فصلنامه علمی-پژوهشی
سیاست علم و فناوری

سال هشتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

تخمین سهم فناوری اطلاعات و ارتباطات از تولید ناخالص داخلی ایران با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی

غلامعلی منتظر[۱]*، ابوالقاسم بیات[۲]

۱- دانشیار مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده

طی دهه‌های اخیر، «فناوری اطلاعات و ارتباطات» (فاوا)، به عاملی کلیدی در رشد اقتصادی کشورها تبدیل شده است. این صنعت در اقتصاد ایران نیز دارای جایگاه برجسته‌ای بوده و در اسناد فرادستی مانند سند چشم‌انداز و برنامه پنجم توسعه مورد توجه و تأکید قرار گرفته است. مقاله حاضر کوشیده به منظور ارزیابی نقش فاوا در اقتصاد ایران، تخمینی از سهم آن در تولید ناخالص داخلی ایران طی برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹) ارائه کند. بدین منظور پیش‌بینی ارزش افزوده بخش فاوا و ارزش افزوده کل اقتصاد ایران طی دوره مذکور با سه روش برازش منحنی چندجمله‌ای، آریما و شبکه عصبی مصنوعی مدنظر بوده که برآوردها نشان می‌دهد سهم ارزش افزوده فاوا از تولید ناخالص داخلی ایران طی برنامه ششم بر مبنای سه روش مذکور به ترتیب ٤/٥٧، ٦/١٢ و ٣/٧٧ درصد خواهد بود. همچنین مقایسه میزان خطای روش‌های فوق‌نشان داد که شیوه شبکه عصبی مصنوعی، به‌طور نسبی از کارآیی بیشتری برای این پیش‌بینی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: سهم فاوا، تولید ناخالص داخلی، توسعه فاوا، جامعه اطلاعاتی، سیاست‌گذاری فناوری اطلاعات

۱- مقدمه

امروزه «فناوری اطلاعات و ارتباطات» (فاوا)[1]، عامل مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشورهاست. این صنعت علاوه بر اهمیت ذاتی خود از نظر سهم آن در تولید ناخالص داخلی (GDP) و اشتغال، از نظر تسهیل‌گری و خلق ثروت نیز به یکی از اصلی‌ترین عناصر کسب‌وکار و موتور محرکه سایر بخش‌های جامعه مانند خدمات، تجارت، آموزش و بهداشت تبدیل شده است. امری که به صورت متقابل، سبب غنا و قوام فاوا نیز می‌شود [۱]. بر مبنای گزارش سال ۲۰۱۰ کمیسیون اروپا، در سال ۲۰۰۷ سهم فاوا از تولید ناخالص داخلی کشورهای عضو اتحادیه اروپا برابر پنج درصد (معادل تقریباً ٦٠٠ میلیارد یورو) بوده است. از این مقدار یک درصد به واسطه فعالیت‌های انجام‌گرفته در بخش تولید و چهار درصد متعلق به فعالیت‌های اقتصادی در بخش خدمات بوده است. در همان سال، سهم فاوا در آمریکا از تولید ناخالص داخلی در دو بخش تولیدی و خدماتی به ترتیب برابر با ۱/۳۳ و ۵ درصد و در ژاپن به ترتیب ۲/۹ و ۳/۹۵ درصد بوده است [۲]. برآورد دیگری نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۱، فاوا تأثیری حدود ٦٥٠ میلیارد دلاری در اقتصاد آمریکا داشته که معادل ٤/٣ درصد از GDP این کشور بوده و از مقدار ٣/٤ درصد GDP برای اوایل دهه ۱۹۹۰ به این میزان رسیده است [۳]. در همین سال، کارکنان شاغل در بخش فاوا در آمریکا بیش از

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: montazer@modares.ac.ir

1- Information and Communication Technology (ICT)

۷۸ هزار دلار در سال درآمد داشته‌اند که این رقم به میزان ۷٤ درصد بیش از متوسط دریافتی کل کارگران (٤٥ هزار دلار) در آمریکا بیشتر بوده است. در سال ۲۰۱۱، افزایش دستمزدها در بخش فناوری اطلاعات به تنهایی ۸۹ میلیارد دلار به GDP آمریکا افزوده است [٤]. در اقتصادهای بزرگ (کشورهایی که ۷۰ درصد GDP جهانی را به خود اختصاص داده‌اند) سهم اینترنت در GDP، ۳/٤ درصد است. از سال ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۱، اینترنت به تنهایی عامل ۲۱ درصد رشد GDP در اقتصادهای پیشرو (برزیل، کانادا، چین، فرانسه، آلمان، هند، ایتالیا، ژاپن، کره جنوبی، روسیه، سوئد، بریتانیا و آمریکا) بوده است [٥]. برخی محاسبات نیز نشان می‌دهد که هر ده درصد رشد در سهام سرمایه فاوا کشورها، سبب ۰/٤٥ درصد رشد سالانه GDP می‌شود [٦]. بررسی‌های کارشناسان مجمع جهانی اقتصاد[1] نیز نشان می‌دهد که هر ده درصد دیجیتالی‌شدن جامعه، به مقدار ۰/۷٥ درصد سرانه GDP را افزایش داده و به میزان ۱/۰۲ درصد از میزان بیکاری می‌کاهد [۷].

از سوی دیگر، بین سرمایه‌گذاری در بخش فاوا و رشد اقتصادی همبستگی مثبتی وجود دارد [۸]. برخی محققان نیز دریافته‌اند که توسعه زیرساخت فاوا نقش مهمی در موفقیت همگرایی فناوری[2] به عنوان نیروی محرکه توسعه بهره‌وری و تولید و در نتیجه رشد اقتصادی کشورها داشته است [۹]. ضمن اینکه طی سال‌های ۱۹۹٦ تا ۲۰۰٥ رابطه‌ای قوی بین نفوذ فاوا و رشد اقتصادی کشورها برای مناطق مختلف دنیا مانند آمریکای شمالی و اروپا، خاورمیانه، آفریقا و آسیا دیده شده است [۱۰]. به علاوه نقش فاوا در رشد اقتصادی به صورت چشمگیری افزایش یافته و ارتباط معنی‌داری بین شدت استفاده از فاوا و رشد ارزش افزوده و همچنین بهره‌وری وجود دارد [۱۱]. این صنعت در اقتصاد ایران نیز دارای جایگاه برجسته‌ای است گرچه طبق آمارهای جهانی، تفاوت‌های آشکاری در شدت و کیفیت آن نسبت به اقتصادهای برتر دنیا وجود دارد [۱۲]. در رتبه‌بندی شرکت‌های برتر ایرانی در سال ۱۳۹۲، که توسط سازمان مدیریت صنعتی انجام شده دو شرکت اصلی حوزه فاوا، جزء بیست شرکت برتر کشور بوده‌اند. در این سال شرکت مخابرات ایران با فروش بیش از ۸۹ هزار میلیارد ریال در جایگاه نهم و شرکت ارتباطات سیار ایران با فروش بیش از ٦۱ هزار میلیارد ریال در جایگاه بیستم این رتبه‌بندی قرار گرفته‌اند. از نظر ایجاد ارزش افزوده نیز شرکت مخابرات ایران و شرکت ارتباطات سیار ایران هر یک به ترتیب با ایجاد حدود ٤٤ و ۲٦ هزار میلیارد ریال در رتبه‌های دوم و نهم شرکت‌های برتر کشور قرار داشته‌اند [۱۳]. در پژوهشی دیگر، بهبودی و امیری با بررسی رابطه بلندمدت اقتصاد دانش‌بنیان و رشد اقتصادی در فاصله سالهای ۱۳٤٦ تا ۱۳۸٦، نشان داده‌اند که فاوا به عنوان یکی از عوامل تسهیل‌گر، تأثیر مثبتی بر رشد اقتصادی ایران داشته است [۱٤].

گرچه فاوا در اسناد فرادستی مانند سند چشم‌انداز و برنامه پنجم توسعه نیز مورد توجه و تأکید قرار گرفته اما تاکنون پژوهش چندانی درباره بررسی سهم فاوا در اقتصاد ایران انجام نشده و روش نظام‌مندی برای تخمین سهم فاوا در تولید ناخالص داخلی ایران ارائه نشده است. این تخمین در برنامه‌ریزی راهبردی و حاکمیتی، استخراج برنامه‌های عملیاتی در سطوح اجرایی، اندازه‌گیری موفقیت‌ها و شکست‌ها و درنهایت مقایسه با کشورهای پیشرو یا رقبای منطقه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد.

داده‌های مرکز آمار ایران نشان می‌دهد ارزش افزوده کل اقتصاد ایران (GDP) در خلال سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ بجز سال ۱۳۷٦، همواره از رشد مثبتی برخوردار بوده و از ۲٤۲٥۱۱ میلیارد ریال سال ۱۳۷۰ به ٦۳٦۱۷٥ میلیارد ریال در سال ۱۳۹۰ رسیده است [۱٥]. اما میزان رشد آن در سال‌های مختلف، افت و خیز زیادی داشته است. طبق محاسبات انجام‌شده در این پژوهش، کمترین رشد مثبت آن مربوط به سال ۱۳۸۷ با ۱/٥۳ درصد افزایش و بیشترین رشد مربوط به سال ۱۳۸۱ با ۸/٦۸ درصد افزایش بوده است. میانگین رشد ارزش افزوده کل اقتصاد ایران در خلال سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ برابر ٤/۹٦ درصد بوده است. همچنین طبق داده‌های مرکز آمار ایران، ارزش افزوده بخش فاوا طی همین دوره بجز در سال‌های ۱۳۷٥ و ۱۳۸۳ دارای رشد مثبت بوده و از مقدار ۷۹۱ به ۱٤۱۷۲میلیارد ریال رسیده است (همه ارقام برحسب قیمت‌های پایه سال ۱۳۷٦ هستند). رشد ارزش افزوده بخش

1- World Economic Forum
2- Technological Convergence

فاوا نیز مانند رشد ارزش افزوده کل اقتصاد ایران در سال‌های مختلف، افت‌وخیز زیادی داشته است. کمترین رشد مثبت آن در سال ۱۳۸٤ با ۲/٦۸ درصد و بیشترین رشد آن در سال ۱۳۷٦ و به مقدار ٤٦/٤۹ درصد روی داده است. میانگین رشد ارزش افزوده بخش فاوا در خلال سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ برابر ۱٦/۲۷ درصد یعنی معادل ۳/۲۸ برابر میزان رشد ارزش افزوده کل اقتصاد ایران بوده است. امری که به وضوح اهمیت بخش فاوا در اقتصاد ایران نسبت به سایر بخش‌های اقتصاد را نشان می‌دهد.

برای سنجش عملکرد هر بخش در اقتصاد از مجموع ارزش پولی کالا و خدمات نهایی، از کمیتی به نام «تولید ناخالص داخلی» (GDP) یا «ارزش افزوده تولیدشده» استفاده می‌شود. تولید ناخالص داخلی دربرگیرنده مجموع ارزش کالاها و خدماتی است که طی یک دوره معین (معمولاً یک سال)، در یک کشور تولید می‌شود [۱٦]. بخش فاوا نیز دارای محصولات و خدمات گوناگونی است که با معیارهای متفاوتی اندازه‌گیری می‌شود مانند تعداد کاربران در بخش‌های مختلف تلفن ثابت، تلفن همراه و اینترنت، حجم اینترنت استفاده‌شده، تعداد نرم‌افزارهای تولیدشده و حجم تجارت کالاها و خدمات فاوا. از این‌رو برای اندازه‌گیری اقتصاد بخش فاوا در ایران، محاسبه سهم آن از تولید ناخالص داخلی (GDP) و نیز مقایسه عملکرد بخش فاوا با سایر بخش‌های اقتصاد از ارزش افزوده ایجادشده در بخش فاوا (ICT-VA)[1] استفاده می‌شود.

۲- روش پژوهش

۲-۱ تخمین سهم فاوا با روش برازش منحنی

برازش منحنی[2] یکی از روش‌های پیش‌بینی روند تغییرات توابع در آینده است. در این روش یک تابع بر داده‌های موجود برازش شده و سپس روند تغییرات آینده آن بر مبنای ماهیت تابع برازش‌شده، پیش‌بینی می‌شود. این تابع به فراخور نیاز به شکل چندجمله‌ای، لگاریتمی یا نمایی در نظر گرفته می‌شود [۱۷]. در این مقاله به منظور تخمین سهم ارزش افزوده فاوا در اقتصاد (متغیر وابسته)، در طول سال‌های برنامه ششم توسعه (متغیر مستقل)، از روش برازش منحنی استفاده شده و بدین منظور توابع چندجمله‌ای از درجات مختلف مورد آزمون قرار گرفتند تا مناسب‌ترین تابع برای برازش انتخاب گردد. معیارهایی به منظور ارزیابی و مقایسه کارآیی روش‌های پیش‌بینی سری زمانی پیشنهاد شده که شرح آنها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱) معیارهای ارزیابی کارآیی روش‌ها [۱۸]

معیار	نحوه محاسبه معیار
مجموع مربعات خطاها (SSE)	$SSE = \sum(\hat{y}_t - y_t)^2$
ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}$
میانگین قدرمطلق انحراف‌ها (MAD)	$MAD = \frac{\sum\lvert \hat{y}_t - y_t \rvert}{n}$
درصد میانگین قدرمطلق خطاها (MAPE)	$MAPE = \frac{\sum\lvert \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \rvert}{n}$
ضریب تعیین (R^2)	$R^2 = 1 - \frac{\sum(\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum \hat{y}_t^2}$

در روابط فوق y_t، $\hat{y}_t$ و n به ترتیب مقدار هدف (مشاهده‌شده)، مقدار خروجی از مدل و تعداد مشاهدات هستند. بهترین مقدار برای ضریب تعیین (R^2) برابر یک و برای سایر معیارها صفر است. شرط کاراتربودن یک مدل نسبت به مدل دیگر، بزرگتربودن مقدار ضریب تعیین و کوچک‌تربودن RMSE و MAD نسبت به دیگری است. جدول ۲ مقادیر شاخص‌های ضریب تعیین، مجموع مربعات خطا (SSE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) توابع مختلف چندجمله‌ای مورد آزمون برای برازش منحنی‌های تغییرات ارزش افزوده فاوا (ICT-VA) و ارزش افزوده کل اقتصاد ایران (GDP) طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه این سه شاخص تا حد رضایت‌بخشی، تفاوت توابع منتخب را در روش برازش منحنی نشان می‌دهد از ذکر مقادیر مربوط به دو شاخص دیگر (MAD, MAPE) صرفنظر شده است. همانگونه که در قسمت ارزیابی برازش تابع برای GDP دیده می‌شود توابع درجه سوم و چهارم، دارای ضریب تعیین بالایی هستند اما

1- ICT Value Added
2- Curve Fitting

روند تابع درجه چهارم در بازه پیش‌بینی (سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹) به دلیل گذر از بیشینه نسبی و تغییر علامت، دارای مقدار خروجی منفی است. امری که به وضوح مورد پسند نیست. از این‌رو برای برازش منحنی تغییرات ارزش افزوده کل اقتصاد (GDP) مطابق رابطه (۱) از تابع درجه سوم استفاده می‌کنیم:

$$y = -۳۸٫۸۸۳x^{۳} + ۱۹۷۲٫۲x^{۲} - ۶۱۶۹.x + ۲۶۲۹۸۰$$

(رابطه ۱)

جدول ۲) ارزیابی درجات مختلف از توابع چندجمله‌ای جهت برازش منحنی

متغیر هدف	درجه تابع	R^2	SSE	RMSE
GDP	اول	۰/۹۵۷۹	۱/٤E+۱۰	۲۷٤۱۷
	دوم	۰/۹۸۹۳	۳/٦E+۹	۱٤۲۰۳
	سوم	۰/۹۹۲۱	۲/٦E+۹	۱۲۵۷۷
	چهارم	۰/۹۹۷۰	۱۰۱E+۹	۷۹۸۰
ICT-VA	اول	۰/۸۸۰۲	۳۹۰٦۲۰۰	۱٤۳۳/۸۰
	دوم	۰/۹۸٦۰	٤۵٦۲۱۰۰	۵۰۳/٤۳
	سوم	۰/۹۸۹۵	۳٤۲۵۰۰۰	٤٤۸/۸۵
	چهارم	۰/۹۹۱۳	۲۸٤۵۰۰	٤۲۱/٦۸
	پنجم	۰/۹۹۱٦	۲۷۵٤۳۰۰	٤۲۸/۵۰

در قسمت ارزیابی تابع برازش برای ICT-VA نیز دیده می‌شود که در صورت بکارگیری توابع درجه سوم، چهارم و پنجم، ضریب تعیین افزایش و RMSE و دیگر کمیت‌های خطا کاهش می‌یابند لیکن برای مدل‌های درجه چهارم و پنجم در بازه پیش‌بینی (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹)، توابع شیب مثبت تیزی داشته و مقادیر خروجی آنها به صورت نمایی افزایش می‌یابد. امری که در تضاد با ماهیت توابع در محدوده سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ است. از این‌رو برای برازش منحنی تغییرات ارزش افزوده فاوا (ICT-VA) نیز تابع درجه سوم رابطه (۲) را انتخاب می‌کنیم:

$$y = ۱٫۳۵۱\,x^{۳} + ۵٫۳۶۷۲x^{۲} + ۱۴۹٫۴\,x + ۵۵۳٫۳$$

(رابطه ۲)

۲-۲ تخمین سهم فاوا با روش سری زمانی آریما

هدف از تجزیه و تحلیل سری زمانی، مطالعه ساختار پویای داده‌هاست. رویکرد اساسی در این روش، بررسی الگوی حاکم بر گذشته متغیرها و استفاده از اطلاعات مذکور برای پیش‌بینی رفتار آینده آنها است. به بیان دیگر، در روش سری زمانی برخلاف مدل‌های اقتصادسنجی، پیش‌بینی رفتار یک متغیر با مربوط‌کردن آن به مجموعه‌ای از متغیرهای دیگر و بر اساس یک رابطه علّی صورت نمی‌گیرد بلکه پیش‌بینی صرفاً بر اساس رفتار متغیر در گذشته انجام می‌شود. دسترسی به داده‌های کافی و ترتیب غیرقابل تغییر آنها، از شروط اصلی استفاده از این روش است [۱۹]. مدل «میانگین متحرک انباشته خودهمبسته[1]» (آریما) یک مدل خطی است که طیف وسیعی از سری‌های زمانی را مدل‌سازی می‌کند. در این روش از مقادیر قبلی، خطاهای گذشته و مقدار فعلی برای پیش‌بینی روند داده‌ها در آینده استفاده می‌شود:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^{p} \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^{q} \theta_i \varepsilon_{t-i}$$

(رابطه ۳)

بخش خودهمبسته، نمایانگر اثر داده‌های قبلی در مدل است به این معنا که هر یک از عناصر سری زمانی را می‌توان برحسب تعدادی از مقادیر قبل از آن (Pتا) نوشت φ_1 تا φ_p پارامترهای این بخش هستند. بخش میانگین متحرک نیز اثر خطاهای قبلی را در مدل منعکس می‌کند که از محاسبه خطا در مرحله شناسایی مدل به دست می‌آید. θ_1 تا θ_q و ε_{t-1} تا ε_{t-q} پارامترهای آن بوده و ε_t نیز عنصر اغتشاش یا نوفه سفید[2] مدل است. نوفه سفید مجموعه‌ای کاملاً تصادفی و مستقل از زمان است که «توزیع مستقل همسان[3]»، با میانگین صفر و واریانس σ^2 دارد و از الگو یا ساختار خاصی پیروی نمی‌کند و بنابراین نمی‌توان رفتار گذشته آن را به آینده‌اش تعمیم داد. شوک‌های سیاسی و پلاک خودروهای عبوری از یک خیابان مثال‌هایی از نوفه سفید هستند. برخی نویسندگان برای سادگی، عنصر خطا را حذف می‌کنند. c نیز مقدار ثابت سری زمانی آریما است.

مدل آریما در حالت کلی به صورت ARIMA(p,d,q) نوشته و با سه پارامتر p، d و q شناخته می‌شود. p و q به ترتیب مرتبه دو بخش خودهمبسته و میانگین متحرک بوده و d نیز بیانگر مرتبه تفاضل‌گیری است. تفاضل‌گیری به منظور

1- Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)
2- White Noise
3- Identically Independently Distributed

ایستانمودن مدل انجام می‌شود. مدل‌سازی در روش آریما شامل مراحل زیر است:

الف- شناسایی مدل[1]: این مرحله شامل تجزیه و تحلیل داده‌ها و پیش‌پردازش آنها در صورت لزوم است. اصولاً نمی‌توان از این مدل برای پیش‌بینی هر مجموعه دلخواهی از داده‌ها استفاده کرد و برای اینکار داده‌ها باید دارای برخی ویژگی‌ها باشند. مثلاً اگر داده‌ها ایستا (مانا) نباشند می‌توان با انجام برخی پیش‌پردازش‌ها مانند آزمون دیکی‌فولر[2] یا ترسیم نمودار تابع همبستگی[3] و تابع همبستگی جزئی[4]، آنها را ایستا کرد تا حائز شرایط لازم برای مدل آریما شوند. البته می‌توان با نتایجی که در مرحله بعد به دست می‌آید در این مدل تجدیدنظر و در نهایت یک مدل اولیه با ضرایب p، d و q ایجاد کرد.

ب- تخمین و بازبینی تشخیصی[5]: در این مرحله، داده‌های اصلی بر مدل یا مدل‌های آزمایشی ایجادشده در مرحله پیشین، برازش شده و پارامترهای مجهول آنها مانند θ_i، φ_i و تابع اغتشاش تعیین می‌شود. پس از آن با آزمون‌های آماری، رضایت‌بخش بودن مدل، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. چنانچه در این مرحله مدل انتخاب‌شده رضایت‌بخش تشخیص داده نشود بار دیگر مراحل اول و دوم تکرار می‌شوند. این گام در واقع مشابه مرحله آموزش در روش شبکه عصبی مصنوعی است.

ج- پیش‌بینی[6]: در این مرحله با بهره‌گیری از مدل طراحی‌شده در گام‌های قبل، روند آینده سری زمانی پیش‌بینی می‌شود [۲۰].

جداول ۳ و ٤ به ترتیب ویژگی‌های مدل و مقادیر شاخص‌های ارزیابی کفایت مدل‌های سری زمانی تخمین دو متغیر GDP (ارزش افزوده کل اقتصاد) و ICT-VA (ارزش افزوده فاوا) را نشان می‌دهند.

با توجه با نتایج تخمین، ملاحظه می‌شود که مدل آریما تا حد قابل قبولی، تغییرات متغیرهای مورد بررسی را توضیح می‌دهد و از این‌رو می‌توان با بهره‌گیری از این مدل، رفتار آینده متغیرهای هدف مطالعه را پیش‌بینی کرد. در نهایت پس از انجام آزمون‌های لازم، مدل آریمای هر دو کمیت GDP و ICT-VA به صورت ARIMA(1,1,0) در نظر گرفته شد.

۲-۳ تخمین سهم فاوا با روش شبکه عصبی مصنوعی

در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی[7] به دلیل توانایی توانایی در پردازش موازی، هوشمندی و انعطاف‌پذیری، جای خود را در پژوهش‌های اقتصادی بازکرده‌اند. مهم‌ترین ویژگی این روش، عدم نیاز آن به اعمال مفروضات آماری خاص درباره رفتار متغیرها مانند هنجار بودن تابع توزیع احتمال یا مانا بودن تغییرات سری‌ها است. از آنجا که اکثر سری‌های زمانی غیرخطی هستند بهره‌گیری از روش شبکه عصبی مصنوعی توانایی الگوسازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی را افزایش می‌دهد. گرچه الگوهای شبکه عصبی مصنوعی مستقل از مفاهیم و مفروضات نظری هستند ولی متغیرهای ورودی آنها بر اساس پایه‌های نظری تعیین می‌گردد [۱۸].

جدول ۳) برازش مدل‌های سری زمانی برای تخمین متغیرهای GDP و ICT-VA

متغیر هدف	پارامتر مدل	اثر	آماره t	نتیجه
GDP	عرض از مبدأ	۲۱٤۹۸۲۱	۰/۳۰	معنی‌دار نیست
	ضریب AR(1)	۰/۹۹	۲۵/۵۰	معنی‌دار در سطح ۰/۰۱
ICT-VA	عرض از مبدأ	-٦۹٦/٦۷	۰/٥٤	معنی‌دار نیست
	ضریب AR(1)	۱/۱۳	٤٥/٦٦	معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

جدول ٤) شاخص‌های ارزیابی کفایت مدل‌های سری زمانی برای تخمین متغیرهای GDP و ICT-VA

متغیر هدف	شاخص	مقدار	نتیجه
GDP	ضریب تعیین	۰/۹۸	۹۸٪ تغییرات متغیر هدف توسط مدل قابل توضیح است
	آماره F	۱۲٥۹/٥۷	برازش مدل قابل قبول است
ICT-VA	ضریب تعیین	۰/۹۹	۹۹٪ تغییرات متغیر هدف توسط مدل قابل توضیح است
	آماره F	۲۰۸٤/۸٤	برازش مدل قابل قبول است

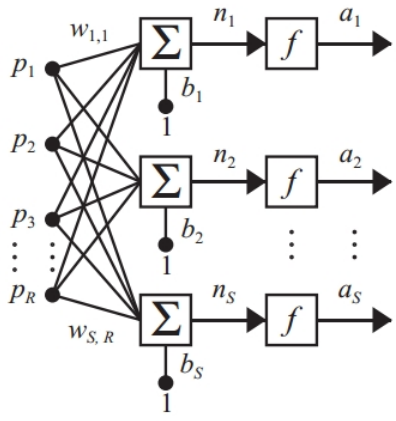
1- Identification
2- Dicky Fuller
3- Autocorrelation function (ACF)
4- Partial Autocorrelation Function (PACF)
5- Estimation and Diagnostic Checking
6- Forecast
7- Artificial Neural Network (ANN)

برخی پژوهشگران بر این باورند که شبکه‌های عصبی نسبت به روش سری‌های زمانی، از قدرت رهگیری و درون‌یابی بالا و خطای کم‌تر برای پیش‌بینی متغیر هدف برخوردار هستند [۲۱]. قدیمی و مشیری نشان دادند که استفاده از مدل شبکه عصبی در مقایسه با یک مدل رگرسیون خطی از کارآیی بیشتری در پیش‌بینی نرخ رشد اقتصادی ایران برخوردار است [۲۲]. مرزبان و دیگران نیز دریافتند که مدل‌های غیرخطی مانند شبکه عصبی در مقایسه با مدل‌های خطی مانند مدل‌های خطی اقتصادسنجی ساختاری و سری زمانی، از قدرت بیشتری در زمینه پیش‌بینی نرخ ارز برخوردار هستند [۲۳]. تحقیق مشابه دیگری در زمینه ارز نیز همین نتایج را نشان داده است [۲٤]. اشاره به این نکته ضروری است که شبکه‌های عصبی به رغم توانایی در مدل‌سازی روابط غیرخطی، قادر به تفسیر و توضیح روابط بین متغیرها یا تعیین سهم هر یک از متغیرها در تغییرات متغیر هدف نیستند. به علاوه استفاده از این روش در شرایطی که روابط بین متغیرها خطی باشد نتایج بهتری در مقایسه با سایر روش‌های تخمین به دست نمی‌دهد [۱۸].

مبنای نظری حل مسائل به روش شبکه عصبی، بهره‌گیری از تعداد زیادی ارتباط داخلی بین عناصری به نام نرون[1] است [۲۵]. شکل ۱ ساختار یک شبکه دارای چند ورودی را نشان می‌دهد. خروجی هر نرون (a) برحسب مقدار ورودی (p)، مقدار بایاس (b) و مقدار وزنی نرون (w) برابر است با:

$$a = f(wp + b)$$

(رابطه ٤)



شکل ۱) نمای یک شبکه عصبی تک‌لایه با چند ورودی [۲٤]

بایاس b با ورودی‌های وزن‌دار[2] جمع شده و در نهایت خروجی خالص نرون (n) را ایجاد می‌کند . مقدار خروجی واقعی نرون (a) به تابع فعالیت[3] (f) بستگی دارد که بر حسب نیاز می‌توان آن را خطی یا غیرخطی انتخاب کرد [۲۵].

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \ldots + w_{1,R}p_R + b$$

(رابطه ۵)

و در آن R تعداد ورودی به نرون است. رابطه (۵) را می‌توان به صورت زیر به شکل ماتریسی نیز نوشت:

$$n = \mathbf{W}\mathbf{p} + b$$

(رابطه ٦)

ماتریس وزن **W** برای حالت تک‌نرونی تنها یک سطر دارد. اکنون می‌توان خروجی نرون را به صورت زیر نوشت:

$$a = f(\mathbf{W}\mathbf{p} + b)$$

(رابطه ۷)

شبکه‌های عصبی به فراخور نیاز، تعداد لایه‌های متفاوتی دارند و انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و نرون‌های ورودی، کارآیی شبکه را در حل مسأله افزایش می‌دهد. هرچه پیچیدگی تابع و نقاط عطف آن بیشتر باشد تعداد نرون‌های بیشتری در لایه میانی مورد نیاز است. در این مقاله از یک نوع شبکه عصبی به نام «پیش‌خور پس‌انتشار خطا[4]» دولایه استفاده شده است. «پیش‌خور» به این معنی است که مقدار پارامتر خروجی بر اساس پارامترهای ورودی و مجموعه‌ای از وزن‌های اولیه تعیین می‌شود. مقادیر ورودی با یکدیگر ترکیب شده و در لایه‌های پنهان استفاده می‌شوند. مقادیر این لایه‌های پنهان نیز برای محاسبه مقادیر خروجی ترکیب می‌شوند. در روش پس‌انتشار خطا[5]، خطای شبکه از طریق مقایسه تفاوت بین مقدار خروجی با مقدار مدنظر در داده‌های آموزش محاسبه می‌گردد. با بهره‌گیری از مقدار خطای به دست آمده، تغییر وزن نرون‌ها از لایه خروجی به سمت لایه ورودی انجام می‌شود. از آنجا که این توزیع برای اصلاح رفتار شبکه در خلاف مسیر ارتباط وزنی صورت می‌پذیرد به آن «پس‌انتشار» گفته می‌شود [۲٦].

1- Neuron

2- Weighted inputs
3- Activity function
4- Feed Forward Back Propagation
5- Backpropagation

در فرآیند آموزش، هر داده به عنوان ورودی به شبکه اعمال شده و سپس خروجی شبکه با استفاده از توابع و الگوریتم انتخابی، محاسبه و با خروجی مطلوب[1] مقایسه می‌گردد. این امر به دفعات، انجام شده و پس از اعمال هر ورودی، وزن‌های شبکه، اصلاح و روزآمد می‌شود. اجرای کامل فرآیند فوق برای همه داده‌های آموزش یک «چرخه یادگیری[2]» نام دارد. بعد از هر چرخه، میانگین مربعات خطاها (MSE) محاسبه و با مقدار هدف مقایسه می‌شود. از آنجا که تعداد پارامترها در شبکه‌های عصبی زیاد است محاسبات این شبکه‌ها برای حصول مقادیر بهینه، عموماً وقت‌گیر هستند؛ از این‌رو برای مدیریت فرآیند آموزش شبکه، چند محدودیت تعریف می‌شود:

- زمان
- گرادیان خطا[3]
- کارآیی[4] (میانگین مربعات خطای آموزش شبکه)
- تعداد چرخه آموزش (بیشینه تعداد تکرار مجاز در فرآیند کامل آموزش، مثلاً ۱۰۰۰ بار)

دستیابی زودتر شبکه به هر یک از محدودیت‌های تعیین‌شده، منجر به توقف فرآیند آموزش در شبکه می‌شود. پس از انجام موفقیت‌آمیز مرحله یادگیری، شبکه آموزش‌دیده قادر خواهد بود در صورت مواجهه با یک ورودی جدید، خروجی مناسبی از خود ارائه دهد [۲۷]. یکی از مشکلات شبکه‌های عصبی، افتادن در دام «ورآموزی[5]» است. بـدین معنا که شبکه به جای یادگیری رابطه بین داده‌های ورودی و خروجی، تنها داده‌ها را «حفظ» می‌کند و به همین دلیل نمی‌تواند در مواجهه با داده‌ای که قبلاً آموزش آن را ندیده، خروجی مناسبی ارائه دهد. برای جلوگیری از بروز ورآموزی و افزایش قابلیت شبکه، شبکه طراحی‌شده را علاوه بر داده‌های آموزش، با داده‌های آزمون نیز سنجیده و روند تغییر خطا را بررسی می‌کنند [۲۸].

در تحقیق مذکور به هنگام اجرای شبکه عصبی، داده‌ها به سه بخش تقسیم شدند: مجموعه آموزش[6] شامل ۷۰ درصد داده‌ها، مجموعه اعتبارسنجی[7] شامل ۱۵ درصد داده‌ها و مجموعه آزمون[8] نیز شامل ۱۵ درصد داده‌ها. تقسیم داده‌ها به صورت اتفاقی[9] صورت پذیرفت. برای بهینه‌سازی از الگوریتم الگوریتم لونبرگ–مارکوارت[10] و برای سنجش کارآیی شبکه نیز از میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است. جدول ۵ شاخص‌های مربوط به تعدادی از شبکه‌های عصبی آموزش‌دیده برای پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد (GDP) و ارزش افزوده فاوا (ICT-VA) را نشان می‌دهد. تعداد نرون در لایه ورودی، ضریب تعیین (R^2) و کارآیی شبکه (ریشه میانگین مربعات خطاهای شبکه: RMSE) از شاخص‌های درج‌شده در این جدول هستند. فرآیند آموزش برای هر دو کمیت GDP و ICT-VA نشان داد که کارآیی شبکه با سه نرون در لایه ورودی، بهتر از حالت‌هایی است که از پنج یا هفت نرون استفاده شود.

جدول ۵) شاخص‌های شبکه‌های عصبی منتخب برای تخمین GDP و ICT-VA

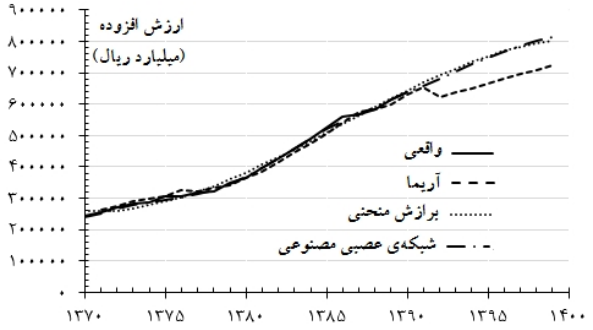
متغیر هدف	شاخص		
	تعداد نرون در لایه ورودی	کارآیی شبکه (RMSE)	ضریب تعیین (R^2)
GDP	۳	۲۲۶۹	۰/۹۹۹۳
	۳	۲۶۳٤	۰/۹۹۹۳
	۳	۳۱۹۳	۰/۹۹۹٤
	۵	۳۱۲۷	۰/۹۹۹۳
	۵	٤۷۲۲	۰/۹۹۹۰
	۵	۹۱۲۱	۰/۹۹۰۰
	۷	۲۵۷۲	۰/۹۹۹۷
	۷	۳۰۳۸	۰/۹۸۸۷
	۷	۳۰٤۹	۰/۹۹۳۲
ICT-VA	۳	۲۱٦	۰/۹۹۷۳
	۳	۳٦٤	۰/۹۹۵٦
	۳	٤۱۲	۰/۹۹۳۵
	۵	۲۷٤	۰/۵٦۳۷
	۵	۲۷۵	۰/۹۹۲۰
	۵	٤۰۹	۰/۹۹٤۵
	۷	۲۲٤	۰/۹۸۰۵
	۷	۲٤۸	۰/۹۹۱۰
	۷	۲٤۹	۰/۹۹۷۵

1- Target
2- Epoch
3- Error Gradient
4- Performance
5- Overlearning
6- Training
7- Validation
8- Test
9- Random
10- Levenberg-Marquardt

شاخص‌های شبکه‌های عصبی ردیف اول (GDP) در جدول ۵ این موضوع را نشان می‌دهند. افزایش نرون، سبب همگراشدن خروجی شبکه به مقادیر مشخص و مسطح‌شدن منحنی تابع شده و این نتیجه برای ICT-VA نیز صادق است. پس از انتخاب یک شبکه با سه نرون، فرآیند آموزش بارها تکرار گردید تا شبکه بهینه به دست آید. برای اطمینان از درستی عملکرد شبکه‌های عصبی منتخب، روند آموزش در هر یک از شبکه‌ها به صورت دستی نیز مورد آزمون قرار گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از شبکه آموزش‌دیده منتخب، پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد و ارزش افزوده فاوا برای دوره مورد نظر (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹) انجام پذیرفت.

۳- نتایج پژوهش

جدول ٦ مقادیر پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد (GDP) و ارزش افزوده فاوا (ICT-VA) را برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ و به قیمت‌های پایه سال ۱۳۷٦ (بر حسب میلیارد ریال) با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد. نمودارهای مقادیر واقعی و پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد (GDP) در فاصله سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی در شکل ۲ رسم شده است. مشاهده می‌گردد که مقادیر پیش‌بینی‌شده ارزش افزوده کل اقتصاد توسط روش‌های شبکه عصبی و برازش منحنی به یکدیگر نزدیک هستند. اما روش آریما در بازه زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹ مقادیر کوچک‌تری را برای این کمیت پیش‌بینی می‌کند.

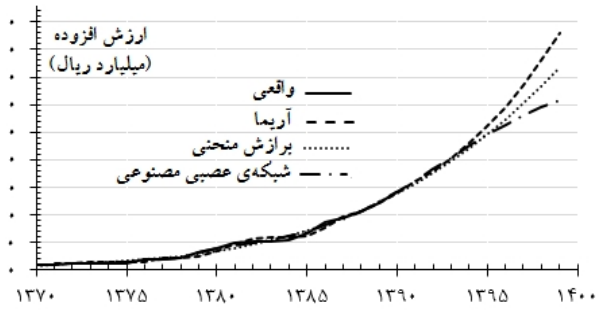


شکل ۲) نمودار پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی

در شکل ۳ نیز نمودارهای مقادیر واقعی و پیش‌بینی ارزش افزوده فاوا (ICT-VA) در فاصله سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹ با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی رسم شده است. ملاحظه می‌شود که در بازه زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹ روش‌های آریما، برازش منحنی و شبکه عصبی به ترتیب بیشترین تا کمترین مقدار را برای ارزش افزوده فاوا پیش‌بینی می‌کنند. جدول ۷ نیز پیش‌بینی درصد سهم ارزش افزوده فاوا از کل اقتصاد را در خلال سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی نشان می‌دهد.

جدول ٦) مقادیر پیش‌بینی‌شده برای کمیت‌های مدنظر به روش برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی (میلیارد ریال)

روش تخمین	سال	GDP	ICT-VA
برازش منحنی	۱۳۹۱	٦٦٨۰۰۰	۱٥٦۰۰
	۱۳۹۲	٦۹۱۰۰۰	۱۷٦۰۰
	۱۳۹۳	۷۱۳۰۰۰	۱۹۷۰۰
	۱۳۹٤	۷۳٤۰۰۰	۲۲۰۰۰
	۱۳۹٥	۷٥۲۰۰۰	۲٤٦۰۰
	۱۳۹٦	۷٦۹۰۰۰	۲۷۳۰۰
	۱۳۹۷	۷۸۳۰۰۰	۳۰۲۰۰
	۱۳۹۸	۷۹٤۰۰۰	۳۳۳۰۰
	۱۳۹۹	۸۰۳۰۰۰	۳٦۷۰۰
آریما	۱۳۹۱	٦٥٤۱٦۸	۱٦۰۳٥
	۱۳۹۲	٦۲۱۱۰۷	۱۷۸۹٤
	۱۳۹۳	٦۳٦۱۹۸	۲۰۳۱۳
	۱۳۹٤	٦٥۱۱۳۹	۲۳۰٤٦
	۱۳۹٥	٦٦٥۹۳۳	۲٦۱۳٤
	۱۳۹٦	٦۸۰٥۸۱	۲۹٦۲٤
	۱۳۹۷	٦۹٥۰۸٥	۳۳٥٦۹
	۱۳۹۸	۷۰۹٤٤٥	۳۸۰۲۷
	۱۳۹۹	۷۲۳٦٦۳	٤۳۰٦٤
شبکه عصبی مصنوعی	۱۳۹۱	٦٥۸٥۱۰	۱٦۰۹۰
	۱۳۹۲	٦۸۱٤۱۰	۱۸۱۹۷
	۱۳۹۳	۷۰٤۲۱۰	۲۰۳٤٤
	۱۳۹٤	۷۲٦٤۱۰	۲۲٤٥۷
	۱۳۹٥	۷٤۷٤۸۰	۲٤٤٦۸
	۱۳۹٦	۷٦٦۹٦۰	۲٦۳۲۱
	۱۳۹۷	۷۸٤٥۲۰	۲۷۹۷۸
	۱۳۹۸	۷۹۹۹۸۰	۲۹٤۲۰
	۱۳۹۹	۸۱۳۳۱۰	۳۰٦٤۷

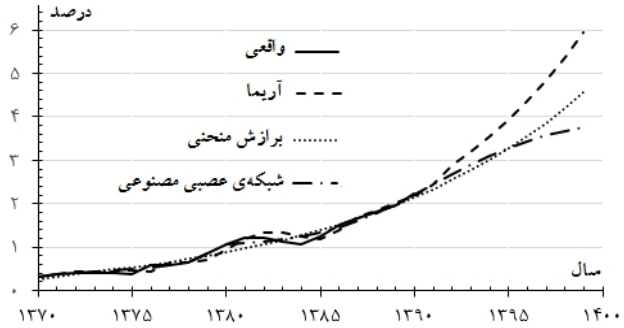


شکل ۳) نمودار پیش‌بینی ارزش افزوده فاوا با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۷) برآورد سهم فاوا با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی طی برنامه‌های پنجم و ششم توسعه

عنوان برنامه	سال	روش تخمین		
		برازش منحنی	آریما	شبکه عصبی مصنوعی
برنامه پنجم	۱۳۹۰	۲/۲۰	۲/۲۰	۲/۲۰
	۱۳۹۱	۲/۳۳	۲/۵٤	۲/٤٤
	۱۳۹۲	۲/۵٤	۲/۸۱	۲/٦۷
	۱۳۹۳	۲/۷٦	۳/۱۱	۲/۸۹
	۱۳۹٤	۲/۹۹	۳/۵۲	۳/۰۹
	میانگین	۲/۵٦	۲/۸٤	۲/٦٦
برنامه ششم	۱۳۹۵	۳/۲۷	۳/۹۲	۳/۲۷
	۱۳۹٦	۳/۵۵	٤/۳۵	۳/٤۳
	۱۳۹۷	۳/۸۵	٤/۸۲	۳/۵۷
	۱۳۹۸	٤/۱۹	۵/۳٦	۳/٦۷
	۱۳۹۹	٤/۵۷	۵/۹۵	۳/۷۷
	میانگین	۳/۸۹	٤/۸۸	۳/۵٤

نمودارهای مقادیر واقعی و پیش‌بینی میزان سهم (درصد) ارزش افزوده فاوا از کل اقتصاد با بهره‌گیری از سه روش فوق در شکل ٤ رسم شده است. همچنان که ملاحظه می‌شود روش آریما نسبت به روش‌های برازش منحنی و شبکه عصبی سهم بیشتری را برای ارزش افزوده فاوا از ارزش افزوده کل اقتصاد پیش‌بینی می‌کند. ضمن اینکه بر مبنای روش برازش منحنی، سهم ارزش افزوده بخش فاوا از ارزش افزوده کل اقتصاد ایران از مقدار ۲/۲۰ درصد در سال شروع برنامه پنجم توسعه (۱۳۹۰) با رشدی مثبت به ۲/۳۳، ۲/۵٤ و ۲/۷٦ درصد برای سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ رسیده است.



شکل ٤) نمودار پیش‌بینی سهم فاوا در کل اقتصاد ایران با روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی

پیش‌بینی می‌شود این مقدار در سال پایانی برنامه پنجم توسعه (۱۳۹٤) تا میزان ۲/۹۹ درصد افزایش یابد. به این ترتیب میانگین سهم بخش فاوا در طول سال‌های برنامه پنجم توسعه، حدود ۲/۵٦ درصد پیش‌بینی می‌شود. همچنین پیش‌بینی می‌شود سهم بخش فاوا از مقدار ۳/۲۷ درصد در کل اقتصاد ایران برای سال شروع برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵) به مقدار ٤/۵۷ در سال پایانی برنامه (۱۳۹۹) برسد. بدین ترتیب بر مبنای روش برازش منحنی، میانگین سهم بخش فاوا در طول سال‌های برنامه ششم توسعه ایران، حدود ۳/۸۹ درصد پیش‌بینی شده است.

همچنین بر مبنای روش آریما سهم ارزش افزوده بخش فاوا از ارزش افزوده کل اقتصاد ایران از مقدار ۲/۲۰ درصد در سال آغازین برنامه پنجم (۱۳۹۰) با رشدی مثبت به ۳/۵۲ درصد در سال پایانی برنامه (۱۳۹٤) رسیده است. به این ترتیب میانگین سهم بخش فاوا در طول سال‌های برنامه پنجم توسعه، حدود ۲/۸٤ درصد پیش‌بینی می‌شود. همچنین برآورد می‌شود سهم بخش فاوا از مقدار ۳/۹۲ درصد کل اقتصاد ایران در سال شروع برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵) به مقدار ۵/۹۵ در سال پایانی برنامه (۱۳۹۹) برسد. بدین ترتیب بر مبنای روش آریما، میانگین سهم بخش فاوا در طول سال‌های برنامه ششم توسعه حدود ٤/۸۸ درصد پیش‌بینی می‌شود.

بر مبنای روش شبکه عصبی سهم ارزش افزوده بخش فاوا از ارزش افزوده کل اقتصاد ایران از مقدار ۲/۲۰ در سال شروع برنامه پنجم (۱۳۹۰) به ترتیب به ۲/٤٤، ۲/٦۷ و ۲/۸۹ در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ رسیده است. پیش‌بینی می‌شود این مقدار در سال پایانی برنامه پنجم توسعه (۱۳۹٤) تا میزان ۳/۰۹ افزایش یابد. به این ترتیب میانگین سهم بخش فاوا در

طول سال‌های برنامه پنجم توسعه، حدود ۲/٦٦ درصد پیش‌بینی می‌شود. همچنین پیش‌بینی می‌شود سهم بخش فاوا از مقدار ۳/۲۷ درصد کل اقتصاد ایران در سال شروع برنامه ششم توسعه (۱۳۹۵) به مقدار ۳/۷۷ در سال پایانی برنامه (۱۳۹۹) برسد. بدین ترتیب بر مبنای روش شبکه عصبی، میانگین سهم بخش فاوا از ارزش افزوده کل اقتصاد ایران در طول سال‌های برنامه ششم توسعه حدود ۳/٥٤ درصد پیش‌بینی می‌شود.

٤- مقایسه روش‌ها

برای انتخاب روش بهینه تخمین سهم فاوا، باید معیارهای خطای تخمین در سه روش فوق را با یکدیگر مقایسه کنیم. جدول ۸ ضریب تعیین (R^2) و شاخص‌های خطای سه روش آریما، برازش منحنی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد (GDP) و ارزش افزوده فاوا (ICT-VA) را نشان می‌دهد.

جدول ۸) مقایسه شاخص‌های سه روش شبکه عصبی، برازش منحنی و آریما در پیش‌بینی مقادیر GDP و ICT-VA

متغیر هدف	شاخص	روش تخمین		
		آریما	برازش منحنی	شبکه عصبی
GDP	R^2	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۲۱	۰/۹۹۹۳
	RMSE	۱۵۳۰۲	۱۲۵۷۷	٤٤٢٤
	MAPE	۰/۰۲٦٦٢٦	۰/۰۲٦٦٢۰	۰/۰۰۹۱۷
	MAD	۱۱٤۱٥	۹٥۱٥	۳٥۳۱
	RMSE/MAD	۱/۳٤	۱/۳۲	۱/۲٥
ICT-VA	R^2	۰/۹۹٦٤	۰/۹۸۹٥	۰/۹۹۷۳
	RMSE	٤۱٤	٤٤۹	۲۱٦
	MAPE	۰/۰۹۱۸۱۳	۰/۰۹٤۹۸٦	۰/۰٥۲۲۷
	MAD	۳۲۷	۳۰۳	۱۹۳
	RMSE/MAD	۱/۲٦	۱/٤۸	۱/۲۰

همانطور که در ارزیابی کارآیی روش‌های تخمین سری‌های زمانی (جدول ۱) دیدیم بهترین مقدار برای ضریب تعیین (R^2) برابر ۱ و برای سایر معیارها صفر می‌باشد. شرط کاراتربودن یک روش نسبت به روش دیگر، بزرگتربودن مقدار ضریب تعیین (R^2) و کوچکتربودن کمیت حاصل از تقسیم RMSE و MAD برای آن نسبت به دیگری است. با نگاهی به جدول ۸ دیده می‌شود که روش شبکه عصبی حائز هر دو شرط فوق است. اگر چه ضریب تعیین شبکه عصبی چندان بزرگتر از ضریب تعیین دو روش دیگر نیست اما معیارهای RMSE، MAPE و MAD به صورت بارزی از مقادیر متناظر در دو روش دیگر کوچک‌تر است. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت روش شبکه عصبی در مقاله حاضر توانسته است تخمین بهتری برای سهم فاوا از اقتصاد ایران در خلال سال‌های برنامه‌های پنجم و ششم توسعه ارائه کند. البته توانایی شبکه عصبی در پیش‌بینی سهم فاوا در اقتصاد ایران در مقاله حاضر، امری نسبی است زیرا اولاً مقدار ضریب تعیین (R^2) برای هر سه روش تقریباً در یک محدوده قرار دارد (۰/۹۹۲۱ تا ۰/۹۹۹۳ برای پیش‌بینی کل اقتصاد و ۰/۹۸۹٥ تا ۰/۹۹۷۳ برای پیش‌بینی فاوا)؛ ثانیاً اختلاف کارآیی (حاصل تقسیم RMSE بر MAD) شبکه عصبی نسبت به روش‌های برازش منحنی و آریما چندان بامعنی نیست.

جدول ۹) مقایسه کارآیی روش شبکه عصبی با روش‌های برازش منحنی و آریما

متغیر هدف	روش تخمین	کارآیی (RMSE/MAD)	اختلاف کارآیی با شبکه عصبی	میزان اختلاف کارآیی با شبکه عصبی
GDP	آریما	۱/۳٤	-۰/۰۹	-۷/۲
	برازش منحنی	۱/۳۲	-۰/۰۷	-٥/٦
ICT-VA	آریما	۱/۲٦	-۰/۰٦	-٥/۰
	برازش منحنی	۱/٤۸	-۰/۲۸	-۲۳

کارآیی روش شبکه عصبی نسبت به روش‌های برازش منحنی و آریما بر مبنای نسبت حاصل از تقسیم RMSE و MAD آنها، در پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد و فاوا در جدول ۹ مقایسه شده است. در پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد، کارآیی شبکه عصبی به ترتیب ۷/۲ و ٥/٦ درصد بیشتر از روش‌های آریما و برازش منحنی است. در پیش‌بینی ارزش افزوده فاوا، کارآیی شبکه عصبی ٥ درصد بیشتر از آریما است که این اختلاف برای روش برازش منحنی به ۲۳ درصد رسیده است. از این‌رو دیده می‌شود که کارآیی شبکه عصبی

در پیش‌بینی ارزش افزوده کل اقتصاد، فاقد برتری بارزی نسبت به دو روش دیگر است. گرچه این امر در مورد پیش‌بینی ارزش افزوده فاوا هم صادق است اما کارآیی شبکه عصبی برای پیش‌بینی ارزش افزوده فاوا به نحو چشم‌گیری بیش از روش برازش منحنی است.

دلیل این مسأله شاید فقدان داده‌ای باشد که با آن مواجه هستیم. زیرا روش‌های سری زمانی و شبکه عصبی بر خلاف روش‌های بهره‌مند از مدل‌سازی اقتصادی، مبتنی بر داده هستند و در دسترس داشتن حجم مناسبی از داده‌ها می‌تواند کمک مؤثری در بهینه‌سازی پیش‌بینی‌ها کند. در روش‌های شبکه عصبی همانند روش‌های سری زمانی، گرچه از تبیین رابطه بین متغیرهای اقتصادی بی‌نیاز هستیم اما آموزش مناسب شبکه برای استخراج روند تغییرات پویای داده‌ها نیازمند دسترسی به داده‌های کافی است.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله با بهره‌گیری از سه روش برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های مربوط به ارزش افزوده کل اقتصاد و بخش فاوا در خلال سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ به تخمین مقادیر دو کمیت مذکور در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹ پرداخت و پس از آن، سهم فاوا از کل اقتصاد ایران را در طول برنامه‌های پنجم (۱۳۹۰ تا ۱۳۹٤) و ششم توسعه (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹) محاسبه شد. در سال ۱۳۹۱، اولین حساب اقماری بخش فاوا ایران بر مبنای طبقه‌بندی استاندارد ISIC[1]، از سوی مرکز آمار ایران محاسبه و منتشر شد. تا پیش از آن، ارزش افزوده بنگاه‌های غیردولتی فعال در زمینه تولیدات فاوا و تجارت و بازرگانی کالاها و محصولات فاوا (عمده‌فروشی) به ترتیب در بخش‌های صنعت و خدمات و نه در حساب‌های بخش پست و مخابرات منظور می‌شد یعنی دو بخش عمده‌ای که امروزه مطابق طبقه‌بندی استاندارد ISIC در دسته فعالیت‌های فاوا جای گرفته‌اند. با وجود این، به دلیل عدم همگونی بین روش‌های استخراج داده‌های بخش فاوا در سال‌های پیش از ۱۳۹۱، داده‌های آن سال در محاسبات این پژوهش مورد توجه وارد نشده‌اند. نتایج حاصل از روش‌های برازش منحنی، آریما و شبکه عصبی نشان داد که سهم بخش فاوا از کل اقتصاد ایران در سال پایانی برنامه ششم توسعه (۱۳۹۹) به ترتیب ٤/٥٧، ٥/٩٥ و ۳/۷۷ درصد خواهد بود. همچنین میانگین سهم فاوا از اقتصاد ایران در طول برنامه ششم توسعه بر مبنای برآوردهای حاصل از سه روش فوق به ترتیب ۳/۸۹، ٤/۸۸ و ۳/٥٤ درصد خواهد شد.

بررسی شاخص‌های خطای تخمین‌ها نشان داد که روش شبکه عصبی در مقایسه با دو روش دیگر، از کارآیی نسبتاً بیشتری برای پیش‌بینی سهم ارزش افزوده فاوا برخوردار است. از آنجا که تاکنون پژوهشی در زمینه تخمین سهم فاوا از کل اقتصاد ایران در دوره زمانی مورد نظر (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹) انجام نشده امکان مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نمونه‌های مشابه ممکن نیست. با وجود این، نتایج پژوهش جاری از حیث روش، به طور نسبی در موافقت با نتایج پژوهش‌های ابریشمی و همکاران [۱۸و۲۱]، قدیمی و مشیری [۲۲] و مرزبان و همکاران [۲۳] است. آنها نشان دادند شبکه‌های عصبی نسبت به روش سری‌های زمانی مانند آریما، از کارآیی بیشتر و خطای کمتری جهت پیش‌بینی نرخ رشد اقتصاد ایران، پیش‌بینی اثر تغییرات نفت خام بر GDP آمریکا و انگلستان و پیش‌بینی نرخ رشد ارز برخوردار هستند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی ترکیه به عنوان اصلی‌ترین رقیب ایران در حوزه اقتصاد فاوا سند چشم‌انداز، از ۳۹۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۰٤ به ۷۹۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۳ رسیده است. این امر به معنای رشد صددرصدی GDP ترکیه طی دهه گذشته و رسیدن آن به جایگاه پانزدهم اقتصاد دنیاست. هدف این کشور در بخش فاوا، دستیابی به ارزش افزوده ۱٦۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۳ به واسطه رشد سالانه ۱۵ درصدی است. با این حساب، سهم بخش فاوا در اقتصاد ترکیه از ۲/۹ درصد در سال ۲۰۱٤ به ۸ درصد در سال مزبور (۱٤۰۲ شمسی) خواهد رسید [۲۹]. بدین ترتیب با احتساب رشد سالانه ۱۵ درصد، سهم بخش فاوا ترکیه در سال ۱۳۹۹ حدود ٥/٤ درصد از تولید ناخالص داخلی آن کشور خواهد بود. این مقدار حدود ۱/٥ برابر سهم فاوا از تولید ناخالص داخلی ایران در سال ۱۳۹۹ (۳/۷۷ درصد مطابق نتایج این پژوهش و بر مبنای روش شبکه عصبی) است. به عبارت دیگر سهم فاوا ایران از ارزش افزوده کل اقتصاد، حدود ۳۳ درصد کمتر از سهم فاوا ترکیه در سال

1- International Standard Industrial Classification

پایانی برنامه ششم توسعه (۱۳۹۹) خواهد شد. امری که با توجه به وضعیت کنونی اقتصاد فاوا دو کشور محتمل به نظر می‌رسد و برنامه‌ریزی‌های گسترده ترکیه در زمینه توسعه فاوا نیز آن را تأیید می‌کند. سیاست‌گذاری‌های کلان بخش فاوا ترکیه با هدف دستیابی به یکی از ده کشور برتر دنیا در زمینه «گذار دیجیتال[1]» در دهه آینده (۲۰۲۳) تدوین شده است. بدین منظور مجموعه گسترده‌ای از اقدامات؛ از جمله جذب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی؛ توسعه نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و زیرساخت فاوا در قالب دو پروژه بزرگ ملی به نام‌های «دولت الکترونیکی[2]» و «فاتح[3]» از سوی وزارت فاوا ترکیه تدارک دیده شده است [۲۹].

از این رو برای ارتقاء جایگاه ایران در بین کشورهای منطقه و جهان، جبران عقب‌ماندگی‌ها و تبدیل‌شدن به کشور اول منطقه در زمینه فاوا، نیازمند توجه به مؤلفه‌های اثرگذار بر اقتصاد فاوا، به ویژه بهبود فضای کسب‌وکار، تدوین سیاست‌های مناسب و عزم جدی برای توسعه بخش فاوا هستیم. یکی از الزامات چنین هدفی، دستیابی به الگوی بومی سیاست‌گذاری در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات است.

بررسی کزازی و همکاران [۳۰] نشان می‌دهد که در حال حاضر در این زمینه، توافقی چندانی بین صاحب‌نظران وجود ندارد. آنها با خوشه‌بندی دیدگاه‌های خبرگان در چهار دسته عمده؛ کسب‌وکارگرایان، زیرساخت‌گرایان، علم و فناوری‌گرایان و طرفداران حاکمیت دولتی، به این نتیجه رسیدند که دیدگاه‌های توسعه فاوا در ایران با یکدیگر رقابت می‌کند و هیچ دیدگاهی بر دیگران غالب نیست. با وجود این، توسعه فاوا در ایران نیازمند توجه به فاوا به منزله یک نظام فنی–اجتماعی است. به طور مثال فقیهی و معمارزاده طهران نشان داده‌اند که توفیق در زمینه توسعه دولت الکترونیکی در ایران نیازمند توجه جدی به هر یک از چهار سطح نظام فنی–اجتماعی فاوا، فناوری فیزیکی (زیرساخت فاوا)، فناوری اطلاعات (خدمات فاوا)، تعامل فرد و رایانه (سرمایه انسانی) و سطح نهایی نظام فنی–اجتماعی (وضعیت محیطی فاوا) است [۳۱]. این سطوح ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. برای نمونه، توسعه فاوا در سطح فردی و بهره‌مندی از آثار مثبت آن بر رشد اقتصادی نیازمند افزایش سطح درآمد آحاد جامعه است. امری که خود متأثر از سیاست‌گذاری کلان در اقتصاد ایران است [۳۲].

٦- سپاسگزاری

از سرکار خانم بیتا محبی‌خواه، کارشناس محترم وزارت فاوا به سبب استفاده از نظرات مشورتی ایشان در گردآوری بخشی از داده‌ها تشکر می‌گردد.

منابع References

[1] World Economic Forum. (2015). The Global Information Technology Report 2015. Retrieved June 2, 2015 from http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_IT_Report_2015.pdf

[2] Maryska, M., Doucek, P., & Kunstova, R. (2012). The Importance of ICT Sector and ICT University Education for the Economic Development. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 55, 1060-1068.

[3] Shapiro, R. J., & Mathur, A. (2011). The Contributions of Information and Communication Technologies To American Growth, Productivity, Jobs and Prosperity. Sonecon, September.

[4] Bennett, R., Stewart, L. A., & Atkinson, R. (2013). The Whole Picture: Where America's Broadband Networks Really Stand. The Information Technology & Innovation Foundation, February.

[5] Manyika, J., & Roxburgh, C. (2011). The great transformer: The impact of the Internet on economic growth and prosperity. McKinsey Global Institute, 1.

[6] Vu, K. (2005). Measuring the Impact of ICT Investments on Economic Growth. Submitted to Journal of Economic Growth, October. Retrieved from http://www.ksg.harvard.edu/cbg/ptep/khuongvu/Papers.htm

[7] Bilbao-Osorio, B., Dutta, S., & Lanvin, B. (2013, April). The global information technology report 2013. In World Economic Forum (pp. 1-383).

[8] Seo, H. J., Lee, Y. S., & Oh, J. H. (2009). Does ICT investment widen the growth gap?. Telecommunications Policy, 33(8), 422-431.

[9] Jung, H. J., Na, K. Y., & Yoon, C. H. (2013). The role of ICT in Korea's economic growth: Productivity changes across industries since the 1990s. Telecommunications Policy, 37(4), 292-310.

[10] Vu, K. M. (2011). ICT as a source of economic growth in the information age: Empirical evidence from the 1996–2005 period. Telecommunications Policy, 35(4), 357-372.

[11] Vu, K. M. (2013). Information and communication technology (ICT) and Singapore's economic growth. Information Economics and policy, 25(4), 284-300.

1- E-transformation
2- E-Devlet Project
3- FATIH Project

[12] ITU. (2014). Measuring the Information Society Report 2014. Retrieved June 2, 2015 from https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS2014_without_Annex_4.pdf

[۱۳] درویش، مجید. (۱۳۹۲). گزارش ویژه همایش شرکت‌های برتر ایران (خلاصه نتایج شانزدهمین سال رتبه‌بندی IMI-100 پانصد شرکت بزرگ کشور). تهران: سازمان مدیریت صنعتی.

[۱٤] بهبودی، داود و امیری، بهزاد. (۱۳۸۹). رابطه بلندمدت اقتصاد دانش‌بنیان و رشد اقتصادی در ایران. فصلنامه سیاست علم و فناوری، ۲(٤): ۲۳-۳۲.

[۱۵] وبگاه مرکز آمار ایران. (۱۳۹٤). ارزش افزوده رشته فعالیت‌های اقتصادی کشور به قیمت‌های ثابت در دوره ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰.

[۱٦] تقوی، مهدی. (۱۳۸۸). اصول علم اقتصاد ۲: اقتصاد کلان. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

[17] The MathWorks, Inc. 2004. Curve Fitting Toolbox User's Guide. Retrieved Jan 17, 2016 from http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/curvefit.pdf

[18] Haykin, S. (1994). Neural Networks: A Comprehensive Foundation: Macmillan College Publishing Company. New York.

[۱۹] ابریشمی، حمید؛ غنیمی‌فرد، حجت‌الله؛ احراری، مهدی و رحیمی، زهرا. (۱۳۸۹). الگوسازی و پیش‌بینی آثار تغییرات قیمت نفت خام بر GDP کشورهای آمریکا و انگلستان. مطالعات اقتصاد بین الملل، ۲۱(۳۷): ۲۳-٤۲.

[۲۰] ابریشمی، حیمد. (۱۳۸۸). اقتصادسنجی کاربردی (رویکردهای نوین). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۲۱] نوفرستی، محمد. (۱۳۹۱). ریشه واحد و هم‌جمعی در اقتصادسنجی. تهران: نشر رسا.

[۲۲] ابریشمی، حمید؛ مهرآرا، محسن؛ احراری، مهدی و میرقاسمی، سوده. (۱۳۸۸). الگوسازی و پیش‌بینی رشد اقتصادی ایران با رویکرد شبکه عصبی GMDH. مجله تحقیقات اقتصادی، ۸۸: ۱-۲٤.

[۲۳] قدیمی، محمدرضا و مشیری، سعید. (۱۳۸۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد اقتصادی در ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی (ANN). پژوهش‌های اقتصادی ایران، ٤(۱۲): ۹۷-۱۲۵.

[۲٤] مرزبان، حسین؛ اکبریان، رضا و جواهری، بهنام. (۱۳۸٤). یک مقایسه بین مدل‌های اقتصادسنجی ساختاری، سری زمانی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی نرخ ارز. تحقیقات اقتصادی، ٦۹: ۱۸۱-۲۱٦.

[۲۵] زارع‌نژاد، منصور؛ فقه‌مجیدی، رضا و رضایی، روح‌الله. (۱۳۸۷). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ARIMA. فصلنامه اقتصاد مقداری، ۵(٤): ۱۰۷-۱۳۰.

[26] Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H., & Jesús, O. De. (2014). Neural Network Design (2nd Ed.). eBook, Available at: http://hagan.okstate.edu/NNDesign.pdf

[۲۷] گلکار، فروغ؛ فرهمند، علیرضا و فرهمند، فاطمه. (۱۳۸۸). بررسی کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی بارش منطقه شیراز. همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

[28] Beale, M. H., Hagan, M. T., & Demuth, H. B. (2010). Neural network toolbox 7. User's Guide, MathWorks.

[29] Amiri, S., Woodside, J. M., & Dodson, C. (2014). An examination of ICT spending and the development of e-skills in the Republic of Turkey. Proceedings of the e-Skills for Knowledge Production and Innovation Conference 2014, Cape Town, South Africa, 29-37. Retrieved from http://proceedings.e-skillsconference.org/2014/e-skills029-37Amiri813.pdf

[۳۰] کزازی، ابوالفضل؛ طباطبائیان، سید حبیب‌اله؛ تقوی‌فرد، محمدتقی و ناظمی، امیر. (۱۳۹۰). دیدگاه‌های توسعه فناوری اطلاعات کشور مبتنی بر خوشه‌بندی دیدگاه‌های خبرگان. فصلنامه سیاست علم و فناوری، ٤(۲): ۵۷-۷٤.

[۳۱] فقیهی، مهدی و معمارزاده طهران، غلامرضا. (۱۳۹۳). دولت الکترونیک به مثابه نظام فنی-اجتماعی: دسته‌بندی الگوهای پیاده‌سازی. فصلنامه سیاست علم و فناوری، ٦(٤): ۲۱-۳۲.

[۳۲] گل‌خندان، ابوالقاسم؛ خوانساری، مجتبی و گل‌خندان، داود. (۱۳۹٤). فاوا و نابرابری درآمد در ایران. فصلنامه سیاست علم و فناوری، ۷(۱): ۱۵-۲۵.