یادداشت فنی

کاربرد روش‌های شبکه عصبی و مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی مصرف آب شرب، مطالعه موردی شهر رشت

سید نعمت‌اله موسوی[1]، محمد کاوسی کلاشمی[2]

۱- دانشیار گروه اقتصادکشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت ۳۳۴۰۳۸۰ (۰۷۲۸) mousavi_sn@yahoo.com
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

(دریافت ۹۳/۱۱/۲۰ پذیرش ۹٤/٤/۳)

چکیده

پیش‌بینی تقاضای آب شهری و طراحی ظرفیت مناسب برای سامانه عرضه آب شهری شامل شبکه‌های انتقال و مجتمع‌های تصفیه آب، ضرورت استفاده از الگوهای رفتاری و پیش‌بینی مقدار مصرف آب در شهرها را آشکار می‌نماید. قرار گرفتن شهر رشت در مسیر کریدور شمال- جنوب و پیش‌بینی ایفای نقش جدید آن به‌عنوان قطب تجارت و بازرگانی خارجی لزوم بازنگری در ساختارهای شهری و اخذ آمادگی برای گسترش زیرساخت‌ها و زیربناهای لازم را گوشزد می‌نماید. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از سه رهیافت خود توضیح جمعی میانگین متحرک فصلی، شبکه عصبی مصنوعی و الگوی هیبرید خود توضیح جمعی میانگین متحرک فصلی در ترکیب با الگوریتم پس انتشار خطا به الگوسازی و پیش‌بینی مقدار مصرف آب شرب شهر رشت پرداخته شد. در این راستا، سری زمانی ماهانه مصرف آب شهر رشت طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور ایجاد الگوی SARIMA، کاربرد آزمون ریشه واحد مدنظر قرار گرفت. نتایج بیانگر وجود ریشه‌ها در تمامی فراوانی‌ها برای سری زمانی ماهانه مصرف آب شرب شهر رشت بود. از این رو، با انتخاب فیلتر مناسب، برازش الگوهای SARIMA انجام شد. پس از تعیین خروجی الگوی ANN، با استفاده از خروجی‌های الگوی SARIMA، ساختار الگوی هیبرید SARIMABP نیز ایجاد شد. پیش‌بینی مقدار مصرف آب شهر رشت برای ماه‌های سال ۱۳۸۸ با استفاده از سه الگوی یادشده گویای برتری و قدرت پیش‌بینی بالای الگوی هیبرید SARIMABP بود به‌طوری که شاخص‌های دقت پیش‌بینی مقدار خطای ۰/٤۱ درصد را برای این الگو نشان داد. از سوی دیگر، دو الگوی SARIMA و ANN نیز با خطای پیش‌بینی کمتر از یک درصد نتایج مطلوبی را برای استفاده مدیران شهری فراهم نموده است.

واژه‌های کلیدی: الگوهای فصلی، شبکه عصبی مصنوعی، الگوی هیبرید، پیش‌بینی، تقاضای آب شهری

۱- مقدمه

در راستای تدوین بسته سیاستی مدیریت تقاضای آب شهری تجزیه و تحلیل و شناخت ویژگی‌های تقاضای آب بسیار حائز اهمیت است. تجزیه و تحلیل تقاضای آب به‌منظور حل دو مقوله حائز اهمیت در بسته‌های سیاستی آب یعنی تعیین قیمت و ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری آب، حیاتی است. تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تقاضای آب اهمیت شایان توجهی در طراحی و اجرای سیاست‌های کارا در حوزه آب شهری دارد. به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران، پارامترهای اثرگذار بر مصرف آب شهری را می‌توان در پنج شاخه تغییر میزان جمعیت، تغییرات آب و هوایی، ویژگی‌های هیدرولوژی شبکه توزیع آب (ظرفیت، تعداد مشترکان و غیره)، قیمت آب و ارائه مشوق‌های اقتصادی و سطح استانداردهای زندگی خلاصه نمود [۱].

عدم‌قطعیت نیز می‌تواند بر تقاضای آب شهری اثرگذار باشد: مواردی چون تغییرات پیش‌بینی نشده آب و هوایی و رشد یا کاهش برخی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی را می‌توان از جمله عدم‌قطعیت‌های موجود برشمرد.

اغلب مطالعات اقتصادی در حوزه تعیین مؤلفه‌های اثرگذار بر تقاضای آب شهری، بر قیمت آب به‌عنوان پارامتر کلیدی تأکید داشته، حال آنکه نتایج برخی مطالعات نشان‌دهنده بی‌کشش بودن تقاضای آب شهری نسبت به قیمت آن است [۲]. از آنجا که هیچ جایگزینی برای مصارف اصلی آب شهری وجود ندارد و سهم آب در مخارج خانوار ناچیز است، نتایج یادشده دور از ذهن نیست [۳].

پیش‌بینی تقاضای کوتاه‌مدت آب شهری کمک مؤثری به مدیران و بهره‌برداران سیستم‌های آب شهری می‌کند تا بتوانند نسبت به مدیریت صحیح مصرف و سامانه عرضه آب اقدام نمایند.

با توجه به اهمیت مباحث یاد شده، در پژوهش حاضر به ارزیابی و مقایسه کارکرد الگوهای رگرسیونی فصلی، شبکه عصبی مصنوعی و هیبرید در الگوسازی و پیش‌بینی مصرف آب شرب شهر رشت پرداخته شد. بدیهی است بر اساس نتایج حاصل می‌توان مناسب‌ترین الگو را در راستای ارزیابی الگوی رفتاری مصرف آب شرب شهری تعیین کرد.

۱-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر رشت در ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد و مساحت آن حدود ۱۳۶ کیلومتر است. جمعیت شهر رشت در ۴۰ سال گذشته چهار برابر شده است. بر اساس اطلاعات سرشماری عمومی نفوس و مسکن، جمعیت شهر رشت در سال ۱۳۹۰ برابر با ۶۳۹ هزار نفر است [۴]. قرار گرفتن شهر رشت در مسیر کریدور شمال- جنوب و پیش‌بینی ایفای نقش جدید استان گیلان به‌عنوان قطب تجارت و بازرگانی خارجی، لزوم بازنگری در ساختارهای شهری و اخذ آمادگی برای گسترش زیرساخت‌ها و زیربناهای لازم را گوشزد می‌نماید. توجه بیش از پیش به آب به‌عنوان یک کالای اقتصادی و کلید توسعه پایدار، نیاز به پیش‌بینی مقدار تقاضای آتی بخش‌های مختلف برای آب را آشکار می‌نماید.

۲- مواد و روش‌ها

داده‌های سری زمانی مصرف آب شرب شهر رشت اطلاعات ارزشمندی را در جهت برآورد مقدار مصرف آتی فراهم آورده و پارامترهای اصلی در تعیین مقدار آن از قبیل روند، اثرات فصلی و شوک‌ها را در اختیار برنامه‌ریزان و محققان شهری قرار می‌دهد. نخستین رهیافت مورد استفاده در راستای الگوسازی مصرف آب شرب شهر رشت در پژوهش حاضر، الگوی میانگین متحرک هم‌انباشته خودتوضیحی فصلی[1] بوده که بسط الگوی میانگین متحرک هم‌انباشته خودتوضیحی[2] است.

مطالعه قیاسی و همکاران برتری SARIMA در پیش‌بینی تقاضای آب شهری با استفاده از داده‌های ماهانه را نشان داده است [۵].

به‌منظور انجام آزمون ایستایی برای سری زمانی دارای رفتار فصلی و غیر فصلی، آزمون مورد استفاده باید در بردارنده اجزاء فصلی و غیرفصلی باشد. در این راستا از آزمون‌های آماری چون، HEGY، CH، BM، FH و Tayler می‌توان استفاده نمود [۶ و ۷].

به‌منظور انجام آزمون ریشه واحد داده‌های ماهانه مصرف آب شرب شهر رشت، تشکیل آزمون فرضیه باید بر مبنای بررسی وجود هر یک از ریشه‌های واحد بدون توجه به وجود یا عدم وجود سایر ریشه‌ها، صورت گیرد. در این راستا، با استفاده از تقریب تیلور[3] تبدیل‌های خطی از سری زمانی ماهانه مورد بررسی، ایجاد شد که امکان آزمون وجود هر ریشه واحد را بدون توجه به وجود یا عدم وجود سایر ریشه‌ها فراهم می‌آورد. با استفاده از رهیافت فرانسس و هابین (FH) در سال ۱۹۹۷، شکل کلی این آزمون برای داده‌های ماهانه مصرف آب شهر رشت به‌صورت رابطه ۱ است

(۱)

$$\Delta_{12}WC_t = \alpha + \beta T + \sum_{s=1}^{11}\delta_s D_{s,t} + \pi_2 y_{2.t-1} + \pi_3 y_{3,t-1} + \pi_4 y_{3,t-2} + \pi_5 y_{4,t-1} + \pi_6 y_{4,t-2} + \pi_8 y_{5,t-2} + \pi_9 y_{6,t-1} + \pi_{10} y_{6,t-2} + \pi_{11} y_{7,t-1} + \pi_{12} y_{7,t-2} + \sum_{i=1}^{P}\lambda_i \Delta_{12} WC_{t-1} + \varepsilon_t$$

که در این رابطه

WC_t مصرف ماهانه آب شهر رشت، α عرض از مبداء، D متغیرهای موهومی ماهانه و T روند است. تبدیل‌های خطی yi نیز به‌منظور آزمون وجود ریشه‌های فصلی و غیر فصلی در معادله وارد شده است. ضریب رگرسیون π_1 برای آزمون وجود ریشه غیرفصلی و ضرایب رگرسیون π_2 تا π_{12} به‌منظور سنجش وجود ریشه‌های فصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دومین الگوی مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌منظور الگوسازی تقاضای آب شرب شهر رشت، شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر الگوریتم BP است. الگوریتم BP برای آموزش شبکه چند لایه به‌کار رفته و معیار عملکرد آن میانگین مربع خطا[4] است. در این الگو، داده‌ها به سه قسمت داده‌های آموزش (شامل ۷۰ درصد داده‌ها)، داده‌های آزمایش (شامل ۲۰ درصد از داده‌ها) و داده‌های اعتبار بخشی[5] (شامل ۱۰ درصد از داده‌ها) تقسیم می‌شوند. داده‌های آموزش، برای آموزش شبکه به‌کار گرفته می‌شوند. بعد از طراحی شبکه، از داده‌های آزمایش برای آزمون قدرت شبکه طراحی شده استفاده می‌شود. داده‌های اعتباربخشی داده‌هایی است که در آموزش شرکت داده نشده ولی برای بررسی عملکرد صحیح شبکه استفاده می‌شوند. در گام بعدی تعداد نرون‌ها و تابع انتقال برای لایه میانی تعیین می‌شود. معمولاً از توابع لوگ سیگموئید و تانژانت سیگموئید به‌عنوان تابع انتقال استفاده می‌شود به‌طوری که برای داده‌های

[1] Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average (SARIMA)
[2] Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)

[3] Taylor Approximation
[4] Mean Square of Error
[5] Check Validation

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون ریشه واحد FH

نوع آزمون	فراوانی فصلی	مقدار محاسباتی (الگوی دارای عرض از مبداء و روند)	مقدار بحرانی (در سطح احتمالاتی پنج درصد)
آزمون t: $\pi_1=0$	۰	-۱/۲۴	-۳/۴۴
آزمون t: $\pi_2=0$	π	-۱/۲۵	-۲/۶۵
آزمون F: $\pi_3=\pi_4=0$	$\pi/2$	۳/۷۷	۵/۷۷
آزمون F: $\pi_5=\pi_6=0$	$2\pi/3$	۳/۴۴	۵/۷۷
آزمون F: $\pi_7=\pi_8=0$	$\pi/3$	۰/۷۸	۵/۷۷
آزمون F: $\pi_9=\pi_{10}=0$	$5\pi/6$	۲/۳۶	۵/۸۴
آزمون F: $\pi_{11}=\pi_{12}=0$	$\pi/6$	۱/۹۷	۵/۸۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

ورودی مثبت و خروجی مثبت تابع لوگ سیگموئید و برای داده‌های منفی، تابع تانژانت سیگموئید پیشنهاد می‌شود. تعداد نرون‌ها در ابتدا دو برابر تعداد ورودی به علاوه تعداد خروجی در نظر گرفته می‌شوند، مثلاً اگر یک ورودی و یک خروجی وجود داشته باشد، طراحی شبکه با چهار نرون آغاز خواهد شد. در هر مرحله که مقدار ورودی وارد شبکه شده، شاخص خطای جذر میانگین مربعات[1] که برابر با $\sqrt{MSE}$ یا MSE است، در هر Epock محاسبه می‌شود. به‌عبارت دیگر، بعد از پایان هر آموزش، قدرت یادگیری شبکه آزمون می‌شود. به‌طور خلاصه می‌توان گفت مرحله آموزش، شبکه را آموزش می‌دهد و مرحله آزمایش، معماری شبکه را مشخص می‌کند.

سومین الگوی مورد استفاده در این پژوهش به‌منظور الگوسازی تقاضای آب شرب شهر رشت ترکیبی از دو الگوی شبکه عصبی و SARIMA در قالب الگوی هیبریدی است. برای مقایسه عملکرد سه رهیافت مورد استفاده علاوه بر شاخص‌های MSE و RMSE، شاخص‌های میانگین خطا[2]، میانگین مطلق خطا[3]، میانگین درصد خطا[4] و میانگین مطلق درصد خطا[5] نیز محاسبه شد.

۳- نتایج و بحث

انباشتگی فصلی مصرف ماهانه آب شهر رشت بر حسب هزار مترمکعب نشان داد که به‌طور متوسط، طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ بیشترین حجم مصرف در ماه مرداد و کمترین میزان آن در ماه بهمن رخ داده است. در دوره مورد بررسی، میزان بیشینه مصرف آب در ماه مرداد سال ۱۳۸۵ و مقدار کمینه آن نیز در بهمن ماه سال ۱۳۸۰ می‌باشد. طی این دوره بیشترین نوسانات مصرف آب بین ماه‌های مختلف یک سال، متعلق به سال ۱۳۸۵ با انحراف معیار ۳۳۲ هزار مترمکعب است. به‌طور متوسط اختلاف بین مقدار بیشینه و کمینه مصرف ماه‌های مختلف برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ معادل با ۸۵۱ هزار مترمکعب بوده است، بیشترین اختلاف (۱۰۲۸ هزار مترمکعب) در سال ۱۳۸۵ و کمترین اختلاف (۶۲۱ هزار مترمکعب) نیز در سال ۱۳۸۰ به ثبت رسیده است.

به‌منظور تبیین الگوهای رفتاری و بررسی صحت و میزان دقت مقادیر پیش‌بینی شده، داده‌های مصرف ماهانه سال ۱۳۸۸ از نمونه خارج شده و با بهره‌گیری از داده‌های سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ برازش الگوها انجام شد. در گام نخست، وجود ریشه واحد در فراوانی‌های غیرفصلی و فصلی با استفاده از آزمون ریشه واحد فصلی FH و Taylor بررسی شد. به‌منظور انتخاب وقفه‌های مناسب متغیر وابسته در آزمون FH از آماره LM استفاده شد. در این راستا پذیرش وقفه بهینه با مدنظر قرار دادن عدم وجود خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس شرطی صورت گرفت. با انتخاب طول وقفه اولیه ۴۸ ماه، وقفه‌های بهینه مورد استفاده در آزمون عبارت از وقفه ۱، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ است. در انتخاب وقفه بهینه، استراتژی حرکت از کل (وقفه بیشتر) به جزء (وقفه کمتر) مورد استفاده است. بر این اساس، تنها وقفه‌هایی در الگو حفظ می‌شوند که حذف آنها موجب ایجاد خودهمبستگی یا ناهمسانی واریانس شرطی شود.

با انتخاب وقفه‌های یاد شده، مقدار آماره‌های LM(1) و LM(12) به‌ترتیب برابر با $۰/۷ \times ۱۰^{-۱۵}$ و $۰/۲۴ \times ۱۰^{-۹}$ است که با توجه به سطح احتمالاتی نزدیک به واحد برای آنها، فرض صفر در آزمون فرضیه وجود خودهمبستگی که دلالت بر عدم وجود خودهمبستگی داشته، مورد پذیرش قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، مقدار آماره‌های ARCH(1) و ARCH(12) نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۰۳ و ۱/۴۸ است که با توجه به سطح احتمالاتی (به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۹) ارائه شده، گویای پذیرش فرض صفر و عدم

[1] Root Mean Square of Error (RMSE)
[2] Mean Error (ME)
[3] Mean Absolute Error (MAE)
[4] Mean Percentage Error (MPE)
[5] Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون ریشه واحد Taylor

متغیر	ضریب رگرسیون	انحراف معیار	فاصله اعتماد ۹۵ درصد	
			حد پایین	حد بالا
AR(1)	-۰/۹۱۲	۰/۱۹۵	-۱/۱۰۷	-۰/۷۱۷
AR(2)	۰/۴۷۴	۰/۳۱۱	۰/۱۶۳	۰/۷۸۵
AR(3)	۰/۵۲۳	۰/۱۱۹	۰/۴۰۳	۰/۶۴۳
AR(4)	-۰/۸۹۲	۰/۰۶۳	-۰/۹۵۶	-۰/۸۲۸
AR(5)	۰/۹۲۵	۰/۱۰۹	۰/۸۱۶	۱/۰۳۵
MA(1)	-۰/۹۲۹	۰/۲۳۵	-۱/۱۶۵	-۰/۶۹۴
MA(2)	۰/۴۹۱	۰/۳۴۳	۰/۱۴۸	۰/۸۳۵
MA(3)	۰/۵۶۹	۰/۲	۰/۳۶۹	۰/۷۶۹
MA(4)	-۰/۸۶۸	۰/۱۰۶	-۰/۹۷۵	-۰/۷۶۲
MA(5)	۰/۹۴۳	۰/۱۰۶	۰/۸۳۷	۱/۰۵
SAR(1)	-۰/۴۳۸	۰/۱۱۱	-۰/۵۴۹	-۰/۳۲۷
α	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

وجود ناهمسانی واریانس شرطی از درجه ۱ و ۱۲ است. بر اساس نتایج جدول ۱، در آزمون فرضیه مربوط به وجود ریشه واحد در هر یک از فراوانی‌های ۰ تا $\pi/6$، کوچک‌تر بودن قدرمطلق مقدار محاسباتی (آماره t برای آزمون‌های منفرد یا آماره F برای آزمون‌های ترکیبی) از مقدار مطلق بحرانی در سطح احتمالاتی پنج درصد برای تمامی فراوانی‌های مورد بررسی گویای وجود تمامی ریشه‌های واحد غیرفصلی و فصلی است. از این رو، سری زمانی ماهانه مصرف آب شهر رشت از فرایند تصادفی فصلی ناایستا پیروی نموده و فیلتر مناسب برای ایستا نمودن آن (1-L12) است. پس از تعیین نوع فیلتر مورد استفاده و انتخاب مقدار d=1 (وجود ریشه واحد در فراوانی صفر) و D=1 (وجود تمامی ریشه‌های واحد در فراوانی‌های π تا $\pi/6$) برای ایستا نمودن سری زمانی ماهانه مصرف آب شهر رشت، توابع ACF و PACF تشکیل شد و درجات الگوی اولیه SARIMA برگزیده شد. بر این اساس، مقدار p=4 و P=1 (با توجه به تابع PACF) و q=3 و Q=0 (با توجه به تابع ACF) برای الگوی اولیه SARIMA مدنظر قرار گرفت.

درجات مختلف دیگری نیز برازش شد اما به سبب معنی‌داری آماره Q و وجود خود همبستگی از ارائه آن صرف‌نظر شد. به‌منظور انتخاب الگوی برتر، کمترین مقدار آماره‌های آکایک (AIC) و شوارتز (SC) مورد توجه بوده، بر این اساس الگوی (۰،۱،۱) (۵،۱،۵) SARIMA انتخاب شد. نتایج حاصل از برازش الگوی یادشده در جدول ۲ ارائه شده است.

پس از برازش و تعیین الگوی برتر، پیش‌بینی مقدار مصرف ماهانه آب شهر رشت و مقایسه آن با مقدار واقعی مدنظر قرار گرفت.

در پیش‌بینی مقدار مصرف آب شرب شهر رشت برای ماه‌های سال ۱۳۸۸ با استفاده از الگوی شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های آموزش شامل ۷۰ درصد داده‌ها یعنی فاصله سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۰، داده‌های آزمایش شامل ۲۰ درصد داده‌ها یعنی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۷ و داده‌های اعتبار بخشی شامل ۱۰ درصد داده‌ها یعنی سال ۱۳۸۸ است. قبل از تعیین تعداد نرون‌ها تابع انتقال برای لایه میانی تعیین شد. ساختار شبکه مورد استفاده در این مطالعه شامل یک شبکه سه لایه‌ای است: یک لایه ورودی، یک لایه میانی و یک لایه خروجی. تابع لوگ سیگموئید به عنوان تابع انتقال برای نرون های لایه میانی به کار گرفته شد. همچنین تابع انتقال مورد استفاده در لایه خروجی، تابع نوع خطی و تابع آموزشی نیز، تابع Trainegd می‌باشد. همانطور که در بخش مواد و روش‌ها مورد اشاره قرار گرفت با در نظر گرفتن معیار حداقل‌سازی خطا، برای آموزش در لایه میانی تعداد شش نرون و برای لایه آخر یک نرون در نظر گرفته شد.

الگوی SARIMABP هیبریدی از الگوی SARIMA و الگوی شبکه عصبی مصنوعی است و در آن خروجی الگوی SARIMA برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار شبکه الگوی SARIMABP مورد استفاده در این مطالعه شامل یک شبکه سه لایه‌ای بود: یک لایه ورودی، یک لایه میانی و یک لایه خروجی. تابع لوگ سیگموئید به‌عنوان تابع انتقال برای نرون‌های لایه میانی به‌کار گرفته شد. همچنین، تابع انتقال مورد استفاده در لایه خروجی، تابع نوع خطی و تابع آموزشی نیز، تابع Trainegd می‌باشد. برای آموزش در لایه میانی تعداد دوازده نرون و برای لایه آخر یک نرون در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از RMSE پیش‌بینی با استفاده از سه رهیافت مورد استفاده و مقایسه

جدول ۳- خلاصه آماره‌های تشخیصی و نیکوئی برازش الگوهای SARIMA منتخب

ماه‌های سال ۱۳۸۸	مقدار واقعی (متر مکعب)	SARIMA (متر مکعب)	ANN (متر مکعب)	SARIMABP (متر مکعب)
فروردین	۲۸۲۳۴۳۴	۲۸۰۶۳۳۸	۲۸۶۲۶۱۳	۲۸۲۵۹۵۰
اردیبهشت	۲۹۴۸۱۸۶	۲۹۲۴۲۲۰	۲۹۵۲۲۳۸	۲۹۴۹۰۶۵
خرداد	۳۱۰۶۰۵۴	۳۰۹۲۵۰۲	۳۱۳۸۶۶۱	۳۱۰۰۶۶۰
تیر	۳۲۰۰۰۵۹	۳۲۰۰۸۱۱	۳۲۴۴۲۲۰	۳۲۶۸۰۶۴
مرداد	۳۴۱۹۷۳۱	۳۳۹۳۹۸۶	۳۴۱۹۴۶۴	۳۴۲۰۲۷۳
شهریور	۳۳۲۷۷۹۹	۳۳۱۸۳۳۳	۳۲۹۴۰۴۶	۳۳۳۸۰۴۳
مهر	۲۸۴۲۱۸۹	۲۸۲۷۲۸۸	۲۸۰۱۳۵۶	۲۸۴۲۱۱۷
آبان	۲۷۰۷۰۶۵	۲۶۸۵۷۷۷	۲۷۰۳۴۹۵	۲۷۱۹۴۳۲
آذر	۲۵۴۵۹۳۵	۲۵۵۳۹۹۵	۲۵۱۴۹۲۰	۲۵۳۶۳۵۲
دی	۲۵۰۳۹۲۴	۲۴۹۹۴۲۴	۲۴۹۴۱۷۶	۲۵۰۰۷۴۴
بهمن	۲۴۰۳۴۳۵	۲۴۲۵۱۵۸	۲۴۱۱۹۰۶	۲۳۹۸۶۲۳
اسفند	۲۷۴۰۹۹۹	۲۷۷۳۵۱۲	۲۷۹۹۸۵۶	۲۷۱۲۰۲۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴- نتایج مربوط به برازش الگوی (۰،۱،۱) (۵،۱،۵) SARIMA.

مرحله	نوع الگو	ME متر مکعب	MAE متر مکعب	MPE درصد	MAPE درصد	RMSE متر مکعب
واسنجی	الگوی ANN	-۴۹۷۸	۲۴۴۳۲	-۰/۱۴	۰/۷۳	۳۰۹۵۷
واسنجی	الگوی SARIMABP	-۳۲۶۷	۱۱۳۴۵	-۰/۰۵	۰/۳۲	۲۱۷۵۱
صحت سنجی	الگوی ANN	-۵۶۷۸	۲۵۵۴۲	-۰/۱۸	۰/۸۸	۳۱۵۹۲
صحت سنجی	الگوی SARIMABP	-۳۵۴۵	۱۲۲۱۴	-۰/۰۹	۰/۴۱	۲۲۱۴۲
-	الگوی SARIMA	-۵۶۲۲	۱۶۱۳۰	-۰/۱۶	۰/۵۷	۱۸۴۶۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با مقادیر واقعی در جدول ۳ ارائه شده است.

SARIMABP شاخص‌های ME، MAE، MPE، MAPE و به منظور تعیین قدرت پیش‌بینی الگوهای SARIMA، ANN و برای الگوهای فوق محاسبه شد (جدول ۴).

خطای کمتر از یک درصد الگوهای مذکور در تمامی افق‌های زمانی، قابلیت اتکاء بالا به نتایج حاصل را نشان می‌دهد. در این بین الگوی SARIMABP کمترین خطا را در پیش‌بینی مقادیر سال ۱۳۸۸ به خود اختصاص داده است. کاربرد الگوی هیبرید و بهره‌گیری از نتایج آن می‌تواند ویژگی‌های مطلوب الگوهای شبکه عصبی و رگرسیونی را به‌طور همزمان عاید نماید.

۴- نتیجه‌گیری

کسب آمادگی برای عرضه میزان آب لازم و اعمال تغییرات در برنامه‌ریزی و راهبردهای مدیریت شهری، اهمیت پیش‌بینی مقدار مصرف آب و استفاده از الگوهای پارامتریک و غیرپارامتریک در این راستا را آشکار می‌نماید. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از الگوهای ANN، SARIMA و SARIMABP موفق به پیش‌بینی مقدار مصرف آب شهر رشت در افق زمانی دوازده ماهه با خطای کمتر از یک درصد شد. این پژوهش به برتری الگوی SARIMA در پیش‌بینی تقاضای آب شهری با استفاده از داده‌های ماهانه تأکید دارد. از سوی دیگر، الگوی SARIMABP نتایج مطلوب و چشمگیری را برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های شهری فراهم آورده است. توصیه می‌شود تا مدیران و تصمیم‌گیرندگان شهری با بهره‌گیری از چنین یافته‌های علمی و تعامل بیشتر با متخصصان دانشگاهی، بستر مدیریت بهینه و کارا در حوزه شهری را فراهم آورند. بدیهی است انجام برنامه‌ریزی مطلوب، اتخاذ سیاست‌های مفید و تدوین راهبردهای مناسب در راستای توسعه زیرساخت‌های شهری مانند سامانه فراوری، انتقال و توزیع آب، تنها از طریق ترکیب تجارب میدانی مدیران با ظرفیت‌های علمی متخصصان داخلی میسر خواهد شد.

۵- مراجع

1. Zhou, S.L., McMahon, T. A., Walton, A., and Lewis, J. (2002). "Forecasting operational demand for an urban water supply zone." *Journal of Hydrology*, 259, 189-202.
2. Balling, R.C., and Gober, P. (2007). "Climate variability and residential water use in the city of Phoenix, Arizona." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 1130-1137.
3. Arbués, F., Garcia-Valiñas, M.A., and Martínez-Espiñeira, R. (2003). "Estimation of residential water demand: A state-of-the art review." *J. Socioecon*., 32, 81-102.
4. Statistical Center of Iran. (2011). *Population and housing census*, Tehran. (In Persian)
5. Franses, P.H., and Hobijn, B. (1997). "Critical value for unit root tests in seasonal time series." *Journal of Applied Statistics*, 24, 25-47.
6. Taylor, A.M.R. (1997). "On the practical problems of computing seasonal unit root tests." *International Journal of Forecasting*, 13, 307-318.
7. Ghiassi, M., David, K., Zimbra, K., and Saidane, H. (2008). "Urban water demand forecasting with a dynamic artificial neural network model." *Journal of Water Resource Planning and Management*, 134(2), 138-146.