



شرکت آب و فاضلاب کشور پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



مروری بر برخی از روش های پیش بینی تقاضای مصرف آب شهری

محمدجواد کاظمی

دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

Mjavad209@gmail.com

محمدرضا جلیلی قاضی زاده

استادیار دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

mohsenjalily@yahoo.com

علی دارابی

کارشناسی ارشد، شرکت آب و فاضلاب روستایی لرستان، شهرستان چگینی

Darabi150@gmail.com

چکیده

پیش بینی تقاضای آب شهری تأثیر بسزایی در برنامه ریزی بهتر منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت آب روبه رو هستند، دارد. پیش بینی کوتاه مدت تقاضای آب، افق های زمانی روزانه، هفتگی و ماهانه را جهت مدیریت کارای سیستم آبرسانی موجود و پیش بینی بلند مدت تقاضای آب شامل دوره های زمانی یک تا چند ساله به منظور برنامه ریزی و طراحی شبکه، تأمین منابع آبی جدید و توسعه شبکه آبرسانی موجود، استفاده می شود. عواملی از قبیل جمعیت، اشتغال، چرخه های اقتصادی، تکنولوژی، اقلیم و آب و هوا، قیمت، و برنامه های حفاظت از آب، تأثیر قابل توجهی در تقاضای آب دارند. انتخاب روش های پیش بینی به پیچیدگی های فنی تحلیلی، منابع اختصاص داده شده به روند پیش بینی و داده های در دسترس بستگی دارد. برخی از روش های پیش بینی عبارتند از روش برون یابی متوسط، تجزیه و تحلیل روند، صاف کردن نمایی، باکس-جنکینز / ARIMA (بکسان کردن اتورگرسیو میانگین متحرک)، روش رگرسیون چند متغیره و روش های ناپارامتری شامل شبکه های عصبی و سیستم های منطق فازی.

کلیدواژه: پیش بینی آب، تقاضای آب، آب شهری

۱- مقدمه

تعیین میزان مصرف آبی در شهرها و طراحی ظرفیت مناسب برای سامانه توزیع و نگهداری آب، ضرورت استفاده از الگوهای رفتاری و پیش بینی مقادیر مصرف آب را آشکار می کند. پیش بینی تقاضای آب شهری برای مدیران، مهندسان و برنامه ریزان برای پیش بینی مسئولیت ها طراحی شده است. همچنین باید به عنوان یک تفسیر مکمل برای تحلیلگران منابع آب باشد. پیش بینی گام اول برای برنامه ریزی شبکه های آبرسانی و منابع آبی می باشد و نقش بسیار مهمی دارد. ضرورت پیش بینی مصرف آب شهری را می توان در مواردی چون برنامه ریزی برای دستیابی به منابع آب جدید، بهبود و اصلاح سامانه های کنونی توزیع و انتقال آب، اصلاح و بازنگری در قوانین اجرایی، تغییر تنظیمات در این حوزه، اعمال تغییرات سازمانی و انجام پروژه های تحقیقاتی و مطالعاتی در حوزه تأمین، توزیع و فرآوری آب شهری خلاصه نمود [۱].



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



پیش بینی تقاضای آب شهری فرایندی است که آب مورد نیاز در آینده را بر اساس اطلاعاتی قبلی مصرف آب و الگوهای مصرف برآورد می کند. این پیش بینی و تخمین به سازمان ها کمک می کند که به سوالاتی مانند سوالات زیر پاسخ درستی داده شود [۲].

- چه میزان آب مازاد باید برای نیازهای آینده در شبکه تامین و ذخیره شود؟
- تصفیه خانه های آب و شبکه توزیع در زمان پیک مصرف تا چه اندازه آمادگی تامین و توزیع را دارند؟
- در مواجهه با کمبود کوتاه مدت عرضه آب و یا نیازهای اضطراری به دلیل تغییرات ناگهانی آب و هوا، محدودیت های محتمل چیست؟
- تاثیرات احتمالی اجرای برنامه های حفاظت از آب در آینده چیست؟
- با توجه به پتانسیل و محدودیت، مدیریت تقاضا به افزایش مصرف آب چگونه واکنش نشان خواهد داد؟

به طور کلی پیش بینی تقاضای آب در سه دسته اصلی صورت می گیرد: پیش بینی درازمدت که معمولاً بازه ای چند ساله را در برمی گیرد؛ پیش بینی میان مدت که مربوط به نوسانات تقاضای آب در طول سال می باشد و می تواند به صورت تغییرات فصلی تقاضای آب ارزیابی شود؛ و پیش بینی کوتاه مدت که معمولاً بازه زمانی بین چند ساعت تا چند روز را پوشش می دهد. طیف گسترده ای از روش ها برای پیش بینی تقاضا استفاده می شود. انتخاب روش های بخصوص به پیچیدگی های فنی تحلیلی، منابع اختصاص داده شده به روند پیش بینی و داده های در دسترس بستگی دارد. به طور کلی، بهبود کیفیت و پیچیدگی پیش بینی با کسب تجربه و تعهد مدیریتی افزایش می یابد. مدل مفهومی معتبر تقاضا تاثیر تغییرات در متغیرهایی مانند جمعیت، تولید صنعتی، شرایط آب و هوایی، قیمت، و اقدامات حفاظت آب را مورد توجه قرار می دهد [۲، ۳]. انواع روش های پیش بینی که در ادامه به آن ها اشاره می شود هر کدام با توجه به شرایط دارای نقاط قوت و ضعفی هستند.

- روش برون یابی عبارتند از: (۱) متوسط (۲) تجزیه و تحلیل روند، (۳) صاف کردن نمایی، و (۴) باکس-جنکینز / ARIMA
- روش رگرسیون چند متغیره
- روش ناپارامتری شامل شبکه های عصبی و سیستم های منطق فازی.

۲- پیش بینی افق طرح

با توجه به مطالعات انجام شده مشاهده می شود که پیش بینی به کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت تقسیم بندی می شوند. معمولاً تفاوت پیش بینی دوره طرح با توجه به اهداف پروژه و مصارف متفاوت می باشد، تفاوت در مدل پیش بینی و سطح قابلیت اطمینان آن هاست. جدول ۱ مهمترین کاربردهای پیش بینی تقاضا را بر حسب نوع دوره آن ها بعلاوه دوره خیلی کوتاه مدت نشان می دهد [۲].



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید عباسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



جدول ۱: انواع پیش بینی تقاضا و کاربرد آن ها

کاربرد	طول دوره	نوع پیش بینی
دستیابی به منابع جدید و گسترش ظرفیت تمدید مجوز، حقوق و قراردادهای برآورد اندازه سیستم های انتقال و توزیع بررسی قابلیت اطمینان سیستم و آسیب پذیری مدیریت منابع انطباق پذیری با محیط زیست بررسی تاثیرات تغییر اقلیم	چندین سال، ۱۰-۵۰ سال	بلند مدت
بهبود سیستم تصفیه و توزیع سرمایه گذاری تعیین نرخ آب بررسی جریان نقدی و نوسانات درآمد اثر آب و هوا تاثیر اقتصاد	کمتر از یک دهه، تا ۱۰ سال	میان مدت
تقویت تامین بودجه بندی برنامه های پیگیری و ارزیابی پیش بینی در آمد	چند سال، ۱-۲ سال	کوتاه مدت
مدیریت بهره برداری مدیریت پمپاژ پیک مصرف بهره برداری مخازن اثر آب و هوا مدیریت پیک و خشکسالی کدورت اتفاقی	چند ساعت، چند روز تا دو هفته	خیلی کوتاه

۲-۱- پیش بینی تقاضای آب بلند مدت

پیش بینی تقاضای بلند مدت برای دوره طرح های چند دهه و بیشتر و گاهی بیش از ۳۰ سال توسعه یافته است. طول دوره پیش بینی طرح بستگی به مدت زمان لازم برای توسعه طرح های جدید و تجهیزات دارد. گزینه های ذخیره سازی و تامین آب از راه دور می تواند نیازمند زمان یک دهه یا بیشتر برای برنامه ریزی، کسب مجوز و کسب توانایی های عملیاتی باشد. آمار و همچنین تحقیقات گذشته در مورد عملکرد پیش بینی ها، نشان می دهد که خطاهای پیش بینی معمولا با افزایش طول دوره پیش بینی افزایش می یابد. اگر مسئله ظرفیت بلندمدت به درستی برآورد نشود، ممکن است با کمبود آب مواجه شود که هزینه هایی در قالب کاهش محوطه سازی، راحتی استفاده از آب، و محدودیت در ساخت و ساز جدید را تحمیل می کند.



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۲-۲- پیش بینی تقاضای آب میان مدت

این پیش بینی ها (برای یک تا ده سال) به طور معمول برای بهبود برنامه ریزی برای توزیع آب و سیستم تصفیه و برای تنظیم نرخ آب توسعه یافته است. پیش بینی میان مدت در تنوع مصرف آب توسط مشتری به طور ثابت یا تغییر آرام در یک پایگاه تمرکز می کند. تغییرات در میزان تقاضا در این مدت زمان با چرخه آب و هوا، تغییر در ترکیب مشتری و چرخه کسب و کار متناسب است.

۲-۳- پیش بینی تقاضای آب کوتاه مدت

این پیش بینی ها به بهره برداری سیستم آب کمک می کند مانند: بودجه بندی و مدیریت مالی. افق پیش بینی معمولاً یک سال یا بیشتر است. جزئیات طول دوره های کوتاه مدت می تواند به صورت یک ماه یا حتی یک روز مشخص شود. خطاهای پیش بینی در کوتاه مدت در درجه اول از تغییرات ذاتی و غیر قابل پیش بینی آب و هوا و رفتار انسان بوجود می آیند. این اثرات می تواند به طور موثر با روش های پیش بینی کوتاه مدت ثبت و مورد آنالیز قرار گیرد.

۲-۴- پیش بینی تقاضای آب خیلی کوتاه مدت

این مدل پیش بینی، با تمرکز بر افق از چند ساعت تا چند هفته، در حال حاضر با تکنیک های پیش بینی نسبتاً پیشرفته توسعه یافته است. این روش اغلب با استفاده از پیش بینی آب و هوا از چند روز تا چند هفته به توسعه پیش بینی استفاده از آب با هدف بهینه سازی روز به روز ابزارهای عملیاتی می پردازد. مدل های پیش بینی نیز می تواند در برنامه های تعمیر و نگهداری تاسیسات برنامه ریزی مفید باشد.

در مدیریت آب شهری دانستن تقاضای خیلی کوتاه مدت مهم است و در تعیین پارامترهای اقتصادی، قابلیت اطمینان و بهره برداری از شبکه نقش بسزایی دارد. این نوع پیش بینی به منظور بهره برداری از سیستم تله متری و کنترل از دور و سیستم ابزار دقیق در مراکز کنترل و تصمیم گیری، ضروری و از اهمیت و حساسیت خاصی برخوردار است [۳، ۴].

۳- عوامل موثر بر میزان تقاضای آب

تعدادی از عوامل، تاثیر قابل توجهی در تقاضای آب دارند، از جمله: جمعیت، اشتغال، چرخه های اقتصادی، تکنولوژی، اقلیم و آب و هوا، قیمت، و برنامه های حفاظت از آب.

۳-۱- جمعیت، اشتغال، و فناوری

رشد جمعیت عامل مهم در روند استفاده از آب است. بسیاری از مناطق با رشد جمعیت و افزایش مهاجر روبه رو هستند و نیاز به آب بیشتری خواهند داشت، در حالی که شهرهای دیگر در حال دست دادن جمعیت و اشتغال بوده و دلالت بر کاهش نیاز آبی در آینده است.

عامل چرخه کسب و کار نیز مصرف آب را تحت تاثیر قرار می دهد زیرا نوسانات در صنعت و تجارت متناسب با تغییرات در تقاضای آب است. تغییرات در درآمد شخصی نیز استفاده از آب را تحت تاثیر قرار می دهد. هنگامی که درآمد خانواده افزایش یابد، در شرایط مساوی، مصرف آب را افزایش می دهد یعنی رفاه بیشتر شود مصرف آب افزایش می یابد.

همچنین تغییرات تکنولوژیکی می تواند بر استفاده از آب در طول زمان تاثیر بگذارد. به عنوان مثال، نصب و راه اندازی گسترده از دفع زباله و ماشین ظرفشویی اتوماتیک در خانه ممکن است استفاده از آب های داخلی را افزایش دهد. آبیاری قطره ای، از سوی دیگر، ممکن است استفاده از آب را کاهش دهد. روش های جدید تولید صنعتی ممکن است آب به مراتب بیشتر و یا به مراتب کمتر از روش قبلی استفاده کند، در حالی که الزامات و فرصت ها برای استفاده مجدد از آب به طور چشمگیری می تواند آب مورد نیاز را کاهش دهد.



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۳-۲- اقلیم و آب و هوا

تقسیم بندی فصلی در مصرف آب در درجه اول توسط اقلیم محل انجام می شود. اوج تقاضا معمولا در تابستان است. تقاضا بالا در تابستان به دلیل مصارف آب مربوط به فعالیت های بیرون از خانه، از جمله آبیاری چمن و محوطه، استفاده از کولر آبی و غیره می باشد. در برخی اقلیم سرد تقاضای بالای آب به دلیل جریان داشتن آب در لوله هاست تا از یخ زدن سیستم در سردترین روزها جلوگیری کند. الگوهای تقاضای فصلی در برنامه ریزی ظرفیت سیستم های تصفیه آب و توزیع مهم است. الگوهای کوتاه مدت نیز برای برنامه ریزی زمان های تعمیر و نگهداری برای مخازن، پمپ ها، و برق بسیار مهم هستند.

۳-۳- قیمت

اثرات قیمت برای پیش بینی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت مهم است. هر دو مصرف آب و درآمد آب به طور مستقیم متأثر از تغییرات قیمت آب هستند. در کوتاه مدت در چند ماه، افزایش نرخ می تواند باعث تغییر رفتار خود مصرف کنندگان شود. این تغییرات می تواند شامل کاهش زمان دوش گرفتن یا کاهش شستشوی اتومبیل و آبیاری چمن باشد. در بلند مدت، اگر یک افزایش نرخ قابل توجه باشد و با توجه به تورم کنترل شود، مصرف کنندگان ممکن است از طریق انتخاب کالاهای بادوام، لوازم با مصرف آب کمتر و طراحی محوطه سازی ابتکاری برای کاهش در مصرف آب خود را به استفاده از آب وفق دهند.

۳-۴- بهره وری و برنامه های حفاظت از آب

برنامه های حفاظت از آب و بهبود راندمان معمولا به دوعامل دانش نحوه صرفه جویی در آب و فرهنگ صرفه جویی آب در شهر بستگی دارد. برنامه های بحران ناشی از خشکسالی و یا دیگر قطعی های بزرگ باعث کاهش مصرف آب البته به طور موقت می شود. برنامه ها طوری طراحی می شوند که رفتار افراد را نسبت به صرفه جویی آب در بلند مدت تغییر دهند. به خصوص برنامه هایی موثرند که تغییرات ساختاری، مانند استفاده از فلاش تانک جریان کم و استفاده کم آب جهت آبیاری فضای سبز تشویق می کنند. اثرات برنامه حفاظت باید حداقل خطاها را مدل های پیش بینی تقاضای آب و منافع آن را ملاحظه نماید. صرف نظر از زمان پیش بینی، بسیاری از برنامه های حفاظت باعث کاهش مصرف آب و کاهش درآمد می شوند. در مقابل، یک برنامه حفاظت که به شدت وابسته به افزایش نرخ است باعث افزایش درآمد می شود در حالی که مصرف آب نیز کاهش می یابد.

۳-۵- سایر عوامل موثر

اغلب و وضعیت فیزیکی سیستم توزیع آب به عنوان یک عامل موثر بر آب مورد نیاز تولیدی نادیده گرفته می شود. خرابی زیر ساخت های توزیع آب باعث افزایش تلفات از لوله های سوراخ دار و شکسته می شود. اندازه این تلفات در یک سیستم قدیمی به سختی قابل برآورد بوده، با این حال، به علت انواع خاصی از اندازه گیری ممکن است به دلیل عمر آن ها ثبت نشده باشد. تلفات آب کاربر نهایی نیز ممکن است با سن یک منطقه شهری رو به افزایش باشد. برآورد هدر رفت آب در آینده ممکن است در مدلسازی کامل مصرف آب قابل توجه باشد. پروژه تعیین هدر رفت آب کمک می کند تا بر یک مبنای منطقی برای جایگزینی و نگهداری لوله ها، سوپاپ ها و کنتورها سیاست گذاری شود.

۴- پیش بینی تقاضا

طیف گسترده ای از روش ها برای پیش بینی تقاضا استفاده می شود. انتخاب روش های بخصوص به پیچیدگی های فنی تحلیلی، منابع اختصاص داده شده به روند پیش بینی و داده های در دسترس بستگی دارد. به طور کلی، بهبود کیفیت و پیچیدگی پیش بینی با کسب تجربه و تعهد مدیریتی افزایش می یابد.

۴-۱- بر حسب سرانه مصرف جمعیت و سایر واحدهای ضریب دار

۶۵ درصد از شبکه های توزیع آب آمریکای شمالی بر اساس روش سرانه مصرف آب مورد نیاز در آینده پیش بینی و توسعه یافته اند. سیستم های آب شهری بزرگتر تمایل به توسعه بخش پیش بینی تقاضا با روش سرانه مشترکین بر پایه محاسبه واحد ضرایب مصرف آب برای مشتریان مانند مسکونی، تجاری، صنعتی و عمومی دارند [۲].



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب



1st National Conference on

Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

معادله ۱ پایه پیش بینی بر اساس سرانه مصرف به صورت زیر است:

$$Qt = Ntqt$$

۱

Qt : کل مصرف آب در دوره زمانی مورد نظر t

Nt : جمعیت در منطقه تحت پوشش شبکه در دوره زمانی t

qt : سرانه مصرف در دوره زمانی t

نقاط ضعف و قوت

الزامات مورد نیاز

- اطلاعات غیر فشرده
- تخصص آماری نه چندان مورد نیاز
- برای کوتاه مدت نسبتاً قابل اعتماد
- قابل اعتماد برای پیش بینی بلندمدت در صورت پیش بینی جمعیت
- عوامل موثر بر تقاضا را در نظر نمی گیرد
- اطلاعات آماری غیر قابل اعتماد
- متکی به سایر تحقیقات برای تنظیمات

- میزان سرانه مصرف مشترکین
- جمعیت
- تطبیق برای مشتریان با طبقه بندی های مختلف
- تنظیم برای پیک مصرف
- تنظیم برای مصارف منطقه ای
- تنظیم برای قیمت موثر، حفاظت، اقتصاد، آب و هوا و تغییرات در ترکیب مشترکین

شناسایی یک سال عادی آب و هوا. تعداد سرانه مصرف آب در بسیاری از سیستم های آب شهری تنوع قابل توجهی سال به سال نشان می دهد. این نشان می دهد که نیاز بیشتری به تجزیه و تحلیل عمیق بر اساس داده های تاریخی در استفاده از آب و آب و هوا وجود دارد. شاخص آب و هوا می تواند به شناسایی سال آب و هوای طبیعی کمک کند. جدول ۳ از فرمول ۲ و ۳ برای استاندارد دما (T) و بارش (P) استفاده می کند:

$$p^* = \frac{(p - \bar{p})}{stdev(t)} \quad ۲$$

$$t^* = \frac{(t - \bar{t})}{stdev(t)} \quad ۳$$

در اینجا \bar{t} ، مخفف میانگین سالانه دما در طول دوره ثبت، و \bar{p} متوسط بارش بلند مدت است. انحراف استاندارد از سری سالانه دما توسط $STDEV(T)$ و انحراف استاندارد از کل سری بارش سالانه $STDEV(P)$ نشان داده شده است.

ستون ۸ در جدول ۲ لیست شاخص آب و هوا در دراز مدت W می باشد، با استفاده از فرمول ۲ و ۳ به عنوان مجموع ارزش مربع در ستون ۶ و ۷ محاسبه شده است.

$$w = t^*2 + p^*2 \quad ۴$$

ایده این است که متغیرهای تقریباً مشابه و مربع آنها به طوری که مقادیر منفی بزرگ همان مقدار مثبت بزرگ در نظر گرفته می شوند. سپس، مقادیر پایین تر از مجموع و یا شاخص W با الگوهای آب و هوایی مربوط به میانگین بلند مدت از متغیرهای آب و هوا در شاخص نزدیک تر است. در جدول ۲، ۲۰۰۷ پایین ترین شاخص W، 0.2 دارد. بنابراین این شاخص آب و هوا، نشان می دهد که سال ۲۰۰۷ در سابقه تاریخی که در آن مقادیر دما و بارش نزدیک به نرم بلند مدت است [۲].



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید عباسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



جدول ۲: لیست شاخص آب و هوا در دراز مدت

Year	Average Daily System Water Use (mgd) (1)	Population of the Service Area (2)	gpcd (3)	Average Annual Temperature (°F) (4)	Total Annual Precipitation (in.) (5)	Standardized Average Annual Temperature (°F) (6)	Standardized Total Annual Precipitation (in.) (7)	Long-Term Weather Index (8)
1993	19.7	71,191	276.8	65.1	26.6	-0.933	1.314	2.6
1994	20.0	71,903	277.8	65.4	20.1	-0.733	0.385	0.7
1995	20.7	72,622	285.0	65.5	13.4	-0.667	-0.575	0.8
1996	20.9	74,437	280.6	64.5	7.4	-1.333	-1.434	3.8
1997	21.2	76,298	277.5	64.0	19.6	-1.667	0.314	2.9
1998	22.1	78,587	281.6	65.1	11.9	-0.933	-0.780	1.5
1999	22.7	81,338	279.0	64.2	8.1	-1.533	-1.332	4.1
2000	23.5	83,778	280.5	66.1	27.9	-0.267	1.491	2.3
2001	25.2	87,129	288.8	68.3	10.7	1.200	-0.957	2.4
2002	26.3	91,485	287.7	67.6	17.8	0.733	0.050	0.5
2003	26.7	94,230	283.4	67.8	23.7	0.867	0.892	1.5
2004	28.1	95,172	295.0	67.6	8.7	0.733	-1.247	2.1
2005	27.2	95,648	284.5	67.2	23.5	0.467	0.870	1.0
2006	28.6	98,561	290.1	68.0	22.7	1.000	0.749	1.6
2007	28.3	100,000	282.7	65.9	15.6	-0.400	-0.258	0.2

۴-۲- مدل نقطه نهایی مصرف

مدل پیش بینی نقطه نهایی مصرف از اطلاعات دقیق در مورد رفتار مشترکین استفاده گسترده می کند. برای پیش بینی از داده های موجود بر روی لوازم مصرف کننده آب و لوازم جانبی و الگوهای نمونه ای که از رفتار مردم بدست می آید استفاده می کنند. به عنوان مثال، تعداد استفاده از فلاش تانک توالت برای یک خانواده با تعداد جمعیت متوسط ممکن است از روی ورود دقیقه به دقیقه آب مصرفی به سیستم در یک نمونه مصرف خانگی برآورد شود. رویکرد نقطه نهایی مصرف برای مصارف صنعتی کاربردی به نظر می رسد، که در آن از تکنیک های مهندسی مانند برنامه ریزی خطی بتوان در مورد تصمیم گیری برای سرمایه گذاری در تجهیزات بازیافت آب استفاده شود.

۴-۳- مدل های سری زمانی

برون یابی سری زمانی شامل انواع مختلفی از تکنیک ها، از جمله روند زمانی ساده، هموار سازی نمایی، و مدل های باکس-جنکینز (یکپارچه سازی اتورگرسیون محرک-متوسط) برای تعیین روند مصرف آب در افق طرح در پروژه هاست. این مدل با تکیه بر این ادعا است که مصرف آب می تواند بر اساس تغییرات گذشته در استفاده از آب (نادیده گرفتن همه تاثیرات احتمالی دیگر) پیش بینی شود. این روش پیش بینی منطقی و دقیق از آینده بر اساس اطلاعات گذشته فراهم می کند. دقت با غیرتجمعی کردن مصرف نهایی مصرف کنندگان و ملاحظات جغرافیایی بهبود یافته خواهد یافت. از آنجا که روند مصرف آینده بعید است مانند روند گذشته تکرار شود، روش برون یابی از محدودیت های پیش بینی بلندمدت هست.



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



جدول ۳: الزامات مورد نیاز و نقاط ضعف و قوت

نقاط ضعف و قوت	الزامات مورد نیاز
<ul style="list-style-type: none"> قابل اعتماد برای پیش بینی کوتاه مدت و نسبتاً قابل اعتماد برای میان مدت برای بلندمدت قابل اعتماد نیست فراهم کردن اعتماد به نفس آماری عوامل موثر در پیش بینی تقاضا را فراهم نمی کند نیاز به تخصص و نرم افزار خاص متکی به سایر تحقیقات برای تنظیمات دقیق 	<ul style="list-style-type: none"> داشتن داده های مربوط به حداقل ۱۰ سال گذشته (داده های روزانه و یا ماهانه و صورت حساب ماهانه) نیاز به تخصص های آماری و نرم افزارهای آماری تطبیق با عوامل موثر در پیش بینی و سایر متغیرها

روند زمانی. یک سری زمانی یک سری نشاندار زمان و یا دنباله ای از اعداد است. در نماد انتزاعی، یک سری زمانی می تواند به عنوان مجموعه ای از نقاط $(X_1, X_2, \dots, X_T, \dots)$ ، که در آن T شاخص زمان برای مشاهدات گسسته بر ارزش متغیر X است، بیان کرد. ساده ترین مدل روند به شکل زیر است.

$$Q_t = a + bT$$

۵

$QT =$ استفاده از آب در مدت زمان t

$t =$ شاخص زمان

$T =$ یک متغیر در معادله که مقادیر مختلف زمان شاخص t می گیرد

a و $b =$ پارامترهایی که برآورد می شود

معادله ۵ یک خط راست است که می تواند بر روی یک نمودار با مختصات اندازه گیری مقدار مصرف آب و زمان رسم شود است. به طور کلی، این نوع از معادله روند زمان "مناسب" به داده های تاریخی با استفاده از یک الگوریتم حداقل مربعات، مانند مندرج در رگرسیون آماری است. یک روند زمانی می تواند چندین شکل کاربردی باشد. معادله ۵ یک معادله خطی است، اما می تواند روند زمانی به شکل نمایی، لگاریتمی، قدرتی و منحنی داشته باشد. به عنوان مثال، شکل ۱ سه خط را نشان می دهد. خط دندانه دار نمودار مقادیر بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ را به عنوان داده های تاریخی نشان می دهد. دو خط دیگر روندهای برآورد شده و بیرون ریخته از این داده های تاریخی هستند. یکی روند خطی، توسط معادله $Q = 115.25 + 3.917 T$ بدست آمده است.

شاخص زمان $T =$ از سال ۱۹۹۹، به طوری که داده های تاریخی به طور موثر از ۱ تا ۹ شماره گذاری مجدد شده و برای ۱۷ سال پیش بینی شده است. منحنی دیگر منحنی روند لگاریتمی است که با معادله $Q = 110.31 + 17.24 \ln(T)$ بیان شده است.

برازش این دو خط برای داده های تاریخی نشان می دهد که کدام برای پیش بینی دقت بالایی خواهد داشت و مناسب است. R^2 را برای روند خطی ۰.۵۸۶۵ است و R^2 و یا ضریب تعیین برای روند لگاریتمی ۰.۷۸۳۸ است. از آنجا که نزدیک به ۱ بهتر است، روند لگاریتمی ممکن است انتخاب شود.

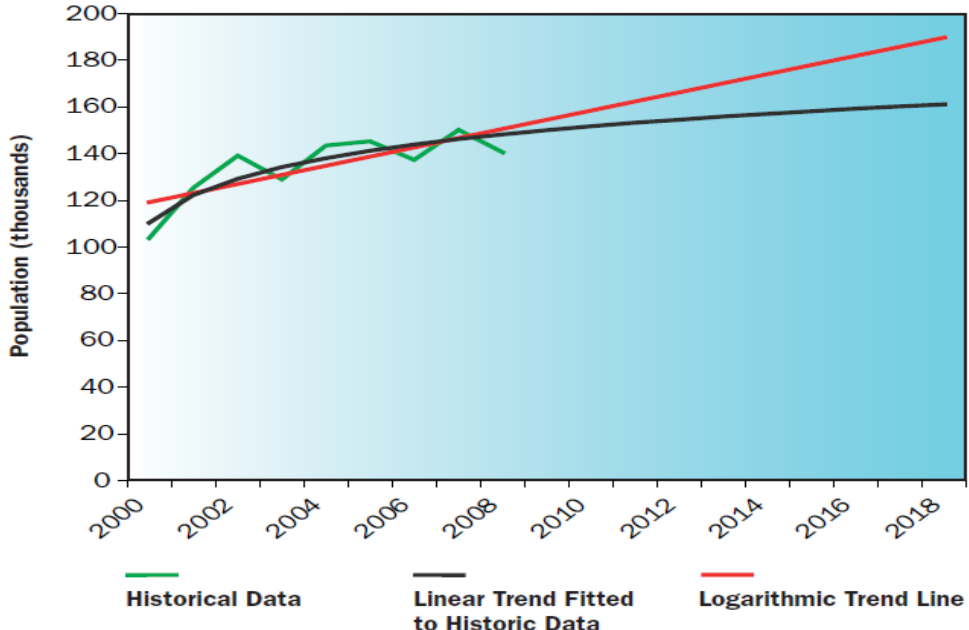


شرکت آب و فاضلاب کشور پردیس فن و مهندسی شهید عباسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



شکل ۱: نمودار مصرف و پیش بینی مصرف آب

مدل ARIMA. معادلات روند زمانی فقط به یک فرم بسیار ساده از مدل سری زمانی نشان داده شده است. به طور کلی، دو طبقه عمده از مدل های سری زمانی خودرگرسیو و محرک میانگین هستند. مدل های سری زمانی خودرگرسیو اساساً پیش بینی مقادیر آینده یک X_t سری زمانی بر اساس ارزش وزنی ارزش های گذشته از سری زمانی پیش بینی می کنند. فرایند اتورگرسیو مرتبه اول با این فرمول ۶ بیان می کنند.

$$x_t = a_1 x_{t-1} + e_t \quad 6$$

e_t به طور معمول یک فرایند توزیع خطا است و a_1 یک پارامتر است. توجه داشته باشید که اگر $a_1 > 1$ ، روند خودرگرسیو می تواند در حال افزایش مقادیر x_t ، بسته به اثر فرآیند خطا شود. اگر $a_1 = 1$ ، روند خودرگرسیو را می توان گفت که ریشه واحد دارد. به طور کلی، ممکن است یک فرآیند خودرگرسیو با K تعداد تاخیر باشد.

$$x_t = a_0 + a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \dots + a_k x_{t-k} + e_t \quad 7$$

پژوهش بوگادیس و همکاران با به کارگیری الگوهای با درجات مختلف ARIMA به این نتیجه رسید که الگوی $(2, 1, 0)$ بهترین هم پوشانی را با داده های واقعی مصرف آب شهر اوتواوا در کانادا دارد [۵].

محرک میانگین

پیش بینی برای مقدار y در زمان $t + 1$ ، که در زمان t ساخته شده برابر است با میانگین ساده از m مشاهدات اخیر:

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-m+1}}{m} \quad 8$$

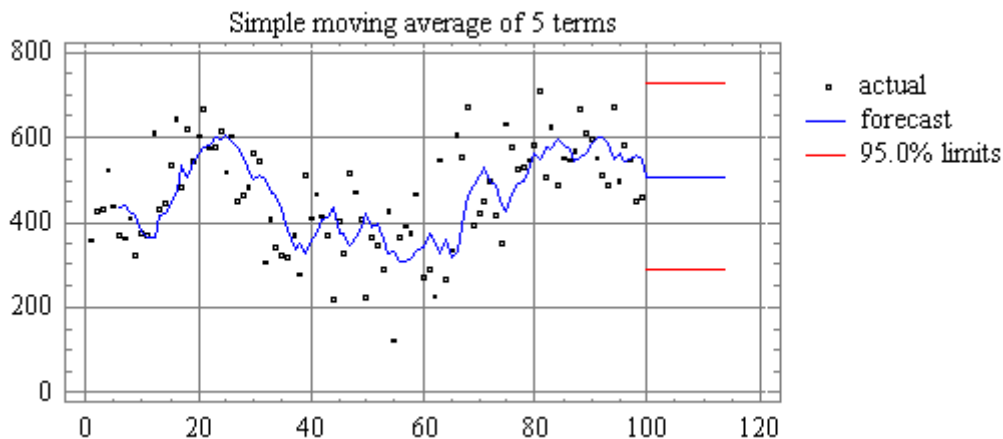
در شکل ۲ نمونه ای از کاربرد میانگین متحرک برای پیش بینی تقاضا آب با استفاده از داده های موجود مشاهده می شود.



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



شکل ۳: نمونه ای از کاربرد میانگین متحرک برای پیش بینی تقاضا

مدل های صاف نمایی

مدل های صاف نمایی یک عبارت را از نظر مفاهیم سری زمانی کلاسیک بیان میکنند، اما در محیطی کاربردی و قابل درک تر از مدل ARIMA هستند.

با فرض X_t مشاهدات واقعی و Y_t سری صاف شده، $t = 1, 2, \dots, n$ ، فرض:

$$Y_t = \alpha X_t + \alpha(1-\alpha)X_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 X_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 X_{t-3} + \dots \quad ۸$$

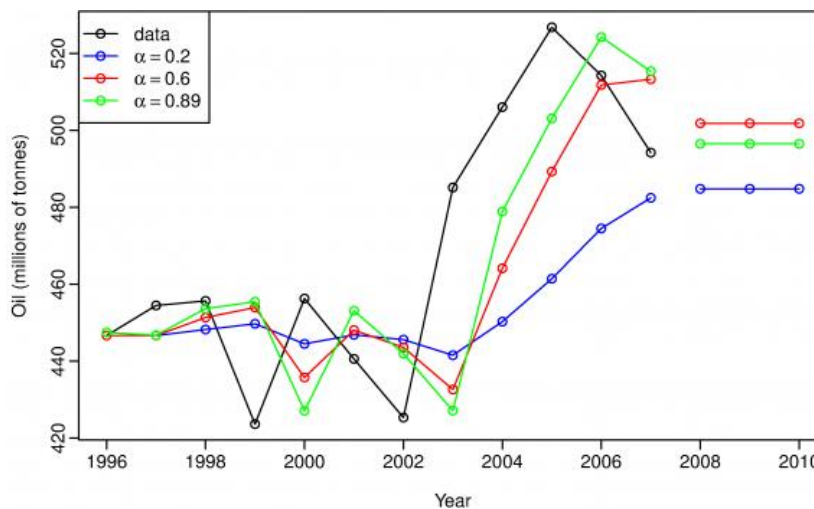
$$0 < \alpha < 1.$$

$$\alpha + \alpha(1-\alpha) + \alpha(1-\alpha)^2 + \dots = 1$$

$$Y_t = \alpha X_t + (1-\alpha)Y_{t-1}$$

$$e_t = X_t - Y_{t-1} \text{ and } S = \sum_{t=3}^n e_t^2$$

α باید طوری انتخاب شود که S حداقل شود.



شکل ۴: استفاده از روش صاف سازی برای پیش بینی تقاضا



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



آقا بیگی و همکاران با بهره گیری از الگوی میانگین متحرک هم انباشته خودتوضیحی فصلی (SARIMA) در پی الگوسازی و پیش بینی مقادیر مصرف آب شهر تهران با استفاده از سری زمانی ماهانه مصرف آب شهر تهران طی ماه های فروردین ۱۳۷۷ تا اسفند ۱۳۸۹، کاربرد آزمون ریشه واحد فصلی را مدنظر قرار دادند. نتایج آن ها بیانگر وجود تمامی ریشه های غیرفصلی و فصلی در سری زمانی ماهانه مصرف آب شهر تهران بود. بنابراین از برازش الگوهای SARIMA استفاده کرده بودند. نتیجه این پژوهش این بوده است که الگو دارای قدرت پیش بینی بالایی برای تخمین تقاضای آب شرب شهر تهران است [۶].

۴-۴- روش رگرسیون

از سال ۱۹۶۰، اقتصاد دانان و دانشمندان علوم اجتماعی از روش ضریب پیش بینی بر اساس سرانه و واحد مصرف به دلیل نادیده گرفتن عوامل اقتصادی و اجتماعی انتقاد کرده اند. مخصوصا ضرایب ثابت نمی توانند سطح نرخ آب (به عنوان مثال، هزینه اثرات) را منعکس کنند که مشکل پیچیده ای است زیرا مصرف کنندگان آب به تغییرات قیمت واقعی (تورم تعدیل شده) عکس العمل نشان می دهند و باعث افزایش از زمانی به زمان دیگر می شود. اگر روند قیمت آب، درآمد شخصی، مالکیت لوازم استفاده کننده از آب، جمعیت، تراکم شهری، و عوامل دیگر در مدل های پیش بینی هم استفاده می شود، مدل سازی رگرسیونی مناسب است.

جدول ۴: الزامات مورد نیاز و نقاط ضعف و قوت

نقاط قوت و ضعف	الزامات مورد نیاز
<ul style="list-style-type: none"> قابل اعتماد برای کوتاه مدت و میان مدت قابل اعتماد به عنوان پیش بینی عوامل موثر در تقاضای بلندمدت در نظر گرفتن عوامل موثر در پیش بینی ایجاد اعتماد به نفس آماری داده های بسیار فشرده نیاز به تخصص و نرم افزار خاص می تواند از مطالعات دیگر برای تعدیل بهره مند شود 	<ul style="list-style-type: none"> نیاز به اطلاعات حداقل ۱۰ سال گذشته (روزانه و یا ماهانه، صورت حساب ماهانه، جمعیتی، اقتصادی، آب و هوا پیش بینی عوامل موثر در تقاضا نیاز به تخصص و نرم افزار آماری پس از تنظیمات واقعی برای روند مصرف به عوامل دیگر نیز توجه شود

مدل رگرسیون، مدلی است که رابطه یک متغیر Y (متغیر وابسته) را با یک یا چند متغیر X_1 و X_2 و ... (متغیرهای مستقل مثل تعداد خانه ها، طول لوله ها، ...) بیان می کند. برای محاسبه شاخص فصلی با استفاده از روش رگرسیون امار و اطلاعات حداقل ۳ سال لازم است.

ریاضیات نشان می دهد که تمام توابع پیوسته می تواند با یک تابع خطی تخمین زده شود. بنابراین اطراف یک نقطه (X_1, X_2, \dots, X_k) فضای k بعدی به وجود می آید، یک تابع $Q = f(\cdot)$ می تواند به شکل یک معادله خطی مانند زیر تقریب زده شود.

$$Q = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_kX_k + E \quad 10$$

a_i , $i=1,2,\dots,k$ ضرایب رگرسیون که تخمین زده شده و a_0 ضریب ثابت رگرسیون و X_i متغیرهای توضیحی (به عنوان مثال، قیمت آب) و E خطای اندازه گیری می باشد.

معادله پیش بینی تابستان

$$Q = c_0 + c_1DELTEMP + c_2DELPRECIP + c_3JUNE + c_4JULY + c_5AUGUST + c_6SEPTEMBER + c_7MATREND \quad 11$$

DELTEMP = میانگین دما در ماه خاص منهای میانگین دمای بلند مدت آن ماه



شرکت آب و فاضلاب کشور پردیس فن و مهندسی شهید عباسپور

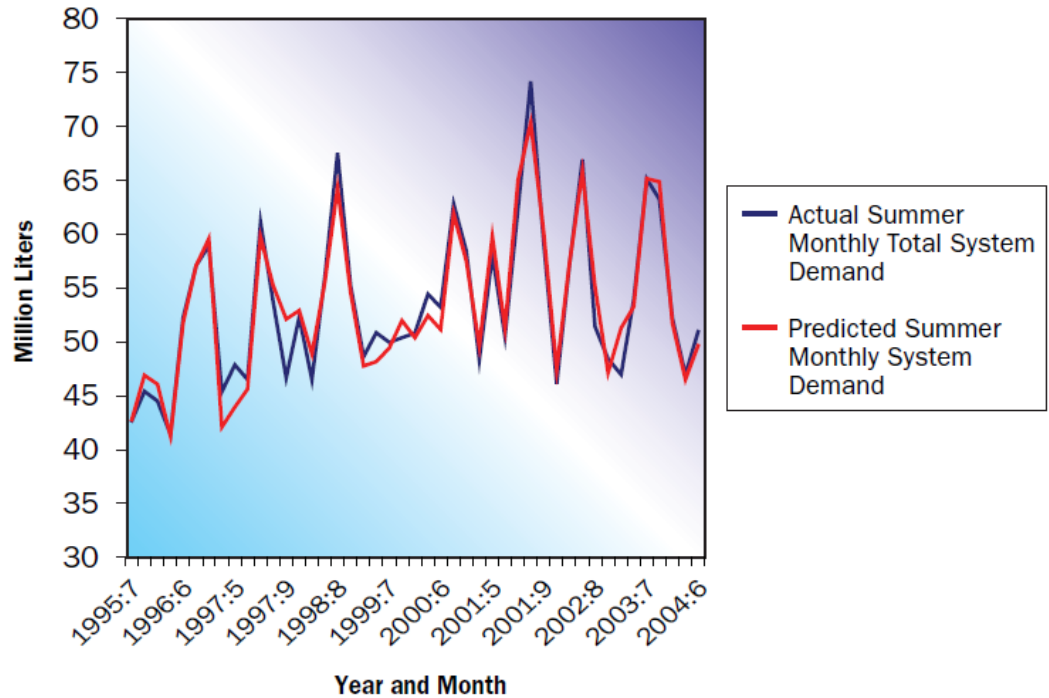
اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



DELPRECIP = بارش کل برای یک ماه خاص منهای متوسط بارش بلند مدت برای آن ماه
MATREND = وسط روند میانگین متحرک



شکل ۵: مقایسه مصرف آب تابستان و مقدار پیش بینی شده تقاضای آب ماهانه، معادله پیش بینی تابستان

برآورد یک مدل رگرسیون با داده های سری زمانی

بسیاری از تحلیلگران از داده های مقطع سری زمانی برای توسعه مدل های پیش بینی استفاده می کنند.

$$Q = c_0 + c_1Price + c_2Rain + c_3Temp + c_4Income + c_5Hhsiz + E \quad ۱۲$$

که:

Q = متوسط مصرف آب خانگی برای هر ماه

c_0 = ثابت مدت و یا رهگیری از مدل

c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 = ضرایب شب برآورد

$Price$ = قیمت نهایی به ازای واحد آب

$Rain$ = بارش ماهانه

$Temp$ = میانگین دمای بالا به صورت ماهیانه

$Income$ = متوسط درآمد ماهانه هر خانوار

$Hhsiz$ = تعداد افراد در خانوار

E = خطا باقی مانده از برآورد.

این مدل فرموله شده به منظور برآورد مصرف آب یک خانواده معمولی است. بنابراین، پیش بینی کل مصرف آب مسکونی نیاز به ضرب خروجی این مدل با تعداد خانواده در پروژه حاصل می شود. از آنجا که اطلاعات برای تخمین این مدل از مقادیر متوسط هر خانوار تشکیل شده است، دقت و صحت هر پیش بینی با استفاده از این داده ها وابسته به این مدل با داشتن یک خطای استاندارد بسیار پایین برآورد، و یا تا حدودی معادل، یک R^2 بسیار بالا است.



رگرسیون یک تکنیک منحنی اتصالات بسیار قدرتمند است زیرا می تواند اثرات بسیاری از متغیرهای مستقل و یا وابسته در تشریح تغییرات یک متغیر وابسته و یا هدف را ترکیب کرده و نشان دهد.

اسلامیان و همکاران با استفاده از روش رگرسیون چندگانه به پیش بینی آب روزانه شهر کبک در کانادا پرداخته اند. پارامترهای هواشناسی و عوامل اقتصادی و اجتماعی در این مدل استفاده شده است. در روزهای بارانی میزان مصرف کاهش یافته و در آخر هفته ها میزان مصرف افزایش داشته است [۷].

۴-۵- روش ناپارامتری

روش هایی مانند شبکه های عصبی و منطق فازی در حال حاضر جایگزین جذاب به مدل رگرسیون معمول هستند، در این روش های برآوردی "یادگیری" در مورد روابط بین متغیرها در مدل و استفاده از آن دانش به پیش بینی منجر می شود. این روش سخت تر از مدل های دیگر برای استفاده بوده، و بسیار سخت تر برای توضیح به کاربران احتمالی می باشد. اگر چه ممکن است برخی از دستاوردهای بالقوه در دقت پیش بینی استفاده از این مدل وجود داشته باشد، ابهام در آنها باعث می شود بسیاری از تحلیلگران آب از آن استفاده نکنند.

شبکه های عصبی مصنوعی یکی از پویاترین حوزه های تحقیق در دوران معاصر می باشد که توجه افراد بسیاری از رشته های گوناگون علمی را به خود جلب کرده است. در ساخت یک مدل بر مبنای شبکه عصبی اولین کار انتخاب نوع شبکه است. پس از آن پارامترهای ورودی که در خروجی تاثیرگذار هستند، انتخاب می گردند. سپس معماری شبکه یعنی، تعداد لایه ها و تعداد گره ها در هر لایه و چگونگی اتصال آنها، و نوع توابع محرکه مورد استفاده برای نرون ها و نهایتاً پارامترهای موثر در آموزش شبکه تعیین می گردند. بعد از تعیین نوع شبکه و معماری آن یک سری اطلاعات ورودی و خروجی به شبکه داده می شود، شبکه بر اساس این اطلاعات آموزش می یابد. این مرحله، مرحله یادگیری یا آموزش شبکه نامیده می شود. در مرحله آموزش با توجه به نوع الگوریتم آموزشی، وزن های اتصالات شبکه تغییر می یابند. مناسب ترین مدل، با سعی و خطا به صورت تغییر توابع محرکه، تغییر تعداد لایه ها، تغییر تعداد گره ها در لایه های پنهان، بدست می آید. بعد از آموزش، شبکه با استفاده نمونه آزمایش مورد تجدید نظر قرار می گیرد و صحت عملکرد شبکه امتحان می گردد تا بدین طریق خطای حاصل از برآورد کاهش یابد. به عبارتی نمونه آزمایشی با کمک به نمونه آموزش خطای حاصل را کاهش می دهد. در ادامه شبکه با استفاده از نمونه صحت آزمایی که در محاسبات منظور نمی گردد و جهت تعیین دقت مدل مورد استفاده قرار می گیرد مورد ارزیابی قرار می گیرد.

چین و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، به پیش بینی تقاضای کوتاه مدت آب پرداختند. متغیرهای ورودی در این مطالعه شامل تقاضای آب، میانگین دمای هوا و مقدار بارندگی برای شهر کانپور (هند) در هفته بوده اند. علاوه بر الگوی شبکه عصبی مصنوعی، سه الگوی رگرسیون خطی و دو الگوی سری زمانی به منظور مقایسه عملکرد الگوها در پیش بینی تقاضای آب، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که عملکرد شبکه عصبی مصنوعی از سایر الگوها بهتر بوده است. هم چنین الگوهای رگرسیونی نسبت به سری زمانی، پیش بینی های بهتری را ارائه داده و الگوهای غیر خطی نسبت به خطی عملکرد بهتری داشته اند [۸].

لیو و همکاران تقاضای آب شهر وینان در چین را توسط شبکه عصبی مصنوعی برای سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰، پیش بینی کرده اند. هر چند که در این مطالعه مقایسه ای با سایر روش های پیش بینی انجام نگرفته، اما با توجه به اختلاف کم مقادیر پیش بینی شده و مقادیر واقعی (کم تر از ۳ درصد) می توان به برازش خوب الگو اشاره کرد [۹].

از مطالعات داخلی می توان به مطالعه گوشه اشاره کرد، که پس از بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای آب شهری، به پیش بینی تقاضای کوتاه مدت آب در شهر تهران پرداخته است. در نهایت، شبکه عصبی با دولایه پنهان (که دارای یک نرون در لایه پنهان اول و ۷ نرون در لایه پنهان دوم است) را به عنوان بهترین ساختار مناسب برای پیش بینی تقاضای کوتاه مدت آب در شهر تهران تشخیص داده است. هم چنین مقایسه ای بین الگوی شبکه عصبی مصنوعی و فازی در مورد پیش بینی تقاضای کوتاه مدت آب شهری انجام داده، که الگوی شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری نسبت به الگوهای فازی برای پیش بینی تقاضای آب در شهر تهران داشته است [۱۰].

شرزه ای و همکاران از شبکه عصبی نوع GMDH مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، الگوهای ساختاری و هم چنین سری های زمانی، به منظور مقایسه روش های پیش بینی تقاضای سرانه آب در شهر تهران استفاده شده است. متغیرهای مورد نظر در الگوهای پیش بینی تقاضای آب عبارتند از مصرف سرانه آب، قیمت آب، متوسط درآمد خانوار و متوسط درجه حرارت سالانه در شهر تهران. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که پیش بینی تقاضای آب با استفاده از روش شبکه های عصبی نوع GMDH نسبت به برآوردهای حاصل از الگوهای ساختاری و سری زمانی، از درجه کارایی بیش تری برخوردار است [۱۱].



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید عباسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۵- نتیجه گیری

در مواجهه با چنین انبوهی از امکانات، برای شبکه های حرفه ای آب، مدل های پیش بینی تقاضای آب چگونه انتخاب و رویکرد انتخابشان چیست؟ از نقطه نظر عملی، اندازه شبکه و انگیزه پیش بینی نیاز آبی مدل دارای اهمیت می باشد. به طور کلی، توسعه مدل های پیچیده پیش بینی نیاز آب، اغلب برای پیش بینی سیستم های آب بزرگ و شبکه هایی که دارای محدودیت در اطراف آن از نظر هزینه و آب در دسترس در آینده بودند، گسترش یافته است. کیفیت آب، شامل آب برداشتی و الزامات مورد نیاز برای تخلیه فاضلاب تصفیه شده، مشکل دیگری است که می تواند باعث تلاش برای نائل آمدن به این مشکل با استفاده از پیش بینی نیاز آبی آینده باشد. مدل سازی تقاضای آب یک فرایندی است که داده های جاری و درک کلی از مشکل را بهبود می بخشد. از دیگر فاکتورها می توان به در دسترس بودن اطلاعات، احتیاجات لازم برای دقت پیش بینی، عملکرد و شیوه های تشخیص معایب مدل های پیش بینی و دیگر فاکتور هایی که ممکن است در پیش بینی نقش داشته باشند.

داده های معمولی بر روی نرخ مصرف آب و اطلاعات مسائل کلیدی مورد بررسی قرار گیرد. برای پیش بینی نیاز آبی موثر، داده ها باید به صورت محلی جمع آوری شود. تحلیلگران نیاز آب باید اطمینان حاصل کنند که سوابق مصرف آب به صورت مناسب برای اهداف ۳۰ سال و یا اطلاعات بیشتر مصرف آب، در یک سری ترجیحا ماهانه بایگانی شود. باید توازنی بین شرح مفصلی از استفاده از آب با گروه بندی مشتریان و ثبات الگوهای مصرف آب (که می تواند برای گروه بندی مشتری بزرگتر تعیین شود) زده شود.



شرکت آب و فاضلاب کشور پارس فن و مهندسی شهید عباسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۶- منابع

۱. Campbell, H., *Prices, devices, people, or rules: The relative effectiveness of policy instruments in water conservation*. Rev. Pol. Res, 2004. **21(9)**: p. 637-662.
۲. Billings, R.B. and C.V. Jones, *Forecasting urban water demand*. 2011: American Water Works Association.
۳. تابش, م. و م. دینی, پیش بینی تقاضای روزانه آب شهری با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی, مطالعه موردی: شهر تهران. آب و فاضلاب, ۱۳۸۸. ۱: 84-96 p.
۴. صادقی, ح., آخوند علی, علی محمد, حداد, میثم, و گلابی, محمدرضا الگوبندی و پیش بینی تقاضای آب شهر اصفهان با روند ضمنی و سری زمانی. آب و خاک, ۲۰۱۵. ۲۹(۲): 251-262 p.
۵. Bougadis, J., K. Adamowski, and R. Diduch, *Short-term municipal water demand forecasting*. Hydrological Processes, 2005. **19(1)**: p. 137-148
۶. آقایی, م. م. ک. کلاشمی, و م. ص. الهیاری, پیش بینی مصرف آب شهر تهران با به کارگیری الگوهای فصلی سری زمانی. پژوهش آب ایران, ۲۰۱۴. ۷(۱۳): 69-77 p.
۷. Eslamian, S.A., S.S. Li, and F. Haghigat, *A new multiple regression model for predictions of urban water use*. Sustainable Cities and Society, 2016. **27**: p. 419-429.
۸. Jain, A., A. Kumar Varshney, and U. Chandra Joshi, *Short-term water demand forecast modelling at IIT Kanpur using artificial neural networks*. Water resources management, 2001. **15(5)**: p. 299-321.
۹. Liu, J., H.H. Savenije, and J. Xu, *Forecast of water demand in Weinan City in China using WDF-ANN model*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2003. **28(4)**: p. 219-224.
۱۰. سیامک, گ., تخمین تقاضای کوتاه مدت آب شهری با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در دانشکده فنی ۱۳۸۲ دانشگاه تهران
۱۱. شرزه ای, غ. و م. احاراری, و ح. فخرایی, پیش بینی تقاضای آب شهر تهران با استفاده از الگوهای ساختاری, سری های زمانی و شبکه عصبی نوع GMDH. مجله تحقیقات اقتصادی, ۲۰۰۹. ۴۳(۳): - p.