

پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب شرب با استفاده از توابع احتمالاتی (مطالعه موردی: شهر نیشابور)

مسعود تابش^{۱*}، صادق بهبودیان^۲، رضا حیدرزاده^۳

۱. استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی عمران آب، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران s.behboudian@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری مهندسی عمران محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران rheydarzadeh@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۸

چکیده

در این تحقیق برای پیش‌بینی تقاضای سرانه آب از روش شبیه‌سازی احتمالاتی استفاده شده است. بعد از تعیین تابع تقاضای آب با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای شهر نیشابور، مقدار متغیرهای مستقل مؤثر بر تخمین تقاضای آب در آینده پیش‌بینی شد. سپس با استفاده از مدل نقطه‌ای، مقدار تقاضای سرانه آب در شهر نیشابور پیش‌بینی شد. در مرحله بعد با ترکیب مدل پیش‌بینی نقطه‌ای و عدم قطعیت‌های فرض شده، با شبیه‌سازی مونت‌کارلو پیش‌بینی احتمالاتی توسعه داده شد که منجر به ارائه بازه‌ای از مقادیر محتمل برای تقاضای آب شد. مقادیر سالانه امید ریاضی پیش‌بینی شده تقاضای سرانه آب در سال ۱۴۱۰ برابر ۸۰/۳۶ مترمکعب محاسبه شد که در مقایسه با مقدار مورد انتظار برای سال ۱۳۹۰، افزایش ۵۰ درصدی تقاضا (به‌طور میانگین سالانه ۲ درصد افزایش تقاضا) را نشان می‌دهد و با نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی نقطه‌ای تطابق دارد. همچنین تابع احتمالاتی، بازه اطمینان ۹۰ درصدی را برای کل پیش‌بینی‌های محتمل با در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیرهای توصیفی و مستقل نشان می‌دهد که با افزایش زمان به‌دلیل افزایش انحراف از معیار، پهنای باند آن بیشتر می‌شود.

کلیدواژه

پیش‌بینی احتمالاتی، پیش‌بینی بلندمدت، تابع استون - گری، تقاضای آب، شبیه‌سازی مونت‌کارلو.

مقدمه

این راستا برآورد تقاضای آب در آینده، این امکان را برای تصمیم‌گیران فراهم می‌سازد که با توجه به محدودیت‌ها و بحران‌های پیش‌رو تدابیر لازم را اتخاذ نمایند. پیش‌بینی تقاضای آب خانگی و شناخت عوامل مؤثر بر آن یکی از گام‌های مهم در مدیریت و کنترل بحران آب است، زیرا راه‌حل مؤثر، تنها عرضه آب نیست بلکه اتخاذ سیاست‌ها و تدابیر لازم مبتنی بر الگوی مصرف و توجه کافی به عوامل طرف تقاضای آب از اهمیت فراوانی برخوردار است.

آب شرب در ایران همچون اغلب مناطق دنیا به‌دلیل خشک‌سالی، رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه، هر روز کمیاب‌تر می‌شود. از طرف دیگر غیرقابل‌جانشتین بودن آب، مشکل کم‌آبی را روزافزون‌تر می‌کند. در این شرایط تلاش انسان‌ها برای استفاده بهینه از این نهاده، ضروری‌تر به نظر می‌رسد و منازعات و کشمکش‌ها نیز برای حاکمیت منابع آب در آینده فزونی خواهد گرفت. در

تابع پایه شعاعی سریع‌تر به جواب‌ها همگرا شده و دقت نتایج آن بهتر از پرسپترون چندلایه است (Msiza et al., 2007).

در تحقیقی به منظور پیش‌بینی تقاضای بلندمدت آب شهر تهران، از شبکه عصبی، الگوهای ساختاری و سری زمانی استفاده و متغیرهای بعد خانوار، درآمد، دما و قیمت آب، متغیرهای مؤثر در نظر گرفته شد. به منظور مقایسه عملکرد الگوها، از معیارهای مختلف، شامل ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدرمطلق خطا و میانگین قدرمطلق درصد خطا استفاده شد. مقایسه نتایج بیانگر این مطلب بود که الگوی شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به الگوهای رقیب در پیش‌بینی تقاضای آب در شهر تهران داشته است. همچنین الگوی ساختاری در پیش‌بینی تقاضای آب نسبت به الگوی سری زمانی عملکرد بهتری داشته است (شرزه‌ای و همکاران، ۱۳۸۷).

روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد تقاضای روزانه آب شهری تهران در مطالعه‌ای به کار رفت. پارامترهای هواشناسی مربوط به سه ایستگاه هواشناسی تهران بزرگ به روش تیسن وزن‌دهی شده و از میانگین وزنی آنها، داده‌های ورودی مدل به دست آمد. با ایجاد همبستگی بین میانگین وزنی پارامترهای هواشناسی و داده‌های مصرف، پارامترهای مؤثر مدل انتخاب شدند. پارامترهای مؤثر انتخاب شده شامل دمای متوسط روزانه، رطوبت نسبی، مصرف روزانه یک روز قبل تا مصرف روزانه یک هفته قبل (هفت روز) و مصرف روزانه یک سال قبل بودند. در این تحقیق از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه با خروجی خطی و غیرخطی، مدل پرسپترون چهار لایه با خروجی غیرخطی و مدل RBF استفاده شد. مقایسه نتایج مدل‌ها با همدیگر و با نتایج مدل‌های نروفازی و روش‌های سری زمانی ساخته شده در تحقیقات دیگر، نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی از قابلیت بالایی برای مدل‌سازی تقاضای روزانه آب شهری برخوردارند. در این میان، مدل پرسپترون سه لایه با خروجی

تاکنون تحقیقات زیادی در راستای پیش‌بینی میزان تقاضای آب صورت گرفته است که در ادامه برخی از آنها مرور می‌شود.

در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های سری زمانی مقطعی تابع تقاضای آب شرب شهر کرمان برآورد شد. در این مطالعه اثر بعد خانوار، زیربنای واحد مسکونی و وجود باغچه بر تقاضای آب بررسی شد. نتایج مطالعه نشان داد که اثر زیربنای واحد مسکونی بر تقاضای آب مثبت و وجود باغچه بدون تأثیر بوده و به ازای هر نفر افزایش در بعد خانوار، ۰/۷۲ مترمکعب از مصرف سرانه کم می‌شد. کشش‌های قیمتی و درآمدی در این مطالعه به ترتیب بین ۰/۱۷- تا ۰/۳۶- و ۰/۰۱ تا ۰/۱۲ بود که نشان می‌دهد آب کالایی ضروری است (اکبری و دینانی، ۱۳۷۹).

در مطالعه دیگری توابع تقاضای آب استخراج شده از تابع مطلوبیت استون-گری و تابع کاب داگلاس تعمیم‌یافته با هم مقایسه شدند. حداقل آب مورد نیاز برآورد شده در این مطالعه به طور میانگین ۱۱۴ تا ۱۲۸ گالن برای هر نفر در روز بود. همچنین کشش‌های قیمتی تخمین زده شده با استفاده از تابع تقاضای استخراج شده از تابع مطلوبیت استون-گری (۰/۲۸- تا ۰/۱۹-) کمتر از کشش‌های به دست آمده از تابع کاب داگلاس تعمیم‌یافته (۰/۳۵- تا ۰/۴۷-) بود (Gaudin et al., 2001).

چند محقق بررسی تأثیر انتخاب توابع توزیع احتمالاتی یکنواخت، نرمال و لوگ نرمال برای متغیرهای دما و بارندگی و تأثیر آن بر تابع احتمالاتی رواناب در قسمت‌هایی از اروپا را انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که در نظر گرفتن توابع مختلف احتمالاتی برای متغیرهای دما و بارندگی می‌تواند تأثیر بسزایی بر تابع توزیع احتمالاتی رواناب بگذارد (Ekstrom et al., 2007).

شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه^۱ و شبکه‌های عصبی مصنوعی پایه شعاعی^۲ برای پیش‌بینی دراز مدت و کوتاه مدت تقاضای آب شهری در افریقای جنوبی استفاده شد. مقایسه دو مدل نشان داد که مدل‌های

شد. با به‌کار بردن بیش از ۶۰۰ تخمین، تحلیل متا رگرسیون برای شناسایی دلایل تنوع متقابل مطالعات انجام شده قبلی در خصوص دقت پیش‌بینی تقاضای آب شهری انجام شد. نتیجه مطالعه نشان داد که دقت پیش‌بینی تقاضای آب به‌طور چشمگیری بستگی به ویژگی‌های مطالعه شامل دوره تناوب تقاضا، روش مدل‌سازی پیش‌بینی افق، مشخصات مدل و حجم نمونه دارد. نتایج متارگرسیون برای برآوردگرهای متفاوت به‌کار رفته و همچنین یک سری از کنترل حساسیت‌های انجام شده پایدار بود (Sebri, 2016).

در تحقیقی جدید روشی برای یکپارچه‌سازی دو ابزار مدل‌سازی، یکی مدل شبیه‌سازی اجتماعی و دیگری ابزار مدیریت آب شهری ارائه شد. رفتار عوامل مؤثر بر نیاز آب شهری به‌صورت مدلی مبتنی بر عامل، برای شبیه‌سازی رفتار مصرف‌کنندگان خانگی در پاسخ به اقدامات مدیریت تقاضای آب توسعه داده شد. برای محاسبه تکامل تقاضای آب خانگی، از شبیه‌سازی کاربرد لوازم مصرف‌کننده آب، با اتصال به ابزار مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه آب شهری استفاده شد. روش پیشنهادی این تحقیق با استفاده از نمونه‌ای واقعی در دوره خشک‌سالی در شهر آتن در کشور یونان آزمایش شد. نتایج پژوهش نشان داد که اتصال این دو مدل قابلیت‌های جدیدی برای ارزیابی سناریوهای مدیریت تقاضای آب در اختیار مدیران و شرکت‌های مسئول می‌گذارد (Koutiva & Makropoulos, 2016).

با توجه به سوابق مطالعاتی مربوط به تابع تقاضای آب، پارامترهای مختلف مؤثر بر تقاضا و مصرف آب شهری مانند متغیرهای اقلیمی، اقتصادی و فرهنگی در نظر گرفته شده است. در بیشتر تحقیقات از داده‌های سری زمانی یا داده‌های سری مقطعی یا تلفیقی از این دو روش (سری زمانی - مقطع عرضی) استفاده شده است. اکثر مطالعات متکی به مدل‌های خطی، لگاریتمی، خطی-لگاریتمی، لگاریتمی-لگاریتمی و تلفیقی آن‌ها است. در موارد محدودی از معادلات هم‌زمان یا روش‌های دیگر استفاده شده است. برای تخمین مدل‌ها اکثراً از روش کمترین

غیرخطی، دقت بالاتری دارد (تابش و دینی، ۱۳۸۹). در تحقیق دیگری برای پیش‌بینی تقاضای سرانه آب در شهر بیرمنگام از اطلاعات سری زمانی برای دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ استفاده و تقاضای آب شهری براساس اجزای تشکیل‌دهنده آن و رشد جمعیت آینده پیش‌بینی شد. اثر متغیرهای آب و هوایی (دما و بارش) با استفاده از مدل رگرسیونی به‌صورت مجزا بر تقاضای آب دیده شد. از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در پیش‌بینی متغیرهای مؤثر استفاده شد. نتایج نشان داد که متغیرهای جمعیت، اقتصادی و اجتماعی بیشتر از عوامل اقلیمی بر تقاضای آب آینده اثر دارد (Khatri et al., 2009). با استفاده از برقراری ارتباط بین جمعیت، شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با قیمت نفت تقاضای بلند مدت شهر ریاض عربستان پیش‌بینی شد. همچنین با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو عدم قطعیت‌های اطلاعات هم پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که هر دو عامل شرایط آب و هوایی و مسائل اقتصادی اجتماعی تقریباً به یک اندازه بر تقاضای آب در آینده تأثیر دارند (Almutaz et al., 2013).

در مطالعه‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب و تعیین ارتباط بین پارامترهای مستقل و وابسته استفاده شد. در این تحقیق با استفاده از زنجیره‌ای ثابت از ویژگی میان‌یابی شبکه، نشان داده شد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) رویکردی قابل اتکا برای پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب است. برای بررسی دقت پیش‌بینی خروجی‌های مدل چندلایه پرسپترون (MLP) با نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی مقایسه شدند. یافته‌ها نشان داد که مدل چندلایه پرسپترون (MLP) راه‌حلی مناسب برای پیش‌بینی بلندمدت ماهیانه آب است. همچنین این مدل می‌تواند عدم قطعیت‌ها را کاهش داده و دقت پیش‌بینی بلندمدت را به‌نحو چشمگیری افزایش دهد (Behboudian et al., 2014).

مروری بر روش‌های تجربی پیش‌بینی نیاز آبی با استفاده از رویکرد تحلیلی متا^۳ توسط یکی از محققان انجام

متغیرهای توصیفی برای بازه مورد نظر پیش‌بینی شده است. بدیهی است که به‌ازای متغیرهای مستقل پیش‌بینی شده برای هر ماه به‌عنوان ورودی به تابع تقاضای آب، تقاضای آب برای آن ماه به‌دست می‌آید. برای اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی تقاضا، تقاضای آب برای دوره اطلاعات تاریخی پیش‌بینی شد تا با مقایسه مقدار واقعی و پیش‌بینی شده میزان دقت در پیش‌بینی مدل به‌دست آید.

۲.۲. پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای آب

به‌دنبال پیش‌بینی نقطه‌ای، از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای پیش‌بینی احتمالاتی استفاده شد. همان‌گونه که قبلاً گفته شد پیش‌بینی تقاضای آب معمولاً به‌صورت نقطه‌ای انجام شده و اثر عدم قطعیت پارامترهای مؤثر در میزان تقاضای آب در پیش‌بینی‌ها لحاظ نمی‌شود. پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای آب به‌وسیله پخش عدم قطعیت در متغیرهای مستقل، از طریق مدل تقاضای آب و تولید یک تابع توزیع احتمال برای تقاضای آب در نقطه مورد نظر آینده محاسبه می‌شود. توزیع‌های تقاضای تولید شده با پیش‌بینی احتمالاتی برای هر نقطه، منعکس‌کننده بازه پتانسیل مصرف آب در اثر وجود عدم قطعیت در فاکتورهایی است که تقاضا را پیش‌بینی می‌کنند. برای تعیین عدم قطعیت برای متغیرهای وابسته، به هریک از آن‌ها یک سری توابع چگالی احتمال خاص برای مقدار پیش‌بینی شده تخصیص داده می‌شود. در این تحقیق برای اعمال عدم قطعیت روی متغیرهای مستقل مورد استفاده در پیش‌بینی تقاضای آب خانگی (سرانه درآمد واقعی، قیمت واقعی آب، شاخص قیمت کالاها و خدمات، متوسط دمای حداکثر و تعداد افراد باسواد)، بهترین توزیع مقادیر ماهانه آن‌ها حاصل از تابع توزیع احتمالاتی به‌عنوان ورودی تابع تقاضای آب به‌کار رفت.

فرضیات تعیین تابع چگالی احتمالاتی برای متغیرهای مستقل در صورت امکان می‌تواند به کمک اطلاعات واقعی یا از طریق منابع خارجی و تجربیات دیگران انجام پذیرد. در این تحقیق از هر دو روش تعیین توابع چگالی یعنی

مربعات معمولی (OLS)، کمترین مربعات دو مرحله‌ای (2OLS) یا سه مرحله‌ای (3OLS) استفاده شده است. در بحث پیش‌بینی تقاضای آب، اکثر مطالعات، تقاضای آب را به‌صورت کوتاه‌مدت و نقطه‌ای برای آینده محاسبه کرده‌اند.

علم پیش‌بینی تقاضای آب به‌دلیل وجود پارامترهای مؤثر منطقه‌ای و عدم قطعیت‌های مختلف در این متغیرها، هنوز جای زیادی برای توسعه تحقیقات دارد. علاوه‌بر پیشرفت در شناخت اصول فرایندهای اقتصادی اجتماعی هیدرولوژیکی و...، پیشرفت تکنیک‌ها و قابلیت‌های مدل‌سازی نیز عاملی در بهبود مدل‌های پیش‌بینی است. در پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب توجه به دو مسئله زیر ضروری است:

۱. افزایش بازه زمانی پیش‌بینی (پیش‌بینی دراز مدت)

۲. افزایش اطمینان‌پذیری و دقت پیش‌بینی

پیش‌بینی و تأثیر عوامل و پارامترهای مختلف بر میزان تقاضای آب و عدم قطعیت هریک از این عوامل و گسترش عدم قطعیت در طول بازه پیش‌بینی، لزوم استفاده از روش‌های احتمالاتی را علاوه‌بر روش‌های قطعی بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد. در این تحقیق از توابع احتمالاتی برای تعیین عدم قطعیت متغیرهای مستقل در مدل تقاضای نقطه‌ای استفاده شده است. همچنین با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو، تقاضای نقطه‌ای و عدم قطعیت متغیرها (حاصل از توابع احتمالاتی) با یکدیگر ترکیب و مدل تقاضای احتمالاتی ایجاد شده است که با استفاده از آن می‌توان میزان ریسک وقوع هر حالت را به‌دست آورد.

۲. روش تحقیق

هدف این مطالعه تهیه مدل پیش‌بینی بلندمدت آب خانگی است که به دو صورت نقطه‌ای و احتمالاتی محاسبه شده است.

۱.۲. پیش‌بینی نقطه‌ای تقاضای آب

برای پیش‌بینی نقطه‌ای تقاضای آب خانگی، مقادیر ماهانه

دارد. استون - گری از تابع مطلوبیت کلاین - روبرین^۴ برای استخراج تابع مطلوبیت خود استفاده کرده‌اند. با فرض این که مصرف‌کننده با سبدهی از دو کالا، شامل آب (W) و دیگر کالاها و خدمات (Q_{OTH}) مواجه است، تابع مطلوبیت استون - گری به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۱)

$$\ln U = U' = \beta_1 \ln(W - S_w) + \beta_2 \ln(Q_{OTH} - S_{OTH})$$

که U': سطح مطلوبیت مصرف‌کننده؛ S_w: حداقل میزان مصرف آب؛ S_{OTH}: حداقل میزان مصرف دیگر کالاها؛ W: میزان مصرف آب؛ Q_{OTH}: میزان مصرف دیگر کالاها و β_1 و β_2 : سهم نهایی آب و دیگر کالاها در مطلوبیت مصرف‌کننده هستند. در این پژوهش از تابع مطلوبیت استون - گری برای توسعه پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای آب استفاده شد.

۴.۲. مدل آماری LARS-WG

پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی معمولاً با مدل‌های گردش عمومی و منطقه‌ای انجام می‌شود، ولی این مدل‌ها از توانایی بسیار کمی در کوچک کردن داده‌های آب و هوایی در مقیاس منطقه یا ناحیه به منظور پیش‌بینی آن داده‌ها در آینده برخوردار هستند. بنابراین از مدل‌هایی به منظور افزایش دقت مکانی و ریزمقیاس‌نمایی داده‌های آب و هوایی استفاده می‌شود که در آن شرایط طبیعی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و غیرهمدنظر قرار می‌گیرد که در اقلیم ناحیه مؤثر است. به‌طور کلی مدل‌هایی که در ارزیابی تغییر اقلیم استفاده می‌شود شامل دو نوع هستند: ۱. مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی ۲. مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری. از مهم‌ترین این مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی می‌توان به RegCM3, PRECIS و مدل‌های ASD, CLIGEN, LARS-WG و SDSM اشاره کرد. در این پژوهش از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG برای پیش‌بینی دمای حداکثر سالانه استفاده شد (Wilby & Harris, 2006).

تحلیل اطلاعات گذشته و تجربیات دیگران استفاده شده است. از توزیع‌های نرمال و یکنواخت به دلیل سهولت در تعیین پارامترها، معمولاً در مواردی استفاده می‌شود که توزیع واقعی معلوم نیست یا به‌سادگی تعیین نمی‌شود. در این پژوهش از توزیع نرمال برای تعیین تابع چگالی احتمالاتی استفاده می‌شود.

به دنبال تخصیص توزیع‌های احتمالی، از فرایند شبیه‌سازی مونت کارلو برای توسعه پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای آب که براساس مدل نقطه‌ای (با استفاده از تابع مطلوبیت استون - گری) است استفاده شده و خروجی به‌عنوان تقاضای آب هر ماه به دست می‌آید. برای هر تکرار در شبیه‌سازی مونت کارلو مقداری به‌طور اتفاقی از توزیع‌های تخصیص داده شده به هریک از متغیرهای توصیفی انتخاب و برای تولید مقداری پیش‌بینی تقاضا استفاده می‌شود. در فرایند شبیه‌سازی ۱۰۰۰۰ تکرار به‌طور مستقل، انجام شد که هر تکرار، یک مقدار تقاضای پیش‌بینی شده را تولید می‌کرد. بعد از روی هم‌گذاری مقادیر پیش‌بینی شده، آن‌ها برای هر ماه رتبه‌بندی شده و برای هر ماه توابع چگالی احتمالی تخمین زده شده در طول افق پیش‌بینی به دست آمد. برای اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی تقاضا، تقاضای آب برای دوره‌ای که اطلاعات واقعی مصرف آب وجود دارد پیش‌بینی شده و با مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده میزان دقت در پیش‌بینی مدل تعیین شد.

۳.۲. تابع مطلوبیت استون - گری

در صورت محدود بودن بودجه خانوار و با حداکثر کردن مطلوبیت، تابع تقاضا به دست می‌آید. برای هر کالا تابع مطلوبیت دارای شکل خاصی است و براساس یکسری فرضیات و انتظاراتی که از مصرف‌کننده می‌رود تعیین می‌شود. در هنگام تعیین تابع تقاضای آب فرض بر پیوستگی تابع مطلوبیت و کامل بودن اطلاعات مصرف‌کننده در موقع انتخاب است. به دلیل ضروری بودن آب برای حیات، همواره مقداری مصرف حداقل وجود

۵.۲. نرم‌افزار Eviews

نرم‌افزار Eviews یکی از نرم‌افزارهای تخصصی در زمینه به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی، به‌ویژه روش‌های جدید آن است. از دید بسیاری از محققان اقتصادسنجی، به‌کارگیری آسان روش‌های VAR (نامحدود و ساختاری) و مدل‌های ARIMA از مزیت‌های این نرم‌افزار نسبت به دیگر نرم‌افزارهای مشابه است. با توجه به گسترده شدن روز به روز علم اقتصاد و مدل‌های اقتصادی و پیچیدگی روابط بین متغیرهای اقتصادی، دیگر به هیچ عنوان امکان تحلیل و تخمین سیستم‌ها و مدل‌های اقتصادی بدون کمک گرفتن از نرم‌افزارها میسر نیست. در این تحقیق برای ساخت مدل با استفاده از متغیرهای موجود، محاسبات آماری مورد نیاز و آزمون‌های مختلف، از نرم‌افزار Eviews استفاده شد.

۳. مطالعه موردی

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق شهر نیشابور واقع در استان خراسان رضوی و جامعه آماری مورد بررسی انشعابات آب خانگی آن است. آمار و اطلاعات مورد نیاز از سالنامه آماری استان خراسان رضوی، گزارش عملکرد سالانه واحدهای تابعه شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی و آمار سازمان هواشناسی خراسان رضوی به‌دست آمده‌اند (بهبودیان، ۱۳۸۹).

۱.۳. متغیرهای تحقیق

عوامل متعددی بر میزان تقاضای آب خانگی مؤثرند که از آن جمله می‌توان عوامل اقتصادی، فرهنگی و اقلیمی را نام برد. پارامترهای اقتصادی سرانه درآمد واقعی، قیمت واقعی آب، شاخص قیمت کالاها و خدمات از جمله مواردی هستند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در میزان تقاضای خانگی آب اثرگذارند و امکان استخراج آن‌ها از منابع

اطلاعاتی موجود فراهم است و از این‌رو به‌عنوان پارامترهای مستقل انتخاب شدند. همچنین اثر مسائل فرهنگی بر میزان تقاضای آب بر کسی پوشیده نیست و با توجه به گستردگی مسائل فرهنگی انتخاب پارامتر مستقل فرهنگی کار مشکلی است. در این تحقیق پارامتر مستقل تعداد افراد باسواد که تا حدودی معرف وضعیت فرهنگی جامعه آماری مورد مطالعه است و امکان استخراج آن از سالنامه‌های آماری وجود دارد به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شد. سوابق مطالعاتی مرتبط با تغییر اقلیم در جهان، نشان‌دهنده توجه ویژه‌ای است که امروزه به مباحث مرتبط با تغییر اقلیم و آثار آن بر منابع آب می‌شود. با این وجود، تحقیقات مربوط به آثار تغییر اقلیم بر تقاضای آب مسکونی، در جهان تنوع کمتری دارد و طبق بررسی‌های انجام شده، به نظر می‌رسد که در ایران نیز تاکنون به این مسئله کمتر پرداخته شده است. از این رو در تحقیق حاضر از پارامتر مستقل حداکثر دما به‌عنوان متغیر مستقل در تخمین تقاضای آب استفاده شد.

توابع توزیع احتمالاتی بر مقادیر متغیرها و با در نظر گرفتن نتایج حاصله از آزمون اندرسون و انتخاب کمترین مقدار ضریب اندرسون انجام و با توجه به مطالعات و تجربیات دیگران بهترین توزیع انتخاب شد. برای همه ورودی‌ها از مقادیر پیش‌بینی نقطه‌ای متغیرهای مستقل در توابع آن‌ها (مانند تعیین میانگین در بعضی از توابع چگالی احتمال) استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات آماری پارامترهای مستقل ورودی و در جدول ۲ نتایج برازش توابع توزیع احتمالاتی نرمال و یکنواخت بر مقادیر پارامترهای مستقل، با در نظر گرفتن نتایج حاصله از آزمون اندرسون و انتخاب کمترین مقدار ضریب اندرسون به‌عنوان بهترین توزیع آمده است.

جدول ۱. مشخصات آماری متغیرهای ورودی

متغیر	تعداد	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
سرانه مصرف	۱۴۲	مترمکعب	۳/۸۲	۴/۸۹	۲/۸۴	۰/۵۰
قیمت واقعی	۱۴۲	ریال	۰/۶۹	۴/۸۰	۱/۶۲	۲/۷۴
سرانه درآمد واقعی	۱۴۲	ریال	۹۲۴۷	۱۲۸۰۸	۶۰۴۴	۱۸۲۷
شاخص قیمت کالاها و خدمات	۱۴۲	-	۲۳/۹۱	۱۹۵/۸۰	۳۵/۶۰	۴۳/۲۰
تعداد باسوادان	۱۴۲	نفر	۱۵۳۶۷۶	۱۹۲۴۴۶	۱۲۴۹۷۶	۱۸۷۲۳
دمای حداکثر	۱۴۲	سانتی‌گراد	۲۲/۲۷	۳۶/۴۳	۵	۹/۷۶

جدول ۲. نتایج برازش توابع توزیع احتمالاتی نرمال و یکنواخت بر پارامترهای مستقل

تابع احتمالاتی	ضریب اندرسون		پارامتر مستقل
	توزیع یکنواخت	توزیع نرمال	
مورد انتخاب			مورد بررسی
توزیع نرمال	۳/۷۱۳	۰/۲۰۵	سرانه درآمد واقعی
توزیع نرمال	۳/۷۳۱	۰/۲۰۹	قیمت واقعی آب
توزیع نرمال	۸۳/۲	۰/۵۷۶	شاخص قیمت کالاها و خدمات
توزیع نرمال	۰/۸۹	۰/۳۰۷	متوسط دمای حداکثر
توزیع یکنواخت	۰/۱۰۷	۰/۴۲۵	تعداد افراد باسواد

۲.۳. تخمین مدل تابع تقاضای آب

مدل نهایی برای تابع تقاضای بلند مدت آب براساس تابع مطلوبیت استون-گری به صورت زیر است (پژویان و حسینی، ۱۳۸۲):

$$perc_t = \theta_0 + \theta_1 \left(\frac{I_t}{MP_t} \right) + \theta_2 \left(\frac{PO_t}{MP_t} \right) + \theta_3 E_t + \theta_4 MT_t + U_t \quad (2)$$

$$\theta_3 E_t + \theta_4 MT_t + U_t, t = 1, \dots, 120$$

که MP: متوسط قیمت آب (ریال)؛ I: سرانه درآمد مصرف‌کننده (ریال)؛ PO: شاخص قیمت کالاها و خدمات در استان خراسان رضوی؛ Perc: مقدار سرانه مصرف (مترمکعب)؛ E: تعداد باسوادان؛ MT: متوسط دمای حداکثر و U: جزء اخلال است.

با فرض $PERI = \left(\frac{I_t}{MP_t} \right)$ $Pindex = \left(\frac{PO_t}{MP_t} \right)$

آنگاه:

$$t=1, \dots, 120 \quad (3)$$

$$perc_t = \theta_0 + \theta_1 Peri_t + \theta_2 Pindex_t + \theta_3 E_t + \theta_4 MT_t + U_t$$

فرض‌های مدل به صورت زیر است:

$$\theta_0 > 0, \quad 0 < \theta_1 < 1, \quad \theta_2 < 0, \quad \theta_3 > 0, \quad \theta_4 > 0$$

با بکار بردن اطلاعات سری زمانی مصرف در شهر نیشابور در دوره زمانی ۱۲ ساله (۱۳۷۶ تا ۱۳۸۷) و استفاده از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) مقدار سرانه مصرف با استفاده از نرم‌افزار Eviews تخمین زده شد (World Bank, 1994). نتایج برآورد ضرایب تابع تقاضا در

جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. نتایج تخمین ضرایب تابع تقاضای آب خانگی شهر نیشابور

p-value	Std.Error	t-Statistic	Coefficients	
۰/۲۴۶	۰/۷۴۴	۱/۱۶	۰/۸۶۶	constant
۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۰۰۳	۶/۰۲	۰/۰۰۰۲۲۲	peri
۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۳۸	-۲/۳۲	-۰/۰۰۸۹۸	Pindex
۰/۰۰۳۰	۰/۰۰	۲/۸۴	۰/۰۰۰۰۱	E
۰/۰۰	۰/۰۰۳۰۷	۳/۰۲	۰/۰۰۹۳۱	MT
	دوربین واتسون	۱/۷	R-squared	۰/۹۱۷
	F آزمون	۲۴۸	Adjusted R-squared	۰/۹۱۳

جدول ۴. کشش‌های تقاضای آب برای شهر نیشابور

تعداد باسوادان	حداکثر دما	مقاطع	درآمدی	قیمتی
۰/۴۰۲	۰/۰۵۴	-۰/۰۷۸	۰/۱۹۵	-۰/۱۱۷

استفاده از سیاست‌های قیمت‌گذاری برای کاهش مصرف آب است. کشش درآمدی نسبتاً پایین به‌دست آمده (۰/۱۹۵)، نشان‌دهنده سهم کم آب از درآمد خانوار است. منفی بودن کشش متقاطع، نشان از مکمل بودن کالای آب با دیگر کالاها دارد ولی مقدار آن بسیار کم و نزدیک به صفر است. پس حتی افزایش و کاهش قیمت سایر کالاها نمی‌تواند تأثیر زیادی روی مصرف آب داشته باشد. کشش دما مثبت و برابر ۰/۰۵۴ به‌دست آمده که بیانگر افزایش تمایل به مصرف آب با افزایش دما است. در این مطالعه کشش تعداد باسوادان برابر ۰/۴۰۲ به‌دست آمده است، از این رو افزایش ۱ درصد در تعداد باسوادان باعث افزایش ۰/۴۰۲ درصد در تقاضای آب می‌شود.

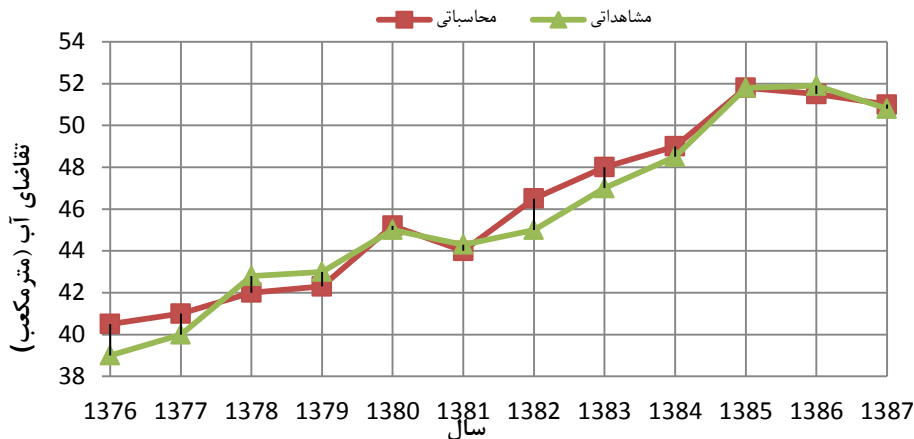
۳.۳. پیش‌بینی تابع تقاضا

برای ارزیابی دقت مدل، سرانه تقاضای آب برای دوره‌ای که اطلاعات مشاهداتی موجود هستند (۱۳۷۶-۱۳۸۷) با متغیرهای مستقل مشاهداتی پیش‌بینی شد که نتایج این مقایسه در شکل ۱ نشان داده شده است.

آن‌گونه که در نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود بر اساس آماره T تمامی ضرایب کاملاً در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بوده و علامت ضرایب برآورد شده کاملاً با تئوری همخوانی دارد. آماره دوربین - واتسون هم نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی بین جملات خطا است. مقدار R^2 و آزمون کلی معنادار بودن رگرسیون (F-statistic) در سطح مطلوبی قرار دارد و متغیر اضافی در مدل وجود ندارد زیرا مقادیر R^2 و Adjusted- R^2 به یکدیگر نزدیک هستند. با توجه به نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر و هم انباشتگی تمام متغیرها از درجه صفر، مشکل رگرسیون کاذب وجود ندارد.

در جدول ۴ کشش قیمتی، کشش درآمدی، کشش متقاطع، کشش حداکثر دما و کشش تعداد باسوادان با توجه به مقدار متوسط آن‌ها در بازه زمانی مورد بررسی، با توجه به تابع تقاضای برآورد شده و ضرایب به‌دست آمده برای شهر نیشابور آمده است.

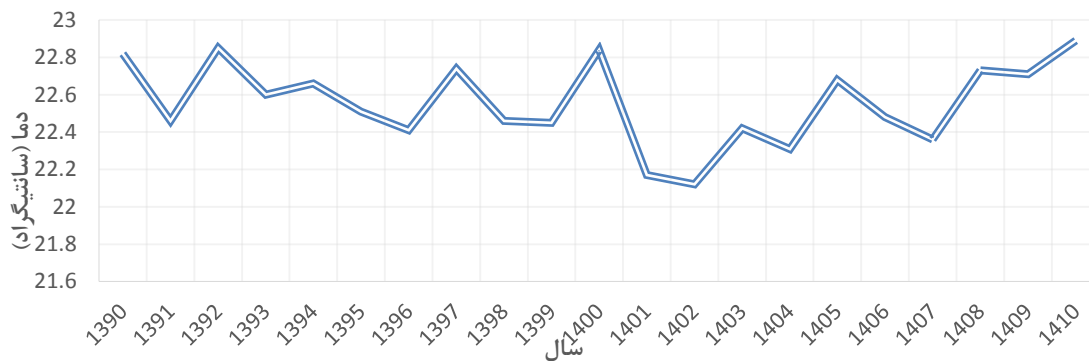
نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در صورت افزایش یک واحد قیمت آب تنها ۰/۱۱۷ واحد میزان تقاضای مردم کاهش می‌یابد (کشش قیمتی منفی) که نشان‌دهنده امکان



شکل ۱. مقایسه تقاضای سرانه آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای دوره (۱۳۷۶-۱۳۸۷)

جدول ۵. پیش‌بینی جمعیت شهر نیشابور در سال‌های آینده (هزار نفر)

سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰
جمعیت	۱۵۸/۸	۱۸۱/۱	۲۰۷/۴	۲۳۷/۰	۲۶۶/۶	۲۹۳/۳	۳۱۷/۹	۳۴۱/۸



شکل ۲. میانگین دراز مدت دمای حداکثر سالانه تولید شده در بازه زمانی ۲۰ ساله آتی

مقادیر پیش‌بینی جمعیت برای شهر نیشابور که توسط شرکت پارس کنسولت و به روش ترکیبی انجام شده، استفاده شد. با توجه به این‌که میزان باسوادان در سال ۱۳۸۷ حدود ۸۳ درصد جمعیت شهر نیشابور بوده، فرض می‌شود این مقدار برای سال ۱۴۱۰ به ۹۳ درصد خواهد رسید. نتایج پیش‌بینی جمعیت در جدول ۵ آمده است.

به‌منظور پیش‌بینی دمای حداکثر سالانه از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG استفاده شد. میانگین دراز مدت دمای حداکثر سالانه تولید شده در بازه زمانی ۲۰ ساله آتی در شکل ۲ آمده است.

همخوانی نسبتاً خوب نتایج محاسبه شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی، بیانگر دقت مناسب مدل در پیش‌بینی تقاضای آب است. همچنین، نتایج دو آزمون RMSE و MSE برای ارزیابی دقت مدل (RMSE برابر ۰/۲۲ و MSE برابر ۰/۱۳) نشان‌دهنده دقت خوب مدل برای پیش‌بینی است (Babel et al., 2007).

در این بخش متغیرهای مستقل برای آینده شامل تعداد افراد باسواد، دمای حداکثر سالانه و سرانه تقاضای آب خانگی با فرضیات مختلف پیش‌بینی می‌شود. برای پیش‌بینی تعداد افراد باسواد برای دوره (۱۳۹۰-۱۴۱۰)، از

نتایج پیش‌بینی سرانه تقاضای آب خانگی برای ساکنین شهر نیشابور برای ۲۰ سال آینده به صورت ماهانه در شکل ۳ و به صورت سالانه در شکل ۴ نشان داده شده است.

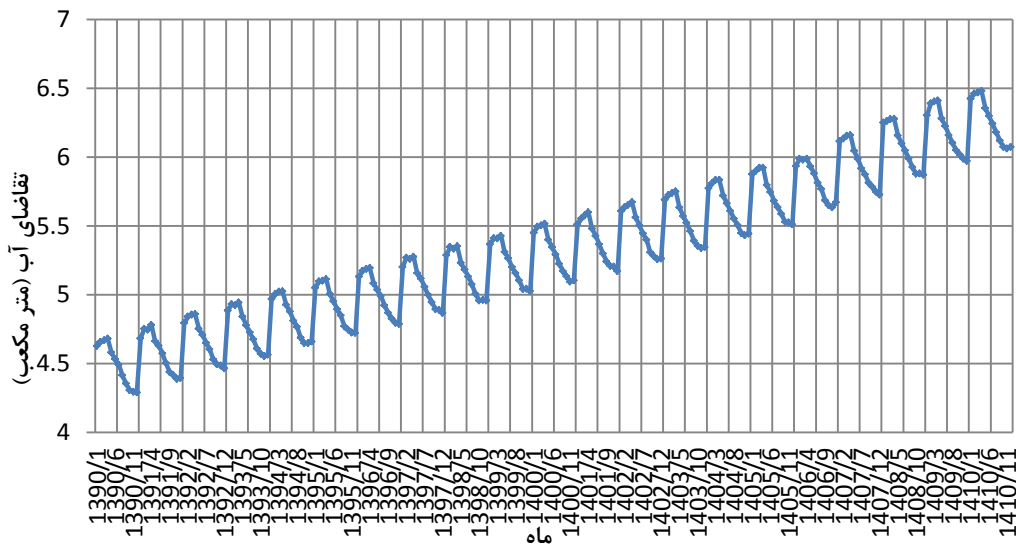
در نهایت به منظور پیش‌بینی تقاضای سرانه آب در شهر نیشابور به صورت نقطه‌ای فرضیات جدول ۶ در نظر گرفته شد.

جدول ۶. فرضیات پیش‌بینی تقاضای سرانه آب در شهر نیشابور به صورت نقطه‌ای

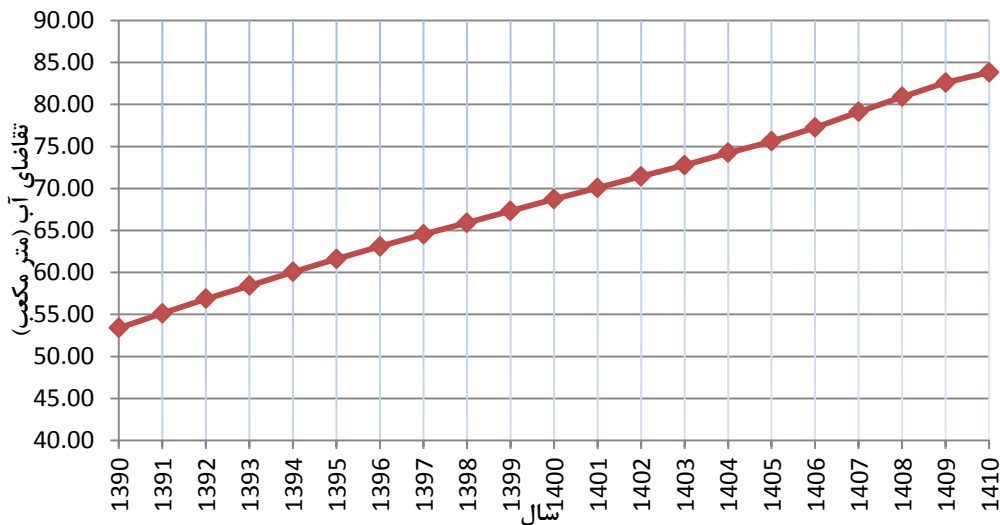
رشد قیمت آب	درآمد اقتصادی (رشد اقتصادی)	شاخص تورم (تورم)	متوسط دمای حداکثر	تعداد باسوادان
۱۲ درصد	۵ درصد	۱۵ درصد	*A1B	**A

*: سناریوی استفاده از منابع فسیلی و غیر فسیلی به صورت متعادل در پیش‌بینی متوسط دمای حداکثر

** : فرض نخست در پیش‌بینی جمعیت برای شهر نیشابور که توسط شرکت پارس کنسولت و به روش ترکیبی انجام شده است



شکل ۳. نتایج پیش‌بینی ماهانه سرانه تقاضای آب برای ساکنین شهر نیشابور برای دوره (۱۳۹۰-۱۴۱۰)



شکل ۴. نتایج پیش‌بینی سالانه سرانه تقاضای آب برای ساکنین شهر نیشابور برای دوره (۱۳۹۰-۱۴۱۰)

سرانه تقاضای آب دارای رشد سالانه معادل ۲/۰ درصد است. در جدول ۷ خلاصه نتایج پیش‌بینی تقاضای سرانه آب شهر نیشابور به روش نقطه‌ای آورده شده است.

۳.۴. نتایج پیش‌بینی احتمالاتی

خلاصه نتایج پیش‌بینی احتمالاتی به صورت صدک، که معرف توزیع تجمعی تقاضای آب برای ۱۲ ماه از سال‌های منتخب است در جداول ۸ و ۹ نشان داده شده است.

در شکل ۳ مقادیر تقاضای سرانه به صورت ماهانه نمایش داده شده است. در پیش‌بینی ماهانه، آثار فصلی نمایان است که به علت آثار فصلی موجود در متغیرهای توصیفی نمایان شده است. با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده و شکل ۴، مقدار سرانه مصرف برای سال ۱۳۹۰، ۵۳/۳۵ مترمکعب به دست آمد و در سال ۱۴۱۰ با افزایش ۴۸/۶ درصد در تقاضای سرانه آب، این مقدار معادل ۷۹/۳۱ متر مکعب تخمین زده شد. با توجه به محاسبات انجام شده،

جدول ۷. خلاصه پیش‌بینی تقاضای سرانه آب نیشابور به روش نقطه‌ای

واحد	سال					
	۱۳۸۷	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰
متر مکعب	۵۱/۱۸	۵۳/۳۵	۶۰/۰۶	۶۶/۰۳	۷۱/۹۳	۷۹/۳۱
درصد تغییرات ۱۳۹۰-۱۴۱۰					۴۸/۶٪	
متوسط تغییرات سالانه						۲٪

جدول ۸. خلاصه پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای سرانه آب در سال ۱۳۹۰ (برحسب مترمکعب)

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
پیش‌بینی نقطه‌ای	۴/۵۶	۴/۶۰	۴/۶۲	۴/۶۳	۴/۵۴	۴/۴۹	۴/۴۵	۴/۳۷	۴/۳۱	۴/۲۶	۴/۲۴	۴/۲۴
میانگین	۴/۵۷	۴/۵۹	۴/۶۲	۴/۶۴	۴/۵۴	۴/۵۰	۴/۴۴	۴/۳۹	۴/۳۱	۴/۲۷	۴/۲۵	۴/۲۴
انحراف معیار	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
میانه	۴/۵۷	۴/۵۹	۴/۶۱	۴/۶۴	۴/۵۴	۴/۵۰	۴/۴۴	۴/۴۰	۴/۳۱	۴/۲۸	۴/۲۵	۴/۲۴
۹۵ درصد	۴/۹۸	۵/۰۱	۵/۰۳	۵/۰۵	۴/۹۵	۴/۹۱	۴/۸۵	۴/۸۱	۴/۷۲	۴/۶۹	۴/۶۷	۴/۶۷
۹۰ درصد	۴/۹۳	۴/۹۶	۴/۹۸	۵/۰۰	۴/۹۰	۴/۸۶	۴/۸۰	۴/۷۶	۴/۶۷	۴/۶۴	۴/۶۲	۴/۶۱
۸۰ درصد	۴/۸۴	۴/۸۶	۴/۸۹	۴/۹۱	۴/۸۱	۴/۷۶	۴/۷۱	۴/۶۷	۴/۵۸	۴/۵۴	۴/۵۲	۴/۵۲
۷۰ درصد	۴/۷۵	۴/۷۷	۴/۸۰	۴/۸۲	۴/۷۲	۴/۶۷	۴/۶۲	۴/۵۸	۴/۴۸	۴/۴۶	۴/۴۳	۴/۴۲
۶۰ درصد	۴/۶۶	۴/۶۸	۴/۷۱	۴/۷۳	۴/۶۳	۴/۵۸	۴/۵۳	۴/۴۸	۴/۳۹	۴/۳۶	۴/۳۴	۴/۳۳
۵۰ درصد	۴/۵۷	۴/۵۹	۴/۶۱	۴/۶۴	۴/۵۴	۴/۵۰	۴/۴۴	۴/۴۰	۴/۳۱	۴/۲۸	۴/۲۵	۴/۲۴
۴۰ درصد	۴/۴۸	۴/۵۰	۴/۵۲	۴/۵۵	۴/۴۵	۴/۴۰	۴/۳۵	۴/۳۰	۴/۲۲	۴/۱۸	۴/۱۶	۴/۱۵
۳۰ درصد	۴/۳۹	۴/۴۱	۴/۴۴	۴/۴۵	۴/۳۶	۴/۳۲	۴/۲۵	۴/۲۱	۴/۱۳	۴/۰۹	۴/۰۶	۴/۰۶
۲۰ درصد	۴/۳۰	۴/۳۲	۴/۳۵	۴/۳۶	۴/۲۶	۴/۲۳	۴/۱۶	۴/۱۲	۴/۰۴	۴/۰۰	۳/۹۷	۳/۹۷
۱۰ درصد	۴/۲۱	۴/۲۴	۴/۲۶	۴/۲۷	۴/۱۸	۴/۱۴	۴/۰۷	۴/۰۳	۳/۹۵	۳/۹۰	۳/۸۸	۳/۸۷
۵ درصد	۴/۱۶	۴/۱۹	۴/۲۰	۴/۲۲	۴/۱۳	۴/۰۸	۴/۰۲	۳/۹۸	۳/۸۹	۳/۸۵	۳/۸۱	۳/۸۱

جدول ۹. خلاصه پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای سرائه آب در سال ۱۴۱۰ (برحسب مترمکعب)

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
پیش‌بینی نقطه‌ای	۶/۷۴	۶/۸۰	۶/۸۰	۶/۷۹	۶/۶۲	۶/۵۷	۶/۵۴	۶/۴۹	۶/۴۷	۶/۴۷	۶/۵۱	۶/۵۱
میانگین	۶/۷۹	۷/۰۴	۶/۹۳	۷/۰۳	۶/۸۰	۶/۲۵	۶/۸۹	۶/۶۶	۶/۶۳	۶/۵۴	۶/۸۶	۶/۶۵
انحراف معیار	۳/۹۲	۲/۷۱	۲/۸۸	۳/۲۶	۱/۳۹	۴/۰۴	۱/۸۶	۴/۶۲	۳/۴۱	۴/۴۳	۳/۸۸	۴/۶۴
میانه	۶/۸۰	۶/۸۹	۶/۹۱	۶/۹۰	۶/۷۱	۶/۶۷	۶/۶۲	۶/۵۷	۶/۵۵	۶/۵۷	۶/۶۰	۶/۵۸
۹۵ درصد	۸/۵۵	۸/۶۲	۸/۵۷	۸/۵۳	۸/۰۲	۷/۹۴	۷/۹۳	۷/۹۳	۸/۰۲	۸/۱۲	۸/۲۷	۸/۱۴
۹۰ درصد	۷/۹۷	۸/۰۹	۸/۰۳	۸/۰۱	۷/۶۴	۷/۵۸	۷/۵۶	۷/۵۳	۷/۵۷	۷/۶۶	۷/۷۴	۷/۶۷
۸۰ درصد	۷/۴۸	۷/۶	۷/۵۹	۷/۵۷	۷/۳۰	۷/۲۳	۷/۲۰	۷/۱۷	۷/۱۷	۷/۲۳	۷/۲۷	۷/۲۳
۷۰ درصد	۷/۲۱	۷/۳۲	۷/۳۱	۷/۳۰	۷/۰۷	۷/۰۱	۶/۹۸	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۷	۷/۰۱	۶/۹۸
۶۰ درصد	۶/۹۹	۷/۰۹	۷/۱۱	۷/۰۹	۶/۸۸	۶/۸۳	۶/۷۹	۶/۷۵	۶/۷۴	۶/۷۶	۶/۷۹	۶/۷۶
۵۰ درصد	۶/۸۰	۶/۸۹	۶/۹۱	۶/۹۰	۶/۷۱	۶/۶۷	۶/۶۲	۶/۵۷	۶/۵۵	۶/۵۷	۶/۶۰	۶/۵۸
۴۰ درصد	۶/۶۱	۶/۷۰	۶/۷۲	۶/۷۲	۶/۵۴	۶/۵۰	۶/۴۶	۶/۴۰	۶/۳۷	۶/۳۹	۶/۴۱	۶/۳۹
۳۰ درصد	۶/۴۰	۶/۴۹	۶/۵۳	۶/۵۳	۶/۳۷	۶/۳۲	۶/۲۸	۶/۲۳	۶/۱۹	۶/۲۲	۶/۲۱	۶/۲۰
۲۰ درصد	۶/۱۸	۶/۲۷	۶/۳۰	۶/۳۲	۶/۱۸	۶/۱۳	۶/۰۸	۶/۰۳	۶/۰۰	۶/۰۰	۵/۹۹	۵/۹۷
۱۰ درصد	۵/۹۰	۵/۹۸	۶/۰۱	۶/۰۳	۵/۹۴	۵/۸۹	۵/۸۳	۵/۷۹	۵/۷۳	۵/۷۱	۵/۷۱	۵/۶۹
۵ درصد	۵/۶۷	۵/۷۵	۵/۷۹	۵/۸۲	۵/۷۴	۵/۷۰	۵/۶۴	۵/۶۰	۵/۵۳	۵/۴۹	۵/۴۸	۵/۴۶

صدک ۵۰ یا میانه اتفاق افتاده است. در این قسمت فاصله اطمینان ۹۰ درصدی بین صدک ۵ و ۹۵ برای هر ماه تعریف می‌شود. این فاصله حاوی ۹۰ درصد کل پیش‌بینی‌های محتمل با در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیرهای توصیفی و مستقل است که با خطوطی در بالا و پایین میانه نشان داده شده است. برای مثال در جداول ۸ و ۹، ۹۰ درصد از مقادیر تقاضای پیش‌بینی شده بین ۳/۸۱ و ۴/۶۷ مترمکعب در ماه اسفند سال ۱۳۹۰ رخ داده است، در حالی که برای سال ۱۴۱۰ این بازه بین ۵/۴۶ و ۸/۱۴ است. افزایش عدم قطعیت در طول بازه پیش‌بینی در نرخ افزایشی انحراف معیار توزیع‌های تقاضای به‌دست آمده مشاهده می‌شود. مقایسه انحراف معیار در اسفند ۱۴۱۰ (۴/۶۴) با همین ماه در سال ۱۳۹۰ (۰/۲۷) مؤید این موضوع است. در شکل ۵، در پیش‌بینی ماهانه آثار ناشی از

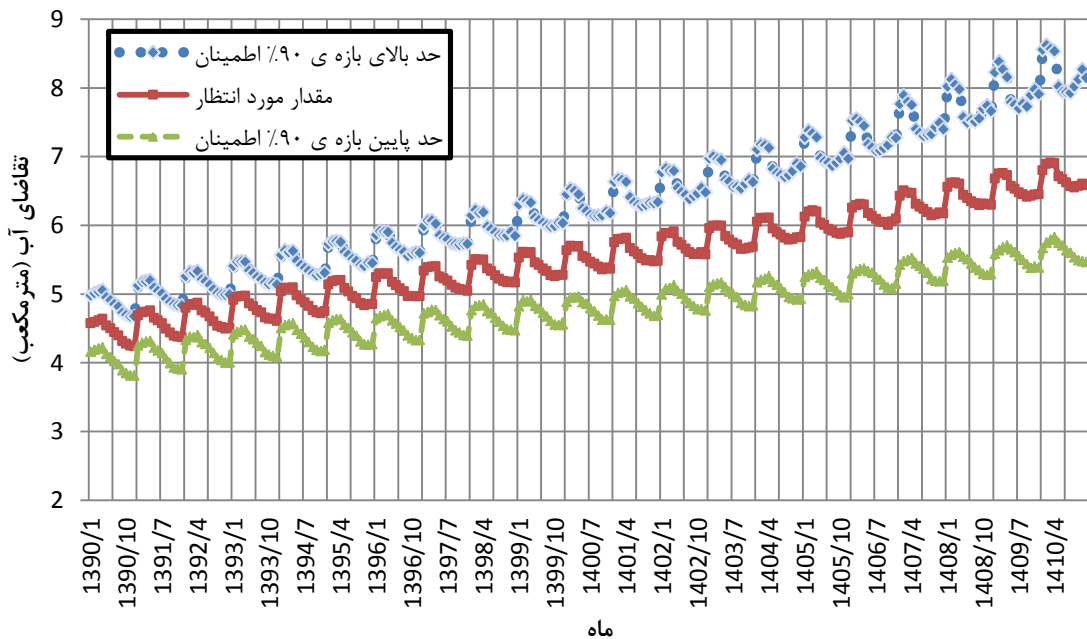
قسمت بالای این جداول مقادیر میانگین و میانه مورد انتظار (امید ریاضی) یا مقادیر گرایش به مرکز (Central Tendency) را نشان می‌دهد. هرکدام از این مقادیر می‌توانند مانند پیش‌بینی نقطه‌ای باشند. برخلاف پیش‌بینی نقطه‌ای، هرکدام از این مقادیر نشان‌دهنده امید ریاضی و مشخصات توزیع مقادیر خروجی تقاضا است. توزیع مقادیر تقاضای پیش‌بینی شده نسبتاً متقارن و به‌صورت نرمال به‌دست آمده است. بدیهی است میانه و میانگین در این توزیع یکسان است. بخش پایین این جداول مقادیر صدک‌های محاسبه شده برای هر ماه در سال‌های منتخب را ارائه می‌دهد. صدک‌ها تعیین‌کننده توزیع تجمعی تقاضای آب هستند و مقدار عدم قطعیت را مشخص می‌کنند. برای مثال، ۲۰ درصد از مقادیر مورد انتظار تقاضا زیر صدک ۲۰ رخ می‌دهد و ۵۰ درصد رخ داده‌ها بالای

به تبع آن سرمایه‌گذاری و توسعه شبکه آب‌رسانی خواهد داشت.

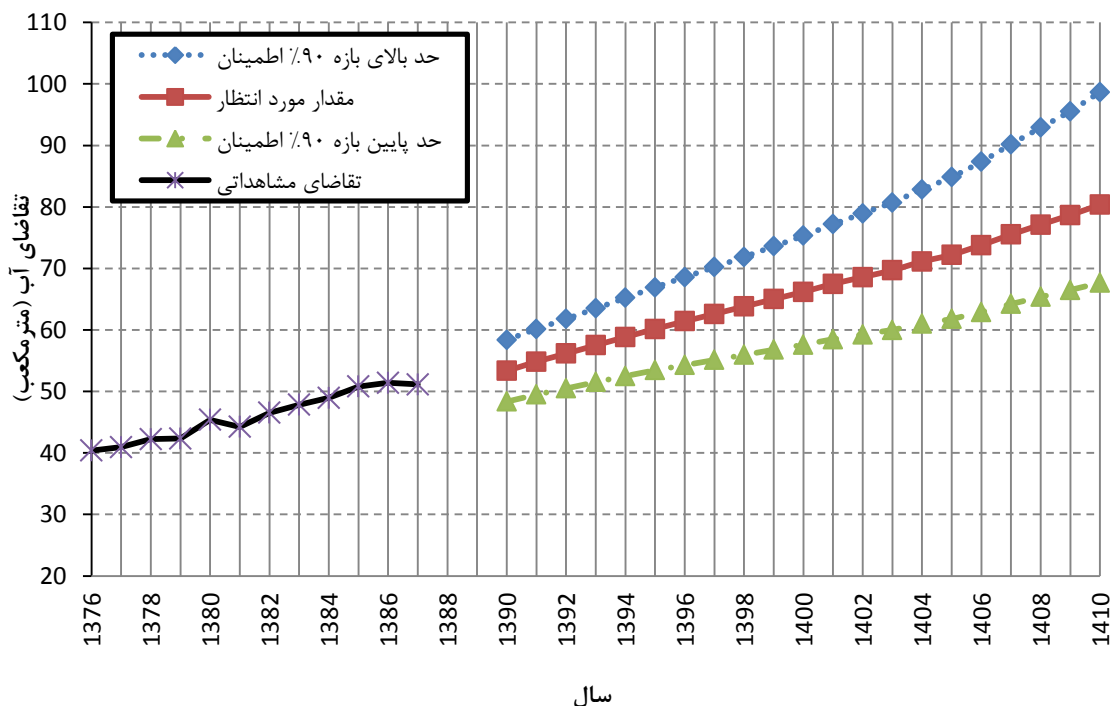
همین الگو در تقاضای پیش‌بینی شده را نیز می‌توان در مقادیر سالانه تقاضای آب مشاهده کرد. به‌منظور درک بهتر، نتایج پیش‌بینی احتمالاتی برای سال‌های مورد مطالعه (۱۳۹۰-۱۴۱۰) در شکل ۶ نشان داده شده، که از مقادیر ماهانه آن‌ها محاسبه شده است. مقادیر سالانه امید ریاضی پیش‌بینی شده (میانگین) تقاضای آب که در شکل ۶ نشان داده شده، برای سال ۱۴۱۰ برابر ۸۰/۳۶ محاسبه شده است. در مقایسه با مقدار مورد انتظار برای سال ۱۳۹۰، ۵۰ درصد افزایش تقاضا برای دوره (۱۳۹۰-۱۴۱۰) ایجاد شده است. به‌طور میانگین سالانه ۲ درصد افزایش در تقاضا ایجاد می‌شود که با نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی نقطه‌ای تطابق دارد. بدیهی است که این نتایج نباید کاملاً شبیه هم باشد، به‌دلیل این‌که پیش‌بینی نقطه‌ای براساس پیش‌بینی قطعی متغیرهای مستقل ایجاد شده است، درحالی‌که مقادیر قابل‌انتظار در فرایند پیش‌بینی احتمالاتی از انتخاب تصادفی متغیرهای مستقل نشئت گرفته است.

تغییرات فصلی نیز نمایان است که در اثر تغییرات فصلی پارامترهای توصیفی ایجاد شده است.

خلاصه نتایج پیش‌بینی احتمالاتی تقاضای آب برای ماه‌های فروردین، تیر، مهر و دی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ در شکل ۵ به‌صورت گرافیکی نشان داده شده است. همچنین در شکل ۵ مقایسه مقادیر مورد انتظار و فاصله اطمینان ۹۰ درصدی پیش‌بینی سالانه تقاضای سرانه آب برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به‌علت این‌که عدم قطعیت متغیرهای مستقل پیش‌بینی شده در طول زمان افزایش می‌یابد، فواصل اطمینان تقاضای پیش‌بینی شده، در سال‌های آتی بزرگ‌تر می‌شود. در طول زمان، فاصله اطمینان نیز به سمت بالا حرکت کرده که ناشی از افزایش مقادیر متغیرهای مستقل در طول دوره پیش‌بینی است. مقادیر احتمالی تقاضا برای هر صدک، این امکان را به تصمیم‌گیران می‌دهد که با توجه به میزان ریسک که در تصمیم خود استفاده خواهند کرد هرکدام از این صدک‌ها را به‌عنوان آستانه رخداد تقاضا در آن ماه در نظر بگیرند. تعیین این مقادیر آستانه نقش مهمی در تعیین مقدار نیاز آبی و



شکل ۵. فاصله اطمینان ۹۰ درصدی پیش‌بینی سالانه تقاضای سرانه آب



شکل ۶. مقایسه مقادیر مشاهداتی و فاصله اطمینان ۹۰ درصدی پیش‌بینی سالانه تقاضای سرانه آب

مصرف آب ارائه شد. در این قسمت، مدل پیش‌بینی نقطه‌ای با شبیه‌سازی مونت‌کارلو ترکیب شده و نتایج پیش‌بینی احتمالاتی به‌دست آمده است. به هریک از متغیرهای مستقل در نقطه مورد نظر آتی، توزیع احتمال برازش داده می‌شود و مقادیر عدم قطعیت ناشی از پیش‌بینی متغیرهای مستقل از طریق تابع تقاضا، به تقاضای آب پیش‌بینی شده در آن نقطه منتقل می‌شود. برخلاف پیش‌بینی قطعی، که توسط مجموعه‌ای از نقاط متصل واحد تقاضای آب پیش‌بینی شده، تعریف شده است، پیش‌بینی احتمالی بازه‌ای از مقادیر محتمل برای خروجی‌ها (تقاضای آب) ارائه می‌دهد. بدیهی است در فرایند تصمیم‌گیری اعتماد بیشتری به مقادیر بازه‌ای صورت می‌گیرد.

مقادیر سالانه امید ریاضی پیش‌بینی شده (میانگین) تقاضای سرانه آب، برای سال ۱۴۱۰، معادل ۸۰/۳۶ مترمکعب محاسبه شد که در مقایسه با مقدار مورد انتظار برای سال ۱۳۹۰، ۵۰ درصد افزایش تقاضا برای دوره (۱۳۹۰-۱۴۱۰) ایجاد شده است. به‌طور میانگین سالانه ۲ درصد افزایش در تقاضا به‌وجود می‌آید که با نتایج به‌دست

۹۰ درصد از تقاضاهای پیش‌بینی شده بین حد بالا و پایین فاصله اطمینان تعریف شده قرار گرفته است. همین‌طور که در شکل ۶ مشخص است با افزایش زمان، پهنای این باند بیشتر می‌شود که ناشی از افزایش انحراف از معیار است. در سال ۱۳۹۰ فاصله اطمینان تعریف شده برای تقاضای آب به‌طور متوسط بین ۴۸/۳۶ و ۵۸/۳۶ به‌دست آمده در حالی‌که برای سال ۱۴۱۰ این بازه رشد کرده و پهن‌تر شده و به ۶۷/۶۶ و ۹۸/۶۴ رسیده است.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای تخمین تابع تقاضای آب از تابع استون-گری استفاده شد و متغیرهای مؤثر بر تقاضا برای دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۷ شامل قیمت متوسط واقعی آب، درآمد سرانه واقعی، شاخص کالاها و خدمات مصرفی، میانگین دمای حداکثر و تعداد افراد باسواد به‌صورت ماهانه جمع‌آوری شد. مقادیر کشش‌های درآمدی و قیمتی نشان داد که آب کالایی بدون جایگزین و ضروری در شهر نیشابور است. سپس برای ۲۰ سال آینده بازه تغییرات

توابع احتمالاتی اثر آن‌ها را در پیش‌بینی تقاضای آب لحاظ کرده‌اند. آن‌ها با ایجاد ارتباط بین جمعیت، شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های اقتصادی، تقاضای بلندمدت برای آب را در بازه اطمینان ۹۰ درصد با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو پیش‌بینی کردند. در این تحقیق، نخست مقدار تقاضای آب با استفاده از مدل نقطه‌ای تعیین و سپس با شبیه‌سازی مونت کارلو، تقاضای نقطه‌ای و عدم قطعیت متغیرهای مستقل انتخاب شده شامل سرانه درآمد واقعی، قیمت واقعی آب، شاخص قیمت کالاها و خدمات، تعداد افراد باسواد و حداکثر دما با یکدیگر ترکیب و مدل تقاضای احتمالی ایجاد شد. سپس با استفاده از آن، یک بازه اطمینان ۹۰ درصد برای تقاضای آب در سال‌های آتی پیش‌بینی و احتمال تعیین ریسک برای مقدار تقاضای آب پیش‌بینی شده فراهم شد. این کار تا حدودی شبیه کار Almutaz و همکاران (۲۰۱۳) است، با این تفاوت که در این تحقیق مبنای ساخت مدل احتمالاتی، مدل نقطه‌ای بوده و متغیرهای مستقل انتخاب شده و عدم قطعیت‌های آن‌ها نیز متفاوت است.

یادداشت‌ها

1. Multi Layer Perceptron (MLP)
2. Radical Basis Function (RBF)
3. meta-analytical approach
4. Klein-Rubin
5. Vector Autoregression (VAR)

آمده از پیش‌بینی نقطه‌ای تطابق دارد. در این قسمت بازه اطمینان ۹۰ درصدی بین صدک ۵ و ۹۵ برای هر ماه تعریف می‌شود. این بازه اطمینان حاوی ۹۰ درصد کل پیش‌بینی‌های محتمل با در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیرهای توصیفی و مستقل است. با افزایش زمان، پهنای این باند بیشتر می‌شود که ناشی از افزایش انحراف از معیار است. در سال ۱۳۹۰ فاصله اطمینان تعریف شده برای تقاضای آب به‌طور متوسط بین ۴۸/۳۴ و ۵۸/۳۶ مترمکعب به‌دست آمد. در حالی که برای سال ۱۴۱۰ این بازه رشد کرده و پهن‌تر شده و به ۶۷/۶۶ و ۹۸/۶۴ مترمکعب رسیده است. مقادیر احتمالی تقاضا برای هر صدک، این امکان را به تصمیم‌گیران می‌دهد که با توجه به میزان ریسکی که در تصمیم خود در نظر می‌گیرند هر کدام از این صدک‌ها را به‌عنوان آستانه رخداد تقاضا در آن ماه در نظر بگیرند. تعیین این مقادیر آستانه، نقش مهمی در تعیین مقدار نیاز آبی و به تبع آن سرمایه‌گذاری و توسعه شبکه آب‌رسانی خواهد داشت.

همان‌گونه که قبلاً نیز گفته شد در اغلب مطالعات قبلی پیش‌بینی تقاضای آب معمولاً توسط یک سری از برآوردهای نقطه‌ای انجام شده است و عدم قطعیت‌های موجود در متغیرهای مورد استفاده مدنظر قرار نگرفته‌اند. برای مثال در مقاله‌های مورد استفاده در این تحقیق که در مقدمه به آن‌ها اشاره شد تنها Almutaz و همکاران (۲۰۱۳) عدم قطعیت‌های موجود را مدنظر قرار داده و با استفاده از

منابع

- اکبری، ح. و دینانی، م. ۱۳۷۹. تخمین تقاضای آب شرب شهر کرمان، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۳(۷): ۶۸-۷۸.
- بهبودیان، ص. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تقاضای دراز مدت آب شرب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
- پژویان، ج. و حسینی، س.ش. ۱۳۸۲. برآورد تابع تقاضای آب خانگی (مطالعه موردی شهر تهران)، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۵(۱۶): ۴۷-۶۷.
- تابش، م. و دینی، م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری مطالعه موردی شهر تهران، مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۱): ۸۴-۹۵.

شرزهای، غ.، فخرایی، م. و احراری، ح. ۱۳۸۷. پیش‌بینی تقاضای آب شهر تهران با استفاده از الگوهای ساختاری سری‌های زمانی و شبکه عصبی، مجله تحقیقات اقتصادی، ۸۴(۴۳): ۱۷۵-۱۵۱.

شرکت مهندسی مشاور پارس کنسولت، ۱۳۸۳، طرح مطالعات آب به حساب نیامده نیشابور، تهران.

Almutaz, I., Ali, E., Khalid, Y. and Ajbbar, A.H. 2013. A long term forecast of water demand for a desalinated dependent city: case of Riyadh City in Saudi Arabia, *Desalination and Water Treatment*, 51(31): 5934-5941.

Babel, M.S.T, Das Gupta, A. and Pradhan, P. 2007, A multivariate econometric approach for domestic water demand modeling: An application to Kathmandu, Nepal, *Water Resource Manage*, 21(3): 573-589.

Behboudian, S., Tabesh, M., Falahnezhad, M. and Alavian Ghavanini, F. 2014, A long-term prediction of domestic water demand using preprocessing in artificial neural network, *Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 63(1): 31-42.

Ekstrom, M., Hingray, B., Mezghani, A. and Jones, P.D. 2007, Regional climate model data used within the SWURVE project 2: Addressing uncertainty in regional climate model data for five European case study areas, *Hydrology and Earth Systems Science*, 11(3): 1097-1114.

Gaudin, S., Griffin, R.C. and Sickles, R.C., 2001, Demand specification for municipal water management: Evaluation of the stone gear form, *Land Economics*, 77(3): 399- 422.

Koutiva, I., Makropoulo, C., 2016, Modelling domestic water demand: An agent based approach, *Environmental Modelling & Software*, 79: 35-54.

Khatri, K.B. and Vairavamoorthy, K., 2009, Water demand forecasting for the city of the Future against the uncertainties and the global change pressures: case of Birmingham, *World Environmental and Water Resources Congress*, 1-15.

Msiza, I.S., Nelwamondo, F.V. and Marwala, T., 2007, Water demand forecasting using multi-layer perceptron and radial basis functions, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, Article, 13-18.

Sebri, M. 2016, Forecasting urban water demand: a meta-regression analysis, *Journal of Environmental Management*, 183 (3): 777-785.