



الگوبندی و پیش‌بینی تقاضای آب شهر اصفهان با روند ضمنی و سری زمانی

حسین صادقی^۱ - علی محمد آخوندعلی^۲ - میثم حداد^{۳*} - محمدرضا گلابی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۷

چکیده

الگوبندی صحیح تقاضای آب در بخش شهری به منظور پیش‌بینی و اتخاذ سیاست‌های مربوط به مدیریت منابع آب با اهمیت است. بنابراین استفاده از الگوهایی که بتواند نیاز آینده آبی را با خطای کمتر الگوبندی و پیش‌بینی کنند، حائز اهمیت است. دو الگوی سری زمانی ساختاری (STSM) و سری زمانی ARMA برای الگوبندی و پیش‌بینی تقاضای آب شهر اصفهان در مقاله حاضر بحث و مقایسه شده است. داده‌های مورد استفاده شامل مصرف آب شهر اصفهان، قیمت آب و هزینه‌های پرداختی مشترکین آب در مقیاس ماهانه و طی دوره ۹۰-۱۳۸۸ است. با وارد کردن جزء غیرقابل مشاهده روند و ایجاد یک مدل فضا - حالت، با روش حداکثر درست نمایی و به کارگیری صافی کالمن، اقدام به الگوبندی شد. بهترین الگو در مدل سری زمانی ARMA با سه معیار شوارتز بیزین و آکائیک انتخاب شد. نتایج به دست آمده حاکی است که پیش‌بینی تقاضای آب با روش سری زمانی ساختاری برتری نسبت به ARMA دارد. مناسب‌ترین حالت از طریق آماره نسبت درست‌نمایی برای پارامترها، حالت ثابت بودن سطح و تصادفی بودن شیب روند است. بنابراین، استفاده از الگوی سری زمانی ساختاری در پیش‌بینی تقاضای آب، می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد مورد استفاده مدیران و برنامه‌ریزان در بخش مدیریت آب قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی آب شهری، روند ضمنی، صافی کالمن، سری زمانی ساختاری، ARMA

مقدمه

تقاضای آب شامل دوره‌های زمانی یک تا چند ساله است. پیش‌بینی کوتاه مدت تقاضای آب از جهت مدیریت کارای سیستم آبرسانی موجود، حائز اهمیت است، درحالی که پیش‌بینی بلندمدت، به منظور برنامه‌ریزی و طراحی شبکه، تأمین منابع آبی جدید و توسعه شبکه آبرسانی موجود، استفاده می‌شود (۱۶). شهر اصفهان با جمعیتی بالغ بر ۱/۷ میلیون نفر و مساحت ۴۸۲ کیلومتر مربع (سال ۱۳۹۰) یکی از کلان شهرهای ایران است. آب و هوای آن نیمه بیابانی و خشکی هوا و کمبود بارش از مشخصات این نوع آب و هوا است. تصفیه خانه بابا شیخ علی و چاه‌های فلمن عمده منابع تأمین کننده آب شرب این شهر است. رودخانه زاینده رود درسال‌های اخیر تنها در برخی از فصول سال به دلیل محدودیت منابع آبی جاری است. بنابراین منابع آبی زیر زمینی که تأمین کننده آب شهری هستند دستخوش تغییراتی شده و مسلماً با خشک شدن زاینده رود، سطح آب این منابع نیز کاهش می‌یابد. این گونه تغییرات در منابع آبی، مدیران و برنامه‌ریزان را در تأمین آب شرب با چالش‌هایی روبرو کرده است.

الگوبندی با سری زمانی (ARMA^۵) و سری زمانی ساختاری (STSM)^۶ و پیش‌بینی تقاضای آب شهر اصفهان از اهداف

آب جایگاه ویژه‌ای در بین نیازهای اساسی انسان دارد، زیرا نبود آن ادامه زندگی بشر را مختل می‌کند. بنابراین اهمیت بررسی موضوع آب در زمینه مدیریت استحصال و مصرف، بعنوان یک نیاز اساسی کاملاً محسوس است. آب شهری شامل انواع تقاضای آب برای کاربردهای خانگی، عمومی، صنعتی و تجاری است.

الگوبندی صحیح تقاضای آب در بخش شهری به منظور پیش‌بینی و اتخاذ سیاست‌های مربوط به مدیریت منابع آب اهمیت زیادی دارد. پیش‌بینی تقاضای آب شهری تأثیر بسزایی در برنامه‌ریزی بهتر منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت آب روبه‌رو هستند، دارد. پیش‌بینی کوتاه مدت تقاضای آب، افق‌های زمانی روزانه، هفتگی و ماهانه را شامل می‌شود. پیش‌بینی بلند مدت

۱- استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- کارشناس ارشد گروه مدیریت، اقتصاد و انرژی، دانشگاه صنعت آب و برق

(شهید عباسپور)

*- نویسنده مسئول: (Email: meisam.haddad66@yahoo.com)

۴- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب

5- Auto-Regressive Moving Average

6- Structural Time Series Model

کننده و تولید کننده بستگی دارد. از طرف دیگر هریک از این دو نوع فناوری می‌تواند درون‌زا و برون‌زا باشند. بخش برون‌زا به‌طور مستقل در طی زمان انجام می‌گیرد. ولی بخش درون‌زا ممکن است با نرخ ثابتی انجام نگیرد. لذا همیشه خطی بودن آن صحیح نیست و باید به درستی محاسبه شود. متغیرهای توضیح دهنده تکنولوژی (چه متبلور و چه غیر متبلور) در الگو با توجه به مطالب گفته شده بهتر است که لحاظ شوند، اما به دلیل عدم اندازه‌گیری و متغیر بودن در طی زمان نمی‌توان آن‌ها را وارد الگو کرد. لذا برای این که بتوان اثر موارد فوق را بر تقاضا بررسی کرد باید روند ضمنی را وارد الگوی تقاضا کرد و آن را به درستی الگوبندی کرد. الگوی سری زمانی ساختاری توسط هاروی و همکاران (۷)، برای رفع این مشکل به کار گرفته شد. آنان برای هر سری زمانی یک جزء روند^۳، نوسانات دوره ای^۴ و نامنظم^۵ در نظر گرفتند. عوامل غیر اقتصادی (مانند تغییر سلیقه مصرف کنندگان و ساختار اقتصادی و عوامل دیگری که قابل مشاهده نیستند) می‌توانند اثر قوی و زیادی بر تقاضای آب در بخش شهری در کنار عوامل اقتصادی نظیر هزینه‌های پرداختی مشترکین آب و قیمت آب داشته باشند. ما در این‌جا در برآورد جزء روند بین این عوامل با عوامل اقتصادی تفاوت قائل می‌شویم. الگوی مورد بررسی در این تحقیق، یک الگوی رگرسیونی مرکب از یک سری زمانی ساختاری است که به جزء غیرقابل مشاهده در طول زمان اجازه می‌دهد تا به طور تصادفی تغییر کند. حالت کلی الگوی سری زمانی ساختاری مطابق رابطه خطی ۱ زیر است.

$$Q_t = \mu_t + Z_t'\delta + \varepsilon_t \quad (1)$$

که در آن Q_t متغیر وابسته، μ_t جزء روند، Z_t بردار متغیرهای توضیحی، δ بردار پارامترها و ε_t جزء تصادفی (جزء اغتشاش یا باقیمانده) با فرض $(0, \sigma_\varepsilon^2) \sim \text{NID}$ است. ساختار ریاضی جزء روند مطابق رابطه ۲ فرض می‌شود.

$$\begin{aligned} \mu_t &= \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t \\ \beta_t &= \beta_{t-1} + \xi_t \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن η_t و ξ_t دارای توزیع نرمال $(0, \sigma_\eta^2) \sim \text{NID}$ و $(0, \sigma_\xi^2) \sim \text{NID}$ هستند.

این پژوهش است تا در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده شود. اعمال روند ضمنی^۱ در تابع تقاضای آب شهری به عنوان متغیر غیرقابل مشاهده و تصریح آن به صورت یک فرآیند تصادفی، مقایسه نتایج پیش‌بینی با روش ARMA از نوآوری این پژوهش است. از نرم افزار Stamp^۲ 8.3 و OXmetrics 6.3 برای سری زمانی ساختاری استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در زمینه پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل تقاضای آب شهری طی سال‌های اخیر، با الگوهای رگرسیونی، سری زمانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی و غیره مطالعات بسیاری انجام گرفته است. چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شود که بیشتر مطالعات صورت گرفته در زمینه برآورد و پیش‌بینی تقاضای آب شهری با الگوهای انجام گرفته است که روند ضمنی در آن‌ها یا لحاظ نشده یا به صورت غیرتصادفی وارد شده است. بنابراین شناخت و به کارگیری روند ضمنی با اهمیت بوده که در ادامه به همراه دو الگوی ذکر شده معرفی می‌شود.

روش‌شناسی مدل‌های سری زمانی ساختاری و سری

زمانی ARMA

مفهوم روند ضمنی

متغیر پیشرفت تکنولوژی یکی از عوامل مهم تأثیر گذار در توابع تولید و تقاضا است، لذا بایستی در الگوبندی به آن توجه ویژه‌ای داشت. پیشرفت فناوری نه تنها از نظر فنی مورد توجه است، بلکه از جنبه‌های دیگر نظیر سلیقه، عوامل غیر اقتصادی (جمعیت، عوامل جغرافیایی و اجتماعی) می‌تواند مورد تحلیل قرار گیرد.

تغییر در کارایی از طریق توسعه تکنولوژی و بهبود طرف عرضه اقتصاد، از عوامل مهم تعیین کننده روند است. فناوری در حقیقت نوع مشخصی از دانش مرتبط با فعالیت انسان است. بخشی از این دانش در ماشین آلات (فناوری متبلور) و بخش دیگر در مردم، ساختارهای سازمانی و الگوهای رفتاری (فناوری غیر متبلور) نهفته است (۱۵). پیشرفت متبلور هنگامی اتفاق می‌افتد که تجهیزات مصرف کننده، فرسوده و ناکارا هستند و باید تجهیزات جدید با کارایی بالاتر و مصرف کمتر جایگزین شوند. لذا بایستی به سرمایه‌گذاری در این مورد بپردازیم. ولی در فناوری غیر متبلور نیازی به تعویض وسایل و تجهیزات و انجام سرمایه‌گذاری جدید نیست، بلکه به رفتار مصرف

3- Trend.
4- Cyclical.
5- Irregular.

1- Underlying Trend
2- Structural Time Series Analyzer, Modeler, Predictor

جدول ۱- برخی از مطالعات داخلی و خارجی در زمینه پیش‌بینی آب شهری

Table 1- Some national and international studies on the prediction of urban water

نتایج Results	متغیرهای مدل Model variables	روش مورد استفاده The method used	محقق Researcher
با اطلاعات محدود قابل دسترس، شبکه عصبی با دولاپه نهان (به ترتیب دارای یک و هفت نرون)، میزان تقاضای روزانه آب شهر تهران را با ضریب همبستگی بیش از ۸۰ درصد و خطای متوسط حدود دو درصد برآورد شده است.	درجه حرارت و مصرف روزانه آب شهری	شبکه‌های عصبی مصنوعی	تابش و همکاران (۱۷)
پیش‌بینی تقاضای آب با روش شبکه‌های عصبی GMDH نسبت به روش‌های ساختاری و سری برتری نسبی دارد.	مصرف سرانه و قیمت آب، متوسط درآمد خانوار و متوسط درجه حرارت سالانه شهری	الگوی ساختاری، سری‌های زمانی و شبکه عصبی از نوع GMDH	شرزه‌ای و همکاران (۱۶)
شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهر تهران نسبت به الگوی ARIMA قدرت بالاتری دارد.	مصرف روزانه آب شهری	شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی	صادقی و همکاران (۱۴)
الگوهای شبکه عصبی مصنوعی از قابلیت بالایی برای الگو بندی تقاضای روزانه آب شهری برخوردارند. در این میان، پرسپترون سه لایه با خروجی غیرخطی، دقت بالاتری دارد.	مصرف روزانه آب شهری	شبکه‌های عصبی مصنوعی	تابش و دینی (۱۸)
الگوی تلفیقی نسبت به بقیه الگوها دارای خطای کم و دقت بالایی در پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری است. پس از الگوی تلفیقی، شبکه عصبی مصنوعی و فرآیند ARMA به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.	مصرف آب روزانه شهری	الگوی تلفیقی از شبکه‌های عصبی مصنوعی، تبدیل موجک و ARMA	ذوالفقاری و همکاران (۲۰)
نتایج الگوهای شبکه عصبی در مقایسه با الگوی رگرسیون و سری زمانی بهتر بوده است.	حداکثر درجه حرارت روزانه و بارندگی روزانه و حداکثر تقاضای دوره‌های قبل در اتاوا کانادا	الگوهای رگرسیون، سری‌های زمانی و شبکه عصبی مصنوعی	بوگادیس و همکاران (۱)
الگوهای ماهانه، هفتگی و روزانه دارای دقت ۹۹ درصد و الگوهای ساعتی دارای دقت ۹۷ درصد بودند.	مصرف آب شهر	مدل شبکه عصبی مصنوعی پویا	غیائی و همکاران (۶)
الگوی رگرسیونی مرکب، در هر دو روش پرسپترون چند لایه و تابع پایه شعاعی، کمترین خطا در پیش‌بینی را داشت و بهترین مدل در پیش‌بینی تقاضای آب ماهانه شناخته شد.	متغیرهای اجتماعی، اقتصادی و آب و هوایی برای پیش‌بینی ماهانه	شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و تابع پایه شعاعی	یورداسف و همکاران (۱۹)
پیش‌بینی با داده‌های ماهانه دقیق‌تر از داده‌های سالانه است. آب مورد نیاز برای سال ۲۰۲۰ را ۵۰ درصد و برای ۲۰۳۰ دو برابر مصرف کنونی پیش‌بینی شد.	مصرف آب سالانه و ماهانه امارات متحده عربی	الگوی نرخ ثابت	محمد و همکاران (۹)
نتایج حاصل از الگوی تلفیقی بهتر از دو الگوی دیگر در پیش‌بینی تقاضای آب تهران بوده است.	مصرف ماهانه آب شهری	صافی کالمن توسعه یافته و برنامه نویسی ژنتیک و الگوی تلفیقی	ناصری و همکاران (۱۰)
می‌توان پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب در منطقه شهری را با روش سامانه پویا بدست آورد.	مصرف آب شهری، تغییرات آب و هوایی، توسعه اقتصادی، رشد جمعیت و مهاجرت	الگوی سامانه پویا	چنگ و چانگ (۴)

ماخذ: گردآوری محقق

جدول ۲- حالت‌های مختلف سری زمانی ساختاری

Table 2- Various modes of structural time series

معادله Equation	معروف Famous	حالت‌های مختلف Different modes
$Q_t = \mu_t + Z_t \delta + \varepsilon_t$ $\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t(4)$ $\beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t$	الگوی روند نسبی Local Trend Model	شیب و سطح روند هر دو تصادفی The slope and the level of both random
$Q_t = \mu_t + Z_t \delta + \varepsilon_t$ $\mu_t = \mu_{t-1} + \eta_t(5)$	الگوی سطح نسبی Local Level Model	فاقد شیب و سطح روند تصادفی No slope and level of the random
$Q_t = \mu_t + Z_t \delta + \varepsilon_t$ $\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t(6)$ $\beta_t = \beta_{t-1}$	الگوی سطح نسبی با انتقال Local Level Model with Drift	شیب ثابت و سطح تصادفی Fixed slope and random level
$Q_t = \mu_t + Z_t \delta + \varepsilon_t$ $\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t(7)$ $\beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t$	الگوی روند هموار Smooth Trend Model	شیب روند تصادفی و سطح ثابت Slope random and Fixed level

منبع: چیت نیس (۵)

وضعیت^۷ تلقی می‌شوند. معادله انتقال مطابق رابطه ۹ است.

$$\alpha_t^* = \begin{bmatrix} \mu_t \\ \beta_t \\ \delta_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{t-1} \\ \beta_{t-1} \\ \delta_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_t \\ \xi_t \\ \eta \end{bmatrix} \quad (9)$$

که در آن α_t^* بردار وضعیت است. معادله اندازه گیری مطابق رابطه ۱۰ است.

$$Q_t = (1 \ 0 \ Z_t) \alpha_t^* + \varepsilon_t \quad (10)$$

معادله اندازه گیری با معادله رابطه ۱ مطابقت دارد. کاربرد معادله فوق در این است که بردار وضعیت غیرقابل مشاهده را به ارزش‌های عددی قابل مشاهده Q_t مرتبط کند. فرضیه تصادفی بودن هر دو جزء روند در مقابل حداقل ثابت بودن یکی از آن‌ها برای انتخاب بهترین حالت با آماره نسبت درست نامایی، آزمون می‌شود.^۸

در همین راستا برای برآورد مدل مورد نظر از نرم افزار STAMP 8.3 که در بسته نرم افزار OxMetrics 6.3 تعبیه شده است، در این تحقیق استفاده می‌شود.

تحلیل مانایی و نا مانایی سری‌های زمانی

هرگاه میانگین، واریانس و خصوصیات آماری یک سری زمانی در طول زمان ثابت باشد، سری زمانی را سری مانا می‌نامند، سری زمانی مانا^{۱۰} عموماً فاقد میانگین و واریانس ثابت می‌باشند. عوامل مختلفی در نامانایی یک سری موثر می‌باشد که از آن جمله روند، تناوب^{۱۱} و سیکل را می‌توان نام برد (۳). اغلب روش‌های کلاسیک برای پیش‌بینی و مدل‌سازی، براساس سری‌های زمانی مانا است، لذا در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی نامانا، ابتدا بایستی با فنون متداول (نظیر تفاضلی‌گیری، میانگین متحرک و غیره) آن‌ها را مانا نمود تا قابل استفاده در روش‌های کلاسیک باشند (۳).

الگوهای ARMA و ARIMA

ویژگی‌های دو الگوی خود رگرسیو^{۱۲} (AR(p)) و میانگین متحرک^{۱۳} (MA(q)) با هم جمع و دو الگوی ARMA(p,q) و ARIMA(p,d,q) به وجود می‌آید که در آن p و q به ترتیب بیانگر تعداد جملات خود رگرسیو و تعداد میانگین متحرک و d مرتبه تفاضلی است. فرآیند ARIMA(p,d,q) را می‌توان به صورت رابطه^{۱۱} نشان داد:

معادلات فوق به ترتیب بیان کننده سطح و شیب روند می‌باشند. فرآیند فوق را به این صورت می‌توان توصیف کرد که روند در یک دوره برابر است با روند در یک دوره قبل، به علاوه جزء رشد و برخی عوامل غیر قابل پیش‌بینی است. جزء رشد همان شیب بوده و در طول زمان متغیر است. واریانس‌های σ_{η}^2 و σ_{ξ}^2 ابرپارامترها^۱ نامیده می‌شوند و نقش بسیاری در ماهیت روند دارند. اگر این دو واریانس صفر باشند، الگوی رگرسیون فوق تبدیل به یک الگوی رگرسیونی معمولی با روند خطی معین خواهد شد (رابطه ۳).

$$Q_t = \alpha + \beta_t + Z_t' \delta + \varepsilon_t \quad (3)$$

الگوهای رگرسیونی مختلف با صفر بودن ابرپارامترهای شیب و سطح شکل خواهد گرفت. در جدول ۲ حالت‌های مختلف سری زمانی ساختاری آمده است.

همان‌طور که اشاره شد بدلیل وجود جزء غیر قابل مشاهده در این الگو، لذا مدل مذکور با روش حداقل مربعات معمولی قابل برآورد نخواهد بود. با این وجود، چنان‌چه معادله ۱ همراه معادلات ۲ در شکل فضا - حالت در حالت دو معادله به صورت مجزا، یکی معادله انتقال^۲ و دیگری معادله اندازه‌گیری^۳ تنظیم شوند، در این صورت صافی کالمن^۴ می‌تواند یک دسته معادلات بازگشتی تولید کند که پارامترهای نامعلوم (ابر پارامترها و سایر پارامترها) از طریق روش نسبت درست نامایی (LR^۵) برآورد شوند.

آماره نسبت درست‌نامایی مطابق رابطه ۸ است. که در آن صورت کسر مقدار حداکثر درست‌نامایی^۶ حاصل از برآورد تابع تقاضایی است که در آن قید لحاظ شده است. مخرج آن مقدار حداکثر درست نامایی در حالت غیرمقید است. با توجه به این که معمولاً مقدار حداکثر درست نامایی مقید کمتر از حالت غیر مقید است، لذا نسبت کسر کوچک‌تر از یک خواهد شد. حال اگر قید بار سنگینی بر دوش داده‌ها باشد (قید معتبر باشد)، در این صورت نسبت فوق به سمت یک متمایل می‌شود. اگر قید معتبر نباشد به سمت صفر متمایل خواهد شد (۱۵).

$$LR = \frac{\text{Loglikelihood}(\hat{\theta}_{LR})}{\text{Loglikelihood}(\hat{\theta}_{LR})} \quad (8)$$

حال با داشتن مقادیر این پارامترها، برآوردهای مناسب از اجزاء سطح و شیب روند، توسط صافی کالمن ارائه می‌شود. پارامترهای غیر قابل مشاهده مانند روند در شکل فضا - حالت، به عنوان متغیرهای

7- State

۸- جهت مطالعه بیشتر به چیت نیس (۵) رجوع شود.

9- Stationary Time Series

10- Nonstationary Time Series

11- Periodicity

12- Auto-Regressive

13- Moving Average

1- Hyper parameters

2- Transaction

3- Measurement

4- Kalman filter

5- Likelihood ratio

6- Maximum Likelihood

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{P_t - Q_t}{P_t} \right| 100 \quad (15)$$

در روابط بالا Q_t, P_t و n به ترتیب داده‌های پیش‌بینی شده، داده‌های مشاهداتی و طول دوره پیش‌بینی است (۸).

داده‌های منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق با استفاده از دو روش سری زمانی ساختاری و ARMA به برآورد و پیش‌بینی تقاضای آب شهری، با استفاده از داده‌های مصرف ماهانه، قیمت واقعی و هزینه‌های پرداختی مشترکین آب شهر اصفهان طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۸ پرداخته می‌شود. داده‌های مربوط به مصرف ماهانه آب شهر اصفهان، قیمت اسمی آب، شاخص قیمت مصرف کننده به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ و هزینه‌های پرداختی مشترکین آب از آمارنامه شهر اصفهان در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ که توسط شهرداری شهر اصفهان منتشر شده است، جمع‌آوری شد. برای محاسبه قیمت واقعی آب، از تقسیم قیمت اسمی بر شاخص قیمت مصرف کننده در هر ماه استفاده شد.

شکل ۱ روند مصرف ماهانه آب در شهر اصفهان طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۸ را نشان می‌دهد. محور افقی، طول دوره مورد مطالعه و محور عمودی، مصرف آب بر حسب میلیون متر مکعب در ماه را نشان می‌دهد. مطابق شکل مصرف آب در فصل تابستان به اوج می‌رسد. یکی از دلایل افزایش مصرف در این فصل، بالا بودن دما به خاطر واقع شدن شهر اصفهان در منطقه نیمه بیابانی و وجود تابستان‌های گرم و خشک است. از عمده وسایل سرمایشی در این منطقه کولرهای آبی است که مصرف آب آن‌ها بالا است. از دیگر دلایل افزایش مصرف این است که به دلیل توریستی بودن این شهر، مسافران و گردشگران زیادتری نسبت به فصل‌های دیگر به این شهر می‌آیند.

نتایج و بحث

تقاضای آب شهر اصفهان در این تحقیق با توجه به مفهوم روند ضمنی بصورت رابطه ۱۶ الگوبندی شد.

$$LW_t = c + \beta_1 LP_t + \beta_2 LY_t + \varepsilon_t \quad (16)$$

که در آن LW_t ، لگاریتم مصرف آب ماهانه شهر اصفهان، LP_t ، لگاریتم قیمت واقعی آب، LY_t ، لگاریتم هزینه‌های پرداختی مشترکین آب، c ، β_1 و β_2 پارامترهای مدل هستند.

در برآورد ضرایب مدل با استفاده از داده‌های سری زمانی، لازم است که متغیرهای بکار رفته در مدل مانا باشند. پس ابتدا لازم است تا متغیرها از نظر مانایی و وجود رابطه هم‌انباشتگی بین متغیرهای مستقل و وابسته مورد بررسی قرار گیرند. نتایج آزمون مانایی دیکی فولر تعمیم یافته^۹ در جدول ۳ نشان داده شده است.

$$y_t = f(x) + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (11)$$

که در آن:

$$y_t = \Delta^d x_t = (1-L)^d x_t \quad (12)$$

که در آن $f(t)$ روند زمانی را (در صورت وجود) در y_t برآورد می‌کند. در اکثر متغیرهای اقتصادی، $d=1$ بوده، در نتیجه $f(t)=\mu$ یا $d=0$ است و $f(t) = a + \delta t$ (۱۲).

از آزمون مانایی برای تعیین d بهره گرفته می‌شود. همچنین تعداد جملات خود رگرسیو و تعداد جملات میانگین متحرک معمولاً با توابع خود همبستگی^۱ (ACF) و خودهمبستگی جزئی^۲ (PACF) بر اساس اساس مراحل باکس - جنکینز محاسبه می‌شود. تحلیل دارای چهار مرحله شناسایی، تخمین، تشخیص دقت پردازش و پیش‌بینی است. در مرحله تشخیص دقت پردازش، تعداد صحیح جملات MA و AR پس از تعیین آن‌ها توسط توابع خودهمبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) بر اساس معیارهای مختلفی مورد بازبینی قرار می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان معیارهای آکائیک^۳ (AIC) آکائیک^۴ (AIC) و یا شوارتز-بیزین^۵ (SBIC) و حنان-کوئین^۵ (HQIC) اشاره نمود.

لازم به ذکر است که SBIC در مقایسه با AIC وزن بیشتری به زیان حاصل از کاهش درجه آزادی می‌دهد. در حالی که AIC در مقایسه با SBIC وزن بیشتری به مزیت حاصل از کاهش مجموع مجذور باقیمانده‌ها می‌دهد. HQIC نیز حالت بینابینی دارد. در مجموع استفاده از معیار حنان-کوئین در شرایطی لازم است که بین تعداد جملات AR و MA که مقادیر آکائیک و شوارتز-بیزین را حداقل می‌سازد، تفاوت وجود داشته باشد (۱۳).

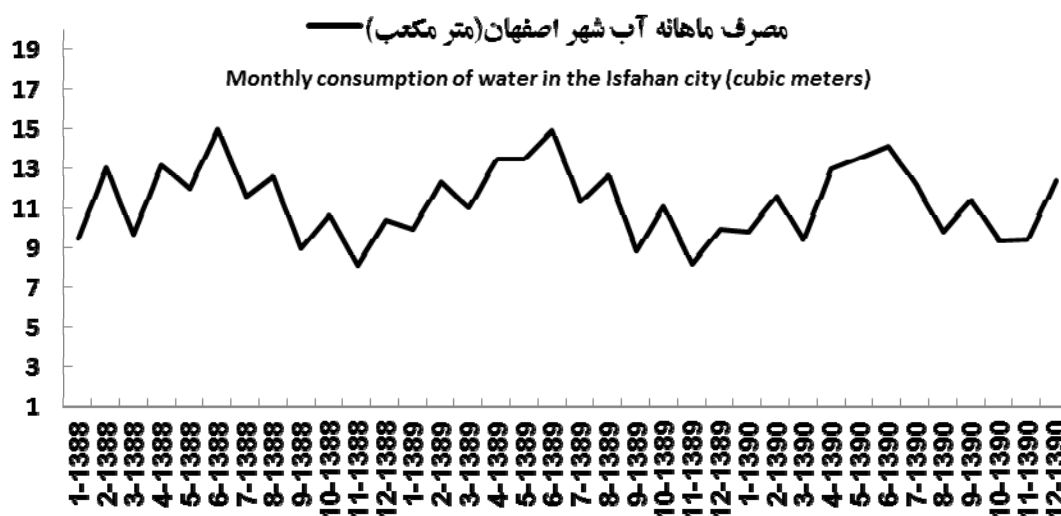
معیارهای عددی مقایسه عملکرد که در تعیین کارایی الگوها و در نتیجه انتخاب بهترین الگو به کار می‌رود شامل ریشه میانگین مربعات خطا^۶ (RMSE)، میانگین مطلق خطا^۷ (MAE) و میانگین قدر مطلق مطلق درصد خطا^۸ (MAPE) است که در روابط زیر به ترتیب آورده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (R_t - Q_t)^2} \quad (13)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |R_t - Q_t| \quad (14)$$

- 1- Auto Coloration Function
- 2- Partial Auto Coloration Function
- 3- Akaike Information Criterion
- 4- Schwarz Bayesian Information Criterion
- 5- Hannan-Quinn Information Criterion
- 6- Root Mean Squared Error
- 7- Mean Absolute Error
- 8- Mean Abs. Percent Error

9- Augmented Dickey-Fuller test statistic



شکل ۱- روند مصرف ماهانه آب در شهر اصفهان (ماخذ: آمارنامه سال‌های مختلف شهر اصفهان)

Figure 1- Monthly consumption of water in the city

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون مانایی متغیرهای الگو

Table 3- The results of the static test pattern variables

تفاضل مرتبه اول متغیرها First-order Difference variables	آماره ADF level variables	مقادیر بحرانی مک کینون MacKinnon critical values		سطح متغیرها level variables	آماره ADF ADF statistics	مقادیر بحرانی مک کینون MacKinnon critical values	
		%1	%5			%1	%5
		LW	-12.9049			-3.6394	-2.9511
Lp	-11.8590	-3.6394	-2.9511	Lp	-2.1076	-3.6329	-2.9484
Ly	-11.9926	-3.6394	-2.9511	Ly	-2.9525	-3.6329	-2.9484

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴- نتایج برآورد تابع تقاضای آب در شهر اصفهان با استفاده از روش STSM

Table 4- The results of estimating the demand for water in the city Esfahan, using STSM

مقدار آماره t The t-statistic	RMSE	ضرایب برآورد شده The estimated coefficients	متغیرهای توضیحی Explanatory variables
-15.6437*	0.0518	-0.8116	LP
23.0378*	0.0372	0.8583	Ly
Level= 8.0696* Slope=-0.0034** R ² =0.94 DW= 2.3 n=36 LR=0.99 p.e.v ¹ = 0.0018			
ابریارامتها			
مدل روند هموار (Smooth Trend Model)	0.0017	جزء نامنظم (Irregular)	شیب (Slope)
		0.0000005	سطح (Level)
		0.0000	

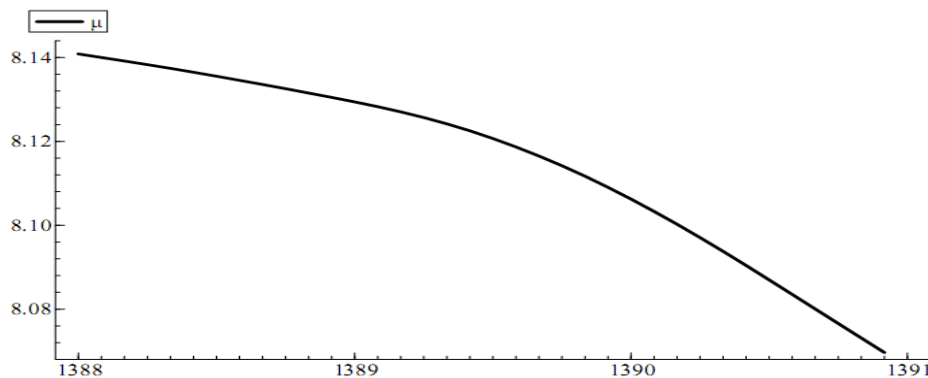
ماخذ: یافته‌های تحقیق و خروجی نرم افزار * نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.

جدول ۵- نتایج آزمون‌های آسیب شناسی الگوی STSM

Table 5- Pathology tests result stemplate STSM

Q(24,22)	r(24)	r(1)	H(10)	Bowman-Shenton	Kurtosis	Skewness	Std.error
13.798	0.0622	-0.2009	1.5580	0.0030	0.0018	0.0012	0.9730

ماخذ: یافته‌های تحقیق و خروجی نرم افزار



شکل ۲- روند ضمنی تخمین زده شده تقاضای آب شهر اصفهان طی دوره (۱۳۹۰(۱۲) - ۱۳۸۸(۱) (ماخذ: محاسبات تحقیق و خروجی نرم افزار Oxmetrics)

Figure 2- The implied estimated water demand of the city during the period 1388- 1390

آسیب شناسی در روش سری زمانی ساختاری، برای آزمون فرضیات رگرسیون کلاسیک و اطمینان از برآورد صحیح الگوی رگرسیون با نرم افزار انجام می‌شود. نتایج حاصل از آسیب شناسی در جدول ۵ نشان داده شده است.

آماره باون - شنتون^۳ ترکیبی از ضریب کشیدگی^۴ و چولگی^۵ به طور تقریبی دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی دو است، این آزمون نشان داد که باقیمانده‌ها نرمال‌اند. آماره $H(10) = 1/5580$ نشان دهنده همسانی واریانس در اجزای اخلال است. $r(1)$ و $r(24)$ به ترتیب ضرایب خودهمبستگی سریالی وقفه‌های اول و بیست و چهارم هستند که به طور تقریبی دارای توزیع $N(0.1/T)$ هستند. $Q(24,22)$ ، آماره باکس الجانگ^۶ است که برپایه خود همبستگی اولین n باقیمانده با توزیع χ^2 است. فرضیه صفر در این آزمون مبتنی بر عدم وجود همبستگی سریالی است. چون مقدار محاسبه شده از مقادیر جدول در سطح معنی داری ۵ درصد کمتر است پس فرضیه صفر مبتنی بر عدم وجود همبستگی پذیرفته می‌شود. آزمون‌های تشخیصی نشان می‌دهند که هیچ گونه خودهمبستگی و خود همبستگی سریالی در باقیمانده‌ها وجود ندارد. به عبارت دیگر اجزاء باقیمانده از هیچ نوع الگوی سیستماتیکی تبعیت نمی‌کند و دارای روند کاملاً تصادفی است.

به دلیل این که برخی از متغیرها در سطح مانا نیستند، لذا آزمون مانایی برای باقیمانده‌ها برای اطمینان از کاذب نبودن رگرسیون انجام شد. نتایج آزمون مانایی باقیمانده‌ها در روش STSM در جدول ۶ آورده شده است.

با توجه به مقدار آماره آزمون ADF، به غیر از متغیر مصرف آب مابقی متغیرها با یک بار تفاضل‌گیری مانا هستند. چون در سطح مقادیر آزمون ADF از مقادیر بحرانی مک کینون^۱ در سطوح ۱ درصد، ۵ درصد کمتر است، متغیرهای مخارج مصرفی مشترکین آب و قیمت مانا نیستند اما در تفاضل مرتبه اول مانا می‌شوند.

نتایج حاصل از روش سری زمانی ساختاری

براساس رفتار ابرپارامترها حالت‌های مختلف تابع تقاضای آب بررسی شد. با توجه به آماره نسبت درست نمایی مناسب‌ترین حالت برای پارامترها، حالت ثابت بودن سطح و تصادفی بودن شیب روند تشخیص داده شد. به عبارت دیگر تابع تقاضای آب شهر اصفهان، داری ماهیت روند هموار است. نتایج حاصل از برآورد تابع تقاضای آب در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به جدول ۴ همه متغیرها در سطح ۱ درصد معنی‌دار هستند. کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای آب به ترتیب برابر -0.81 و 0.85 است که نشان می‌دهد تقاضای آب نسبت به قیمت و درآمد کم کشش بوده و آب یک کالای ضروری است. به عبارت دیگر با افزایش یک درصد قیمت آب، تقاضای آب 0.81 درصد کاهش و با افزایش یک درصد درآمد تقاضای آب 0.85 درصد افزایش می‌یابد.

خودهمبستگی با توجه به مقدار آماره دوربین واتسون^۲ وجود ندارد. با توجه به مقدار آماره p.e.v پیش‌بینی توسط الگوی برآورد شده دارای خطای بسیار کم و در حد صفر است. ابر پارامترها الگو روند هموار را نشان می‌دهند. با توجه به آزمون نسبت درست نمایی (LR) نتیجه می‌گیریم که چون نسبت کسر نزدیک به عدد یک است پس مدل غیرمفید برآورد شده بهتر از مدل مقید است.

3 - Bowman – shenton

4 - Kurtosis

5 - Skewness

6 - Box – Ljung

1- Mackinnon

2- Durbin Watson

جدول ۷- نتایج حاصل از برآورد تقاضای آب در شهر اصفهان مدل ARMA
Table 7- The results of the estimation of water demand in the city Esfahan by model ARMA

متغیر (Variable)	ضریب (Coefficient)	انحراف معیار (SD)	آماره t (T-statistics)
C	16.2335*	0.0064	2514.337
AR(1)	0.7502*	0.0839	8.9364
AR(2)	0.5985*	0.1048	5.7073
AR(3)	-0.8564*	0.0972	-8.8056
MA(1)	-0.8020*	0.1315	-6.0963
R ² =0.73 LM=0.03(0.86) F=17.4722 (0.00)			

ماخذ: یافته‌های تحقیق * نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.
*Indicates significant at 1 percent.

با توجه به جدول ۷، نتایج حاکی از وجود یک فرایند اتورگرسیو مرتبه ۳ و میانگین متحرک مرتبه ۱ است. با توجه به آزمون LM باقیمانده‌های مدل برآورد شده دارای خودهمبستگی نمی‌باشند. آماره ضریب تعیین (R²) و آماره آزمون F بیان کننده این موضوع است مدل برآورد شده برازش مناسبی بر داده‌های مورد مطالعه دارد. نتایج آزمون مانایی باقیمانده‌ها در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸ - نتایج حاصل از آزمون مانایی باقیمانده‌ها در روش ARMA
Table 8-The results of the static test of the remaining ARMA

ADF	مقادیر بحرانی مک کینون (MacKinnon critical values)		
	%1	%5	%10
-5.3550	-3.6793	-2.9677	-2.6229

ماخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در جدول ۸ آورده شده است، چون مقدار آماره آزمون ADF از مقادیر بحرانی مک کینون در سطوح ۱ درصد، ۵ درصد و ۱۰ درصد بیشتر است، پس باقیمانده‌های مدل برآوردی با استفاده از روش ARMA مانا هستند. از اینرو رگرسیون برآورد شده کاذب نبوده و رابطه بلند مدت بین متغیرها وجود دارد.

نتایج حاصل از مقایسه دو مدل ARMA و STSM

داده‌های مورد مطالعه در این تحقیق به دو قسمت تقسیم شد، داده‌های دوره زمانی (۱۳۹۰(۹) - ۱۳۸۸(۱) برای الگوبندی تقاضای آب شهر اصفهان مورد استفاده قرار گرفت و از داده‌های (۱۳۹۰(۱۲) - ۱۳۹۰(۱۰) برای پیش‌بینی (درون نمونه‌ای) استفاده شد. در این قسمت با استفاده از معیارهای مقایسه عملکرد به پیش‌بینی و مقایسه دقت الگوهای مورد استفاده می‌پردازیم. برای مقایسه عملکرد این دو الگو از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمون مانایی باقیمانده‌ها در روش STSM
Table 6- The results of the static test of the remaining STSM

ADF	مقادیر بحرانی مک کینون (MacKinnon critical values)		
	%1	%5	%10
-6.9096	-3.6329	-2.9484	-2.6128

ماخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در جدول ۶ آورده شده است، چون مقدار آماره آزمون ADF از مقادیر بحرانی مک کینون در سطوح ۱ درصد، ۵ درصد و ۱۰ درصد بیشتر است، پس باقیمانده‌های مدل برآوردی با روش STSM مانا هستند. از این‌رو رگرسیون برآورد شده کاذب نبوده و رابطه بلند مدت بین متغیرها وجود دارد.

تشخیص ماهیت روند تقاضای یکی از نتایج مهم در برآورد تابع تقاضای آب در بخش شهری با روش سری زمانی ساختاری و الگوبندی به شیوه فضا-حالت، است که به عنوان یک متغیر جانشین برای فناوری یا ترجیحات مصرف کننده است. شکل ۲، روند تخمین زده شده تقاضای آب در بخش شهری را طی دوره‌ی (۱۲) ۱۳۹۰- (۱) ۱۳۸۸ نشان می‌دهد. محور افقی زمان و محور عمودی روند ضمنی را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۲، ماهیت روند به صورت هموار و غیرخطی در حال کاهش است. این بیان کننده افزایش استفاده از فناوری در مقابل افزایش مصرف آب طی دوره مورد مطالعه است. افزایش قیمت آب بعد از هدفمندی یارانه‌ها دلایل عمده روند نزولی در سال ۱۳۸۸ است که خود به علت افزایش استفاده از تکنولوژی‌های جدید در مصرف آب در این شهر است. به عبارت دیگر با افزایش قیمت آب، جامعه مورد مطالعه به سمت فناوری‌های جدید با کارایی بالا برای صرفه‌جویی در مصرف آب سوق داده شده است. از موارد استفاده از فناوری در استفاده آب در این شهر می‌توان به تعمیر و بازسازی شبکه‌های انتقال آب، تصفیه فاضلاب‌ها، جداسازی کیفی آب برای مصارف مختلف، استفاده از تجهیزات با فناوری‌های جدید و برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب است.

نتایج حاصل از مدل ARMA

در این بخش سعی شد بهترین مدل ARMA برای پیش‌بینی آب شهری با توجه به رفتار توابع خودهمبستگی و خود همبستگی جزئی شناسایی شود. از طرفی با توجه به آزمون مانایی متغیرها که در جدول ۳ آورده شده است، لگاریتم متغیر مصرف آب مانا است لذا مدل سری زمانی از نوع مدل ARMA است. نتایج حاصل از برآورد تقاضای آب در شهر اصفهان با مدل ARMA در جدول ۷ آورده شده است.

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق در ابتدا به الگو بندی داده های آب شهر اصفهان با استفاده از الگوهای سری زمانی ساختاری و سری زمانی ARMA پرداختیم. نتایج حاکی از این است که مناسب ترین حالت از طریق آماره ی نسبت درست نمایی برای پارامترها، حالت ثابت بودن سطح و تصادفی بودن شیب روند است.

استفاده گردید. در جدول ۹ نتایج حاصل از مقایسه این دو الگو آورده شده است.

با توجه به جدول ۹ و معیارهای مقایسه عملکرد الگوی سری زمانی ساختاری و سری زمانی ARMA، نتایج بیان کننده این مسئله است که الگوی سری زمانی ساختاری براساس همه معیارهای مقایسه عملکرد در این مطالعه، عملکرد بهتری نسبت به مدل ARMA در پیش بینی تقاضای آب در شهر اصفهان داشته است.

جدول ۹- مقادیر پیش بینی شده مصرف آب شهر اصفهان (بر حسب میلیون متر مکعب) و معیارهای مقایسه عملکرد الگوهای STSM و ARMA
Table 9- The predicted values of city Esfahan water consumption (in millions of cubic meters) and measures the performance ARMA and of the models STSM

آزمون های پیش بینی Tests predicted			مقادیر اسفند ۱۳۹۰ Values Persian date Esfand 1390		مقادیر بهمن ۱۳۹۰ Values Persian date Bahman 1390		مقادیر دی ۱۳۹۰ Values Persian date Dey 1390		متغیر Variable
MAPE	MAE	RMSE	پیش بینی شده Predicted	حقیقی Real	پیش بینی شده Predicted	حقیقی Real	پیش بینی شده Predicted	حقیقی Real	
0.07	0.0126	0.0150	16.3300	16,3324	16.0832	16.0602	16.0661	16.0540	STSM
0.7536	0.1223	0.1542	16.1023		16.1959		16.0530		ARMA

ماخذ: یافته های تحقیق و خروجی نرم افزار

نتایج حاصل از معیارهای مقایسه عملکرد در پیش بینی آب مصرفی، روش سری زمانی ساختاری (STSM) نسبت به ARMA دارای برتری می باشد. از عوامل برتری الگوی سری زمانی ساختاری نسبت به الگوی ARMA در این تحقیق این است که برای برآورد الگو و پیش بینی به تعداد داده های کمتری در طول زمان نیاز دارد و از طرفی می تواند برای مدل سازی از متغیرهای دیگر (مانند درآمد و قیمت) استفاده کند که این کمکی برای بهبود مدل برآوردی می باشد.

به عبارت دیگر در تابع تقاضای آب شهری، روند داری ماهیت هموار است. و همچنین نتایج بیان گر این موضوع است که در دوره مورد مطالعه مردم شهر اصفهان با استفاده از تکنولوژی های جدید در تجهیزات مورد استفاده در بخش آب، میزان آب مصرفی را کاهش داده اند. بهترین الگو برآورد شده برای سری زمانی تقاضای آب شهر اصفهان الگوی ARMA(3,1) به دست آمد. این الگو برآورد نسبتا خوبی با توجه به ضریب تعیین بالای ۷۳ درصد دارد و می تواند به عنوان مدلی برای پیش بینی مورد استفاده قرار گیرد ولی با توجه به

منابع

- 1- Bougadis J., Adamowski K.B., and Diduch R. 2005. Short-term municipal water demand forecasting. Hydrological Processes, 19(1):137-148.
- 2- Box G.E.P., and Jenkins G.M. 1976. Time series Analysis. Forecasting and control. Holden-Day. San Francisco.
- 3- Chatfield C. 1982. Teaching a Course in Applied Statistics. Applied Statistics, 31(3): 272-289.
- 4- Cheng Qi., and Ni-Bin Chang. 2011. System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. Journal of Environmental Management, 92:1628-1641.
- 5- Chitnis M. 2005. Estimating the price elasticity of demand for gasoline using structural time series models and the concept of the implied. Quarterly journal of economical studies, 5: 16-1. (in Persian).
- 6- Ghiassi G.A., Zimbra D.K.B., and Saidane H.C. 2008. Urban water demand forecasting with a dynamic artificial neural network model. J. of Water Resources Planning and Management, 134(2):138-146.
- 7- Harvey A.C. 1989. Forecasting, Structural Time Series Models and The Kalman Filter, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 8- Ho S.L., Xie M., and Goh T.N. 2002. A comparative study of neural network and Box-Jenkins ARIMA modeling in time series prediction. Computers and Industrial Engineering, 371-375.
- 9- Mohamed M., Mohamed Aysha A. Al-Mualla. 2010. Water demand forecasting in Umm Al-Quwain using the

- constant rate model. *Desalination*, (259): 161–168.
- 10- Nasserri M., Moeini A., Tabesh M. 2011. Forecasting monthly urban water demand using Extended Kalman Filter and Genetic Programming. *Expert Systems with Applications*, (38): 7387–7395.
 - 11- Pejoyan J., and Hosseini Sh. 2011. Estimating domestic water demand (case study of Tehran). *Journal of Technology and Development*, 5: 167-181. (in Persian).
 - 12- Pesaran M.H., and Pesaran B. 1997. *Working with Microfit 4.0: An interactive econometric software package (DOS and Windows versions)*, (Oxford University Press, Oxford).
 - 13- Pourkazemi M.H., nahavandi B., and nahavandi A. 2005. Comparative study of linear ARIMA and nonlinear fuzzy neural network and forecast in city gas sharing. *Journal of Economic Research*, 71: 146-133. (in Persian).
 - 14- Sadeghi H., Zolfagari M., and Aram R. 2010. Modeling and short-term forecasting urban water demand. *Journal of Economic Policy*, 7(2): 159-172. (in Persian).
 - 15- Shakeri A., Mohammadi T., Jahangard E., and Mousavi M.H. 2010. Estimation Modeling of gasoline demand in the transport sector. *Quartely journal Energy Economics Studies*, 5: 31-1. (in Persian).
 - 16- Shrzei G.H., Ahrari M., and Fakhraee H. 2008. Tehran's per capita water demand prediction using structural model, time series and neural networks of the type GMDH. *Journal of Economic Research*, 84: 151-175.
 - 17- Tabesh M., Goshe S., and Yazdanpanah M.J. 2007. Short-term forecasting of water demand in Tehran Using Artificial Neural Networks. *College of Engineering*, 41(1): 24-11. (in Persian).
 - 18- Tabesh M., and Dini M. 2010. urban daily water demand prediction using artificial neural network, case study: Tehran, *Journal of Water and Wastewater*, 1: 95-84. (in Persian).
 - 19- Yurdusev M.A., Firat M., Mermer M., and Turan M.E. 2009. Water use prediction by radial and feed-forward neural nets. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 162(3):179-188.
 - 20- Zolfagari M., AminNasserri M.H., and Besharatniya F. 2001. An Integrated Model of Artificial Neural network wavelet and ARMA at water demand in the city. *Journal of Technology and Development*, 5: 167-181. (in Persian).



Modeling and Forecasting of Water Demand in Isfahan Using Underlying Trend Concept and Time Series

H. Sadeghi¹ - A.M. Akhoond Ali²- M. Haddad^{3*} - M. R. Golabi⁴

Received:14-07-2013

Accepted:16-02-2015

Introduction: Accurate water demand modeling for the city is very important for forecasting and policies adoption related to water resources management. Thus, for future requirements of water estimation, forecasting and modeling, it is important to utilize models with little errors. Water has a special place among the basic human needs, because it not hampers human life. The importance of the issue of water management in the extraction and consumption, it is necessary as a basic need. Municipal water applications is include a variety of water demand for domestic, public, industrial and commercial. Predicting the impact of urban water demand in better planning of water resources in arid and semiarid regions are faced with water restrictions.

Materials and Methods: One of the most important factors affecting the changing technological advances in production and demand functions, we must pay special attention to the layout pattern. Technology development is concerned not only technically, but also other aspects such as personal, non-economic factors (population, geographical and social factors) can be analyzed. Model examined in this study, a regression model is composed of a series of structural components over time allows changed invisible accidentally. Explanatory variables technology (both crystalline and amorphous) in a model according to which the material is said to be better, but because of the lack of measured variables over time can not be entered in the template. Model examined in this study, a regression model is composed of a series of structural component invisible accidentally changed over time allows. In this study, structural time series (STSM) and ARMA time series models have been used to model and estimate the water demand in Isfahan. Moreover, in order to find the efficient procedure, both models have been compared to each other. The desired data in this research include water consumption in Isfahan, water price and the monthly pay costs of water subscribers between 1388 and 1390. In structural time series model, the model was generated by entering the invisibility part of the process and development of a state-space model, as well as using maximum likelihood method and the Kalman-Filter algorithm.

Results and Discussion: Given the value of the test statistic ADF, with the exception of changing water use variables with a time difference of the steady rest. Superpopulation different modes of behavior were assessed based on the demand for water. Due to the likelihood ratio statistic is most suitable for the parameters, was diagnosed the steady-state level of randomness and the slope. Price and income elasticities of demand for water, respectively -0.81 and 0.85 shows that water demand is inelastic with respect to price and income and a lot of water is essential. Identify the nature of the request of one of the most important results in estimated water demand in the urban part of the state space time series structure and patterning methods, as an Alternative for variable is Technology preferences use. The model is estimated for the city's water demand time series model, respectively ARMA (3,1). Model performance metrics to compare the structural time series and time series ARMA, the result represents a structural time series model based on the fact that all the performance criteria in this study outperformed the ARMA model to forecast water city demand in the Isfahan.

Conclusion: Of a time series model structure to model ARMA in this research is to estimate the model and predict the number the less time is required, and also can be used for modeling of other variables (such as income and price) to this is helping to improve the models. Also, in ARMA time series the best model for data was selected according to the Schwarz Bayesian and Akaike criterion. Results indicate that the estimation of water demand using structural time series method is more efficient than when ARMA time series model is applied. Therefore, structural time series model can be used as an efficient tool for managers and planners in the Management Departments in order to forecast water demand. Used was for compare the performance of these two models of standard root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and mean absolute

1- Assistant Professor, Department of Economics, Tarbiat Modares University

2- Professor, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

3- MSc Student, Department of Management and Economics, Power and Water University of Technology (Shahid Abbaspour)

(*-Coressponding Autor Email: meisam.haddad66@yaho.com)

4- MSc of Water Resources Engineering

percentage error (MAPE).

Keywords: ARMA Time Series, Forecasting of city water, Kalman Filter algorithm, Structural Time Series, Underlying Trend