را سبب می‌شود. وجود فرایندهای آشوبی در ابعاد گوناگون اقتصاد مورد بحث قرار گرفته است، بحث‌های مربوط به علل ایجاد دوران تجاری در نظریه اقتصادکلان و همچنین سری‌های زمانی اقتصادی به‌ویژه سری‌های اقتصاد کلان و سری‌های بازارهای پولی و مالی از یک فرایند آشوبی پیروی می‌کنند و در نتیجه تغییرات آنها قابل پیش‌بینی نیستند. بازارهای پولی و مالی از موارد بسیار مناسب برای بکارگیری نظریه آشوب می‌باشند، زیرا نظریه موجود و مسلط در اقتصاد مالی و پولی نشان می‌دهد که متغیرهای پولی مانند نرخ ارز، آشوبناک و در نتیجه تغییرات آنها غیرقابل پیش‌بینی است.

یکی از روش‌های تشخیص فرایندهای آشوبی آزمون توان لیاپانوف است. آزمون توان لیاپانوف[1] براساس این ویژگی سری‌های آشوبی که نقاط مجاور در این سری‌ها به مرور زمان از هم جدا شده و نسبت به یکدیگر واگرا می‌شوند قابل توضیح است. توان لیاپانوف از طریق اندازه‌گیری مقدار کشیدگی یا خمیدگی که در حرکت سیستم رخ می‌دهد به‌دست می‌آید. در واقع، در این روش سرعت متوسط که مسیرهای انتقالی دو نقطه‌ای که در ابتدا به هم نزدیک بوده‌اند بطور نمایی از یکدیگر منحرف می‌شوند محاسبه می‌گردد. اگر توان محاسبه شده لیاپانوف مقدار مثبتی داشته باشد، سیستم دارای رفتار آشوبی خواهد بود. روش محاسبه در این آزمون بصورت زیر می‌باشد:.

اگر بین X_n و X_{n+1} رابطه تبعی زیر وجود داشته باشد:

$$x_{n+1} = f(x_n) \qquad (۲)$$

می‌توان فاصله بین x_0 و $x_0+\varepsilon$ را با ε و فاصله بین $f^n(x^\circ)$ و $f^n(x_\circ+\varepsilon)$ را با تابع نمایی $\varepsilon e^{n\lambda(x_0)}$ نشان داد. به‌عبارت دیگر:

$$\varepsilon e^{n\lambda(x^\circ)} = \left| f^n(x_0+\varepsilon) - f^n(x_0) \right| \qquad (۳)$$

که در آن، $e^{\lambda(x_0)}$ درواقع بیانگر میانگین اختلاف بین نقاط مجاور در هر تکرار می‌باشد. λ_0 به نمای لیاپانوف معروف است. رابطه فوق را در حد می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\lambda(x_0) = \lim_{\varepsilon\to 0} \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \log \left| \frac{f^n(x_0+\varepsilon) - f(x_0)}{\varepsilon} \right| \qquad (۴)$$

1. Lypunov Exponent

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

که بصورت ساده شده به شکل زیر است:

$$\lambda(x_0) = \lim \frac{1}{n} \log \left| \frac{df^n(x)}{dx_0} \right| \qquad (۵)$$

در رابطه فوق، $\left| \frac{df^n(x_0)}{dx_0} \right|$ مشتق تابع f است.برای سری‌های آشوبی مقدار توان لیاپانوف مثبت و در غیر این صورت منفی خواهد شد. حالت اول که توان مثبت لیاپانوف می‌باشد دلیلی بر وجود یک فرایند آشوبی است (امام‌وردی، ۱۳۸۶).

٦. آنتروپی[1]

هرگاه بخواهیم محدودیت‌های بوم‌شناسی[2] را در اقتصاد انسانی بررسی کنیم توسل به مفهوم بنیادی آنتروپی ضروری است. آنتروپی واژه‌ای است که در بحث‌های تخصصی فیزیک‌دانان، شیمی‌دانان و گاه زیست‌شناسان معمولاً بر سر زبان‌ها است، اما این کلمه در میان کسانی که قصد دارند محدودیت‌های بوم‌شناختی فعالیت‌های اقتصادی را در کشورهای پیشرفته بیابند واژه‌ای کلیدی است. در فیزیک آنتروپی تابعی است که حالت بی‌نظمی سیستم را تعریف می‌کند. هنگامی که سیستم به حالت بی‌نظمی فزون یافته‌ای تحول می‌یابد آنتروپی صعودی است. افزایش پیوسته آنتروپی را قانون دوم ترمودینامیک گویند در برابر قانون اول ترمودینامیک که بقای انرژی است. مفهوم آنتروپی در سیستم‌های بسته به حداکثر بی‌نظمی میان اجزای سیستم دلالت دارد و در نهایت موجب از هم گسیختگی، کهولت و مرگ سیستم خواهد شد. در سیستم‌های باز مانند سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی افزایش آنتروپی چیزی جز انهدام اطلاعات نیست، اطلاعات برای یک سیستم باز نقش حیاتی ایفا می‌کند. بازخوردهای سیستم که نقش کنترل‌کننده دارند با بهره‌گیری از اطلاعات بطور مؤثر عمل کرده و سیستم را در مقابل عواملی که منجر به عدم تعادل یا اضمحلال آن می‌شود محفوظ می‌دارند، به این ترتیب مطالعه نظری در این زمینه سبب شد مفهوم آنتروپی جایگاه ویژه‌ای را بدست آورد و بتواند در سایر علوم به‌ویژه آمار نقش اساسی ایفا کند که این امر مسیر استفاده از آنتروپی را برای استفاده سایر علوم که با پدیده‌های تصادفی سروکار دارند باز نموده است. از جمله کاربردهای آنتروپی در اقتصاد، محاسبه برخورداری عمومی از رفاه‌اجتماعی از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین، از شاخص‌های آنتروپی برای اندازه‌گیری نابرابری در توزیع درآمد استفاده می‌شود. مقایسه ناتوانی مکاتب اقتصادی در توضیح رفتار بحران‌های اقتصادی به ناتوانی آنها در عدم تشخیص عامل آنتروپی بر می‌گردد. کاربردی کردن این ایده در علم اقتصاد نیازمند بینشی است که

1. Entropia

۲. یک شاخص سنجش زیست محیطی برای پایداری است که در ارزیابی و مدیریت برای بکارگیری مناسب منابع اقتصادی نیز بکار می‌رود.

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

تسلط کافی به موضوع اصلی را داشته باشد، اما امروزه آنچه در استفاده از آنتروپی حائز اهمیت می‌باشد توجه به این نکته است که علاوه بر کار، حرارت و انرژی مفهوم اطلاعات نیز در سیر توسعه خود با مفهوم آنتروپی پیوند یافته است، بنابراین اطلاعات عبارت است از نظم یا نگانتروپی. هرچه آنتروپی در هر سیستم بیشتر باشد برای رفع آن نیاز به اطلاعات بیشتری است یعنی میان حجم کمی اطلاعات و افزایش آنتروپی منفی ارتباط متقابل وجود دارد این ارتباط دو سویه می‌باشد یعنی نه تنها آنتروپی منفی به اطلاعات منتهی می‌شود، بلکه اطلاعات نیز به آنتروپی منفی می‌انجامد. بنابراین حفظ و بقای یک سیستم اقتصادی به کاهش آنتروپی در آن سیستم وابسته است(تامانوئی، ۱۹۸۴). یکی از آزمون‌های مربوط به سری‌های زمانی که از مفهوم آنتروپی گرفته شده و مکملی برای آزمون توان لیاپانوف بحساب می‌آید آزمون آنتروپی کولموگروف می‌باشد.

یک فرایند تصادفی به شرایط اولیه حساسیت ندارد یعنی مسیرهای زمانی آن با شرایط اولیه متفاوت باید همگرا باشند. عکس این حالت در مورد یک فرایند آشوبی صادق است یعنی مسیر زمانی یک فرایند آشوبی با شرایط متفاوت اولیه واگرا می‌گردند. بر این اساس، می‌توان آزمونی بر پایه واگرا یا همگرا بودن مسیرهای زمانی یک سری با شرایط متفاوت اولیه انجام داد بطوری که اگر مسیرهای زمانی با شرایط اولیه مختلف واگرا نباشد سری متعلق به یک فرایند تصادفی و در غیر این صورت یک فرایند آشوبی خواهد بود.

آزمون آنتروپی کولموگروف یا آنتروپی Kدر واقع ویژگی حساسیت یک سری آشوبی به شرایط اولیه را کمی می‌کند. اگر دو سری زمانی بسیار نزدیک به هم را در نظر بگیریم بطوری که به ظاهر غیرقابل تشخیص از یکدیگر باشند در صورت تبعیت از یک فرایند آشوبی انتظار می‌رود که روند دو سری با گذشت زمان کاملاً متمایز و قابل تشخیص از یکدیگر باشند. آزمون آنتروپی کولموگروف سرعتی را که طبق آن دو سری از یکدیگر متمایز می‌شوند و یا به عبارتی دیگر میانگین نرخ انحراف دو سری از یکدیگر را محاسبه می‌کند. سرعت صفر به معنای عدم تمایزپذیری دو سری با گذشت زمان و در نتیجه تصادفی بودن فرایند ایجادکننده آنها است. سرعت مثبت به معنای جدا شدن دو سری از یکدیگر به مرور زمان و در نتیجه آشوبی بودن فرایند ایجادکننده سری است. فرمول محاسباتی آنتروپی کولموگروف به شرح زیر است:

$$k = \lim_{M\to\infty} \lim_{T\to\infty} \left[\frac{C^m(\varepsilon)}{c^{M+1}(\varepsilon)} \right] \qquad (۶)$$

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

بنابراین، اگر K برای یک سری برابر با صفر باشد حاکی از این است که سری موردنظر از یک فرایند ساده و قابل پیش‌بینی تبعیت می‌کند. اگر K مثبت باشد دلالت بر یک فرایند آشوبی دارد، هرچه مقدار K بیشتر باشد شدت و پیچیدگی فرایند آشوبی نیز بیشتر خواهد بود (امام وردی، ۱۳۸۶).

۷. نتیجه‌گیری

با توجه به ابزارها و تکنیک‌هایی که برای تخمین، مدلسازی و پیش‌بینی‌های اقتصادی مطرح شد می‌توان نتیجه گرفت که هیچ یک از این شیوه‌ها بطور کامل رقیب یکدیگر نبوده، بلکه بعضاً مکمل یکدیگر بوده و اساساً برای کمک به حل مشکلات سایر روش‌ها از سایر علوم وارد حوزه اقتصاد شده‌اند تا با توجه به مسئله موردنظر سطح کاربرد آنها در پیش‌بینی‌ها، تخمین‌ها و سیاستگذاری‌ها و به‌ویژه مهارت‌ها و محدودیت‌های اقتصاددانان و تحلیلگران اقتصادی در استفاده از این ابزار ما را در انتخاب روش برای رسیدن به الگویی واقعی‌تر و شفافتر با تکیه بر تئوری‌ها و مبانی اقتصادی یاری رسانند. از سوی دیگر، در مورد سه روش اقتصادسنجی، شبکه عصبی و منطق فازی می‌توان بیان کرد که در مدل‌هایی که پیچیدگی آنها کم و عدم قطعیت آنها نیز ناچیز است و با استفاده از معادلات ریاضی و آمار امکان مدلسازی از طریق روش‌های اقتصادسنجی وجود دارد. برای مدل‌هایی که پیچیدگی آنها کمی بیشتر و عدم قطعیت نیز نسبتاً زیاد است دیگر نمی‌توان تحلیل قطعی و دقیقی از مدل داشت که در این مدل‌ها می‌توان از روش شبکه عصبی استفاده نمود و برای مدل‌هایی با پیچیدگی بالا و عدم قطعیت زیاد که اطلاعات کافی و دقیقی نیز از آنها در دسترس نیست از رویکرد فازی استفاده می‌شود. در نهایت، پیشنهاد می‌گردد در کارهای تجربی در اقتصاد به ویژه در پیش‌بینی متغیرها از روش‌های ترکیبی معرفی شده استفاده شود و همچنین فرایند و رفتار داده‌ها با آزمون‌های معرفی شده از قبیل توان هیاپونوف و آزمون کولموگراف مورد توجه قرار گیرند تا بتوان از این طریق به نتایج قابل اتکا دست یافت و از این طریق سیاستگذاران با اطمینان بیشتر تصمیمات خود را اجرا نمایند.

منابع

آذر، عادل و علی رجب‌زاده (۱۳۸۴)، "طراحی مدل پیش‌بینی ترکیبی در صنعت نفت (مدل سیستم‌های خبره تصمیم‌گیرنده)"، *فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی*، شماره ۳۴.

استرمن، جان (۱۳۸۸)، *پویایی‌شناسی کسب‌وکار*، ترجمه گروهی از مترجمان با مقدمه دکتر مشایخی، انتشارات سمت، چاپ اول.

امام‌وردی، قدرت‌اله (۱۳۸۶)، *ارائه الگویی مناسب جهت پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بازار سرمایه ایران و مقایسه توان پیش‌بینی مدل‌ها با تأکید بر مدل‌های غیرخطی سری زمانی*، پایان‌نامه دکترای دانشکده اقتصاد و مدیریت واحد علوم تحقیقات.

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

اندرز، والتر (۱۳۸۶)، *اقتصادسنجی سری‌های زمانی با رویکرد کاربردی*، ترجمه مهدی صادقی شاهدانی و سعید شوال‌پور، انتشارات دانشگاه امام صادق (ع).

باورمن، اکانل (۱۳۷۵)، *پیش‌بینی سری‌های زمانی، شناسایی، تخمین، پیش‌بینی*، ترجمه دکتر رضا شیوا، مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.

جانستون، جک و جان دیناردو (۱۳۸۹)، *روش‌های اقتصادسنجی (جلد اول)*، ترجمه علی‌اکبر خسروی نژاد، فریدون اهرابی.

حمیدی‌زاده، محمدرضا (۱۳۷۹)، *پویایی‌های سیستم*، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

سائول، هیمانس (۱۳۸۸)، *پیش‌بینی و مدل‌های اقتصادسنجی (بخش نخست)* ، ترجمه محمدصادق الحسینی و محسن رنجبر، *روزنامه دنیای اقتصاد*، شماره ۱۹۷۰ ۸۸/۹/۲۵ ، ص ۲۸.

سردار، ضیاءالدین (۱۳۸۸)، *آشنایی با آشوب*، ترجمه سیدمهدی سجادی، وردا فقیرحق، انتشارات سرای دانش.

شیرین‌بخش، شمس‌اله و زهرا خوانساری (۱۳۸۴)، "کاربرد Eviews در اقتصادسنجی"، *نشر پژوهشکده امور اقتصادی*.

کاسکو، بارت (۱۳۸۰)، *تفکر فازی*، ترجمه دکتر علی غفاری، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

کیا، سیدمصطفی (۱۳۸۷)، *منطق فازی در متلب*، انتشارات کیان یارانه سبز، چاپ اول.

کی.ا.لاولر،اچ، آر (۱۳۸۶)، *اقتصادسنجی، رهیافت کاربردی*، ترجمه شمس‌اله شیرین‌بخش، نشر آوای نور.

هاگان، مارتین تی، هاوارد بی.دیموث و مارک بیل (۱۳۸۷)، *طراحی شبکه‌های عصبی*، ترجمه سیدمصطفی کیا، چاپ اول.

Geweke, J., Horowitz, J.L. & M.H. Pesaran (2000), "Econometrics: a Bird's Eye View.

Ishibuchi, H. & H. Tanaka (1988),"Interval Regression, Analysis Based on Mixed 0-1 Integer Programming Problem", J. Japan Soc. Ind. Eng, No. 40, Vol. 5, PP.312 -319.

Ragnar, Frisch (1933), "Editor's Note", *Econometrica,* Vol.1. PP. 1-4.

Sterman, J. D. (2004), "Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World", Irwin/McGraw-Hill.

Tamanoi, Yoshiro (1984), "Towards an Entropic Theory of Economy and Ecology Beyond the Mechanistic Equilibrium, A.TSUCHIDA and T.MUROTA in Economic Appliqué", Vol. 37, No. 2.

http://dlbook.net

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]

[Downloaded from ejip.ir on 2026-11-08]