



## Long Term Prediction of Drinking Water Demand: (Case Study of Neyshabur City, Iran)

M. Tabesh<sup>1\*</sup>, S. Behboudian<sup>2</sup> and S. Beygi<sup>3</sup>

### Abstract

Potable water in Iran, like most parts of the world, is scarcer every day under the effect of factors such as the drought, population growth, and increasing per capita consumption. In these conditions human effort for optimum use of this non-replacable resource seems necessary. In this regard, estimates of water demand in the future, provides the opportunity for decision makers to consider the constraints and leading disasters to adopt of the necessary measures. In this study, the per capita water demand forecasts from both point and interval approach is used. After estimating water demand function, the possible scenarios for the future of the independent variables are predicted. Then effects of changes in economic parameters in the water use for domestic water demand are discussed. The results emphasize the importance of commodity water. In order to point prediction, four scenarios were defined and independent variables were predicted. Percent of the first three scenarios of water demand (for the case that the subsidies plan is not implemented) for the period 2011 to 2032 is 40 to 57 percent. In the fourth scenario that assumes subsidies plan, amounts of per capita water demand decreases 3 and 2 cubic meters, respectively for years 2011 and 2013 compared to the situation that the subsidies were not implemented. Finally, by use of neural networks, the long-term water demand is predicted. The results showed that the use of indecisive part of time series in demand prediction by neural networks can solve the introspection problem of these models to some extent.

**Keywords:** Water demand, Stone-Geary utility function, Artificial Neural Network.

Received: September 3, 2013

Accepted: July 1, 2014

## پیش بینی بلند مدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)

مسعود تابش<sup>۱\*</sup>، صادق بهبودیان<sup>۲</sup> و سهیلا بیگی<sup>۳</sup>

### چکیده

پیش بینی تقاضای آب خانگی و شناخت عوامل مؤثر بر آن یکی از گام‌های مهم در مدیریت و کنترل بحران آب است، زیرا راه حل مؤثر، تنها عرضه آب نیست بلکه اتخاذ سیاست‌ها و تدابیر لازم مبتنی بر الگوی مصرف و توجه کافی به عوامل تقاضای آب از اهمیت بالایی برخوردار است. 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. در این تحقیق برای پیش‌بینی تقاضای سرانه آب از دو رویکرد نقطه‌ای و بازه‌ای استفاده شده است. بعد از تخمین تابع تقاضای آب، با تعیین سناریوهای محتمل مقادیر متغیرهای مستقل برای آینده پیش‌بینی می‌شود. در ادامه به بررسی اثر تغییرات پارامترهای اقتصادی در مصرف آب بر تقاضای آب خانگی پرداخته شده است. نتایج بر ضروری بودن کالای آب تاکید می‌کند. با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در شهر نیشابور، به‌منظور پیش‌بینی نقطه‌ای، چهار سناریو تعریف گردید و متغیرهای مستقل پیش‌بینی شدند. درصد تغییرات تقاضای آب سه سناریو اول (برای حالتی که طرح هدفمندسازی یارانه‌ها اجرا نگردد) برای دوره‌ی ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ بین ۴۰ تا ۵۷ درصد در طول این بازه می‌باشد. در سناریو چهارم که فرض بر اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها می‌باشد مقادیر تقاضای سرانه آب نسبت به حالتی که این طرح اجرا نگردد در سال ۱۳۹۰، ۳ متر مکعب و در سال ۱۳۹۲، ۲ متر مکعب کاهش می‌یابد. در انتها با استفاده از شبکه عصبی تقاضای آب بصورت بلند مدت پیش‌بینی شده است. نتایج نشان داد، استفاده از جزء غیرقطعی سری‌های زمانی در پیش‌بینی با شبکه‌های عصبی می‌تواند مشکل درونگرا بودن این مدل‌ها را تا حدی حل نماید.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی بلندمدت، تقاضای آب، تابع مطلوبیت استون‌گیری، شبکه عصبی مصنوعی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۲ شهریور ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۰ تیر ۱۳۹۳

1- Professor, Center of Excellence for Engineering and Management of Civil Infrastructures, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: mtabesh@ut.ac.ir.

2- MSc graduate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: s.behboudian@gmail.com

3- PhD Candidate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: beygi@ut.ac.ir

\*- Corresponding Author

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

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران - آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

خانوار، زیر بنای واحد مسکونی و وجود باغچه بر تقاضای آب بررسی شده است که نتایج مطالعه نشان می‌دهد، اثر زیربنای واحد مسکونی بر تقاضای آب مثبت و وجود باغچه بدون تأثیر بوده است و به ازای هر نفر افزایش در بعد خانوار،  $0/72$  مترمکعب از مصرف سرانه کم می‌شود. (Martinez et al. (2004 با استفاده از تابع مطلوبیت استون‌گیری به استخراج تابع تقاضای آب خانگی برای شهر سولیل<sup>۱</sup> در جنوب کشور اسپانیا پرداختند. در این مطالعه دو مدل متفاوت ارائه و برآورد شده است. در الگوی اول، حداقل مصرف ثابت در نظر گرفته شده است و حداقل مصرف سرانه در ماه  $4/7$  متر مکعب بدست آمده است. سپس با توجه به مقادیر مصرف آب در دوره‌های گذشته و مقدار بارندگی مجدداً حداقل مصرف برآورد شد که در این حالت سطح آستانه مصرف آب به  $2/6$  متر مکعب رسیده است. کشش‌های قیمتی و درآمدی بدست آمده در میانگین نمونه  $-0/1$  و  $0/1$  برآورد شده است. (Topalli et al. (2006 به منظور ارائه راه حلی برای مسئله پیش‌بینی بارکوتاه مدت از رویکرد هوش مصنوعی به عنوان جایگزینی برای رویکردهای مبتنی بر رگرسیون سنتی استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که اگرچه الگوی ARIMA پیش‌بینی‌های مناسبی را ارائه می‌دهد اما به خوبی الگوی شبکه عصبی به کار رفته در این مطالعه نیست. تابش و همکاران (۱۳۸۶)، (۱۳۸۷) در دو تحقیق مختلف، سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی را برای پیش‌بینی کوتاه مدت تقاضای آب شهری در تهران به کار بردند. آنها از داده‌های هواشناسی و داده‌های مصرف آب روزانه فروردین ۱۳۷۰ تا دی ۱۳۸۲ برای مدل‌سازی استفاده کردند که تعداد کم داده‌ها و محدود بودن تحقیق به یک نوع مدل شبکه عصبی از ضعف‌های این مطالعات بوده است. تابش و همکاران در سال ۱۳۸۷ پس از بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای آب شهری، به پیش‌بینی تقاضای کوتاه مدت آب با استفاده از شبکه عصبی در شهر تهران پرداختند. الگوی شبکه‌ی عصبی با دو لایه نهان که دارای یک نرون در لایه نهان اول و ۷ نرون در لایه‌ی نهان دوم باشد بهترین ساختار برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت تقاضای آب در شهر تهران تشخیص داده شده است، در این تحقیق متغیرهای اقتصادی از قبیل قیمت آب و درآمد مصرف‌کننده مورد استفاده قرار نگرفته است و در واقع در این مطالعه، تنها تابع مصرف آب برآورد شده است. (Msiza et al. (2007 شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و شبکه‌های عصبی مصنوعی پایه شعاعی را برای پیش‌بینی دراز مدت و کوتاه مدت تقاضای آب شهری در افریقای جنوبی استفاده نمودند. مقایسه دو مدل نشان داد که مدل‌های تابع پایه شعاعی سریع‌تر به جواب‌ها همگرا شده و دقت نتایج آن بهتر از پرسپترون چندلایه است. (Tabesh and Dini (2008 از مدل نروفازی برای پیش‌بینی مصرف آب تهران به مدت ۱۲ سال از

در سالهای اخیر بررسی‌های گسترده‌ای بر روی مسأله چگونگی استفاده بهینه از منابع آب شهری انجام شده است. یکی از این موضوعات تعیین تابع تقاضای آب خانگی می‌باشد. با استخراج این تابع می‌توان حساسیت تقاضا نسبت به متغیرهای تأثیرگذار همچون جمعیت یا سایر متغیرها را مشخص کرد و از این طریق توزیع زمانی نیاز آبی آینده را محاسبه نمود. در گذشته با توجه به عدم محدودیت منابع آبی، مدیران قادر بودند طرح‌ها را بصورت بیش از نیاز طراحی کنند ولی اکنون محدودیت منابع آبی و اقتصادی، تصمیم‌گیران را مجبور می‌کند تا در محدوده نیازهای بشری و عوامل درگیر گام بردارند. نکته‌ای که در این بخش قابل توجه است، این است که بتوان بر اساس تخمین تابع تقاضا در مورد افزایش ظرفیت منابع آبی، افزایش ظرفیت خطوط انتقال، میزان حجم سرمایه‌گذاری و تعیین محدوده قابل توسعه تصمیم‌گیری کرد. بطور کلی از طریق داشتن یک تابع تقاضای نسبتاً دقیق و جامع، فرصت سیاست‌گذاری مطابق واقعیت فراهم می‌گردد.

تحقیقات گسترده‌ای پیرامون مصرف، عرضه و تقاضای آب تاکنون صورت گرفته است. (Danilson (1979 با استفاده از یک الگوی خطی چند متغیره و یک نمونه آماری که  $261$  مصرف‌کننده را شامل می‌شود، تقاضای آب ساکنین را برآورد نموده است. متغیرهای متوسط ریزش باران، درآمد مصرف‌کننده، متوسط درجه حرارت، اندازه خانوار و قیمت واقعی آب در این الگو بررسی شده‌اند و تقاضای داخلی و غیرداخلی آب بطور جداگانه تخمین زده شده است. کشش قیمتی و درآمدی آب برای تقاضای داخلی که پارامترهای بی‌بعد می‌باشند به ترتیب  $-0/31$  و  $0/35$  و برای تقاضای غیر داخلی کشش قیمتی  $-1/38$  بدست آمده است. (Thomas and Syme (1998 در استرالیا با استفاده از داده‌های مقطعی و مدل نیمه‌لگاریتمی، مدل تقاضای آب خانگی را برآورد نمودند. طبق نتایج، با افزایش یک درصدی بهای آب، مقدار تقاضای مصرف‌کنندگان مورد مطالعه  $0/5$  درصد کاهش می‌یابد. (Alsaba and Amin (1999 مطالعه‌ای در کشور عربستان سعودی انجام دادند و به پیش‌بینی تقاضای بلندمدت با استفاده از الگوی شبکه عصبی پرداختند و همچنین مقایسه‌ای با الگوهای سری‌های زمانی انجام دادند. نتایج مطالعه برحسب عملکرد خطا نشان می‌دهد که الگوی شبکه‌ی عصبی مصنوعی نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تری را نسبت به دیگر تکنیک‌های پیش‌بینی ارائه کرده است. اکبری و دینانی در سال ۱۳۷۹ با استفاده از داده‌های سری زمانی مقطعی تابع تقاضای آب شرب شهر کرمان را برآورد کردند. در این مطالعه اثر بعد

## ۲-۱- روش استون گیری<sup>۲</sup>

از نظر تئوری، تابع تقاضا از طریق حداکثر نمودن مطلوبیت، مشروط به محدودیت بودجه خانوار بدست می‌آید. شکل تابع مطلوبیت هر کالا بر اساس فرض‌های اساسی مدل تقاضای مربوط به آن کالا و انتظاراتی که از رفتار مصرف‌کننده در قبال آن کالا می‌رود، ساخته می‌شود. همچنین وقتی صحبت از تابع تقاضای آب می‌شود فرض بر این است که تمام فروض اقتصاد نئوکلاسیک برقرار است. بدین منظور می‌بایست هر مصرف‌کننده تابع مطلوبیت پیوسته‌ای داشته و در هنگام انتخاب دارای اطلاعات کامل باشد. از آنجا که مصرف آب بعنوان کالای ضروری نمی‌تواند به زمان دیگری موکول شود و همواره نیاز به آب به عنوان یک ماده حیاتی در هر زمان وجود دارد، آب به عنوان یک کالای ضروری همواره از «حداقلی از مصرف» برخوردار است. همچنین، تطابق نتایج حاصله از تحقیقات مختلف با رفتار واقعی مصرف‌کننده در خصوص کالاهایی که باید از حداقل معاش برای مصرف برخوردار باشند، نشان می‌دهد که «تابع مطلوبیت استون-گیری<sup>۳</sup>» که به تابع مطلوبیت پایه‌ریزی شده برای کالاهای ضروری مشهور است، سازگارترین نوع تابع مطلوبیت در این خصوص می‌باشد، که با واقعیات و فرضیات این تحقیق نیز همخوانی زیادی دارد. از ویژگی‌های دیگر این تابع استفاده فراوان آن در اقتصادسنجی است که کار را برای این تحقیق ساده می‌نماید.

در این پژوهش جهت پیش‌بینی نقطه‌ای تقاضای آب خانگی، مقادیر ماهانه متغیرهای توصیفی برای بازه مورد نظر پیش‌بینی می‌شود. بدیهی است که به ازای متغیرهای مستقل پیش‌بینی شده برای هر ماه به عنوان ورودی به تابع تقاضای آب، تقاضای آب برای آن ماه بدست می‌آید. جهت اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی تقاضا، تقاضای آب برای دوره‌ی اطلاعات تاریخی پیش‌بینی می‌شود. تا با مقایسه مقدار واقعی و پیش‌بینی شده میزان دقت در پیش‌بینی مدل بدست آید.

## ۲-۲- روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

با توجه به اینکه تقاضای آب ساختاری غیر خطی دارد شبکه‌های عصبی ایده‌ی خوبی برای پیش‌بینی در این زمینه است. از آنجائی که شبکه‌های عصبی براساس محدوده‌ی اطلاعات اولیه (ورودی و خروجی) آموزش پیدا می‌کنند نمی‌توانند خارج از این محدوده پیش‌بینی کنند. در اکثر مطالعات قبلی در زمینه پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی از مدل‌هایی استفاده شده است که متغیر وابسته (مصرف آب) به عنوان متغیر مستقل با وقفه زمانی در مدل در نظر گرفته شده است. این امر باعث می‌شود برای ساخت مقادیر مصرف آب، از مقادیر مصرف (پیش‌بینی شده در مراحل قبل) استفاده شود که در مراحل قبل توسط همین مدل بدست آمده است. بنابراین خطا

سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۲ استفاده کردند. همچنین مجدداً نیز تابش و دینی (۱۳۸۹) روش شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای برآورد تقاضای روزانه آب شهری تهران به کار بردند. 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 شده است. مقایسه نتایج مدل‌ها با همدیگر و با نتایج مدل‌های نروفازی و روشهای سری زمانی ساخته شده در تحقیقات دیگر، نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی از قابلیت بالایی برای مدل‌سازی تقاضای روزانه آب شهری برخوردارند. در این میان، مدل پرسپترون سه لایه با خروجی غیرخطی، دقت بالاتری دارد. (Schleich et al. (2009) از دو مدل نیمه‌لگاریتمی و یک مدل لگاریتمی برای تخمین تابع تقاضای کشور آلمان استفاده کرده‌اند. در الگوی طراحی شده به منظور برآورد تقاضای آب، درآمد خانوار، قیمت آب، سبب خانوار و سن جمعیت بصورت اطلاعات مقطع عرضی استفاده شده است. نتایج کشش قیمت ۰/۲۴- و کشش درآمدی بزرگتر از صفر را تخمین زده است. (Almutaz et al. (2013) تقاضای بلندمدت شهر ریاض عربستان سعودی را با استفاده از برقراری ارتباط بین جمعیت، شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با قیمت نفت پیش‌بینی نموده است. در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو عدم قطعیت‌های اطلاعات را شبیه‌سازی کرده است نتایج حاکی از آن است که تقاضای آب در آینده تقریباً با مقداری برابر به هر دو عامل شرایط آب و هوایی و عوامل اقتصادی اجتماعی وابسته می‌باشد.

علی‌رغم پیشرفت‌های شایان در زمینه مدل‌های پیش‌بینی به‌خصوص مدل‌های پیش‌بینی بلندمدت، به‌نظر می‌رسد هنوز کاستی‌های زیادی در این مورد وجود دارد. در مطالعات انجام شده که از شبکه عصبی و مدل‌های اتورگرسیون، برای پیش‌بینی تقاضای آب استفاده شده است، پیش‌بینی‌ها براساس همبستگی بین مقادیر تقاضای آب بوده است. بدیهی است در این صورت نمی‌توان بیشتر از چند گام زمانی پیش‌بینی کرد. لذا در این تحقیق از شبکه عصبی استفاده می‌شود تا بتوان با اطمینان‌پذیری و دقت پیش‌بینی مقادیر تقاضا را بدست آورد.

## ۲- روش تحقیق

در این مقاله از دو روش برای پیش‌بینی تقاضای آب استفاده شده است:

هم‌خطی بودن و هم‌جمعی.

### ۳-۲- تخمین مدل تابع تقاضای آب

بر اساس تابع مطلوبیت استون-گیری، تابع تقاضای بلند مدت آب، با استفاده از اطلاعات سری زمانی برای سالهای ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۷ و به‌کارگیری روش اقتصادسنجی حداقل مربعات معمولی (OLS) با استفاده از نرم‌افزار Eviews تخمین زده شد. اساس روش حداقل مربعات معمولی این است که ضرایب مدل مقادیری اختیار کنند که مدل رگرسیون نمونه بیشترین نزدیکی را به مشاهدات داشته باشد. به عبارت دیگر کمترین انحراف را از مشاهدات فوق نشان دهد.

$$perc_t = \theta_0 + \theta_1 \left( \frac{I_t}{MP_t} \right) + \theta_2 \left( \frac{PO_t}{MP_t} \right) \quad (1)$$

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

که  $Perc_t$ : مقدار مصرف سرانه آب آشامیدنی (مترمکعب)،  $I$ : درآمد سرانه مصرف کننده (ریال)،  $MP$ : قیمت متوسط آب آشامیدنی (ریال)،  $PO$ : شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی استان خراسان رضوی،  $E$ : تعداد باسوادان  $MT$ : متوسط دمای حداکثر و  $U$  جزء اخلال است. و با در نظر گرفتن

$$Peri_t = \left( \frac{I_t}{MP_t} \right) \quad Pindex = \left( \frac{PO_t}{MP_t} \right)$$

$$perc_t = \theta_0 + \theta_1 Peri_t + \theta_2 Pindex + \theta_3 E_t + \theta_4 MT_t + U_t \quad t = 1, \dots, 120 \quad (2)$$

و فروض مدل به صورت زیر منظور گردیده است.

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

جهت تخمین تابع تقاضای آب خانگی مدل‌های مختلفی بصورت خطی و غیر خطی موجود می‌باشد و متغیرهای مختلفی نیز وجود دارد که انتخاب بهترین مدل بر اساس معیارهای انطباق مدل با واقعیت، پیش بینی و آینده نگری مدل، جمع آوری درست داده‌های آماری، روش تخمین درست و معنی دار بودن ضرایب مدل صورت پذیرفته است. لذا به منظور برآورد معیارهای فوق از آزمون‌های آماری جهت برآورد تابع تقاضا استفاده شده است. نتایج برآورد تابع تقاضا در جدول ۱ آمده است.

همانطور که آماره  $T$  نشان می‌دهد تمامی ضرایب کاملاً در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده و علامت ضرایب برآورد شده کاملاً با تئوری همخوانی دارد. همچنین آماره دوربین-واتسون نشان می‌دهد که بین جملات خطا همبستگی وجود ندارد. مقدار  $R^2$  و آزمون کلی معنی‌دار بودن رگرسیون (F-statistic) در سطح مطلوبی قرار دارد و نزدیک بودن مقدار  $R^2$  و Adjusted- $R^2$  نشان دهنده عدم وجود متغیر اضافی در مدل است.

در هر مرحله افزایش می‌یابد و این مدل‌ها قادر به ساخت اطلاعات تا چند مرحله زمانی بیشتر نیستند. در مدل‌های چند متغیره که مصرف آب به‌صورت تأخیری از زمان به‌عنوان متغیر مستقل در مدل وجود دارد، به‌دلیل همبستگی بسیار زیاد بین متغیر وابسته و وقفه‌های همین متغیر که به‌عنوان مستقل در مدل قرار دارد، این مقادیر تأخیری بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی مصرف آب می‌گذارد. به همین دلیل اثر سایر متغیرها در پیش‌بینی مقدار مصرف آینده آب ناچیز است و نمی‌تواند اثر سایر عوامل مؤثر بر مصرف آب را به‌خوبی مدل کند.

در این تحقیق برای بدست آوردن رابطه‌ی بین پارامترهای مستقل و وابسته (تخمین تابع تقاضا) و پیش‌بینی تقاضای آب خانگی از شبکه عصبی مصنوعی طوری استفاده می‌شود تا بتوان تقاضای آب را بطور بلند مدت پیش‌بینی کرد و مقایسه‌ای برای تدقیق نتایج مدل ساختاری انجام داد. بدین منظور بعد از تعیین مدل شبکه عصبی بهینه، پارامترهای مستقل پیش‌بینی می‌شود و به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده می‌شود تا تقاضای آب آینده حاصل شود.

### ۳- مطالعه موردی

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، شهر نیشابور با مساحتی در حدود ۸۳۶۶ کیلومترمربع می‌باشد. شهرستان نیشابور در مرکز استان خراسان رضوی واقع شده است. جامعه‌ی آماری مورد بررسی در این پژوهش از نظر مکانی تمام ساکنین شهر نیشابور که دارای انشعاب خانگی هستند و ماهیانه برایشان قبض صادر می‌شود، می‌باشد. از نظر موضوعی متغیرهای مؤثر بر مصرف آب نظیر قیمت آب، قیمت کالاهای دیگر، درآمد خانوار، جمعیت شهر و تعداد خانوار، بعد خانوار، تعداد با سوادان در شهر مورد بررسی قرار گرفته شده است (بهبودیان، ۱۳۸۹).

### ۳-۱- متغیرهای تحقیق و روش اندازه‌گیری آنها

اطلاعات و داده‌ها بصورت خام از سالنامه‌ی آماری، آمارنامه و گزارش عملکرد سالانه واحدهای تابعه شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی و مجموعه اطلاعات لازم در خصوص مصرف آب خانوار موجود در سازمان‌های مربوطه اخذ گردیده است. داده‌های آماده شده دست‌مایه‌ای برای برآورد مدل‌های اقتصادسنجی و رگرسیون‌های مربوطه بوده است. آنگاه با انجام آزمونهای مختلف بر روی مدل‌های برازش شده، شرایط رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت، از جمله: معنادار بودن کلی رگرسیون (آزمون F)، معنا دار بودن ضرایب رگرسیون (آزمون T)، آزمون خود همبستگی و دوربین-واتسون،

جدول ۱- 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  | ۰/۰۰۰۳۸          | -۲/۳۲       | -۰/۰۰۰۸۹۸          | Pindex   |
| ۰/۰۰۳۰  | ۰/۰۰             | ۲/۸۴        | ۰/۰۰۰۰۱            | E        |
| ۰/۰۰    | ۰/۰۰۳۰۷          | ۳/۰۲        | ۰/۰۰۹۳۱            | MT       |
|         | دوربین<br>واتسون | ۱/۷         | R-squared          | ۰/۹۱۷    |
|         | F آزمون          | ۲۴۸         | Adjusted R-squared | ۰/۹۱۳    |

است که با افزایش دما تمایل به مصرف آب زیاد می‌شود. این موضوع برای خانوارهای مورد مطالعه نیز صدق می‌کند. در این مطالعه کشش تعداد با سوادان برابر ۰/۴۰۲ بدست آمده است، لذا افزایش ۱ درصد در تعداد با سوادان باعث افزایش ۰/۴۰۲ درصد در تقاضای آب می‌شود.

یکی از ویژگی‌های مناسب تابع تقاضای حاصل از تابع مطلوبیت استون-گیری امکان به دست آوردن حداقل مصرف با در نظر گرفتن اثر دما و تعداد باسوادان است که براساس روابط ۱ و ۲ از طریق فرمول ۳ بدست می‌آید.

$$S_I = \frac{\theta_0}{1-\theta_1} + \left(\frac{\theta_3}{1-\theta_1}\right)E + \left(\frac{\theta_4}{1-\theta_1}\right)MT \quad (3)$$

که  $\theta_0$  : عرض از مبدا مدل،  $\theta_1, \theta_3, \theta_4$  : ضرایب مدل و  $S_1$  : حداقل مصرف آب می‌باشند.

با توجه به رابطه ۳ و تابع تقاضای تخمین زده شده در رابطه ۲، حداقل مصرف روزانه برای یک شهروند در شهر نیشابور ۸۶ لیتر بدست آمد که در بازه‌ی ۷۵-۱۵۰ لیتر در روز استاندارد ۳-۱۱۷ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور قرار دارد.

### ۳-۳- پیش بینی تابع تقاضا

در این بخش ابتدا متغیرهای مستقل برای آینده با فروض مختلف پیش‌بینی شده و سناریوهای اقتصادی-اجتماعی تعریف می‌گردد. به منظور پیش‌بینی تقاضای آب، لازم است تا اعتبار مدل ارزیابی شود. برای اعتبار سنجی مدل پیش‌بینی تقاضا، تقاضای آب برای دوره‌ی اطلاعات تاریخی پیش‌بینی می‌شود. تا با مقایسه مقدار واقعی و پیش‌بینی شده میزان دقت در پیش‌بینی بدست آید. در این راستا از آزمون‌های آماری RMSE و MSE استفاده می‌شود.

به‌منظور بررسی دقت مدل، سرانه تقاضای آب برای دوره‌ی مشاهداتی (۱۳۷۶-۱۳۸۷) با متغیرهای مستقل مشاهداتی پیش‌بینی شده است. در شکل ۱، نتایج مقایسه تقاضای سرانه آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای دوره‌ی (۱۳۷۶-۱۳۸۷) ارائه شده است. با توجه به این شکل، مدل به‌خوبی توانسته است مقدار تقاضای آب را پیش‌بینی کند. همچنین، برای ارزیابی دقت مدل از دو آزمون RMSE و MSE استفاده شده است. مقادیر این آماره‌ها (RMSE برابر ۰/۲۲ و MSE برابر ۰/۱۳) نشان دهنده‌ی دقت خوب مدل برای پیش‌بینی می‌باشد.

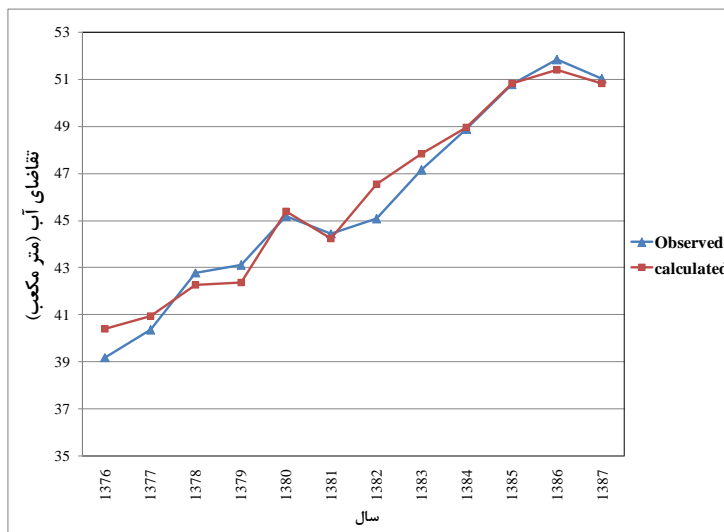
همچنین آزمون ریشه واحد دیکی فولر برای تمامی متغیرها انجام گردید و با توجه به اینکه تمام متغیرها هم انباشته از درجه صفر می‌باشند مشکل رگرسیون کاذب وجود ندارد. با توجه به تابع تقاضای برآورد شده و ضرایب به دست آمده، در جدول ۲ کشش قیمتی، کشش درآمدی، کشش متقاطع<sup>۳</sup>، کشش حداکثر دما و کشش تعداد باسوادان با توجه به مقدار متوسط آنها در طول دوره‌ی مشاهداتی، برای خانوارهای شهر نیشابور نشان داده شده است.

### جدول ۲- کشش‌های تقاضای آب برای شهر نیشابور

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

با توجه به مدل تخمین زده شده برای شهر نیشابور، ضرایب بدست آمده انتظارات تئوریک را برآورده می‌کند. کشش قیمتی بدست آمده نشان می‌دهد که در صورت افزایش یک واحد قیمت آب، تنها ۰/۱۱۷ واحد میزان تقاضای مردم کاهش می‌یابد. صفر نبودن کشش قیمتی آب نشان می‌دهد سیاست‌های قیمت‌گذاری می‌تواند به عنوان راهکاری در کاهش مصرف آب بکار گرفته شود. کشش درآمدی بدست آمده با توجه به قیمت آب و اینکه آب کالایی بدون جانشین است، نشان دهنده‌ی سهم کم آب از درآمد خانوار می‌باشد. منفی بودن کشش متقاطع نشان از مکمل بودن کالای آب با سایر کالاها دارد. مکمل بودن آب با سایر کالاها به این مفهوم است که با افزایش قیمت کالاها دیگر، میزان مصرف آب می‌بایست کاهش پیدا کند. ولی همانطور که ملاحظه می‌شود کشش‌های متقاطع بسیار کم و نزدیک به صفر می‌باشد. پس حتی افزایش و کاهش قیمت سایر کالاها نمی‌تواند تأثیر زیادی روی مصرف آب داشته باشد و این خود حاکی از ضروری بودن کالای آب در شهر نیشابور است. بدیهی





شکل ۱- مقایسه تقاضای سرانه آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده در دوره‌ی (۱۳۷۶-۱۳۸۷)

با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده در جدول ۴ بیشترین نرخ تغییر مربوط است به سناریوی ۱ که مقدار تقاضای سرانه از ۵۱/۱۸ در سال ۱۳۷۸ به ۸۳/۸۲ مترمکعب در سال ۱۴۱۰ رسیده است. کمترین نرخ تغییر مربوط است به سناریوی ۳ که تقاضای پیش‌بینی شده با متوسط نرخ رشد سالانه‌ی ۳۹/۷ درصد به ۷۵/۲۴ مترمکعب در سال ۱۴۱۰ می‌رسد. با توجه به کشش‌های محاسبه شده، مقدار کشش قیمت متوسط واقعی ۰/۱۱۷-، کشش مکمل ۰/۰۷۸- و کشش در آمدی ۰/۱۹۵ می‌باشد. با توجه به اینکه در سناریوی ۱، متغیرها بصورت خوش‌بینانه پیش‌بینی شده است مقدار رشد درآمد نسبت به سایر سناریوها بیشتر است و مقدار رشد قیمت متوسط آب کمتر از سایر سناریوها است. بدیهی است چون کشش قیمتی و مکمل منفی است با افزایش در نرخ رشد قیمت متوسط (تورم) از مقدار تقاضای آب کاسته می‌شود و بدلیل رابطه‌ی مستقیم و مثبت درآمد با تقاضای آب، با افزایش در نرخ رشد درآمد، تقاضای آب نیز افزایش می‌یابد. نرخ رشد اقتصادی در سناریوهای ۲ و ۳ نسبت به سناریوی ۱ کمتر و نرخ تورم بیشتری دارند به همین دلیل در مقدار تقاضای سرانه آب برای افق پیش‌بینی در این سناریوها کاهش مشاهده می‌شود.

در اثر اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها، رشد اقتصادی افزایش می‌یابد و پیش‌بینی می‌شود نرخ تورم نیز افزایش چشم‌گیری داشته باشد (قادری و همکاران، ۱۳۸۴). در جدول ۵، اعداد مربوط به رشد اقتصادی و نرخ تورم ناشی از طرح هدفمندکردن یارانه‌ها (سناریو ۴) با اعداد سناریو ۲ مقایسه شده است (سناریو متوسط). اعداد نرخ تورم و رشد اقتصادی استفاده شده از پرسشنامه نیز موکد این موضوع است که اجرای این طرح باعث افزایش رشد اقتصادی و افزایش میزان تورم در کشور است.

### ۳-۴- سناریوهای پیش‌بینی تقاضای سرانه آب خانگی

به‌منظور پیش‌بینی تقاضای سرانه آب شهروندان شهر نیشابور بصورت نقطه‌ای، ۴ سناریو در نظر گرفته شده است. سه سناریو اول با فرض اینکه طرح هدفمندسازی یارانه‌ها اجرا نگردد و سناریوی ۴ با فرض اینکه طرح هدفمندسازی یارانه‌ها اجرا شود می‌باشد. جزییات فرض‌های پیش‌بینی در سناریوهای ۱ تا ۴ در جدول ۳ آورده شده است.

### جدول ۳- فرضیات پیش‌بینی متغیرها در سناریوهای ۱ تا ۴

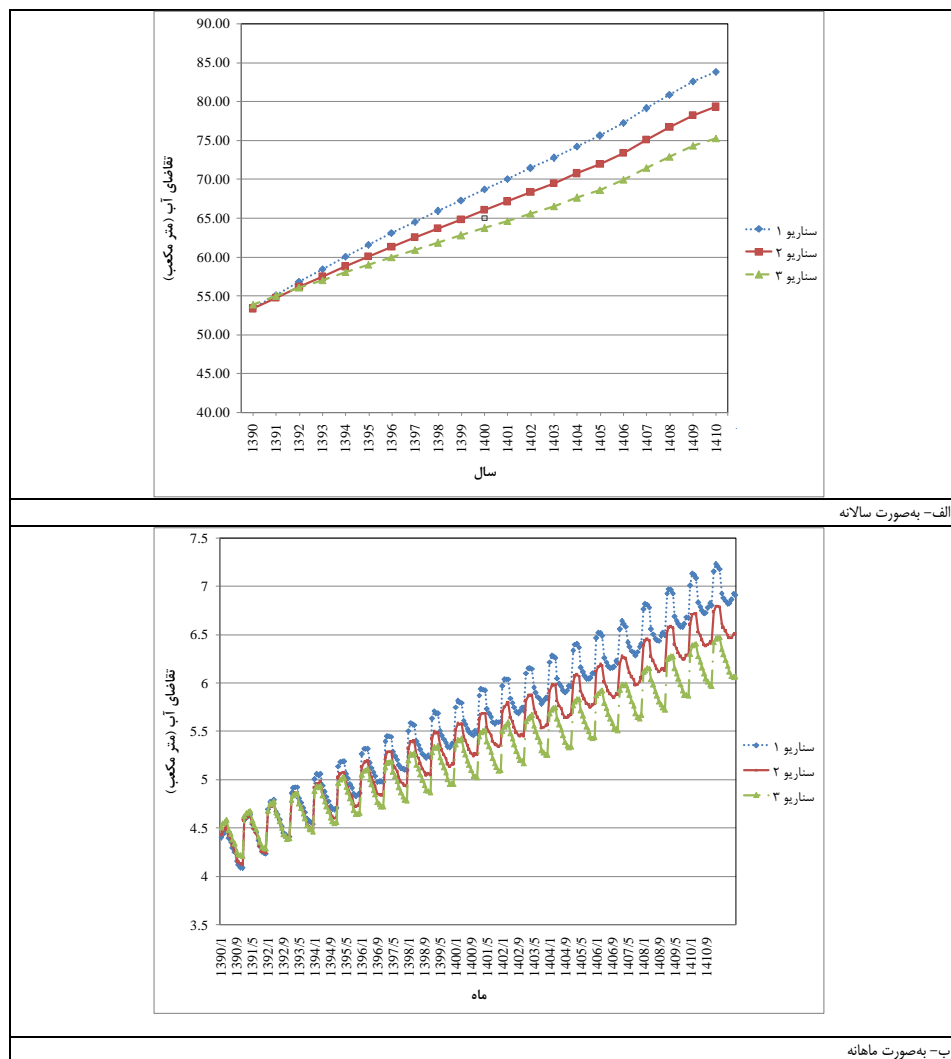
| سناریو | قیمت آب | درآمد (رشد اقتصادی) | شاخص تورم (تورم) |
|--------|---------|---------------------|------------------|
| ۱      | ٪۱۰     | ٪۸                  | ٪۱۰              |
| ۲      | ٪۱۲     | ٪۵                  | ٪۱۵              |
| ۳      | ٪۱۴     | ٪۲/۵                | ٪۲۵              |
| ۴      | ٪۲۷     | ٪۶                  | ٪۲۷              |

باتوجه به مقادیر پیش‌بینی شده توسط سناریوهای ۱، ۲ و ۳ و مقدار مشاهداتی تقاضای آب در شکل ۲ و جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر سرانه تقاضای آب برای ساکنین شهر نیشابور از طریق اعمال تابع تقاضای آب و مقادیر پیش‌بینی شده‌ی متغیرهای توصیفی برای دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۴۱۰ پیش‌بینی گردید. بیشترین مقدار رشد سالانه سرانه تقاضای آب برای دوره پیش‌بینی ۲/۲ درصد برای سناریوی ۱ می‌باشد و برای سناریوی ۲ و ۳ به ترتیب ۱/۶ درصد بدست آمده است.

در شکل ۲ مقادیر تقاضای سرانه بصورت ماهانه نمایش داده شده است. در پیش‌بینی ماهانه، اثرات فصلی نمایان است که به علت اثرات فصلی موجود در متغیرهای توصیفی نمایان شده است.

افزایش زیادی نسبت به نرخ تورم (۱۵ درصد) در سناریوی ۲ دارد. نسبت افزایش نرخ تورم به افزایش رشد اقتصادی در سناریوی ۴ نسبت به سناریوی ۲ باعث می‌شود تا درآمد واقعی کاهش زیادی یابد و قدرت خرید کم شود، از طرفی بالا رفتن نرخ تورم سبب افزایش قیمت آب و قیمت سایر کالاها می‌گردد.

با توجه به جدول ۵، رشد اقتصادی در سناریوی ۴ (با فرض اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها) ۶ درصد است، که در مقایسه با رشد اقتصادی در سناریوی ۲ (۵ درصد)، که متغیرهای مستقل بصورت متوسط پیش‌بینی شده است بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر نرخ تورم در سناریوی ۴ برابر حداقل ۲۷ درصد پیش‌بینی شده است که



شکل ۲- مقایسه پیش‌بینی سرانه تقاضای آب سناریوهای ۱، ۲ و ۳

جدول ۴- خلاصه پیش‌بینی تقاضای سرانه آب در سناریوهای ۱، ۲ و ۳

| متوسط تغییرات سالانه | درصد تغییرات ۱۳۹۰-۱۴۱۰ | پیش‌بینی تقاضای سرانه آب |       |       |       |       | واحد  | سناریو         |   |
|----------------------|------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|---|
|                      |                        | ۱۴۱۰                     | ۱۴۰۵  | ۱۴۰۰  | ۱۳۹۵  | ۱۳۹۰  |       |                |   |
| ۲/۲٪                 | ۵۶/۹٪                  | ۸۳/۸۲                    | ۷۵/۶۰ | ۶۸/۷۳ | ۶۱/۵۹ | ۵۳/۳۹ | ۵۱/۱۸ | m <sup>3</sup> | ۱ |
| ۲٪                   | ۴۸/۶٪                  | ۷۹/۳۱                    | ۷۱/۹۳ | ۶۶/۰۳ | ۶۰/۰۶ | ۵۳/۳۵ | ۵۱/۱۸ | m <sup>3</sup> | ۲ |
| ۱/۶٪                 | ۳۹/۷٪                  | ۷۵/۲۴                    | ۶۸/۶۳ | ۶۳/۷۳ | ۵۹/۰۲ | ۵۳/۹۰ | ۵۱/۱۸ | m <sup>3</sup> | ۳ |

جدول ۵- فرضیات پیش‌بینی متغیرها در ۴ سناریو

| سناریو | قیمت آب | درآمد (رشد اقتصادی) | شاخص تورم (تورم) | پیش‌بینی تقاضای سرانه آب |       |
|--------|---------|---------------------|------------------|--------------------------|-------|
|        |         |                     |                  | ۱۳۹۰                     | ۱۳۹۲  |
| ۱      | %۱۰     | %۸                  | %۱۰              | ۵۳/۳۹                    | ۵۶/۸۵ |
| ۲      | %۱۲     | %۵                  | %۱۵              | ۵۳/۳۵                    | ۵۶/۱۷ |
| ۳      | %۱۴     | %۲/۵                | %۲۵              | ۵۳/۹۰                    | ۵۶/۰۴ |
| ۴      | %۲۷     | %۶                  | %۲۷              | ۵۰/۵۷                    | ۵۴/۰۷ |

$$Perc = f(I, MP, PO, E, MT) \quad (۴)$$

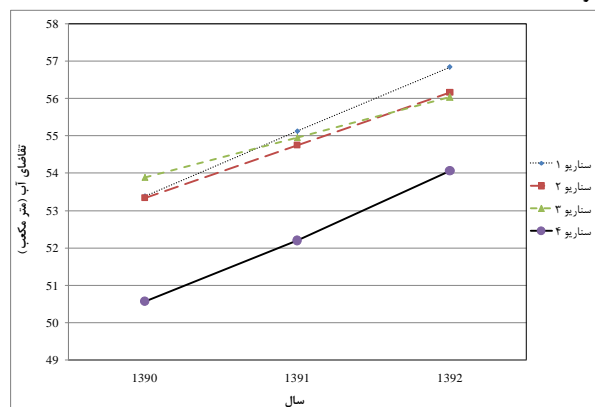
که  $Perc$ : مقدار مصرف سرانه آب آشامیدنی (مترمکعب)،  $I$ : درآمد سرانه واقعی مصرف‌کننده (ریال)،  $MP$ : قیمت متوسط واقعی آب آشامیدنی (ریال)،  $PO$ : شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی استان خراسان رضوی،  $E$ : تعداد باسوادان،  $MT$ : متوسط دمای حداکثر است.

بنابراین در این قسمت نیز متغیرهای ورودی در شبکه عصبی درآمد سرانه واقعی، قیمت متوسط واقعی آب، شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی، تعداد باسوادان و متوسط دمای حداکثر می‌باشد. برای آموزش شبکه عصبی از روش پس انتشار خطا استفاده شده است. در این روش ورودی، خروجی شبکه و خروجی مطلوب برای آموزش شبکه به کار می‌روند تا شبکه دارای خروجی نزدیک به خروجی مطلوب باشد. برای اجرای شبکه عصبی در این تحقیق از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار مطلب<sup>۴</sup> ۷/۵ استفاده شده است و در آن به ترتیب برای دوره آموزش، صحت‌سنجی و تست از ۱۵، ۱۵ و ۱۵ درصد از داده‌های موجود استفاده شده است. برای انتخاب بهترین ساختار شبکه عصبی، با تغییر در تعداد لایه‌های میانی (بین ۱ تا ۳ لایه)، سائز لایه‌های میانی (بین ۴ تا ۱۰ نرون)، و تغییر در انواع الگوریتم‌های موجود به صورت ترکیبی در مطلب، بهترین ساختار با استفاده از چند حلقه از بین ۱۱۷۶ شبکه عصبی، انتخاب می‌گردد.

### ۳-۶- پیش پردازش داده‌ها

برای اینکه بتوان مشکل درون‌گرایی شبکه عصبی را حل کرد و از آن در پیش‌بینی بلند مدت استفاده کرد لازم است تا روی داده‌ها تحلیل و تغییراتی صورت گیرد. بعد از آموزش شبکه عصبی با داده‌های ورودی و خروجی برای بازه‌ی (۱۳۶۷-۱۳۸۷)، لازم است تا مقادیر ورودی برای دوره‌ی آتی ۲۰ ساله پیش‌بینی شود و به‌عنوان ورودی به مدل شبکه عصبی داده شود تا مقادیر تقاضای آب برای آینده به‌دست آید. با توجه به اینکه متغیرهای مستقل در طول زمان تغییرات زیادی نسبت به اطلاعات مشاهداتی داشته و مدل در

با توجه به موارد ذکر شده و در نظر گرفتن قیمت اقتصادی برای آب (حذف بارانه آب) و با توجه به کشش‌های بدست آمده باید شاهد کاهش در تقاضای سرانه در آینده بود. نتایج پیش‌بینی تقاضای آب برای سالهای (۱۳۹۰-۱۳۹۲) در شکل ۳ نمایش داده شده است. با اجرای این طرح پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۳۹۰ کاهش در حدود ۲/۸ مترمکعب و در سال ۱۳۹۲ در حدود ۲/۱۰ مترمکعب نسبت به سناریو ۲، در تقاضای سالانه سرانه برای ساکنین شهر نیشابور ایجاد شود.

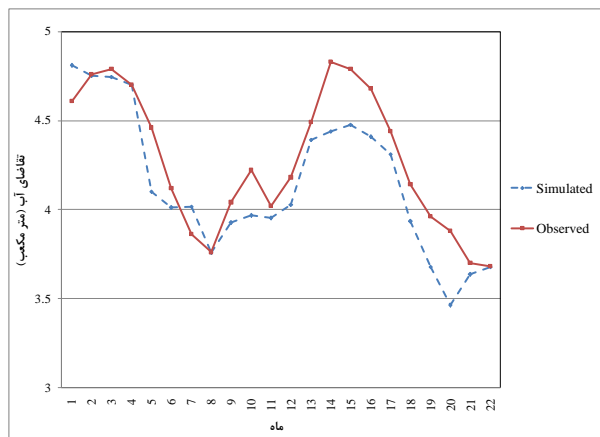


شکل ۳- مقایسه پیش‌بینی سرانه تقاضای آب سناریوهای ۱، ۲، ۳ با سناریو ۴

### ۳-۵- تعیین نوع شبکه عصبی

در این تحقیق، برای اینکه اثر متغیرهای مؤثر بر تقاضای آب دیده شود تابع تقاضای آب برای شهر نیشابور با استفاده از شبکه عصبی نیز تخمین زده شده است. از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا برای به‌دست آوردن رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته، جهت پیش‌بینی تقاضای آب استفاده شده است. بنابراین در این قسمت از متغیرهای تاخیری در مدل که موجب کاهش در دقت پیش‌بینی می‌شود مانند تحقیقاتی که مصرف آب را پیش‌بینی کرده‌اند استفاده نشده است، زیرا پیش‌بینی بلند مدت باعث افزایش خطا خواهد شد. در این مدل از متغیرهای مدل تخمین‌زده شده از تابع استون-گیری استفاده شده است.





شکل ۴- مقایسه تقاضای سرانه آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای دوره‌ی تست (۲۲ ماه)

مقادیر این آمارها نشان دهنده دقت خوب در مدل‌سازی می‌باشد. بعد از مشخص کردن دقت مدل، مقادیر متغیرهای مستقل پیش‌بینی شده در سناریوی ۲، به‌عنوان ورودی به شبکه عصبی داده می‌شود تا تقاضای سرانه آب برای آینده بدست آید. بعد از ساخت مقادیر خروجی توسط شبکه عصبی باید اطلاعات را دینرمالیزه کرده و روند حذف شده مقادیر تقاضای آب، به مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی اضافه شود. مقایسه نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی با مقادیر پیش‌بینی شده‌ی سرانه تقاضای آب در سناریوی ۲ توسط مدل بدست آمده از تابع استون‌گیری در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس پیش‌پردازی که روی داده‌های ورودی انجام شده بود مدل تا ماه ۱۷۰ توانسته روند کلی در تقاضای آب را دنبال کند و تغییرات فصلی را نیز مدل نماید. بعد از ماه ۱۷۰ به علت اینکه داده‌های ورودی پیش‌بینی شده در محدوده‌ی اطلاعاتی که شبکه با آن آموزش داده شده نمی‌باشد نتوانسته تغییرات را خوب مدل کند و با افزایش مقادیر متغیرهای مستقل که با زمان افزایش می‌یابد خطای مدل نیز افزایش یافته است. تفاوتی که در ۱۷۰ ماه اول بین مقادیر پیش‌بینی شده تقاضای آب توسط دو مدل دیده می‌شود ناشی از خطایی است که در اثر مدل‌سازی ایجاد می‌شود.

**حالت دوم:** برای اینکه مقیاس داده‌های ورودی در مرحله پیش‌بینی به مقادیر استفاده شده در مرحله آموزش نزدیکتر شود ابتدا از داده‌ها لگاریتم گرفته می‌شود و روند موجود در متغیرها حذف می‌شوند. لگاریتم‌گیری ضمن اینکه باعث می‌شود سری داده‌ها ملایم‌تر شوند، به ایستادن یک سری زمانی کمک کرده و دقت مدل‌سازی را بالا می‌برد. بعد از حذف روند از سری زمانی، جهت مدل‌سازی آنها را نرمال (استاندارد) می‌شوند. نتایج آزمون دیک‌ی فولر نشان داد لگاریتم‌گیری توانسته است مقادیر این آزمون را بهبود ببخشد. با

محدوده اطلاعات مشاهداتی آموزش دیده است. بنابراین، مدل قادر نیست این مقادیر را ببیند و مقادیر خروجی متناظر با این متغیرهای مستقل بدست آورد.

برای رفع این مشکل سعی شده است داده‌های ورودی و خروجی در دوره آموزش با داده‌های ورودی در دوره پیش‌بینی (۱۳۹۰-۱۴۱۰) هم مقیاس شوند. بدین منظور از مفهوم ایستایی استفاده شده است. به منظور آماده‌سازی سری اطلاعات برای مدل‌سازی با شبکه عصبی، سعی شده است تا ترم‌های قطعی حذف شود و داده‌ها به حالت ایستایی نزدیکتر شوند. برای این کار دو حالت در نظر گرفته شده است:

**حالت اول:** در این قسمت از کلیه داده‌های متغیر وابسته و مستقل دوره‌ی مشاهداتی و متغیرهای مستقل دوره‌ی پیش‌بینی روند حذف شده است. روند موجود در مقادیر مشاهداتی تقاضای آب برابر است با:

$$Y = 0.00703 t + 3.32 \quad (5)$$

که  $t$  زمان و  $Y$  تقاضای سرانه است.

نتایج آزمون دیک‌ی فولر نشان داد که بعد از حذف روند نتایج آزمون دیک‌ی فولر بهتر شده و سری‌های زمانی ایستاتر شده‌اند. لازم به ذکر است که در این قسمت از متغیرهای مستقلی که در سناریوهای ۲ و ۴ بسط داده شده استفاده می‌گردد و برای مقایسه نتایج حاصل از مدل ساختاری و شبکه عصبی از مقادیر تقاضای پیش‌بینی شده با سناریوی ۲ استفاده شده است. با توجه به معیارهای انتخاب مدل، بهترین شبکه عصبی در این قسمت مشخص شد. در شبکه عصبی انتخاب شده از توابع `trainrp` و `learned` استفاده شده است. با توجه به شکل ۴ جهت بررسی دقت مدل اطلاعات ساخته شده در قسمت تست با مقادیر واقعی مقایسه شده است.

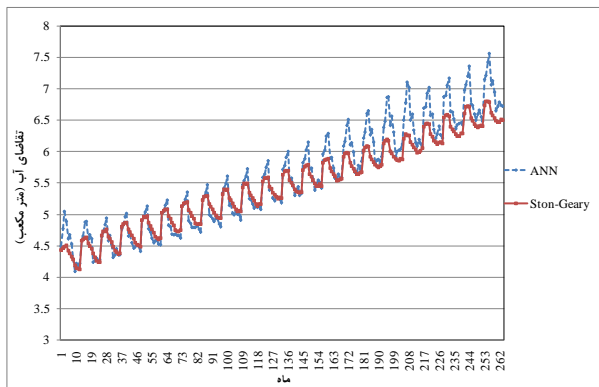
با توجه به شکل ۴ مدل بخوبی توانسته است مقدار تقاضای آب را پیش‌بینی کند. همچنین، برای ارزیابی دقت مدل از سه آزمون `MAPE`، `RMSE` و `MSE` و ضریب همبستگی استفاده شده است. مقادیر این آمارها در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- مقادیر پارامترهای آماری متغیرها

| RMSE  | MSE   | MAPE  | R    |
|-------|-------|-------|------|
| ۰/۰۴۴ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۳۸ | ۰/۹۱ |

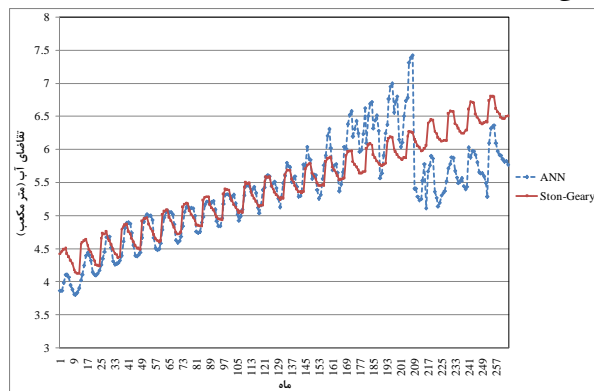
مقادیر این آماره‌ها نشان دهنده دقت خوب در مدل‌سازی می‌باشد. بعد از مشخص کردن دقت مدل، مقادیر متغیرهای مستقل پیش‌بینی شده در سناریوی ۲، به‌عنوان ورودی به شبکه عصبی داده می‌شود تا تقاضای سرانه آب برای آینده به دست آید. بعد از ساخت مقادیر خروجی توسط شبکه عصبی باید اطلاعات را دینرمالیزه کرده و روند حذف شده مقادیر تقاضای آب، به مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی اضافه شود و لگاریتم گرفته شده نیز برگشت داده می‌شود.

مقایسه نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی با مقادیر پیش‌بینی شده‌ی سرانه تقاضای آب در سناریوی ۲ توسط مدل بدست آمده از تابع استون‌گیری در شکل ۷ نشان داده شده است. براساس پیش‌پردازی که روی داده‌های ورودی انجام شده بود مدل بخوبی توانسته است روند کلی تقاضای آب آینده که ناشی از روند موجود در متغیرهای توصیفی است مدل کند. نتایج نشان داد افزودن لگاریتم‌گیری به مرحله پیش پردازش باعث بالا بردن دقت پیش‌بینی می‌شود، زیرا برای اینکه مقیاس داده‌های ورودی در مرحله پیش‌بینی به مقادیر استفاده شده در مرحله آموزش نزدیکتر شود، لگاریتم‌گیری ضمن اینکه باعث می‌شود سری داده‌ها ملایم‌تر شوند، به ایستادن یک سری زمانی کمک کرده و دقت مدل‌سازی را بالا می‌برد. با توجه به شکل ۷ در مقادیر تقاضای آب ماهانه پیش‌بینی شده با MLP اثرات ناشی از تغییرات فصلی نیز نمایان است که در اثر تغییرات فصلی پارامترهای توصیفی ایجاد شده است و مدل توانسته است این تغییرات را لحاظ کند. نتایج نشان می‌دهد اگر با اجزای غیر قطعی یک سری زمانی در شبکه عصبی، مدل‌سازی شود جواب‌های بهتری حاصل می‌شود. چون داده‌ها هم مقیاس‌تر شده و شبکه عصبی توانسته همه مقادیر را ببیند. در حالت دوم نیز لگاریتم‌گیری توانسته است نتایج مدلی که فقط از روندزایی استفاده شده را بهبود ببخشد.

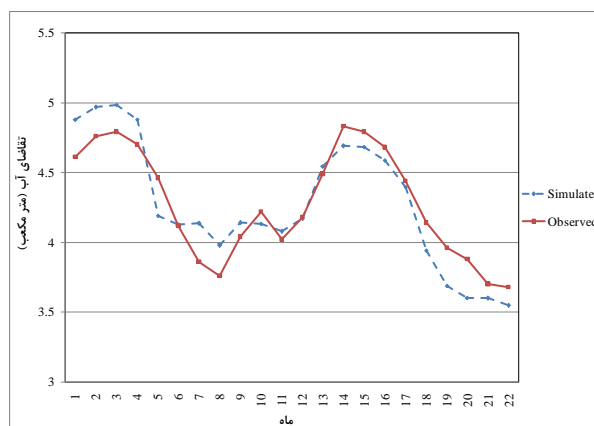


شکل ۷- مقایسه تقاضای سرانه آب پیش‌بینی شده با مدل استون‌گیری و شبکه عصبی برای دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۴۱۰

توجه به معیارهای انتخاب مدل، بهترین شبکه عصبی در این قسمت مشخص شد. در شبکه عصبی انتخاب شده از توابع trainoss و learnngdm استفاده شده است و دارای ۲ لایه میانی که در لایه اول ۷ و لایه دوم ۸ نرون موجود می‌باشد. با توجه به شکل ۶ جهت بررسی دقت مدل اطلاعات ساخته شده در قسمت تست با مقادیر واقعی مقایسه شده است.



شکل ۵- مقایسه تقاضای سرانه آب پیش‌بینی شده با مدل استون‌گیری و شبکه عصبی برای دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۴۱۰



شکل ۶- مقایسه تقاضای سرانه آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای دوره‌ی تست (۲۲ ماه)

با توجه به این نمودار، مدل بخوبی توانسته است مقدار تقاضای آب را پیش‌بینی کند. همچنین، برای ارزیابی دقت مدل از سه آزمون  $RMSE$ ،  $MSE$  و  $MAPE$  و ضریب همبستگی استفاده شده است. مقادیر این آماره‌ها در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- مقادیر پارامترهای آماری متغیرها

| RMSE  | MSE  | MAPE  | R    |
|-------|------|-------|------|
| ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳۵ | ۰/۹۲ |

## ۴- نتیجه گیری

۱ کمتر و نرخ تورم بیشتری دارند به همین دلیل در مقدار تقاضای سرانه آب برای افق پیش‌بینی در این سناریوها کاهش می‌یابد. نسبت به افزایش نرخ تورم به افزایش رشد اقتصادی در سناریوی ۴ نسبت به سایر سناریوها باعث می‌شود تا در آمد واقعی کاهش زیادی یابد و قدرت خرید نیز کم شود. از طرفی بالا رفتن نرخ تورم سبب افزایش قیمت آب و قیمت سایر کالاها می‌گردد. با توجه به موارد ذکر شده و در نظر گرفتن قیمت اقتصادی برای آب (حذف یارانه آب) و با توجه به کشش‌های بدست آمده، کاهش در تقاضای سرانه در اثر اجرا شدن طرح آزاد سازی یارانه‌ها مشاهده می‌شود.

در رویکردی دیگر، از شبکه عصبی برای پیش‌بینی بلندمدت استفاده شد. بمنظور پیش‌بینی بلندمدت با شبکه عصبی، باید برای رفع مشکل درون‌گرایی این مدل‌ها روی داده‌ها پیش‌پردازش صورت گیرد. بدین منظور از جزء غیر قطعی سری‌های زمانی برای پیش‌بینی استفاده شد. در حالت اول، روند داده‌ها حذف شده و داده‌ها استاندارد شدند. در حالت دوم، ابتدا از داده‌ها لگاریتم گرفته شد و سپس روندزدایی گردید. با توجه به اطلاعات پردازش شده برای دو حالت مقادیر خروجی برای آینده بدست آمد که در هر حالت تمامی پیش‌پردازش‌های انجام شده به مقادیر خروجی بازگردانده شد. با مقایسه نتایج مدل ساختاری و شبکه عصبی مشخص شد که هر چه داده‌ها مانا شوند مدل شبکه عصبی بهتر می‌تواند روند و تغییرات را دنبال کند.

## ۵- مراجع

اکبری ح، دینانی م (۱۳۷۹) تخمین تقاضای آب شرب شهر کرمان. فصلنامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۳(۷): ۶۸-۷۸.  
بهبودیان م ص (۱۳۸۹) پیش‌بینی تابع تقاضای درآمدت آب شرب. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.  
تابش م (۱۳۸۵) تخمین تقاضای کوتاه مدت آب شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی و سیستم‌های فازی و ترکیبی. گزارش نهایی طرح پژوهشی، موسسه آب دانشگاه تهران، انتشارات شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو، تهران.  
تابش م، گوشه س و یزدانپناه م (۱۳۸۶) کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین تقاضای کوتاه مدت آب شهری. نشریه دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۴۱(۱): ۱۱-۲۴.  
تابش م، دینی م، خوش خلق ج و زهرایی ب (۱۳۸۷) برآورد مصرف کوتاه مدت آب شهری تهران با استفاده از سری‌های زمانی. م. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۱ (۲): ۵۷-۶۵.

در این تحقیق برای تخمین تابع تقاضای آب شهر نیشابور متغیرهای مؤثر بر تقاضا برای دوره‌ی ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۷ بصورت ماهانه جمع‌آوری شد. تابع تقاضای تخمین زده شده از تابع استون گیری استفاده شد که از بین متغیرهای موجود قیمت متوسط واقعی آب، درآمد سرانه واقعی، شاخص کالاها و خدمات مصرفی، میانگین دمای حداکثر و تعداد افراد با سواد بصورت ماهانه بعنوان متغیرهای مؤثر در این منطقه تعیین گردید. مقادیر کشش‌های درآمدی و قیمتی نشان داد که آب کالایی بدون جایگزین و ضروری در شهر نیشابور است. براساس مدل تخمین زده شده حداقل مصرف روزانه برای یک شهروند در شهر نیشابور ۸۶ لیتر به‌دست آمد، این نتیجه در تعیین تعرفه آب در روش فعلی قیمت‌گذاری آن اهمیت زیادی دارد. برای پیش‌بینی نقطه‌ای، متغیرهای دما و تعداد باسوادان با سه سناریو پیش‌بینی شد. متغیرهای اقتصادی نیز با دو فرض اجرا شدن و اجرا نشدن طرح هدفمند سازی یارانه‌ها هر یک با سه سناریو پیش‌بینی گردید.

چهار سناریو برای پیش‌بینی نقطه‌ای تعریف گردید. سه سناریو اول با فرض اجرا نشدن طرح هدفمندسازی یارانه‌ها بصورت خوش بینانه، متوسط و بدبینانه می‌باشد و سناریو چهارم اثر اجرای هدفمندسازی را دیده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار رشد سالانه سرانه تقاضای آب برای دوره پیش‌بینی ۲/۲ درصد برای سناریو ۱ بوده و برای سناریو ۲ و ۳ به ترتیب رشد ۰/۲۰ و ۱/۶ درصد بدست آمده است.

با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده، بیشترین نرخ تغییر مربوط است به سناریوی ۱ که مقدار تقاضای سرانه از ۵۱/۱۸ در سال ۱۳۷۸ به ۸۳/۸۲ مترمکعب در سال ۱۴۱۰ رسیده است. کمترین نرخ تغییر مربوط است به سناریوی ۳ که تقاضای پیش‌بینی شده با متوسط نرخ رشد سالانه‌ی ۳۹/۷ درصد به ۷۵/۲۴ مترمکعب در سال ۱۴۱۰ می‌رسد. با توجه به کشش‌های محاسبه شده، مقدار کشش قیمت متوسط واقعی ۰/۱۱۷-، کشش متقاطع ۰/۰۷۸- و کشش در آمدی ۰/۱۹۵ می‌باشد. با توجه به اینکه در سناریوی ۱، متغیرها بصورت خوش‌بینانه پیش‌بینی شده است، مقدار رشد درآمد نسبت به سایر سناریوها بیشتر است و مقدار رشد قیمت متوسط آب کمتر از سایر سناریوها است. بدیهی است چون کشش قیمتی و مکمل منفی است، با افزایش در نرخ رشد قیمت متوسط (تورم) از مقدار تقاضای آب کاسته می‌شود و به‌دلیل رابطه‌ی مستقیم و مثبت درآمد با تقاضای آب، با افزایش در نرخ رشد درآمد، تقاضای آب نیز افزایش می‌یابد. نرخ رشد اقتصادی در سناریوهای ۲ و ۳ نسبت به سناریوی

- Martinez – Espineira R , Nauges C (2004) Is all domestic water consumption sensitive to price control. *Applied Economics* 36(2):1697-1703.
- Msiza IS, Nelwamondo FV 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* 28(2):13-18.
- Tabesh M , Dini M (2008) Fuzzy and Neuro- fuzzy Models for Short-term Water Demand Forecasting in Tehran. *Iranian J. of Science and Technology, Transaction B*, 33(1).61-77.
- Schleich J, Hillenbrand T (2009) Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics, Elsevier* 68(6): 1756 -1769.
- Thomas F and Syme G (1998) Estimating residential price elasticity of demand for water; A contingent valuation approach. *Water Resource Research* 24(11): 1847–1857.
- Topalli AK, Erkmen I and Topalli I (2006) Intelligent short-term load forecasting in Turkey *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 28 (7): 437-44.
- تابش م و دینی م (۱۳۸۹) پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری: مطالعه موردی شهر تهران. *مجله آب و فاضلاب*، ۲۱(۱): ۹۵۸۴.
- قادری ف، رزمی ج و صدیقی ع (۱۳۸۴) بررسی تأثیر پرداخت یارانه مستقیم انرژی بر شاخصهای کلان اقتصادی با نگرش سیستمی. *نشریه دانشکده فنی، دانشگاه تهران*، شماره ۳۹(۴): ۵۵۳-۵۲۷.
- Almutaz I, Ali E, Khalid Y , Ajbar AH (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.
- Al-Saba T, El-Amin I (1999) Artificial neural networks as applied to long – term demand forecasting, *Artificial Intelligence in Engineering* 13(2): 189 - 197.
- Danielson LE (1979) An analysis of residential demand for water using micro time-series data. *Water Resources Research* 15 (4): 763-767.