

مدل سازی و پیش بینی رشد اقتصادی ایران با استفاده از مدل های ARIMA، مارکف سوئیچینگ و ANFIS

*مرتضی صالحی سربیزان^۱

۱. عضو هیئت علمی گروه صنایع دانشگاه زابل، ایران
(دریافت: ۱۳۹۴/۷/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۱۷)

Modeling and Predicting of Iran's Economic Growth Using ARIMA, Markov Switching and ANFIS Models

*Morteza Salehi Sarbijan¹

1. Faculty Member of Industrial Engineering, Zabol University, Iran
(Received: 3/Oct./2015 Accepted: 8/Nov./2015)

چکیده:

Abstract:

Economic growth forecast is a major problem in economy that has a significant impact in government policy and economic planning. It also helps policy makers for future decisions. Multivariate econometric forecasting models associated with many limitations, so an alternative approach is the use of univariate models, but most of these methods need a lot of data to achieve the best result. In this study, data from 1959 to 2005 were used to estimate the models. Then the performances of auto regressive integrated moving average (ARIMA) model in the economic growth forecast of Iran was evaluated and compared with Markov switching method and fuzzy neural network (ANFIS) for the period from 2006 to 2013 using the Criteria RMSE, MAE and MAPE. Results showed that ANFIS model had the best performance. Furthermore, Markov switching method was more suitable than ARIMA model.

یکی از مسائل مهم در اقتصاد پیش بینی رشد اقتصادی می باشد. پیش بینی صحیح رشد اقتصادی، اثر مهمی در سیاست گذاری و برنامه ریزی های اقتصادی دولت دارد و می تواند علاوه بر ایجاد زمینه توسعه روش های جدید پیش بینی، سیاست گذاران را در تصمیم گیری آتی یاری رساند. پیش بینی بر اساس مدل های چند متغیری اقتصادسنجی با محدودیت های زیادی همراه است، بنابراین یک روش جایگزین استفاده از مدل های تک متغیری است. اما اکثر روش های تک متغیری برای حصول به نتیجه خوب نیاز به داده های زیادی دارند. از این رو در این مطالعه کارایی مدل میانگین متحرک خودرگرسیون تجمعی (ARIMA) با روش های مارکف سوئیچینگ و شبکه عصبی فازی (ANFIS) در پیش بینی رشد اقتصادی ایران مقایسه می شود. برای تخمین مدل از داده های دوره ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۴ استفاده شده است. سپس کارایی این مدل ها در پیش بینی رشد اقتصادی ایران برای دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ با استفاده از معیارهای MAE، RMSE و MAPE ارزیابی و مقایسه شده است. مقایسه این معیارها حاکی از این است که بهترین عملکرد متعلق به روش ANFIS است. همچنین مدل مارکف سوئیچینگ عملکرد بهتری نسبت به مدل ARIMA دارد.

Keywords: Economic Growth, Markov Switching, ANFIS, ARIMA.

JEL: B41, C52, O5.

واژه های کلیدی: رشد اقتصادی، مارکف سوئیچینگ، ARIMA، ANFIS.

طبقه بندی JEL: B41، C52، O5.

۱- مقدمه

در شرایط موجود اقتصاد کشور، توافق همگان، به ویژه اقتصاددانان، کارشناسان و سیاست‌گذاران کشور بر روی این مسئله اساسی اقتصادی کشور است که رشد اقتصادی و تولید در کشور، متناسب با ظرفیت منابع انسانی و طبیعی اقتصاد کلی نیست و به صورت کارا از توان، ظرفیت و پتانسیل‌های اقتصادی کشور بهره‌برداری نمی‌گردد، لذا نرخ بیکاری بالا منابع از جمله نیروی کار در کشور وجود دارد. از طرفی چون رشد اقتصاد ملی بیشتر بر نفت تکیه دارد، لذا دارای نوسان‌های زیادی می‌باشد و این نوسان و ناپایداری در برنامه‌ها و متغیرهای کلان اقتصادی مشاهده می‌شود. عوامل مذکور در کنار دلایل دیگر باعث پایین آمدن بهره‌وری در اقتصاد ملی گردیده و همین مسئله نیاز اساسی در زمینه تغییر ساختارها در جهت استفاده صحیح از منابع و پتانسیل‌های اقتصاد کشور را ایجاد نموده است لذا با توجه به موارد فوق‌الذکر بررسی روند حرکت متغیرهای اقتصادی و از آن جمله تولید ناخالص داخلی کشور که به معنی قدرت اقتصادی ملی همیشه مطرح بوده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات تولید ناخالص داخلی به عنوان رشد اقتصادی قلمداد می‌گردد و به نوعی بیانگر روند تحولات اقتصادی و نشانگر بزرگ شدن اندازه اقتصاد ملی طی این دوره می‌باشد. تولید ناخالص داخلی به معنی مجموع تولید کالاها و خدمات نهایی مبادله شده در یک سال است و عبارت ناخالص زمانی که اقلامی مانند استهلاک از حساب‌ها کسر گردد به خالص تبدیل می‌شود. بنابراین از تولید ناخالص داخلی می‌توان برای مقایسه جایگاه یک کشور از لحاظ اقتصادی در میان سایر کشورها استفاده کرد و حتی این متغیر یکی از معیارهایی است که رشد اقتصادی یک کشور را نشان می‌دهد. رشد اقتصادی هر کشور، بیانگر رشد مداوم تولید است، که در اغلب موارد، با افزایش جمعیت و معمولاً با تغییرات زیربنایی همراه است (قره‌باغیان، ۱۳۷۲: ۱۱). امروزه رشد اقتصادی به دلایل زیر مطلوب جوامع است: ۱) بهبود آشکاری در وضعیت معاش، آسایش و مصرف شمار زیادی از مردم پدید آورده؛ به نحوی که اکنون در مقایسه با گذشته، مردم از تغذیه، وسائل زندگی، پوشاک، وسائل آموزشی و کالاهای مادی بیشتری برخوردارند؛ ۲) رشد، باعث افزایش محدوده انتخاب انسان به ویژه برای زنان و کودکان برای انتخاب شغل و نوع زندگی و پذیرش ارزش‌ها می‌شود؛ ۳) پیشرفت فناوری سبب می‌شود میلیون‌ها نفر از انجام کارهای طاقت فرسای جسمی بی‌نیاز و در وقت انسان‌ها صرفه‌جویی شده و طبیعت در تسلط نسبی

بشر قرار گیرد؛ ۴) رشد موجب شکوفایی استعدادها و به کارگیری قوه ابتکار و خلاقیت در زمینه علوم مختلف از جمله در سازماندهی روابط اجتماعی، سیاسی و اقتصادی و تشکیل نهادهای مربوطه شده و سبب حاکمیت قانون، همراه با مشارکت عمومی در صحنه‌های سیاسی گردد؛ ۵) وابستگی متقابل مثبت و فزاینده جهانی؛ به نحوی که جهان به منزله دهکده کوچکی شده که هرچه در یک نقطه کوچک و دور افتاده اتفاق بیفتد، تمام دنیا از آن مطلع می‌شوند، از رشد اقتصادی بلندمدت ناشی می‌شود و ۶) قدرت سیاسی و نظامی کشور در داخل و در عرصه بین‌الملل افزایش می‌یابد (جهانبیان، ۱۳۸۸: ۲۶).

پیش‌بینی بر اساس مدل‌های چند متغیره اقتصادسنجی با محدودیت‌های زیادی همراه است، برای مثال ممکن است اطلاعات در خصوص متغیرهای توضیحی که بر متغیر وابسته اثر می‌گذارند، وجود نداشته و همچنین برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته ابتدا باید متغیرهای توضیحی پیش‌بینی شوند که در برخی موارد پیش‌بینی متغیرهای توضیحی امری دشوارتر از پیش‌بینی متغیر وابسته است. از این رو یک روش جایگزین استفاده از مدل‌های تک متغیر است که با استفاده از حافظه تاریخی متغیر اقدام به مدل‌سازی و پیش‌بینی می‌کند. اکثر این روش‌ها برای پیش‌بینی نیاز به داده‌های زیادی دارند، اما دسترسی به داده‌های زیاد از نظر کمی و کیفی نیاز به زمان و هزینه زیادی دارد. از این رو روش‌هایی که بتوانند با داده‌های کم پیش‌بینی مناسبی انجام دهند بسیار مورد توجه است. روش‌های پیش‌بینی فازی، به دلیل استفاده از اعداد فازی به جای اعداد قطعی، در مقایسه با دیگر روش‌های پیش‌بینی به داده‌های کمتری نیاز دارند. از آنجا که یکی از مشکلات محققان در ایران عدم دسترسی به آمارهای کافی مخصوصاً آمارهای متغیرهای کلان اقتصادی است، در این مطالعه به معرفی مدل‌های ARIMA، مارکف سوئیچینگ و ANFIS جهت پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران پرداخته و عملکرد این مدل‌ها در پیش‌بینی ایستای رشد اقتصادی ایران مقایسه می‌شود. در بخش دوم به ادبیات موضوع تحقیق و در بخش سوم به متدولوژی اقتصادسنجی پرداخته می‌شود. سپس در بخش چهارم نتایج تحقیق و در بخش پنجم بحث و نتیجه‌گیری مطرح شده و در بخش پایانی پیشنهادات مقاله ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

در ادبیات اقتصادی، بررسی علل رشد اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و توجه اقتصاددانان بسیاری را به خود جلب نموده و در این باره حجم گسترده‌ای از مطالعات را به خود اختصاص داده است. مطالعات اولیه عمدتاً بر نقش سرمایه فیزیکی به عنوان عامل رشد تأکید داشته است و مطالعات اخیر با گسترش مفهوم سرمایه از حیطه محدود به "ماشین آلات و تجهیزات" به محدوده وسیع‌تر دانش متبلور شده در انسان و تحقیقات از یک سو و نهادهای اجتماعی از سوی دیگر را نیز شامل می‌شود، تلاش نموده‌اند نواقص تحلیل‌های کلاسیک رشد اقتصادی را برطرف نمایند.

برخی از اقتصاددانان همانند استوارت میل، لوئیس، واگنر، برو و نورث هر کدام به نوعی، عوامل نهادی و سرمایه‌های اجتماعی را برای تبیین رشد کشورها پیشنهاد می‌کنند. در این باره کشوری که سرمایه‌گذاری را برای فعالیت، انتقال فناوری از خارج و تخصص و مهارت افراد جذب می‌کند، باید نهادها و قوانین آن به تولید گرایش داشته و اقتصاد آن برای تجارت بین‌المللی و رقابت در سطوح بازارهای جهانی باز باشد و نهایتاً نهادهای اقتصادی آن پایدار باشند. بنابراین، زیرساخت هر اقتصاد، حکومت و مقررات آن و نهادهایی که به آنها قدرت می‌بخشند، از جمله عوامل تعیین کننده رشد اقتصادی هر کشوری هستند (جونز، ۱۹۹۷: ۴۶).

مطالعات زیادی در زمینه رشد اقتصادی و پیش‌بینی با شبکه عصبی و مدل‌های خودرگرسیون صورت گرفته است که در زیر به ذکر چندین مورد پرداخته می‌شود.

گن و ونگ^۲ با استفاده از مدل BVAR^۳ به پیش‌بینی تولید ناخالص داخلی فصلی سنگاپور پرداخته‌اند. مدل‌سازی برای دوره ۱۹۷۶:۱-۱۹۸۸:۴ انجام شده است و برای دوره ۱۹۸۹:۱-۱۹۹۲:۴ پیش‌بینی شبیه‌سازی شده است. آنها با توجه به عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی، سادگی شناسایی، برآورد و به‌کارگیری مدل به این نتیجه رسیده‌اند که این مدل برای تکمیل مدل ساختاری اقتصادسنجی برای انجام قضاوت‌های اقتصادی مناسب است (گن و ونگ، ۱۹۹۳: ۱۶).

سوانسن و وایت^۴ به ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی و پیش‌بینی نه متغیر فصلی و ماهانه اقتصاد کلان آمریکا از جمله GNP و خالص صادرات کالاها و خدمات به

صورت فصلی می‌پردازند و بیان می‌کنند که نتایج مناسبی در مقایسه با حالات دیگر به دست آمده است. آنها همچنین می‌افزایند که معیار اطلاعات شوارتز (SIC) در داده‌های درون-نمونه، راهنمای مناسبی برای عملکرد خارج-نمونه نیست (سوانسن و وایت، ۱۹۹۷: ۵۴۹).

ابی‌سینگه^۵ یک متدولوژی برای فرمول‌بندی رگرسیون پویا با استفاده از متغیرهایی با دامنه زمانی مختلف ارائه کرد. در این مقاله پیش‌بینی GDP فصلی سنگاپور با استفاده از متغیر ماهانه تجارت خارجی انجام شده است. در مدل ارائه شده، با استفاده از ترکیبات غیرخطی نمایی از متغیر ماهانه تجارت خارجی چندین متغیر ساخته شده و با استفاده از آنها و تأخیر پیشین خود متغیر GDP، برآورد و پیش‌بینی انجام شده است (ابی‌سینگه، ۱۹۹۸: ۵۰۶). هوکینن و ویرن^۶ با استفاده از مدلی بر پایه نظریه کینز به نام مدل فصلی دپارتمان اقتصاد بانک فنلاند^۷ (QMED) به پیش‌بینی کوتاه‌مدت ۵۰ متغیر اقتصاد کلان به‌ویژه نرخ رشد فصلی GDP و نرخ بیکاری پرداخته‌اند. آنها با استفاده از شبیه‌سازی تصادفی و با به‌کارگیری متغیرهای درون‌زا و برون‌زا برای دوره ۱۹۹۶-۱۹۷۶ عملکرد پیش‌بینی برای ۲۴ دوره را بهبود بخشیده‌اند (هوکینن و ویرن، ۱۹۹۹: ۷۵۳).

استاک و واتسون^۸ در بررسی جامعی، نقش متغیرهای مالی و دیگر سری‌های زمانی اقتصاد کلان را در پیش‌بینی نرخ رشد GDP و تورم ۷ کشور OECD بررسی کردند. آنها با استفاده از داده‌ها به پیش‌بینی چهارگام برای دوره‌های ۱:۱۹۷۱-۱۹۸۴:۴ و ۱:۱۹۸۵-۴:۱۹۹۹ با استفاده از ۲۶ سری شاخص پرداختند (استاک و واتسون، ۲۰۰۳: ۷۸۸).

بافیگی و همکاران^۹ به پیش‌بینی نرخ رشد GDP آلمان، فرانسه، ایتالیا و ناحیه اروپا با استفاده از مدل بریج^{۱۰} (BM) و مدل‌های پایه دیگری مثل ARIMA و VAR و یک مدل ساختاری پرداخته‌اند. آنها با استفاده از داده‌های ۱:۱۹۸۰-۱۹۹۰:۴ به پیش‌بینی یک و دو گام رو به جلو پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند که به شرطی که در محدوده افق پیش‌بینی چند شاخص موجود باشد، BM بهتر عمل می‌کند. آنها همچنین نتیجه گرفته‌اند بهتر است برای تک تک کشورهای نرخ رشد

5. Abeyasinghe (1998)

6. Hukkinen & Viren (1999)

7. Quarterly Model of the Economics Department of the Bank of Finland

8. Stock & Watson (2003)

9. Baffigi et al. (2004)

10. Bridge Model

1. Jones (1997)

2. Gan & Wong (1993)

3. Bayesian Vector Autoregressive

4. Swanson & White (1997)

مدل ARIMA با هدف پیش‌بینی صادرات تایوان انجام داد. مدل بررسی شده، روش سری‌زمانی شامل مدل‌های اکتشافی و مدل مارکف است. در این پژوهش برای تحقیق بیشتر در مورد اینکه آیا پیش‌بینی مدل به طول دوره مورد بررسی وابسته است، دوره مورد مطالعه به سه دوره زمانی تقسیم شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی توسط مدل‌های فوق برای سه دوره زمانی حاکی از آن است که برای دوره زمانی طولانی مدل ARIMA خطای پیش‌بینی کمتری دارد اما وقتی که دوره زمانی کوتاه‌تر می‌شود عملکرد سری‌زمانی فازی بهتر می‌شود. همچنین مدل اکتشافی نسبت به مدل مارکف خطای پیش‌بینی کمتری دارد. وانگ در پایان بیان می‌کند که با توجه به عملکرد مدل اکتشافی در بهبود نتایج پیش‌بینی و روش محاسبه ساده آن، زمانی که با کمبود مشاهدات مواجه هستیم یا بخواهیم پیش‌بینی دقیق‌تری انجام دهیم مدل سری‌زمانی فازی بسیار مفید است (وانگ، ۲۰۱۱: ۹۲۹۷).

کین و همکاران^۶ به مقایسه عملکرد پیش‌بینی خارج از نمونه روش نشانگرهای اتوماتیک مقدم^۷ (ALIs) با مدل‌های ساختاری اقتصاد کلان^۸ (MESMs) برای پیش‌بینی رشد تولید ناخالص داخلی فصلی و تورم سه کشور چین، اندونزی و فیلیپین پرداخته‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش ALI به طور کلی در کوتاه‌مدت (یک فصل رو به جلو) بهتر عمل می‌کند ولی با افزایش افق پیش‌بینی عملکرد ضعیف‌تری نسبت به روش‌های ساختاری دارد (کین و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۰۰).

برهومی و همکاران^۹ به مقایسه عملکرد مدل‌های عاملی مختلف برای پیش‌بینی GDP فصلی فرانسه پرداخته‌اند. مدل‌های یاد شده هم در دامنه زمان و هم در دامنه فرکانس بوده‌اند. آنها با استفاده از داده‌های اقتصادی ماهانه ۱۹۹۳-۲۰۰۷ و با استفاده از معیار RMSE به مقایسه مدل‌های مختلف برای سه پایگاه داده کوچک (۲۰ متغیر)، متوسط (۵۱ متغیر) و بزرگ (۱۴۰ متغیر) با دو شیوه پیش‌بینی بازگشتی و غلتان^{۱۰} پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند که عمدتاً مدل‌های ساده‌تر بهتر جواب می‌دهند (برهومی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳). پوزولس و همکاران^{۱۱} با به کارگرفتن سیستم‌های استنتاج فازی و با استفاده از تخمین ناپارامتری واریانس باقی مانده‌ها، یک مدل‌سازی اتوماتیک برای پیش‌بینی کوتاه و بلندمدت

پیش‌بینی شود تا اینکه برای کل اتحادیه اروپا یک بار پیش‌بینی انجام شود (بافیگی و همکاران، ۲۰۰۴: ۴۴۸). شوماخر^۱ عملکرد پیش‌بینی GDP آلمان را با استفاده از داده‌های پانلی فصلی اقتصادی (۱۲۴ سری فصلی در دوره ۱۹۷۸-۲۰۰۴: ۱) با معیار MSE مورد بررسی قرار داده است. او با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) استاتیک، تحلیل مؤلفه اصلی پویا در دامنه فرکانس و یک مدل دیگر و مدل الگوی اتورگرسیو نهایتاً نتیجه گرفت که به طور متوسط پیش‌بینی خارج نمونه یک گام و چهار گام سه مدل عاملی از مدل الگوی اتورگرسیو بهتر بوده است (شوماخر، ۲۰۰۷: ۲۷۱). بعداً شوماخر این کار را با استفاده از داده‌های ماهانه و فصلی و مدل عاملی با روشی مرکب از الگوریتم EM و برآوردگر مؤلفه اصلی بهبود بخشید (شوماخر، ۲۰۰۸: ۳۸۷). همچنین شوماخر به بررسی اثر داده‌های بین‌المللی برای پیش‌بینی GDP آلمان پرداخت و توانست به دقت بهتری برسد (شوماخر، ۲۰۱۰: ۹۶). بانورا و رونستر^۲ با استفاده از شاخص‌های ماهانه در DFM به پیش‌بینی GDP فصلی ناحیه اروپا پرداخته‌اند (بانورا و رونستر، ۲۰۱۱: ۳۳۴).

ژانگ و کی^۳ با استفاده از شبکه‌های عصبی و ARIMA به پیش‌بینی ۱۰ سری زمانی ماهانه اقتصادی آمریکا پرداخته‌اند. آنها در این مقاله با حذف روند و اثر فصلی موجود در داده‌ها به نتایج مناسبی رسیدند و نتیجه گرفتند که پیش‌پردازش داده‌ها نقش بسیار مؤثری در عملکرد پیش‌بینی دارد به طوری که نتایج اجرای شبکه عصبی بدون پیش‌پردازش داده‌ها از نتایج روش ARIMA بدتر بوده است. آنها به منظور مقایسه نتایج، از معیارهای RMSE و MAE و MAPE استفاده کردند (ژانگ و کی، ۲۰۰۵: ۵۰۲).

همزاسی^۴ به منظور پیش‌بینی سری‌های فصلی با استفاده از شبکه‌های عصبی با در نظر گرفتن ترم‌های فصلی توانسته‌اند مدلی جدید به نام SANN ارائه دهند که عملکرد مدل در پیش‌بینی چهار سری از جمله سری الگوی مسافران هوایی بین‌المللی و ارزش کل تولید صنعت ماشین‌آلات تایوان با معیارهایی چون MSE و MAE و MAPE بهتر از دیگر مدل‌ها بوده است (همزاسی، ۲۰۰۸: ۴۵۵۱).

وانگ^۵ نیز مطالعه مقایسه‌ای بین مدل سری‌زمانی فازی و

6. Qin et al. (2008)
7. Automatic Leading Indicators
8. Macroeconomic Structural Models
9. Barhoumi et al. (2010)
10. Rolling
11. Pouzols et al (2008)

1. Schumacher (2007)
2. Banbura & Runstler (2011)
3. Zhang & Qi (2005)
4. Hamzacebi (2008)
5. Wang (2011)

قالب مدل‌های ARIMA، مارکف سوئیچینگ و ANFIS پرداخته می‌شود.

۳- روش تحقیق

۳-۱- مدل سری زمانی ARIMA

یک سری زمانی ایستا^۴ را می‌توان به روش‌های گوناگونی مدل‌سازی نمود. یکی از متداول‌ترین مدل‌سازی‌ها در اقتصادسنجی بر پایه متدولوژی باکس و جنکینز^۵ و تکیه بر مقادیر گذشته سری زمانی و جملات خطای استوکاستیک می‌باشد. این نوع مدل‌سازی که به مدل‌سازی ARIMA مشهور است، به طور گسترده توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است و حالت کلی آن برای ARIMA(p,d,q) به صورت رابطه (۱) است (کانگ^۶، ۱۹۸۰: ۶۶). (متغیر y_t ایستا در سطح فرض شده است).

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \beta_j \varepsilon_{t-j} \quad (1)$$

با وجود کاربرد فراوان رابطه (۱) در مدل‌سازی سری‌های زمانی، چنان‌چه مشاهده می‌شود پارامترهای این مدل در طول زمان ثابت فرض می‌شود. به عبارت دیگر، این رابطه در طول زمان به صورت خطی تعدیل می‌شود. اما اکثر متغیرهای اقتصادی در طول زمان به صورت خطی تعدیل نمی‌شوند. به عنوان مثال در مباحث چرخه‌های تجاری مشاهدات تجربی نشان می‌دهد سرعت تغییرات متغیرهای کلان اقتصادی در دوران رکود سریع‌تر از دوران رونق اقتصادی است. لذا مدل‌های ARIMA برای مدل‌سازی اینگونه متغیرها چندان مناسب نخواهد بود چرا که این مدل‌ها برای مدل‌سازی تعدیلات خطی به کار می‌روند و در تغییرات متغیرها در طی زمان تفاوتی قائل نمی‌شوند. البته لازم به ذکر است در برخی مباحث که فرض خطی بودن تعدیل متغیر خدشه اساسی به مطالعه وارد نمی‌کند، استفاده از مدل‌سازی ARIMA برای ساده‌سازی مدل بسیار مناسب است. با توجه به مطالب مذکور برای مطالعه فرایندهای تعدیل خطی و مدل‌سازی سری‌های زمانی که رفتار غیرخطی دارند، نیازمند توسعه مدل‌های ARIMA خواهیم بود. روش‌های خطی که در یک سطح وسیع برای مدل‌سازی متغیرهای اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، با توجه به رفتار نامتقارن اکثر این متغیرها، در دستیابی به تغییرات

سری‌های زمانی ارائه کرده‌اند و آن را بر روی شش سری زمانی الگو از جمله اعداد لکه خورشیدی تست کرده‌اند و عملکرد روش آنها در مقایسه با روش‌های LS-SVM^۱، OP-ELM^۲ و k-NN بر پایه آتورگرس کننده‌ها بهتر بوده است (پوزولس و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۱۶۶).

جیوانیس^۳ با استفاده از تکنیک ANFIS چهار متغیر مهم اقتصاد کلان آمریکا که عبارتند از GDP، نرخ تورم، نرخ بهره اوراق قرضه شش ماهه و نرخ بیکاری، را پیش‌بینی کرده است. در این پژوهش از داده‌های فصلی GDP برای دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۱ و از داده‌های ماهانه برای دیگر متغیرها برای دوره ۲۰۰۹-۱۹۵۰ استفاده شده است. او عملکرد این روش را با روش‌هایی که بیشتر به کار رفته است مقایسه کرده است. او ANFIS را با روش‌های مختلف خطی ARIMA و غیرخطی STAR مقایسه کرده و نتیجه گرفته است که در همه موارد عملکرد خارج از نمونه این روش از منظر RMSE و MAE نتایج بهتری داشته است. برای ANFIS تنها از یک تابع عضویت مثلثی استفاده کرده است. مضاف بر این، در پیش‌بینی متغیر GDP روش‌های مختلف ARIMA عملکرد بهتری از روش‌های STAR داشته‌اند (جیوانیس، ۲۰۱۰: ۶۶۰).

میرباقری به پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران از دو روش شبکه عصبی فازی و منطق فازی برای دوره زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۲ پرداخت و از متغیرهای مخارج دولت به تولید ناخالص داخلی، رشد صادرات، نسبت تورم برای پیش‌بینی استفاده کرد و این مدل را بهترین مدل برای پیش‌بینی رشد معرفی کرد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی فازی بهتر از منطق فازی به پیش‌بینی تورم ایران می‌پردازد (میرباقری، ۲۰۱۰: ۹۲۶).

جعفری صمیمی و همکاران در تحقیق خود مقایسه‌ای بین سه روش سری‌های زمانی، شبکه‌های عصبی و هموار سازی نمایی برای پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران انجام دادند. آنها از داده‌های فصلی ۲۰۰۳-۱۹۹۸ استفاده کردند و نتایج پیش‌بینی‌های هر روش را محاسبه و با مقادیر واقعی بر اساس معیار خطای اندازه‌گیری مقایسه کردند. نتایج حاکی از عملکرد بهتر شبکه عصبی نسبت به دو روش دیگر در پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران است (جعفری صمیمی و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۰)؛ جعفری صمیمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۵).

در این مطالعه به مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران در

4. Stationary
5. Box-Jenkins Methodology
6. Kang (1980)

1. Least-Squares Support Vector Machine
2. Optimally Pruned Extreme Learning Machine
3. Giovanis (2010)

با فرض اینکه متغیر y_t ، فرآیند اتورگرسیو مرتبه P و با m رژیم، مدل سازی شود $(MS(m) - AR(p))$ رابطه (۴) را خواهیم داشت.

$$y_t = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^p (\beta_{ij} y_{t-j}) + u_{it} \right) I_i(S_t = i) \quad (4)$$

$$I_i(S_t = i) = \begin{cases} S_t = i \rightarrow 1 \\ S_t \neq i \rightarrow 0 \end{cases}$$

در رابطه (۴) احتمال انتقال وضعیت از یک رژیم به رژیم دیگر در قالب احتمالات شرطی قابل محاسبه خواهد بود. به عنوان مثال در مدل فوق، P_{ij} که نشانگر انتقال از رژیم i به رژیم j است به صورت رابطه (۵) تعریف می شود.

$$P_{ij} = P(S_{t+1} = j | S_t = i); \sum_{j=1}^m P_{ij} = 1, \forall i, j \in (1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

همچنین $u_t \approx N(0, \sigma^2)$ می باشد و S_t نتیجه یک زنجیره مارکف با N رژیم است و S_t برای همه t ها مستقل از u_t است. به طوری که P_{12} احتمال انتقال از رکود به رونق و P_{21} احتمال از رژیم رونق به رکود خواهد بود و P_{11} احتمال پایداری رژیم رکود و P_{22} احتمال پایداری رژیم رونق را نشان خواهد داد. مدل های مارکف سوئیچینگ برای پیش بینی رشد تولید ناخالص داخلی ایران بسته به اینکه کدام قسمت مدل اتورگرسیو وابسته به رژیم باشد و تحت تأثیر آن انتقال باید به انواع مختلف طبقه بندی می شود. آنچه در مطالعات اقتصادی بیشتر مورد توجه است شامل چهار حالت مدل های مارکف سوئیچینگ در میانگین (MSM)، عرض از مبدأ (MSI)، پارامترهای اتورگرسیو (MSA) و ناهمسانی در واریانس (MSH) می باشد. با توجه به این واقعیت که بر اساس نظریه های اقتصادی و مشاهدات تجربی برخی از متغیرهای اقتصادی دارای رفتار غیرخطی هستند، با استفاده از مدل های یاد شده می توان این گونه متغیرها را به صورت غیرخطی مدل سازی کرد. در حالت کلی می توان انواع مختلف مدل های اتورگرسیو مارکف سوئیچینگ را با استفاده از مدل اتورگرسیو خطی تبیین نمود. با فرض یک مدل اتورگرسیو مرتبه p مطابق رابطه (۶) داریم.

$$\Delta y_t = V + \sum_{i=1}^p A_i \Delta y_{t-i} + u_t \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V = V(S_t) \rightarrow MSI \\ A_i = A_i(S_t) \rightarrow MSA \\ VAR(u) = (VAR(u))(S_t) \rightarrow MSH \end{array} \right.$$

که در مدل رابطه (۶) Δy_t نماینده متغیر رشد تولید و همچنین

نامتقارن این متغیرها عاجزند و این مسئله باعث افزایش رغبت محققان برای استفاده از مدل های غیرخطی که نسبت به مدل های خطی انعطاف بیشتری دارند، شده است. در میان مدل های غیرخطی، مدل اتورگرسیو تعمیم یافته^۱، مدل دوگانه^۲، مدل اتورگرسیو آستانه ای^۳، مدل های با انتقال ملایم^۴، شبکه های عصبی^۵ و مدل مارکف سوئیچینگ اتورگرسیو را می توان نام برد.

۳-۲- مدل مارکف سوئیچینگ

در مدل های غیرخطی فرض بر این است که رفتار متغیری که مدل سازی روی آن انجام می گیرد در وضعیت های مختلف متفاوت بوده و تغییر می کند (مهدیلو و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳). مدل های غیر خطی از لحاظ سرعت تغییر از یک وضعیت به وضعیت دیگر به دو گروه عمده تقسیم می شوند. در برخی از این مدل های غیر خطی، تغییر از یک وضعیت به وضعیت دیگر به صورت ملایم و آهسته^۶ انجام می گیرد (مانند مدل های STAR^۷ و شبکه مصنوعی^۸) در برخی دیگر از این مدل های غیر خطی این انتقال به سرعت انجام می گیرد که مدل مارکف سوئیچینگ از این نوع مدل ها می باشد. در مدل های STAR و شبکه مصنوعی فرایند تبدیل رژیم تدریجی است؛ فرایند تعدیل در این مدل ها بستگی به وضعیت سیستم دارد. برخلاف این مدل ها، در مدل انتقال مارکف، تبدیل رژیم به صورت برونزا در نظر گرفته شده است. مدل های مارکف سوئیچینگ توسط همیلتون^۹ در سال ۱۹۸۹ برای استخراج چرخه های تجاری توسعه داده شده اند (همیلتون، ۱۹۸۹: ۳۶۰). برای درک بهتر مدل مارکف سوئیچینگ، متغیر ایستای y_t را فرض نمایید که برای رژیم اول $S_t = 1$ توسط فرآیند اتورگرسیو رابطه (۲) توصیف می شود. حال فرض کنید متغیر y_t برای رژیم دوم $S_t = 2$ توسط مدل اتورگرسیو متفاوت رابطه (۳) تبیین شود.

$$y_t = \alpha_1 + \beta_1 y_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{1t} \rightarrow N(0, \sigma_1^2)$$

$$y_t = \alpha_2 + \beta_2 y_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{2t} \rightarrow N(0, \sigma_2^2)$$

1. Generalized Autoregressive Model
2. Bilinear Model
3. Threshold Autoregressive Model
4. Smooth Transition
5. Artificial Neural Network
6. Smooth Transition
7. Smooth Transition Autoregressive
8. Artificial Neural Network
9. Hamilton (1989)

اگر x_1 متعلق به $\tilde{A}_{1,1}$ ، x_2 متعلق به $\tilde{A}_{1,2}$ ، آنگاه $\tilde{A}_{2,1}$ ، اگر x_1 متعلق به $\tilde{A}_{2,1}$ ، x_2 متعلق به $\tilde{A}_{2,2}$ ، آنگاه $z_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$ ساختار ANFIS معادل در نمودار (۱) با فرض یکسان بودن توابع برای همه گره‌ها آمده است. برای لایه‌های دوم تا چهارم، O_i^k نشان دهنده خروجی قاعده μ در لایه k ام است. لایه ۱:

$$\Delta y_t = \mu(S_t) + \sum_{i=1}^p A_i (\Delta y_t - \mu(S_t)) + u_t \rightarrow MSM \quad (7)$$

خروجی هر گره در این لایه درجه عضویتی از یک مجموعه فازی متناظر با هر ورودی است. تابع عضویت این مجموعه فازی می‌تواند هر تابع عضویت پارامتری مناسب مثل تابع گاوسی باشد. پارامترهای توابع عضویت همان پارامترهای مقدم سیستم استنتاج هستند.

$$O_{j,i}^1 = \mu_{\tilde{A}_{j,i}}(x_j), \quad i, j = 1, 2$$

توجه کنید که $O_{j,i}^1$ خروجی μ در قاعده μ در لایه اول می‌باشد.

لایه ۲: خروجی هر گره در این لایه قدرت آتش قاعده را نشان می‌دهد. برای محاسبه خروجی می‌توان از حاصل ضرب یا کمینه مقدار تمامی سیگنال‌های ورودی یا هر T نرم دیگری (برای عملگر AND) استفاده کرد.

لایه ۳: خروجی هر گره در این لایه، مقدار نرمال شده خروجی لایه دوم می‌باشد.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2$$

لایه ۴: خروجی هر گره در این لایه مقادیر نرمال شده هر قاعده فازی است. ضرایب معادله خطی چندجمله‌ای هر قاعده همان پارامترهای پیامد در سیستم استنتاج هستند.

لایه ۵: خروجی این گره، خروجی نهایی سیستم است که مجموع تمامی سیگنال‌های ورودی می‌باشد.

$$y = \sum_{i=1}^2 \bar{w}_i z_i = \frac{\sum_{i=1}^2 \bar{w}_i z_i}{\sum_{i=1}^2 \bar{w}_i}$$

برای اینکه در یک مدل عصبی-فازی غیرخطی، پارامترها را تعیین کنیم، ترکیب روش کاهش شیب با پس انتشار خطا می‌تواند برای آموزش شبکه عصبی به کار گرفته شود. با این وجود معمولاً این روش بهینه‌سازی برای همگرایی به زمان زیادی نیاز دارد.

$V(S_t)$ به عنوان میانگین فرآیند یا عرض از مبدأ در رژیم‌های مختلف می‌باشد. همچنین A_i و B_i به ترتیب ضرایب متغیرهای AR و MA هستند. ϵ_t سری باقیمانده‌ها می‌باشد. حال اگر رابطه (۶) را به صورت رابطه (۷) بازنویسی کنیم. مدل MSM قابل تبیین است. خلاصه مدل‌های MS-AR در جدول (۱) ارائه شده است (کرولیزیک^۱، ۱۹۹۷: ۱۱).

با توجه به این واقعیت که برخی از متغیرهای اقتصادی بر اساس نظریه‌های اقتصادی و مشاهدات تجربی دارای رفتار غیر خطی هستند، لذا می‌توان این گونه متغیرها را با استفاده از مدل‌های مندرج در جدول (۱) مدل‌سازی نمود. در نهایت باید متذکر شد که تخمین مدل مارکف سوئیچینگ از روش‌هایی نظیر تخمین حداکثر درست‌نمایی^۲، ماکزیمم حداکثر انتظار^۳ و روش نمونه برداری گیبس^۴ انجام می‌گیرد. برای آنکه بتوان بهترین مدل را از میان مدل‌های فوق انتخاب نمود در این مطالعه استرژژی انتخاب مدل به صورت زیر خواهد بود.

- تعیین تعداد وقفه‌های بهینه برای متغیرهای حاضر در مدل با استفاده از آماره اطلاعاتی آکاییک برای تمام حالت‌های ممکن مدل مارکف سوئیچینگ
- مقایسه حالت‌های تخمین زده شده بر مبنای سه ویژگی:
 - داشتن بیشترین ضرایب معنادار (به ویژه اجزای وابسته به رژیم)
 - داشتن بیشترین مقدار تابع حداکثر راستنمایی
 - داشتن حداقل واریانس جماعات اخلاص

۳-۳- شبکه عصبی - فازی (ANFIS)

عبارت ANFIS که مخفف سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی است، یک پارادایم عصبی-فازی کارا و شفاف است که برای اولین بار توسط جانگ^۵ و همکاران در سال ۱۹۹۷ ارائه شد. استنتاج فازی سوگنو انتخاب مناسبی است که نیاز به عملیات غیرفازی سازی ندارد و در مدل‌سازی‌های فازی نمونه‌گرا^۶ به وفور مورد استفاده قرار گرفته است. یک سیستم استنتاج فازی با دو ورودی x_1 و x_2 و یک خروجی y را در نظر بگیرید. برای یک مدل سوگنوی مرتبه اول، مجموعه‌ای از دو قاعده فازی اگر آنگاه را به صورت زیر در نظر بگیرید (جانگ، ۱۹۹۷: ۵۵).

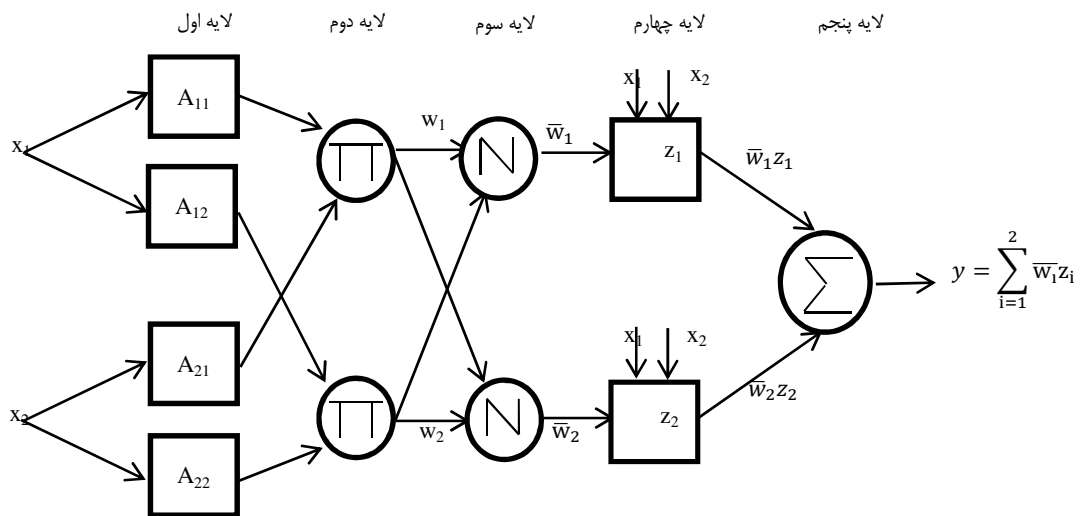
$$O_i^2 = \omega_i = \mu_{\tilde{A}_{1,i}}(x_1) \mu_{\tilde{A}_{2,i}}(x_2), \quad i = 1, 2$$

1. Krolzig (1997)
2. Maximum Likelihood Estimation (MLE)
3. Expectation Maximization (EM)
4. Gibbs Sampling Approach
5. Jang et al. (1997)
6. Sample-Based

جدول ۱. خلاصه مدل‌های MS-AR

توضیحات		MSM		MSI	
		میانگین متغیر	میانگین ثابت	عرض از مبدأ متغیر	عرض از مبدأ ثابت
ثابت A_i	ثابت σ	MSM	Mخطی	MSI	خطی
	متغیر σ	MSMH	MSH	MSIH	MSH
متغیر A_i	ثابت σ	MSMA	MSA	MSIA	MSA
	متغیر σ	MSMAH	MSAH	MSIAH	MSAH

مأخذ: کروزریک (۱۹۹۷: ۱۴)



نمودار ۱. ساختار معادل ANFIS

$$\begin{aligned}
 y &= \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) \\
 &\quad + \bar{w}_2(p_2x + q_2y \\
 &\quad + r_2) \\
 &= (\bar{w}_1x)p_1 \\
 &\quad + (\bar{w}_1y)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 \\
 &\quad + (\bar{w}_2x)p_2 \\
 &\quad + (\bar{w}_2y)q_2 + (\bar{w}_2)r_2
 \end{aligned}
 \tag{۸}$$

که نسبت به پارامترهای نتیجه $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2$ خطی است. در این حالت S_1 مجموعه پارامترهای مقدم (غیرخطی) و S_2 مجموعه پارامترهای نتیجه (خطی) می‌باشد. در حرکت (گام) رو به جلو الگوریتم آموزش، خروجی‌های گره رو به جلو تا رسیدن به لایه ۴ حرکت می‌کنند و سپس پارامترهای نتیجه بر اساس روش حداقل مربعات تعیین می‌شود. در گام رو به عقب، سیگنال‌های خطا پس انتشار یافته و پارامترهای مقدم به وسیله کاهش شیب بروز می‌شوند. جدول (۲) فعالیت‌های هر گام را نشان می‌دهد (جانگ، ۱۹۹۷: ۶۲).

اگر مجموعه پارامترهای مدل S فرض شود، دو زیرمجموعه S_1 و S_2 به قسمی وجود دارد که S_2 مجموعه پارامترهای خطی آن می‌باشد. نظریه علمی‌ای که در پس قانون آموزش هابیرید قرار دارد این است که برای مقادیر ثابت معین پارامترهای مجموعه S_1 ، پارامترهای مجموعه S_2 می‌توانند به وسیله روش حداقل مربعات با تابع هدف کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا، پیدا شوند و تضمین کنند که نقطه بهینه سراسری^۱ را به دست می‌دهند. هنگامی که مقادیر پارامترهای مجموعه S_2 ثابت شدند، پارامترهای مجموعه S_1 با روش کاهش شیب بروز می‌شوند (جانگ، ۱۹۹۷: ۶۰).

با توجه به ساختار ANFIS در نمودار (۱)، اگر مقادیر پارامترهای مقدم ثابت فرض شوند خروجی نهایی می‌تواند به صورت ترکیبی خطی از پارامترهای نتیجه نوشته شود. خروجی نهایی را می‌توان به صورت رابطه (۸) بازنویسی کرد.

1. Global Optimum Point

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100 \quad (11)$$

از آنجایی که RMSE اندازه خطا را نشان می‌دهد، نسبتاً در مقایسه با دیگر معیارها برای تصمیم‌گیران مفیدتر است و به همین خاطر است که نسبت به دیگر معیارها بیشتر به کار می‌رود به طوری که کاملاً در ادبیات موضوع نیز اغلب به چشم دیده می‌شود.

۴- نتایج تحقیق

۴-۱- داده‌های تحقیق

داده‌های مورد نیاز به منظور مقایسه مدل‌های مذکور، شامل سری زمانی تولید ناخالص داخلی ایران^۵ به قیمت پایه سال ۱۳۷۶ از سال ۱۳۳۸ تا ۱۳۹۲ بوده که از پایگاه اینترنتی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گردآوری شده و در هر سه مدل پیش‌بینی دوره ۱۳۸۴-۱۳۳۸ به آموزش و دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۵ به تست مدل‌ها اختصاص داده شده است. برای محاسبه نرخ رشد اقتصادی سالیانه ایران از رابطه (۱۲) استفاده شده است.

$$GGDP = (\log(GDP) - \log(GDP(-1))) \quad (12)$$

همچنین، جهت طراحی مدل ARIMA از نرم‌افزار Eviews6 و طراحی مدل‌های مارکف سوئیچینگ و ANFIS به ترتیب از نرم‌افزارهای OxMetrics6 و Matlab7 استفاده شده است.

۴-۲- آزمون مانایی

در این مطالعه از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی ایران به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶ به عنوان شاخص رشد اقتصادی ایران در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۳۸ استفاده شده است. با توجه به اینکه اولین اصل در کار با داده‌های سری‌زمانی ارزیابی مانایی سری‌زمانی است در ادامه مانایی رشد اقتصادی ایران با استفاده از آزمون‌های دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) و فیلیپس-پرون (PP) مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. چنان که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، هر دو آزمون ADF و PP نشان می‌دهند که متغیر سری‌زمانی رشد تولید ناخالص داخلی ایران در سطح مانا است.

جدول ۲. دو گام موجود در الگوریتم هایبرید برای ANFIS

گام رو به جلو	گام رو به عقب	
پارامترهای مقدم	ثابت	کاهش شیب
پارامترهای نتیجه	برآوردگر حداقل مربعات	ثابت
سیگنال‌ها	خروجی سیگنال‌ها	سیگنال‌های خطا

مأخذ: جانگ (۱۹۹۷: ۶۲)

به طور خلاصه با به‌کارگیری مدل فازی سوگنو به عنوان سیستم استنتاج و ترکیب آن با برآوردگر حداقل مربعات و روش کاهش شیب، ساختار ANFIS برای مدل سازی عصبی-فازی غیرخطی و نیز به منظور پیش‌بینی سری‌های زمانی در دامنه زمان بسیار مناسب است.

۳-۴- معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌های پیش‌بینی

به هنگام مدل‌سازی (برازش) و همچنین پس از فرایند برازش نیاز است تا عملکرد مدل ارزیابی شود. معیارهای خطا نقش بسیار مهمی در کالیبره کردن یا پالایش یک مدل دارند به طوری که با آن می‌توان به درستی برای یک مجموعه از سری‌های زمانی پیش‌بینی کرد. از این معیارهای ارزیابی می‌توان به میانگین قدرمطلق خطا^۱، و جذر میانگین مجموع مربعات خطا^۲ و میانگین قدرمطلق درصد خطا^۳ اشاره کرد (آرمسترونگ و کولوپ^۴، ۱۹۹۲: ۷۵). میانگین قدر مطلق خطا که با MAE نشان داده می‌شود، رابطه (۹) متوسط قدر مطلق خطاها را نشان می‌دهد (آزاده و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۱۷۱).

$$MAE = \frac{\sum |Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (9)$$

جذر میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE) که در رابطه (۱۰) نشان داده شده است میزان خطا به ازای هر مشاهده یعنی میانگین آنها به دست می‌آید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}} \quad (10)$$

میانگین قدرمطلق درصد خطا از جمله معیارهای خطای درصدی است که محبوبیت فراوانی دارد و اخیراً بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. شاید بتوان گفت پر استفاده‌ترین معیار بدون واحد است. این معیار در رابطه (۱۱) با MAPE نشان داده می‌شود (همان، ۲۰۰۸: ۲۱۷۱).

1. Mean Absolute Error
2. Root Mean Square Error
3. Mean Absolute Percentage Error
4. Armstrong & Collopy (1992)

جدول ۳. نتایج آزمون‌های ریشه واحد سری رشد تولید خالص

داخلی ایران

آزمون	عرض از مبدأ	روند	آماره آزمون	P-Value	نتیجه
ADF	++	++	-۳/۹۵	۰/۰۰۳۳	ماناست
PP	++	++	-۳/۹۵	۰/۰۰۳۳	ماناست

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۳-۴- آزمون BDS

با توجه به اینکه این مطالعه مدل خطی ARIMA را با مدل‌های غیر خطی ANFIS و مارکف سوئیچینگ مقایسه می‌کند، ابتدا باید آزمون شود که متغیر نرخ رشد اقتصادی ایران دارای روند خطی است یا غیر خطی، سپس نتایج مدل‌های مختلف بر این اساس مقایسه می‌شود. آزمون BDS^۱ یکی از آزمون‌هایی است که برای بررسی وجود روابط خطی یا غیر خطی در سری‌های زمانی بیشترین کاربرد را دارد. جدول (۴) نتایج این آزمون را برای رشد اقتصادی ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرضیه صفر مبنی بر اینکه رشد اقتصادی ایران دارای روند خطی است رد می‌شود.

جدول ۴. نتایج آزمون BDS سری رشد تولید ناخالص داخلی ایران

Dimension	Prob.	Z-Statistic	Std. Error	BD Statistic
۲	۰/۰۰	۳/۷۵۳	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹۹
۳	۰/۰۰	۳/۵۷	۰/۰۱۷	۰/۰۶۱
۴	۰/۰۰	۴/۲۹۶	۰/۰۲۰	۰/۰۸۸
۵	۰/۰۰	۴/۹۷۹	۰/۰۲۱	۰/۱۰۸
۶	۰/۰۰	۵/۶۰۸	۰/۰۲۱	۰/۱۱۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

یعنی با توجه به نتایج جدول بالا می‌توان گفت رشد اقتصادی ایران تقریباً روند غیر خطی دارد. بنابراین انتظار می‌رود مدل‌های غیر خطی عملکرد مناسب‌تری نسبت به مدل خطی ARIMA در پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران داشته باشند.

۴-۴- نتایج مدل ARIMA

بعد از مرحله آماده سازی داده‌ها به مرحله ساخت مدل می‌رسیم. بنا بر متدولوژی باکس-جنکینز بعد از ایستاسازی داده‌ها، بایستی مقادیر پارامترها را تعیین کرد. برای این کار، با استفاده از چند قانون از روی همبستگی نگار می‌توان مقادیر ممکن پارامترهای p ، q را تعیین کرد. با بررسی نمودار ACF^۲

می‌توان مرتبه ترم‌های MA را تعیین کرد. به طور مشابه از روی نمودار PACF^۳ می‌توان مرتبه ترم‌های AR را تعیین کرد. با توجه به حداکثر مقادیر پارامترهای بالا می‌توان چندین مدل مختلف ایجاد کرد. برای این مدل‌ها باید معیارهای زیر را لحاظ کرد تا مدل‌های مجاز و مناسب برای پیش‌بینی حاصل شوند. این معیارها به صورت: (۱) آماره t هر یک از ترم‌ها (۲) معیارهای انتخاب مدل مثل AIC، SIC، HQ (۳) آماره دوربن-واتسن مدل برای بررسی خودهمبستگی (۴) R^2 تعدیل شده (۵) ایستایی و معکوس‌پذیری ریشه‌های مدل برآورد شده (۶) نرمال بودن سری مانده‌ها با آزمون Normality (۷) خودهمبستگی در سری مانده‌ها با آزمون بروش-گادفری (۸) ناهمسانی واریانس در سری مانده‌ها با آزمون ARCH LM می‌باشند.

لازم به ذکر است که آزمون خودهمبستگی بروش-گادفری از یک چارچوب عمومی تر و بهتری نسبت به آماره دوربن-واتسن برای بررسی خودهمبستگی برخوردار است (راهنمای ایوبوز ۷، ۲۰۰۹، ۱۱۸). اگر در مدلی آماره t یکی از ترم‌های به کار رفته معنی‌دار نباشد یا اگر شرایط ایستایی و معکوس‌پذیری برای ریشه‌های مدل برقرار نباشد، آن مدل حذف می‌شود. سپس برای تمامی مدل‌ها سه آزمون شماره‌های ۶، ۷ و ۸ انجام می‌شود و اگر تمامی آنها در سطح ۵٪ پذیرفته شدند مدل معتبر و قابل انتخاب است. سپس از بین مدل‌ها، بسته به معیارهای آمده در ۲، ۳ و ۴ می‌توان بهترین‌ها را انتخاب کرد. در این مرحله تعداد جملات میانگین متحرک (MA) و خود رگرسیون (AR) با استفاده از توابع ACF و PACF از روش باکس-جنکینز تعیین شده است. بهترین مدل $ARIMA(1,0,1)$ است. آماره آزمون چارک-برا برای جمله باقیمانده خطا مدل برابر $(۰/۶۷۳)$ است. یعنی جمله باقیمانده این مدل توزیع نرمال است. پس از انتخاب بهترین مدل برازش شده در این مرحله رشد تولید ناخالص داخلی ایران برای دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۵ پیش‌بینی شده است. در این مدل برای پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران متغیر مجازی برای سال‌های رشد مثبت مقدار یک و رشد منفی مقدار صفر استفاده شد. جدول (۵) مقادیر واقعی، پیش‌بینی شده و خطای پیش‌بینی توسط مدل $ARIMA(1,0,1)$ را در دوره مورد بررسی نشان می‌دهد.

3. Partial Autocorrelation Functions
4. Breusch-Godfrey

1. Brock, Dechert and Scheinkman
2. Autocorrelation Function

دوم برای تست شبکه (Testing) که در واقع وقتی دقت و خطا شبکه روی داده‌های آموزشی زیاد می‌شود برای جلوگیری از بیش-برازش (ایجاد تصادفی بودن در خط برازش) روی داده‌های تست مقدار خطا رو هم حساب می‌کند و پارامترهای شبکه‌ای که مقدار خطای تست کمتری دارند را به عنوان جواب نهایی انتخاب می‌کند. دسته سوم داده‌های اعتبارسنجی یا داده‌های چک (Checking) نام دارند که برای پیش‌بینی استفاده می‌شوند. مدل مورد استفاده برای آموزش و پیش‌بینی ANFIS یک سامانه استنتاج فازی سوگنو با تابع عضویت ورودی تفاوت دو تابع سیگموئید و توابع خروجی خطی را در یک ساختار عصبی اجرا می‌کند و برای فرایند آموزش از ترکیبی از روش‌های آموزش پس انتشار خطا و حداقل مربعات خطا استفاده می‌کند. بدین ترتیب یک سیستم عصبی فازی طراحی شده است که قابلیت یادگیری دارد و بدین صورت عمل می‌کند که در هر دور آموزش، هنگام حرکت رو به جلو خروجی‌های گره‌ها به صورت عادی تا لایه آخر محاسبه می‌شوند. و سپس پارامترهای نتیجه توسط روش کمترین مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شوند.

در ادامه پس از محاسبه خطا در بازگشت رو به عقب نسبت خطا بر روی پارامترهای شرط، پخش شده و با استفاده از روش شیب نزولی خطا مقدار آنها تصحیح می‌شود. برای مدل‌سازی و آموزش شبکه از طریق تغییر مداوم توابع عضویت مختلف، تعداد توابع عضویت و تعداد وقفه‌های متغیر، از طریق آزمون و خطا شبکه‌ای با سه تابع عضویت تفاوت دو تابع سیگموئید برای ورودی و توابع خطی برای خروجی و یک وقفه از متغیر ساخته شده است. جدول (۷) مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل ANFIS و همچنین خطای پیش‌بینی را نشان می‌دهد.

۴-۷- مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف پیش‌بینی

در این بخش با توجه به نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف در پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران به مقایسه عملکرد این مدل‌ها با استفاده از معیارهای MAE، RMSE و MAPE پرداخته شده است. که نتایج این معیارها در جدول (۸) برای مدل‌های مختلف آورده شده است. همان‌طور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود هر کدام از مقادیر معیارهای مربوط به مدل پیش‌بینی ANFIS کمترین مقدار را دارا می‌باشند بنابراین، این مدل به عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود. نکته قابل توجه دیگر این است که روش مارکف سوئیچینگ اگر چه

جدول ۵. مقادیر واقعی، پیش‌بینی شده و خطای پیش‌بینی مدل

ARIMA(1,0,1)

سال	مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی	خطای پیش‌بینی
۱۳۸۵	۰/۰۶۴۰۴	۰/۰۶۴۹۱	-۰/۰۰۰۸۶
۱۳۸۶	۰/۰۶۴۴	۰/۰۶۵۸	-۰/۰۰۱۳۷
۱۳۸۷	۰/۰۶۰۵۲	۰/۰۶۰۶۵	-۰/۰۰۰۱۲
۱۳۸۸	۰/۰۵۷۰۷	۰/۰۵۷۳۰	-۰/۰۰۰۲۲
۱۳۸۹	۰/۰۵۳۹۹	۰/۰۵۷۹۴	-۰/۰۰۳۹۴
۱۳۹۰	۰/۰۵۱۲۲	۰/۰۵۶۵۱	-۰/۰۰۵۲۸
۱۳۹۱	-۰/۰۶۸	-۰/۰۷۳۲۳	۰/۰۰۵۲۳
۱۳۹۲	-۰/۰۲۲	-۰/۰۴۲۷۷	۰/۰۲۰۷۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۶. مقادیر واقعی، پیش‌بینی شده و خطای پیش‌بینی مدل

مارکف سوئیچینگ MS-AR (3, 1)

سال	مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی	خطای پیش‌بینی
۱۳۸۵	۰/۰۶۴۰۴	۰/۰۶۲۷۹	۰/۰۰۱۲۵
۱۳۸۶	۰/۰۶۴۴	۰/۰۶۳۸۶	۰/۰۰۰۵۶
۱۳۸۷	۰/۰۶۰۵۲	۰/۰۶۲۲۱	-۰/۰۰۱۶۹
۱۳۸۸	۰/۰۵۷۰۷	۰/۰۵۸۴۵	-۰/۰۰۱۳۸
۱۳۸۹	۰/۰۵۳۹۹	۰/۰۵۷۴۶	-۰/۰۰۳۴۷
۱۳۹۰	۰/۰۵۱۲۲	۰/۰۵۴۳۵	-۰/۰۰۳۱۳
۱۳۹۱	-۰/۰۶۸	-۰/۰۵۹۴۳	-۰/۰۰۸۵۶
۱۳۹۲	-۰/۰۲۲	-۰/۰۲۰۳۴	-۰/۰۰۱۶۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۵- نتایج مدل مارکف سوئیچینگ

طبق استراتژی انتخاب مدل که در بخش معرفی روش و مدل تحقیق به آن اشاره گردید مدل بهینه با ۴ وقفه برای متغیر رشد اقتصادی ایران و تعداد انتخاب شده رژیم بهینه نیز ۳ می‌باشد (MS(3)-AR(1)). جدول (۶) نتایج حاصل از تخمین مدل مارکف سوئیچینگ را نشان می‌دهد.

۴-۶- مدل ANFIS

داده‌های مورد استفاده در تحقیق به سه دسته مجزا از هم تفکیک می‌شوند. یک دسته برای آموزش شبکه (Training) که عموماً ۵۰ تا ۸۵ درصد تعداد داده‌ها را شامل می‌شود، دسته

نسبت به روش ARIMA عملکرد بهتری دارد اما نسبت به روش ANFIS عملکرد ضعیف‌تری دارد.

جدول ۷. مقادیر واقعی، پیش‌بینی شده و خطای پیش‌بینی مدل شبکه عصبی-فازی ANFIS

سال	مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی	خطای پیش‌بینی
۱۳۸۵	۰/۰۶۴۰۴	۰/۰۶۳۵۷	۰/۰۰۰۴۷
۱۳۸۶	۰/۰۶۴۴	۰/۰۶۴۶۵	-۰/۰۰۰۲۲
۱۳۸۷	۰/۰۶۰۵۲	۰/۰۶۰۴۳	۰/۰۰۰۰۹
۱۳۸۸	۰/۰۵۷۰۷	۰/۰۵۸۳۰	-۰/۰۰۱۲۲
۱۳۸۹	۰/۰۵۳۹۹	۰/۰۵۴۵۰	-۰/۰۰۰۵۱
۱۳۹۰	۰/۰۵۱۲۲	۰/۰۵۲۳۴	-۰/۰۰۱۱۲
۱۳۹۱	-۰/۰۰۶۸	-۰/۰۰۷۳۸۱	۰/۰۰۵۸۱
۱۳۹۲	-۰/۰۰۲۲	-۰/۰۰۲۷۶۵	۰/۰۰۵۶۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۸. مقایسه عملکرد روش‌های مختلف در پیش‌بینی رشد

اقتصادی ایران

معیار	ARIMA	MS	ANFIS
MAE	۰/۰۰۴۷۲	۰/۰۰۲۷۱	۰/۰۰۱۸۹
RMSE	۰/۰۰۷۹۴	۰/۰۰۳۶۱	۰/۰۰۲۹۳
MAPE	۱۵/۴۷۵۷	۵/۰۸۸۸۶	۵/۱۰۰۰۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۵- بحث و نتیجه‌گیری

داده‌های حساب ملی یکی از مهم‌ترین ابزارهای آماری در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های اقتصادی است. از این رو پیش‌بینی متغیرهای عمده از اهمیت خاصی برخوردار است. رشد اقتصادی از مهم‌ترین متغیرهای اقتصادی است که همواره مورد توجه سیاست‌گذاران بوده و پیش‌بینی آن از اولویت بالایی برخوردار است. از آنجا که پیش‌بینی بر اساس مدل‌های چند متغیر اقتصادسنجی با محدودیت‌های زیادی همراه است، هدف اصلی این مطالعه شناسایی روش مناسب برای پیش‌بینی رشد

منابع

جعفری صمیمی، احمد؛ طهرانچیان، امیرمنصور و قادری، سامان (۱۳۹۳). "اثرات نامتقارن کل‌های پولی دیویژیا بر تورم در ایران: کاربرد روش چرخشی مارکوف". *فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، سال چهارم،

۶- پیشنهادات

با توجه به دقت پیش‌بینی بالاتر الگوریتم پیشنهادی این مطالعه، استفاده از این تکنیک در پیش‌بینی سایر متغیرهای اقتصادی پیشنهاد می‌گردد. نهایتاً پیشنهاد می‌شود روش‌های جدید پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی از جمله روش‌های ترکیبی که هر کدام دارای مزیت‌هایی در پیش‌بینی هستند و امکان پیش‌بینی دقیق‌تر را فراهم می‌کنند، برای مطالعات آتی بیشتر استفاده شود تا شرایط لازم برای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مناسب فراهم شود. با توجه به اینکه متوسط رشد بلندمدت اقتصادی کشور طی سال‌های پس از بازسازی جنگ تحمیلی (سال‌های ۱۳۷۱-۱۳۹۰) ۳/۷ درصد در سال بوده، محاسبات صورت گرفته در مورد عناصر اصلی تشکیل دهنده رشد اقتصادی ایران در بیش از پنج دهه گذشته نشان می‌دهد که رشد موجودی سرمایه، عامل اصلی شکل دهنده رشد اقتصادی کشور بوده است. به گونه‌ای که میزان رشد موجودی سرمایه و رشد اقتصادی بسیار نزدیک به یکدیگر حرکت کرده‌اند. از آنجا که انباشت سرمایه فیزیکی، تقریباً به طور مستمر در حال افزایش بوده است، میزان رشد اقتصادی مثبتی برای کشور به وجود خواهد آورد. بر این اساس پیشنهاد سیاستی بر پایه توجه به مقوله سرمایه‌گذاری و حمایت از بنگاه‌های اقتصادی و تولیدات داخلی می‌باشد.

شماره ۱۶، ۴۰-۲۱.

جهانپان، ناصر (۱۳۸۸). "اسلام و رشد عدالت محور". تهران، سازمان انتشارات پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی، شماره ۱، جلد اول.

- اقتصادی در ایران با استفاده از مدل مارکف سوئیچینگ".
فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی،
سال پنجم، شماره ۱۸، ۳۰-۱۱.
- Abeysinghe, T. (1998). "Forecasting Singapore's Quarterly GDP with Monthly External Trade". *International Journal of Forecasting*, 14(3), 505-513.
- Armstrong, J. S. & Collopy, F. (1992). "Error Measures for Generalizing about Forecasting Methods: Empirical Comparisons". *International Journal of Forecasting*, 8(1), 69-80.
- Azadeh, A., Saberi, M., Ghaderi, S. F., Gitiforouz, A. & Ebrahimipour, V. (2008). "Improved Estimation of Electricity Demand Function by Integration of Fuzzy System and Data Mining Approach". *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2165-2177.
- Baffigi, A., Golinelli, R. & Parigi, G. (2004). "Bridge Models to Forecast the Euro Area GDP". *International Journal of Forecasting*, 20(2), 447-460.
- Banbura, M. & Runstler, G. (2011). "A Look into the Factor Model Black Box: Publication Lags and the Role of Hard and Soft Data in Forecasting GDP". *International Journal of Forecasting*, 27, 333-346.
- Barhoumi, K., Darne, O. & Ferrara, L. (2010). "Are Disaggregate Data Useful for Factor Analysis in Forecasting French GDP". *Journal of Forecasting*, 29(2), 132-144.
- EViews 7 User's Guide II (2009). "Quantitative Micro Software", LLC.
- Gan, W. B. & Wong, F. C. (1993). "A Bayesian Vector-autoregression Model for Forecasting Quarterly GDP". *The Singapore Experience. Singapore Economic Review*, 38(2), 15-34.
- Giovanis, E. (2010). "Application of Adaptive Network-based Fuzzy Inference System in Macroeconomic Variables Forecasting". *World Academy of Science*, قره‌باغیان، مرتضی (۱۳۷۲). "رشد نوین اقتصادی". تهران، خدمات فرهنگی رسا، شماره ۱، جلد دوم.
- مهدیلو، علی؛ صادقی، حسین و عصارای آرانی، عباس (۱۳۹۴). "برآورد تأثیر غیرخطی فرصت‌های رانت‌جویی بر رشد". *Engineering and Technology*, 64, 660-667.
- Hamilton, J. (1989). "A New Approach to The Economic Analysis of Nonstationary Time Series and The Business Cycle". *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 57(2), 357-384.
- Hamzacebi, C. (2008). "Improving Artificial Neural Networks' Performance in Seasonal Time Series Forecasting". *Information Sciences*, 178(23), 4550-4559.
- Hukkinen, J. & Viren, M. (1999). "Assessing the Forecasting Performance of a Macroeconomic Model". *Journal of Policy Modeling*, 21(1), 753-768.
- Jafari-Samimi, A., Shirazi, B. & Fazlollahabbar, H. (2007). "A Comparison between Time Series, Exponential Smoothing and Neural Network Methods to Forecast GDP of Iran". *Iranian Economic Review*, 12(19), 19-35.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T. & Mizutani, E. (1997). "Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence", Prentice Hall.
- Jones, I. C. (1997). "Introduction to Economic Growth". New York: W.W. Norton and Co. First Edition.
- Kang, C. S. A. (1980). "Identification of Autoregressive Integrated Moving Average Time Series". Ph.D. Thesis, Arizona State University.
- Krolzig, H. (1997). "Markov-Switching Vector Autoregressions: Modelling, Statistical Inference, and Application to Business Cycle Analysis". Springer, Berlin.
- Mirbagheri, M. (2010). "Fuzzy-Logic and Neural Network Fuzzy Forecasting of

- Iran GDP Growth”. *African Journal of Business Management*, 4(6), 925-929.
- Pouzols, F. M., Lendasse, A. & Barros, A. B. (2008). “Autoregressive Time Series Prediction by Means of Fuzzy Inference Systems Using Estimation of Electricity Demand Function by Integration of Fuzzy System and Data Mining Approach”. *Energy Conversion and Management*, 49(2), 2165–2177.
- Qin, D., Cegas, M. A., Ducanes, G., Magtibay-Ramos, N. & Quising, P. (2008). “Automatic Leading Indicators versus Macroeconometric Structural Models: A Comparison of Inflation and GDP Growth Forecasting”. *International Journal of Forecasting*, 24(3), 399–413.
- Schumacher, C. (2007). “Forecasting German GDP Using Alternative Factor Models Based on Large Datasets”. *Journal of Forecasting*, 26(1), 271–302.
- Schumacher, C. (2008). “Real-time Forecasting of German GDP Based on a Large Factor Model with Monthly and Quarterly Data”. *International Journal of Forecasting*, 24(3), 386–398.
- Schumacher, C. (2010). “Factor Forecasting Using International Targeted Predictors: The Case of German GDP”. *Economics Letters*, 107(2), 95–98.
- Stock, J. H. & Watson, M. W. (2003). “Forecasting Output and Inflation: the Role of Asset Prices”. *Journal of Economic Literature*, 41(3), 788–829.
- Swanson, N. R. & White, H. (1997). “A Model Selection Approach to Real-Time Macroeconomic Forecasting Using Linear Models and Artificial Neural Networks”. *The Review of Economics and Statistics*, 79(1), 540-550.
- Wang, Ch. (2011). “A Comparison Study between Fuzzy Time Series Model and ARIMA Model for Forecasting Taiwan Export”. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9296–9304.
- Zhang, G. P. & Qi, M. (2005). “Neural Network Forecasting for Seasonal and Trend Time Series”. *European Journal of Operational Research*, 160(2), 501-514.