توسعهٔ یک مدل خبره برای پیش‌بینی تقاضای آب شهری با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی، نمونه موردی شهر ایلام

علی‌اکبر تقوائی* - محمدرضا پورجعفر** - مصطفی حسین آبادی*** - حسین ریاحی مدوار****

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۰/۳/۳

چکیده

مدیریت و تأمین آب شهری، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران و برنامه‌ریزان شهری بوده است. شناخت تقاضای آب شهری و عوامل مؤثر بر آن، از مولفه‌های مهم در مدیریت و کنترل مصرف آب شهری محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر مدلی خبره برای پیش‌بینی تقاضای آب شهری ایلام با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی توسعه یافته است. مدل خبره، مبتنی بر عوامل مؤثری است که از درآمد سالانه (x_1)؛ ناحیهٔ مصرف (x_2)؛ عرصه (x_3)؛ اعیان (x_4)؛ بعد خانوار (x_5) ؛ تعداد شیر آب منزل (x_6)؛ قیمت سالانهٔ آب (x_7) به عنوان متغیرهای پیشگوی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه (AURWD)[1] به عنوان متغیر خروجی استفاده می‌نماید. با استفاده از مجموعه داده‌های گردآوری شده و پیش پردازش آنها، ساختار بهینهٔ مدل خبره بدین صورت بدست می‌آید: ۳ لایه با ۷ نرون در لایهٔ ورودی، ۱۰ نرون در لایهٔ مخفی و یک گره در لایهٔ خارجی که از تابع فعال‌سازی تنسیگ[2] استفاده می‌کند. مقایسهٔ کمی و کیفی نتایج مدل خبره با مقادیر مشاهده شده با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (R^2)[3] و مربع میانگین ریشه (RMSE)[4] و آزمون‌های گرافیکی، نشان داد که مدل خبره شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN)[5] کارایی خوبی در پیش‌بینی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه دارد، همچنین یک معادله رگرسیون خطی چندگانه (MLR)[6]، برای برآورد تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه با استفاده از عوامل مؤثر ارائه شده است. مقایسهٔ معادله AURWD-MLR با AURWD-ANN نشان داد که مدل خبره بر پایه شبکهٔ عصبی مصنوعی از کارآمدی بیشتری برخوردار است. مدل خبرهٔ توسعه یافته در این تحقیق به عنوان یک پشتیبان تصمیم خبره، می‌تواند توسط برنامه‌ریزان و مدیران شهری مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مدل خبره، تقاضای آب شهری، فاکتورهای مؤثر، شبکهٔ عصبی مصنوعی، شهر ایلام.

* دانشیار شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس Emai: taghvaea@modares.ac.ir
** استاد طراحی شهری، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس Emai: pourja_m@modares.ac.ir
*** کارشناس ارشد شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس Emai: hosseinabadi86@gmail.com
**** پژوهشگر دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس Emai: riahi@modares.ac.ir

مقدمه

امروزه کمتر شهری است که با تنگناهای تأمین آب آشامیدنی سالم روبه رو نباشد. مدیریت آب در دو سمت عرضه و تقاضای آن، دارای مؤلفه‌هایی است که الزاماً بایستی مورد توجه قرار گیرد. شناخت تقاضا و عوامل مؤثر بر آن یکی از پارامترهای مهم در مدیریت و کنترل تقاضای آب شهری است. تقاضای آب، تقاضا برای کالایی ضروری است و علاوه بر اینکه در سطحی از حداقل معاش الزاماً باید تأمین گردد، به عوامل دیگری نیز ارتباط دارد که شناخت آنها نقش مهمی در کنترل و مدیریت تقاضای آب ایفا می‌کند. از طرفی در اکثر برنامه‌ها و طرح‌های شهرسازی، یکی از پارامترهای مهم که باید با دقت بیشتری برآورد گردد، تعیین نیاز آب مصرفی آیندهٔ ساکنین شهر است. اما در حال حاضر در بیشتر موارد، جهت برآورد تقاضای آب مصرفی، برنامه‌ریزان و طراحان شهری به دلیل نبود مدل‌های مناسب و کارا، تنها با استفاده از رقم جمعیت به تخمین آب مورد نیاز آیندهٔ شهر می‌پردازند. این در حالی است که علاوه بر متغیر جمعیت، بسیاری از پارامترهای دیگر مؤثرند که باید با استفاده از مدل‌های مناسب، میزان تأثیر هر یک تعیین شده و سپس میزان آب مصرفی برآورد گردد.

در کشور ما تأمین آب آشامیدنی شهرها یکی از چالش‌های جدی مدیریت شهری است. تخمین تقاضای آب مسکونی و شناخت عوامل مؤثر بر آن یکی از گام‌های مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی تقاضای آب شهری است. راه حل مؤثر، تنها در عرضهٔ آب بیشتر نیست، بلکه اتخاذ سیاست‌ها و تدابیر لازم مبتنی بر الگوی مصرف و توجه کافی به عوامل طرف تقاضای آب، از اهمیت بالایی برخوردار است. قیمت آب و مقدار تقاضای آن در بلوک‌های مصرفی و تحت تأثیر قرار دادن آن و همین‌طور شناخت عوامل مؤثر بر آن، آگاهی از درآمد خانوار و تأثیر آن بر تقاضای آب، سیاست قیمت‌گذاری آب و ارزیابی تأثیرات آن بر مقدار تقاضای آب خانگی، ویژگی‌های خانوار نظیر بعد خانوار و غیره، و تأثیر هر کدام از این عوامل بر تقاضای خانوار برای آب، سؤالاتی است که پاسخ به آنها کمک قابل توجهی به مدیریت تقاضای آب شهری خواهد نمود (Mousavi et al., 2010: 91).

تقاضای آب به فاکتورهای اقتصادی–اجتماعی، آب و هوا، سیاست‌های عمومی و استراتژی‌های آب وابسته است (Henry & David, 2005: 475). با استفاده از مدل تقاضای چند متغیره، می‌توان اثر همه یا اکثر فاکتورها را مدنظر قرار داد. به هر حال گسترش شهرنشینی در آینده نیازهای متعدد و متنوعی را بوجود خواهد آورد که تأمین آب آشامیدنی از مهم‌ترین آنهاست. بنابراین ضرورت شناخت مقدار تقاضا و عوامل تأثیرگذار بر آن اهمیت و ضرورت زیادی دارد.

شهر ایلام به عنوان مرکز استان در چند سال گذشته با گسترش بی‌رویه‌ای مواجه بوده است و از آنجا که تأمین آب آشامیدنی شهروندان شهر ایلام جزء حادترین مشکلات شهر می‌باشد، مطالعه و بررسی علمی در این خصوص، اهمیت زیادی خواهد داشت (Sayehmiri, 2005: 23). مصرف سرانهٔ هر نفر در دنیا روزانه ۷۵ لیتر است و این در حالی است که در کشور ما این میزان به طور متوسط به ۲۲۰ لیتر می‌رسد. میزان متوسط مصرف آب در استان ایلام بین ۳۰۰ تا ۳۲۰ لیتر است که فاصلهٔ زیادی با متوسط کشور دارد. همچنین میزان متوسط مصرف آب شرب خانگی در شهر ایلام بین ۳۴۰ تا ۳۶۰ لیتر برای هر نفر است. این در حالی است که شهر ایلام با کمبود شدید منابع آب شرب مواجه است. باید برای جلوگیری از افزایش مصرف آب شرب در کشور و به ویژه شهرهایی مانند ایلام که میزان مصرف آب در آنها از متوسط کشور بیشتر است باید راهکارها و سیاست‌گذاری مناسبی صورت گیرد تا این میزان به متوسط جهانی نزدیک شود. جهت اتخاذ راهکارهای مناسب و تصمیم‌سازی، باید در درجهٔ اول عوامل مؤثر در تقاضای آب شهری شناسایی شده و میزان تأثیر هر یک از آنها در این تقاضا برآورد گردد و مدل برآورد مصرف آب تهیه شود. پس از مشخص شدن میزان تأثیر هر یک از متغیرها، می‌توان اولویت‌ها را برای نیل به هدف مورد نظر تعیین نمود. با این وصف و با توجه به ضرورت‌های اشاره شده، پژوهش حاضر بر روی برآورد تقاضای آب شهری ایلام متمرکز شده و در این مسیر سهم هر یک از عوامل مؤثر در تقاضای این شهر را نیز تخمین می‌زند. در واقع هدف اصلی این مطالعه، ایجاد و توسعهٔ مدل خبرهٔ پیش‌گو و کارآمد برای تقاضای آب سالیانهٔ مناطق مسکونی شهری در شهر ایلام، بوسیلهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی و ارزیابی دقت آن است.

۱. پیشینهٔ تحقیق و ادبیات موضوع

روش‌های متعددی جهت تخمین تقاضای آب وجود دارد که در این قسمت برخی از جدیدترین این روش‌ها بازبینی شده است. برای مدل‌سازی تقاضای آب مناطق مسکونی در پکن، روش قیمت نرخ توسط یانگ و چن در سال ۲۰۰۹ مورد استفاده قرار گرفت. برای شبیه‌سازی رابطهٔ بین قیمت و تقاضای آب شهری از یک مدل براساس سامانهٔ توسعه یافتهٔ برآورد هزینهٔ خطی (ELES)[۷] استفاده شد (Chen & Yang, 2009: 2465). فیرات و یوردوسو از رویکرد سامانهٔ استنتاج فازی عصبی تطابقی[۸] جهت مدل‌سازی سری‌های زمانی مصرفی آب شهری در ازمیر ترکیه استفاده کردند (Yurdusev & Firat, 2009: 228).

آربس و گارسیا مطالعات انجام شده روی تخمین تقاضای آب مسکونی را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعهٔ آنها درآمد، قیمت آب و ترکیب افراد خانوار، شاخص‌های مهم مصرف مناطق مسکونی بوده است. این نتایج به سیاستگذاران شهری اجازه می‌دهد تا از قیمت‌ها برای رسیدن به ذخیرهٔ بیشتر آب استفاده کنند (Arbues & Garcia, 2003: 90).

در برخی از مطالعات از آنالیز چند متغیره برای برخورد با رابطهٔ ساختارمند بین مصرف و متغیرهای توضیحی در خانوارهای چینی استفاده شده است (Henry & David, 2005: 482). فاکس و همکاران برای پیش‌بینی تقاضای آب، خانواده‌ها را بر اساس دارایی‌های فیزیکی طبقه‌بندی کردند. آنها تقاضای آب خانواده‌ها را تحت طبقه‌بندی تک متغیره از نوع دارایی آنالیز کردند. نتایج آن‌ها تفاوت زیادی با نتایج اندازه‌های مختلف (تعداد اتاق خواب)، نوع معماری و وجود باغ داشت. اما، از لحاظ سن و جنبهٔ باغ تفاوت زیادی مشاهده نشد. آنالیز تقاضای آب خانواده، تحت طبقه‌بندی چند متغیره از نوع دارایی، در بین انواع دارایی تفاوت زیادی از خود نشان نداد (Fox et al., 2009: 563).

رائو از آنالیز تصمیم‌گیری فضایی چند معیاری برای پیشگویی نیاز آب شهری استفاده کرد که در آن از لایه‌های مختلف مثل نقشهٔ شبکهٔ جاده‌ای و پوشش زمین استفاده شد. تقاضای آب آشامدینی درآینده بوسیلهٔ متغیرهای متعددی همچون فاصله از شهر اصلی، فاصلهٔ جاده، توپوگرافی، پوشش/کاربری زمین، تراکم جمعیت، خاک و وجود سامانهٔ تأمین آب تعیین می‌شود (Rao, 2005: 167). هریرا و همکاران چند مدل پیش‌بینی برای تقاضای آب به صورت ساعتی را توسعه داده و با هم مقایسه کردند. داده‌های سری زمانی مصرف آب از شهری در شمال شرقی اسپانیا بدست آمد. این مدل‌ها شامل: ANN، PPR[۹]، MARS[۱۰]، RF[۱۱] و SVR[۱۲] بودند. نتایج مقایسه نشان داد که SVR دقیق‌ترین مدل است و پس از SVR مدل‌های RF , PPR , MARS به ترتیب از دقت بالایی برخوردار بودند (Herrera et al., 2010: 145). المعلا و محمد از مدل نرخ ثابت[۱۳] برای پیشگیری تقاضای آب در کشور امارات استفاده کردند (Mohamed & Al-Mualla, 2010: 163). گاتو و همکاران، مدل تقاضای روزانهٔ جدیدی را توسعه دادند و با ملحق کردن مقادیر پایه به آن، بوسیلهٔ این مدل حد آستانه دما و بارش را محاسبه نمودند. در این مدل کل آب استفاده شده از به کارگیری مصرف پایه و فصلی استخراج شده است (Gato et al., 2007: 370). فیرات و همکاران از مدل‌های ANN , GRNN[۱۴], CCNN[۱۵], FFNN[۱۶] برای پیشگویی سری‌های زمانی مصرف آب استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای پیشگویی این سری‌های زمانی CCNN به FFNN و GRNN ترجیح داده می‌شود (Firat et al., 2010: 50). زهو و همکاران از آنالیز سری‌های زمانی برای پیشگویی تقاضای آب شهری استفاده کردند. در این مدل، مصرف به دو مؤلفهٔ استفادهٔ پایه (به آب و هوا حساس نیست) و استفادهٔ فصلی (حساس به آب و هوا) تقسیم می‌شود (Zhou et al., 2000: 157).

الی و ونکول از الگوریتم قطعی(DA)[۱۷] برای پیش‌بینی مصرف آب شهری در کوتاه مدت (روزانه و ماهانه) استفاده کردند. در مطالعهٔ آنها از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی برای پیشگویی احتمالی مصرف روزانهٔ آب استفاده شد (Aly & Wanakule, 2004: 407). این مدل توانایی تعیین همزمان محدوده‌های عدم قطعیت پیشگویی همراه با توزیع بعدی پارامترهای تخمین را دارد.

در اغلب مطالعات پیشین، تقاضای آب شهری بوسیلهٔ آنالیز سری‌های زمانی براساس تأخیر تقاضا شبیه‌سازی شدند، درحالی‌که تقاضای آب مسکونی سالانه شهری تنها یک سری زمانی نیست بلکه تابع متغیرهای مختلفی است و در سیاست‌گذاری‌های مصرف و مدیریت طراحی تأمین آب کاربرد بیشتری دارد. به همین دلیل در این مقاله یک مدل پیش‌بینی برای تقاضای آب مسکونی سالانه شهری بر اساس شبکهٔ عصبی مصنوعی و مبتنی بر عوامل مؤثر بر آن ارائه شده است. این مدل بر اساس داده‌های به دست آمده از شهر ایلام توسعه یافته است و همچنین نتایج آن با رگرسیون خطی چندگانه مقایسه گردید.

۲. چارچوب نظری پژوهش

۲-۱- شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌های عصبی مصنوعی، سامانه‌های کامپیوتری هستند که بدون استفاده از روابط ریاضی می‌توانند به شکل‌گیری و کشف دانش جدید در مورد یک مسئله کمک کنند و عملکرد آن‌ها شبیه مغز انسان است. از شبکهٔ عصبی مصنوعی در مسائل مختلف کاربردی استفاده می‌شود که یکی از آن‌ها پیش‌بینی سری‌های زمانی تقاضای آب است. شبکهٔ عصبی مصنوعی یک مدل پیش‌خور سه لایه است. گره‌ها در لایهٔ مخفی (h در معادله زیر) به همراه یک تابع انتقال غیرخطی مناسب برای پردازش اطلاعات بدست آمده از لایهٔ ورودی "P" به لایهٔ خروجی استفاده می‌شوند. هر گره در لایهٔ ورودی همراه با یک پیشگو است و گره‌ها در لایهٔ خروجی همراه با متغیرهای هدف هستند. مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی به صورت زیر نشان داده می‌شود (Riahi et al, 2007 c, 2010):

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{p} \alpha_j f\left(\sum_{i=1}^{h} \beta_i y_{t-j} + \beta_{0j}\right) + \varepsilon_t \qquad (1)$$

در رابطهٔ فوق، P تعداد گره‌های ورودی، h تعداد لایه‌های مخفی، f تابع انتقال سیگموئید[۱۸]، aj با j=1,1,…h بردار وزن‌ها از گرهٔ مخفی تا خروجی و bij با i=0,1,…p و j=0,1,…h وزن‌ها از گره‌های ورودی به مخفی است. a_0 , B_{0j} وزن‌های ثابت هستند (Herrera et al., 2010: 147; Riahi et al., 2010). در این مطالعه مدل AURWD-ANN در نرم‌افزار، MATLAB و با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا جهت بهینه‌سازی وزن‌ها اجرا شد. ترکیب‌های مختلف برای ساختار مدل، مورد آزمایش قرار گرفت، که عبارتند از تکرار، تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نورون روی هر لایهٔ مخفی، تابع فعال‌سازی و غیره. در نهایت بهترین مدل به عنوان آخرین مدل پیش‌بینی AURWD-ANN انتخاب شد.

۲-۲- پارامترهای آماری و توسعهٔ مدل

معیارهای آماری و گرافیکی، برای انتخاب بهترین ساختار مدل شبکه و آنالیز نتایج نهایی مدل، استفاده شده و فرآیند انتخاب از دو مرحلهٔ متوالی تشکیل شده است. در مرحلهٔ اول، دقت آماری اندازه‌گیری می‌شود، مثل مربع میانگین ریشه (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2). هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد کارآیی مدل بهتر است. این شاخص‌ها برای ارزیابی کارآیی معادلات تجربی و منطقی که در جدول۲ ارائه شده به کار می‌روند. رابطهٔ ریاضی شاخص‌های آماری به صورت زیر است:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(t_{pk} - z_{pk})^2}{\sum_{i=1}^{N}(t_{pk} - \overline{t_{pk}})^2} \qquad (2)$$

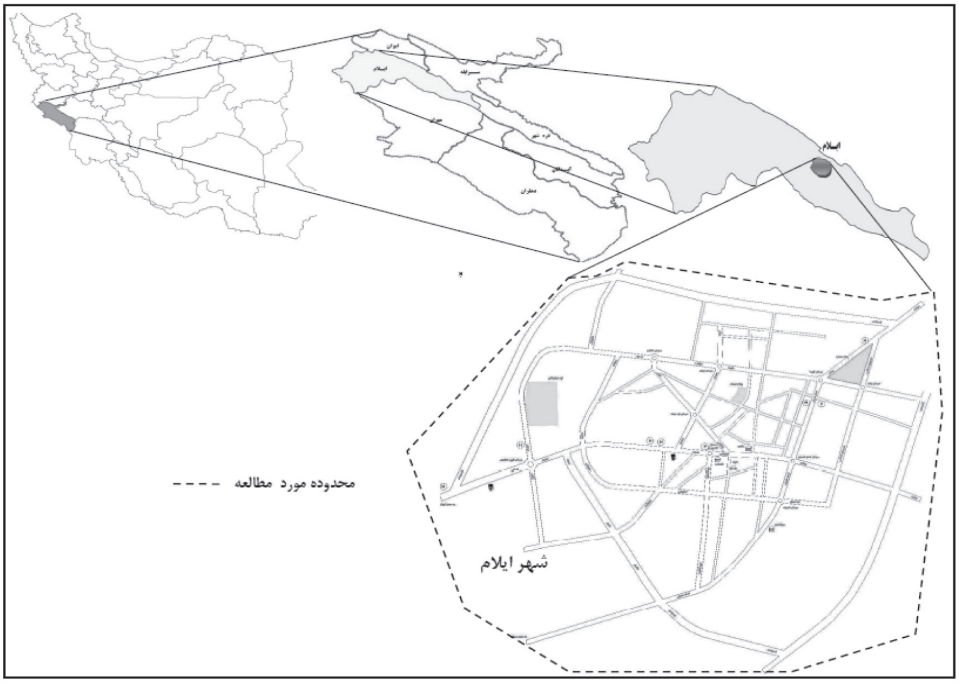
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N}(t_{pk} - z_{pk})^2}{N}} \qquad (3)$$

در این رابطه t_{pk} و z_{pk} به ترتیب مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده، $\overline{t_{pk}}$ میانگین t_{pk} و N تعداد کل داده‌ها است. از لحاظ آماری یک شبکهٔ بهینه به عنوان شبکه‌ای با بالاترین دقت مقادیر تعریف می‌شود. در مرحلهٔ دوم، مقایسهٔ گرافیکی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای سری‌های آزمون و آموزش رسم شده و براساس ارزیابی گرافیکی کارآیی مدل، بهترین شبکه انتخاب شد. برای توسعهٔ مدل، از روش مدل‌سازی ۱۰ مرحله‌ای استفاده شده است (Piuleac et al., 2010: 79). این مراحل به ترتیب زیر است: ۱) تعیین اهداف مدل‌سازی و پارامترهای مؤثر، ۲) آماده‌سازی داده و ساختار مدل‌سازی، ۳) آنالیز متغیر و ادراک مدل، ۴) انتخاب پارامترهای ورودی و خروجی، ۵) بهینه‌سازی ساختار مدل و پارامترها، ۶) ارزیابی به واسطهٔ معیار کارایی، ۷) کالیبراسون مدل، ۸) ارزیابی نتایج مدل، ۹) تحلیل نتایج و خلاصه‌سازی مدل ۱۰) نتیجه‌گیری نهایی و فعالیت‌های آینده (Piuleac et al., 2010: 77).

۲-۳- روش پژوهش و محدودهٔ مورد مطالعه

روش تحقیق حاضر از نوع توصیفی- تحلیلی با تکیه بر عملیات کتابخانه‌ای (روش اسنادی) و روش عملیات میدانی با استفاده از توزیع پرسش‌نامه و انجام مصاحبه جهت جمع‌آوری اطلاعات می باشد. در این تحقیق برای مدل‌سازی تقاضای آب شهری از روش‌های آماری و قابلیت‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده شده است. با استفاده از نرم افزارهای SPSS ، EXEL و MATLAB تحلیل‌ها و خروجی‌های مورد نیاز پژوهش استخراج گردیده است. قلمرو این پژوهش از نظر مکانی تمام واحدهای مسکونی شهر ایلام می‌باشند که دارای انشعاب آب مسکونی هستند و ماهیانه در ادارهٔ آب و فاضلاب ایلام برای آنها قبض آب صادر می‌شود (نقشه۱).

نقشه۱: محدودهٔ مورد مطالعه



نمونهٔ آماری با توجه به شماره اشتراک متقاضیان و حجم نمونه‌ای حدود ۳۱۸ واحد مسکونی با استفاده از جدول اعداد تصادفی با توجه به سه رقم اول سمت راست آنها انتخاب گردید. روش نمونه‌گیری سیستماتیک[۱۹] بوده است. با توجه به تعداد مشترکین مسکونی شهر ایلام در زمان نمونه‌گیری که ۳۲۰۰۰ انشعاب بوده، تعداد نمونه ۳۱۸ خانوار تعیین گردید و با استفاده از اعداد تصادفی از یک تا صد، یک عدد انتخاب و با رعایت فاصلهٔ یکسان معادل یکصد، حجم نمونه انتخاب گردید. درصورتی‌که در روز آمارگیری خانوار مورد بررسی حضور نداشته، از همسایگان آن یا یک کد بالا و پایین انتخاب گردیده است. انتخاب نمونه با ضریب اطمینان ۹۹ درصد و درجه خطای یک درصد بوده است (Sayehmiri, 2005: 45).

نحوهٔ جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از آمار شرکت آب و فاضلاب و همین‌طور با استفاده از داده‌های پرسش‌نامه بوده است. بخشی از اطلاعات با استفاده از جداول، آمار و ارقام موجود در سالنامه‌های آماری، آمارنامه‌ها و گزارش عملکرد سالیانهٔ واحدهای تابعهٔ آب و فاضلاب استان ایلام و مجموعهٔ اطلاعات لازم در خصوص مصرف آب خانوارها که در شرکت آب و فاضلاب موجود بود بدست آمده است (Sayehmiri, 2005: 69).

۴-۲- معرفی متغیرهای اولیه و انتخاب متغیرهای مؤثر

متغیرهای اولیهٔ این مطالعه به دو دستهٔ وابسته و مستقل تقسیم می‌شوند که متغیر وابسته میزان مصرف آب می‌باشد و متغیرهای مستقل، پارامترهای مختلفی از قبیل قیمت آب، درآمد خانوار، تغییرات جوی، ویژگی‌های خانوار و واحد مسکونی، سن سرپرست خانوار، تحصیلات اعضای خانوار، جنس، شغل سرپرست خانوار، مساحت منزل مسکونی، نوع منزل مسکونی، تعداد آب شیر آب، باغچه و استخر، منبع آب اضافی (تانکر) و از این قبیل می‌باشد. با توجه به اینکه در مصرف آب شهری متغیرهای استاتیکی و دینامیکی مختلفی تأثیرگذار است، در پژوهش حاضر سعی گردید پس از چندین بار آزمایش کردن مدل با استفاده از متغیرهای اولیهٔ مختلف، عواملی که تأثیر بیش‌تری دارند شناسایی شوند و مدل نهائی تحقیق با استفاده از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مصرف آب توسعه یافت. بدین صورت که در نهایت از میان مجموعه متغیرهای اولیه، ۷ متغیر مستقل مؤثر شناسایی شد که هر یک در زیر تشریح شده است:

- درآمد سالانه (x1): که به عنوان متغیر اقتصادی- اجتماعی نشان دهندهٔ درآمد سالانهٔ خانوار می‌باشد و بر حسب میلیون ریال می‌باشد.
- ناحیهٔ مصرف (x2): ناحیه‌ها مربوط به تقسیم‌بندی شرکت آب و فاضلاب شهر ایلام می‌باشد که در آن شهر ایلام به نه ناحیهٔ مصرفی مختلف تقسیم‌بندی شده است و تأثیرگذاری هر ناحیه بر مصرف آب با نواحی مجاور متفاوت است.
- مساحت زمین مسکونی (عرصه) (x3): مساحت کل زمین مسکونی (زیربنا و غیر زیربنا) است و بر حسب مترمربع می‌باشد.
- زیربنای واحد مسکونی (اعیان) (x4): مساحت کل زیربنای واحد مسکونی که بر حسب مترمربع می‌باشد.
- بعد خانوار (x5): تعداد اعضای خانوار که به عنوان متغیری اجتماعی- جمعیتی مطرح شده است.
- تعداد شیرهای آب (x6): تعداد کل شیرهای آب مورد استفاده در هر یک از واحدهای مسکونی می‌باشد.
- قیمت سالیانهٔ آب (x7): منظور هزینهٔ سالانهٔ آب شرب مصرفی خانوارهاست که معمولاً با اعداد و ارقام دیگر جمع و مبلغ پرداختی قبض آب خانوار را تشکیل می‌دهد و بر حسب ریال محاسبه می‌گردد.

و تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه (Y) که به عنوان عامل خروجی (وابسته) می‌باشد.

۳. یافته‌های تحقیق

۳-۱- پیش پردازش داده‌ها و توسعهٔ مدل AURWD-ANN

عوامل به کار رفته در مدل که در جدول نمایش داده شده بین ۰/۱ و ۰/۹ نرمال شدند، پارامتر خروجی نیز نرمال شده است. عوامل نرمال شده برای یادگیری و آزمون مدل AURWD-ANN به کار رفت و سرانجام خروجی‌های مدل برای مقایسهٔ موارد پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهده شده به صورت غیر نرمال تبدیل شده و استفاده شدند. سری داده‌ها به ۳ بخش تقسیم شد. در بخش اول که ۶۰ درصد سری داده‌ها را تشکیل می‌دهد برای یادگیری مدل‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی، ۲۰ درصد جهت سنجش قدرت پیش‌بینی مدل و ۲۰ درصد باقیمانده از داده‌ها برای اعتبارسنجی تقاطعی[۲۰] (عرضی) به کار می‌رود. روش نمونه‌گیری تصادفی برای انتخاب سری داده‌ها برای یادگیری، آزمون و مراحل برازش استفاد شد، بنابراین هر سطر از سری داده‌ها دارای شانس قرارگیری مساوی در هر یک از این مراحل را بطور تصادفی دارد. مدل‌های متعددی با مشخصات مختلف برای یافتن مدل بهتر با ساختار بهینه، توسعه یافتند. در جدول۱ پارامترهای ورودی و خروجی مدل‌های توسعه یافته و ترتیب آن‌ها نشان داده شده است. پارامترهای ورودی بصورت زیر

است: درآمد سالانه (x_1)؛ ناحیهٔ مصرف (x_2)؛ مساحت زمین مسکونی (عرصه) (x_3)؛ زیربنای واحد مسکونی (اعیان) (x_4)؛ بعد خانوار (x_5)؛ تعداد شیرهای آب (x_6)، قیمت سالیانه آب (x_7) و تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه (Y) به عنوان پارامتر خروجی می‌باشد.

جدول۱: فاکتورهای مورد استفاده در مدل و ترتیب آن‌ها

Parameter	Input							Output
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	y1
Name	Annual Income	Consumption Zone	Arena	Infrastructure area	Family size	Number of valves	Annual water price	Annual Urban Residential Water Demand
Average	183.54	4.81	188.79	118.98	5.07	2.04	89389.52	232.05
Min	60.00	1.00	20.00	0.00	1.00	1.00	1622.58	12.00
Max	600.00	9.00	800.00	480.00	10.00	5.00	452117.00	704.00
std	82.07185	2.159209	76.84275	57.81213	1.621364	0.752249	76429.8718	118.8667

۲-۳- اثرات تعداد نرون‌ها بر روی کارایی مدل

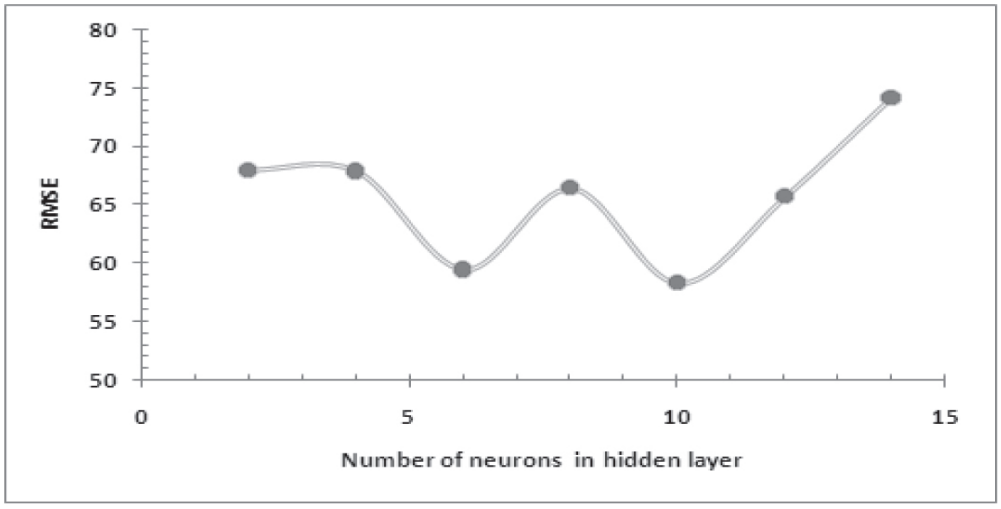
در مرحلهٔ توسعهٔ مدل AURND-ANN تعداد متفاوت از نرون‌ها در لایهٔ مخفی استفاده شده و سرانجام تعداد بهینه از آن‌ها براساس نتایج تعیین شد. نتایج مدل‌های توسعه یافتهٔ مختلف در جدول ۲ خلاصه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بهترین نتایج از مدل $AURWD\text{-}ANN_5$ زمانی حاصل می‌شود که ۱۰ نرون در لایهٔ مخفی باشد و از تابع فعال‌سازی Tansig استفاده شود. در نمودارهای ۱ تا ۳ تأثیر همراه تعداد نرون‌ها در لایهٔ مخفی بر RMSE مدل نشان داده شده است.

کنترل برازش بیش از حد در اثر توقف زود هنگام فرآیند یادگیری رخ می‌دهد. مقایسهٔ نتایج مدل در ۳ مرحلهٔ یادگیری، آزمون و ارزیابی عرضی (متقاطع) با تعداد متفاوت از نرون‌ها در لایهٔ مخفی نشان می‌دهد که مدل دارای ۱۰ نرون در لایهٔ مخفی، دارای کارایی بهتر است.

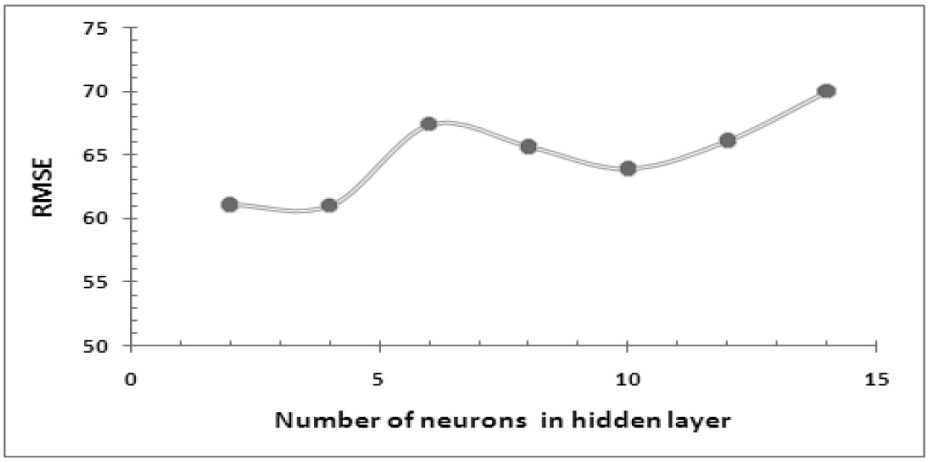
جدول ۲: تاثیر تعداد نرون‌ها بر نتایج مدل AURWD-ANN

Model	Development stage	Training		Testing		Cross Validation	
	No. Neurons	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
AURWD-ANN2	2	0.7124	67.93	0.7099	61.04	0.791	43.45
AURWD-ANN4	4	0.7115	67.85	0.7102	61.01	0.7952	43.02
AURWD-ANN6	6	0.7787	59.43	0.6464	67.4	0.7248	49.87
AURWD-ANN8	8	0.7237	66.41	0.6647	65.62	0.6329	57.59
AURWD-ANN10	10	0.7872	58.27	0.6821	63.9	0.7986	53.9
AURWD-ANN12	12	0.7292	65.75	0.6596	66.13	0.6721	54.43
AURWD-ANN14	14	0.6554	74.16	0.619	69.96	0.5312	65.08

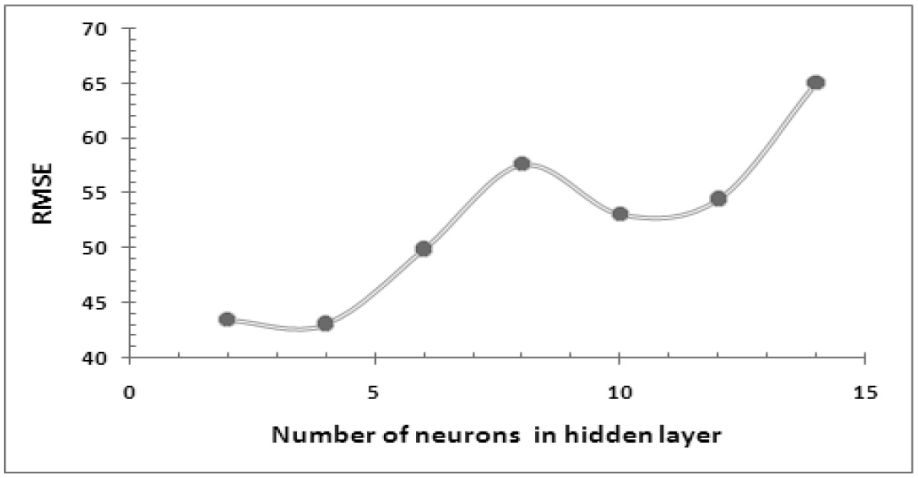
نمودار۱: تغییرات RMSE مدل با تعداد نرون‌ها در لایهٔ مخفی در مرحلهٔ آموزش(یادگیری)



نمودار۲: تغییرات RMSE مدل مدل با تعداد نرون‌ها در لایهٔ مخفی در مرحله آزمون



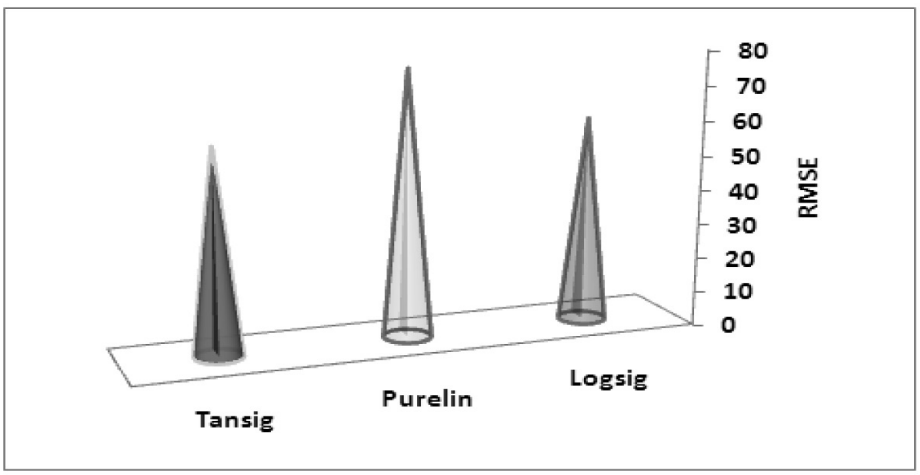
نمودار۳: تغییرات RMSE مدل با تعداد نرون‌ها در لایهٔ مخفی در مرحلهٔ ارزیابی متقاطع



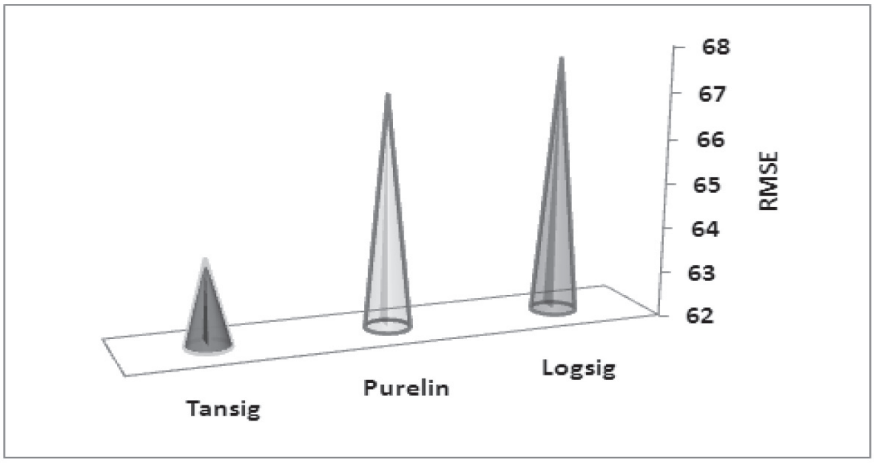
۳-۳- اثرات تابع فعال‌سازی بر روی کارایی مدل

در این بخش اثرات تابع فعال‌سازی روی نتایج AURWD-ANN نشان داده شده است. و سه تابع فعال‌سازی مختلف Purline , tansig logsig , مقایسه شدند. همان‌طور که در نمودارهای ۴ تا ۶ مشخص است، کمترین مقدار RMSE در ۳ مرحلهٔ توسعهٔ مدل، متعلق به تابع فعال‌سازی Tansig است. مدل نهائی مورد استفاده در این تحقیق AURWD-ANN از تابع Tansig استفاده می‌کند. این تابع دارای ۱۰ نرون در لایهٔمخفی است. بنابراین بهترین مدل با ساختار بهینه $AURWD\text{-}ANN_{10}$ است که در جدول ۲ ارائه شده است.

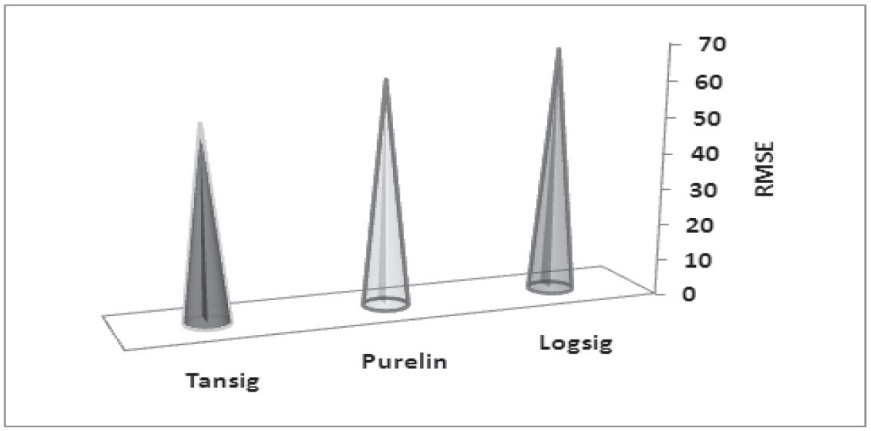
نمودار۴: تغییرات RMSE مدل با تابع فعال‌سازی در مرحلهٔ آموزش



نمودار۵: تغییرات RMSE مدل با تابع فعال‌سازی در مرحلهٔ آزمون



نمودار۶: تغییرات RMSE مدل با تابع فعال‌سازی در مرحلهٔ ارزیابی متقاطع

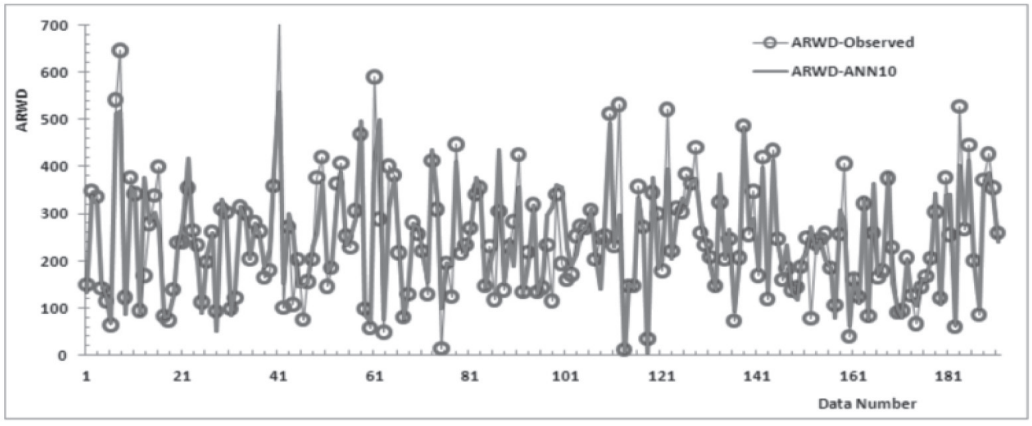


۴-۳- نتایج $AURWD\text{-}ANN_{10}$

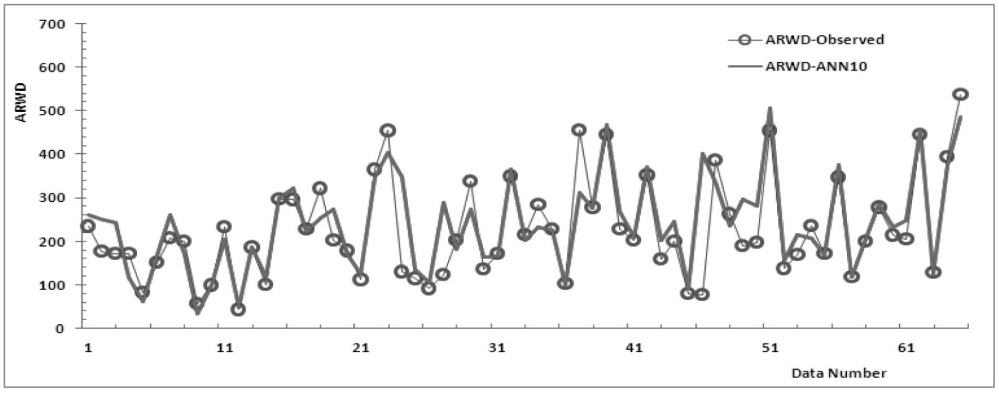
همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، بهترین نتیجه از مدل‌های مختلف مربوط به مدلی است که ۱۰ نرون در لایهٔ مخفی دارد و از تابع فعال‌سازی Tansig استفاده می‌کند (جدول۲).

در این بخش نتایج این مدل با مقادیر مشاهده شده مقایسه شده است (نمودار۹-۷). در این شکل‌ها مدل $AURWD\text{-}ANN_{10}$ به دقت توانسته تقاضای آب مناطق مسکونی در شهر ایلام را در تمام مراحل یادگیری، آزمون و ارزیابی پیش‌بینی کند. این شکل‌ها نشان می‌دهد که مدل توسعه یافته در این بررسی را می‌توان به عنوان یک مدل پیشگوی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه در طراحی سامانه و مدیریت مصرف آب شهری به کار برد.

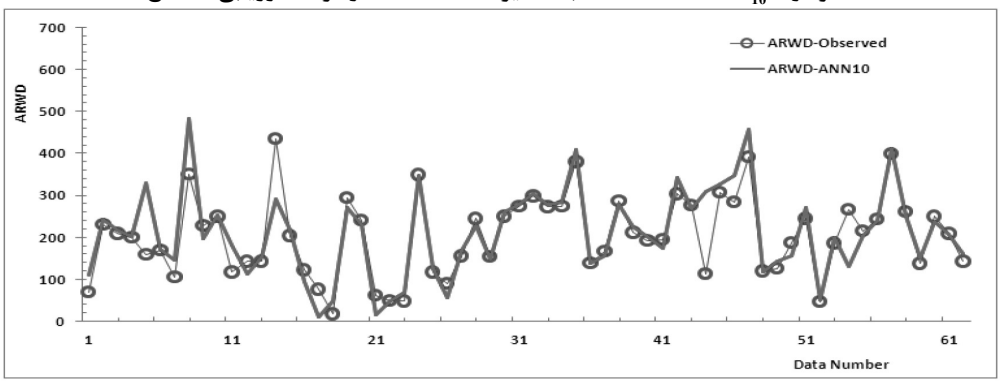
نمودار۷: مقایسهٔ نتایج $AURWD\text{-}ANN_{10}$ با مقادیر مشاهده شده در مرحلهٔ آموزش



نمودار۸: مقایسهٔ نتایج $AURWD\text{-}ANN_{10}$ با مقادیر مشاهده شده در مرحلهٔ آزمون



نمودار۹: $AURWD\text{-}ANN_{10}$ با مقادیر مشاهده شده در مرحلهٔ ارزیابی متقاطع



۵-۳- مقایسه نتایج $AURWD\text{-}ANN_{10}$ با معادلهٔ رگرسیون خطی چندگانه (MLR)

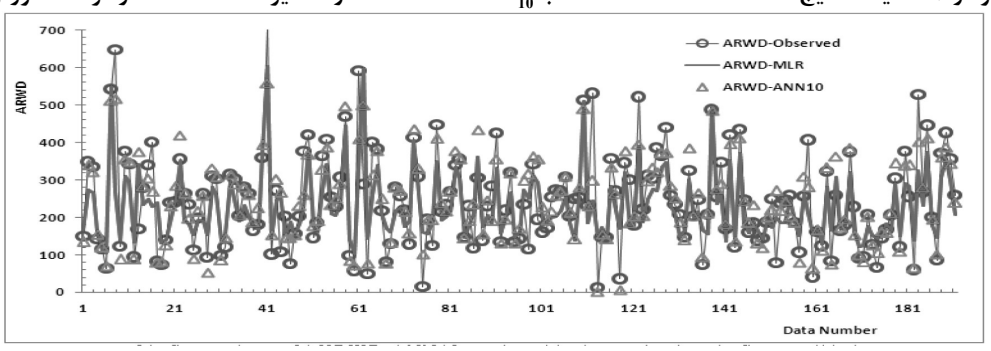
در این بخش نتایج روش جدید براساس شبکهٔ عصبی مصنوعی برای پیشگویی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه با معادلهٔ رگرسیون چندگانهٔخطی مقایسه شده است. معادلهٔ رگرسیون چندگانهٔخطی با استفاده از نرم افزار SPSS و داده‌های یادگیری مدل‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی بدست آمده است. معادلهٔ توسعه یافتهٔ رگرسیون چندگانهٔخطی برای شهر ایلام به صورت زیر به دست آمد:

$$AURWD\text{-}MLR=-0.031X_1-1.078X_2+0.28X_3+0.112X_4-1.88X_5+7.169X_6+0.001X_7+72.3$$

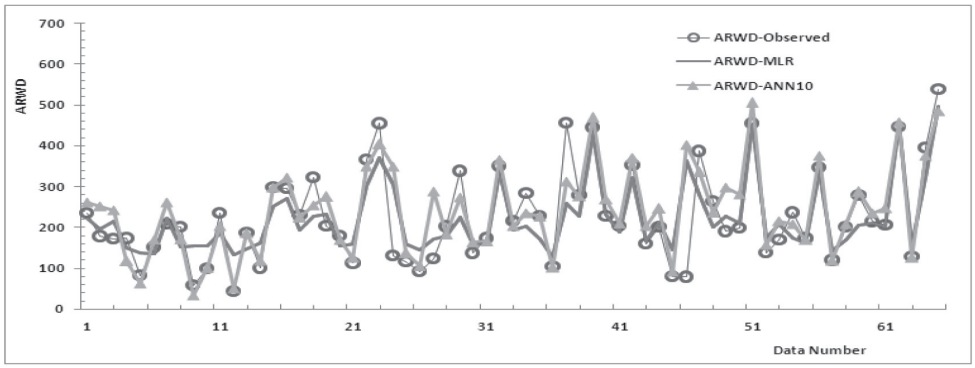
$$R^2=0.635;\ RMSE=79.02$$

مقادیر RMSE و R_2 در رابطهٔ رگرسیون چندگانهٔ خطی، در سری دادهٔ آزمون ۰/۶۲و ۶۷/۸ و در داده‌های ارزیابی ۰/۵۶ و ۶۳/۸ بود. مقایسهٔ این مقادیر با $AURWD\text{-}ANN_{10}$ در جدول ۲ نشان می‌دهد که مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیون کارآیی بیشتری دارد و می‌تواند تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه را با دقت بهتری برای ایلام محاسبه کند. در نمودار ۱۰ تا ۱۲ مقایسه‌ای بین مدل MLR با مقادیر مشاهده شده AURWD و AURWD-ANN10 صورت گرفته است. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌شود، مدل ANN کارآیی بهتری نسبت به معادلهٔ MLR در کیفیت و کمیت پیشگویی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه دارد. مدل رگرسیون چندگانهٔ خطی الگوی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه را همانند مقادیر مشاهده شده به دست آورده و میانگین مقادیر داده‌های واقعی را تخمین می‌زند ولی مقادیر دقیق را به خوبی نمی‌تواند برآورد نماید.

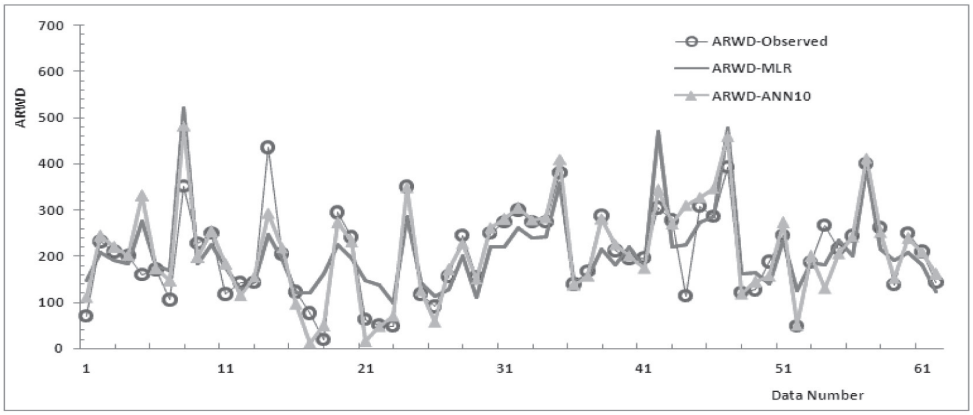
نمودار۱۰: مقایسهٔ نتایج معادلهٔ $AURWD\text{-}MLR$ با $AURWD\text{-}ANN_{10}$ و مقادیر مشاهده شده در مرحلهٔ آموزش



نمودار۱۱: مقایسهٔ نتایج معادلهٔ AURWD-MLR با $AURWD\text{-}ANN_{10}$ و مقادیر مشاهده شده در مرحلهٔ آزمون



نمودار۱۲: مقایسهٔ نتایج معادلهٔ AURWD-MLR با $AURWD\text{-}ANN_{10}$ و مقادیر مشاهده شده در مرحلهٔ ارزیابی متقاطع



۴. کاربرد مدل پیشنهادی در شهرسازی و مدیریت شهری

مدل توسعه یافته در این پژوهش، می‌تواند در اکثر برنامه‌های توسعهٔ شهری و مدیریت شهری (مدیریت تقاضای آب شهری) مورد استفاده قرار گیرد. در برنامه‌های شهرسازی یکی از پارامترهای مهم که باید با دقت هر چه بیشتر برآورد گردد، میزان آب مصرفی شهر است. اهمیت میزان تقاضای آب شهری و منابع آب شرب قابل بهره‌برداری به حدی است که در بعضی موارد، جمعیت‌پذیری شهر با استفاده از میزان آب شرب قابل دسترس تعیین می‌شود. در برنامه‌های توسعهٔ شهری، مدل حاضر می‌تواند برآورد تقریباً دقیقی از میزان تقاضای آب مورد نیاز ساکنین را به دست دهد. برنامه‌ریزان شهری با استفاده از مدل حاضر می‌توانند علاوه بر متغیر تعداد جمعیت (که تاکنون در اکثر برآوردهای میزان آب مصرفی توسط آنها به کار برده می‌شود) سایر عوامل مؤثر در میزان تقاضای آب مصرفی را وارد کرده و از این طریق تخمین دقیق‌تری برای میزان آب مورد نیاز بدست آورند.

مدل توسعه یافته در مدیریت تقاضای آب شهری توسط مدیریت شهری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مدیریت شهری در شهرهایی مانند ایلام که میزان مصرف سرانهٔ آب شهری نسبت به متوسط سرانهٔ مصرف آب در کشور (که متوسط سرانهٔ مصرف آب در آن در حدود دو برابر میزان مصرف سرانهٔ آب جهانی است) بسیار بیشتر است، باید راهکارهای مناسب جهت کاهش مصرف سرانهٔ آب شهری با اولویت دادن به متغیرهای مؤثرتر در مصرف سرانهٔ آب شهری به کار برد. جهت شناسایی متغیرهای مؤثر و میزان تأثیر هر یک از آنها، مدل ارائه شده در این تحقیق می‌تواند راهگشا باشد. از دیگر کاربردهای مدل در مدیریت تقاضای آب شهری در ایران با توجه به شبکهٔ آبرسانی شهری، اطلاع یافتن از وضعیت خرابی شبکهٔ انتقال و یا هدر رفتن آب است. با استفاده از مدل در یک محدودهٔ مشخص شهری و داشتن متغیرهای ورودی، مدل تقاضای آب شهری برآورد می‌گردد و در زمان‌هایی که مصرف آب از متوسط مصرف تخمینی بسیار بیشتر و یا غیرمعمول باشد می‌توان تشخیص داد که آب تنها توسط ساکنین مصرف نمی‌شود و به احتمال زیاد آب در آن منطقه در حال هدر رفتن است یا انشعاب غیرمجاز وجود دارد.

۵. جمع‌بندی

در این مقاله یک مدل خبره برای پیش‌بینی تقاضای آب مناطق مسکونی (AURWD) شهر ایلام با استفاده از عوامل مؤثر بر آن توسعه یافته است. پارامترهای ورودی مدل به عنوان متغیرهای پیشگو شامل درآمد سالانه (x_1)؛ ناحیهٔ مصرف (x_2)؛ عرصه (x_3)؛ اعیان (x_4)؛

بعد خانوار (x_5)؛ تعداد شیر آب منزل (x_6)؛ قیمت سالانهٔ آب (x_7)؛ و تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه (Y) به عنوان متغیر خروجی می‌شود. در توسعهٔ مدل از یک رویکرد ۱۰ مرحله‌ای استفاده شده است. ساختار بهینهٔ AURWD-ANN بدین صورت بدست آمد: ۳ لایه با ۷ نرون در لایهٔ ورودی، ۱۰ نرون در لایهٔ مخفی و یک گره در لایهٔ خارجی که از تابع فعال‌سازی Tansig استفاده می‌کند. مقایسهٔ کمی و کیفی نتایج مدل $AURWD\text{-}ANN_{10}$ با مقادیر مشاهده شده از تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه، نشان داد که مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی کارایی خوبی در پیش‌بینی تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه دارد. همچنین یک معادلهٔ رگرسیون خطی چندگانه، برای تقاضای آب مسکونی شهری سالیانه توسعه یافته است. مقایسهٔ معادلهٔ AURWD-MLR با $AURWD\text{-}ANN_{10}$ نشان داد که مدل خبره بر پایه شبکهٔ عصبی مصنوعی از کارآمدی بیشتری برخوردار است.

مدل خبرهٔ توسعه یافته در این تحقیق، به عنوان یک پشتیبان تصمیم خبره، قابلیت استفاده در طراحی و مدیریت سامانه‌های توزیع آب شهری را داراست که همواره یکی از چالش‌های جدی مدیریت و برنامه‌ریزی شهری بوده است. با استفاده از مدل توسعه یافته، در پژوهش حاضر برنامه‌ریزان شهری قادر خواهند بود در برآورد میزان آب مصرفی ساکنین، علاوه بر متغیر جمعیت، سایر عوامل مؤثر (که در این مدل برای شهر ایلام ۷ متغیر بودند) را نیز به کار گیرند. در نتیجه برنامه‌ریزان شهری با استفاده از مدل حاضر که به کمک شبکهٔ عصبی توسعه یافته است، تخمین‌های دقیق‌تری از میزان آب مصرفی ساکنین، حتی در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی، خواهند داشت.

علاوه بر این همان‌طور که ذکر شد، در شهرهایی مانند ایلام که علاوه بر کمبود منابع آب شرب از سرانهٔ آب مصرفی بالایی نیز برخوردارند، باید راهکارها و سیاست‌گذاری مناسب جهت کاهش مصرف سرانهٔ آب شهر اتخاذ گردد که جهت رسیدن به این هدف در درجهٔ اول باید متغیرهای مؤثر بر این تقاضای زیاد آب شناسایی شده و میزان تأثیر هریک بر تقاضا مشخص گردد. مدل توسعه یافته در این تحقیق با معرفی متغیرهای مؤثر و میزان تأثیر آنها، الویت‌های مهم را جهت مدیریت فاکتورهای مؤثرتر مشخص خواهد نمود.

پی‌نوشت

1) Annual Urban Residential Water Demand
2)Tansig
3) Correlation Coefficient
4) Root Mean Squared of Error
5) Artificial Neural Network
6) Multi Linear Regression
7) Extended Linear Expenditure System
8) Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
9) Projection Pursuit Regression
10) Multivariate Adaptive Regression Splines
11) Random Forests
12) Support Vector Regression
13) Constant Rate Model
14) Generalized Regression Neural Networks
15) Cascade Correlation Neural Network
16) Feed Forward Neural Networks
17)Deterministic Algorithm
18) Sigmoid Transfer Function
19) Systematic Sampling
20) Cross Validation

منابع

- Aly, A.H. & Wanakule, N. (2004) **"Short-Term Forecasting for Urban Water Consumption"**, Journal of Water Resources Planning and Management, 130(5): 405-410.
- Arbues, F. & Garcia, M.A. (2003) **"Estimation of Residential Water Demand:a State-of-the-Art Review"**, Journal of Socio-Economics 32: 81–102.
- Chen, H. & Yang, Z.F. (2009) **"Residential Water Demand Model Under Block Rate Pricing: A Case Study of Beijing, China"**, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 14(5): 2462–2468.

- Firat, m. & Turan, M.E. & Yurdusev, M.A. (2010) **"Comparative Analysis of Neural Network Techniques for Predicting Water Consumption Time Series"**, Journal of Hydrology, 384(1-2): 46-51.
- Fox, C. & McIntosh, B.S. & Jeffrey, P. (2009) **"Classifying Households for Water Demand Forecasting Using Physical Property Characteristics"**, Land Use Policy, 26(3): 558–568.
- Gato, S. & Jayasuriya, N. & Roberts, P. (2007) **"Temperature and Rainfall Thresholds for Base Use Urban Water Demand Modeling"**, Journal of Hydrology, 337: 364–376.
- Henry H.Z. & David, F.B. (2005) **"Understanding Urban Residential Water Use in Beijing and Tianjin, China"**, Habitat International, 29(3): 469–491.
- Herrera, M. & Torgo, L. & Izquierdo, J. & Pérez-Garcı,R. (2010) **"Predictive Models for Forecasting Hourly Urban Water Demand"**, Journal of Hydrology, 387(1-2): 141–150.
- Mohamed, M. & Al-Mualla, A. (2010) **"Water Demand Forecasting in Umm Al-Quwain Using the Constant Rate Model"**, Desalination, 259(1-3): 161-168.
- Mousavi, S.N. & Moahmmadi, H. & Boostani, F. **(**2010) **"Estimation of Water Demand Function for Urban Households: A Case Study in City of Marvedasht"**, Water and Wastewater Journal, 2: 90-95.
- Piuleac, C.G. & Rodrigo, M.A. & izares, P. & Curteanu, C. (2010) **"Ten Steps Modeling of Electrolysis Processes by Using Neural Networks"**, Environmental Modelling & Software. 25: 74–81.
- Rao, K.H.V. (2005) **"Multi-Criteria Spatial Decision Analysis for Forecasting Urban Water Requirements: a Case Study of Dehradun City, India"**, Landscape and Urban Planning, 71(2-4): 163–174.
- Riahi, H. & Ayyoubzadeh,S.A.&Gholizadeh,M. (2010) **"Developing an Expert System for Predicting Alluvial Channel Geometry Using ANN"**, Expert Systems with Applications (2010), doi:10.1016/j. eswa.2010.06.047.
- Sayehmiri, A. (2005) **"Residential Water Demand Estimation according to Block Rate Pricing and its Effective Factors in Ilam"**, Applied Research Plan, Islamic Republic of Iran, Ministry of Energy, Water Resources Management CO (WRMC).
- Yurdusev, M.A. & Firat, M. (2009) **"Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Approach for Municipal Water Consumption Modeling: An Application to Izmir, Turkey"**, Journal of Hydrology, 365(3-4): 225–234.
- Zhou, S. L. & McMahon, T. A.&Walton, A.&Lewis, J. (2000) **"Forecasting Daily Urban Water Demand: a Case Study of Melbourne"**, Journal of Hydrology, 236(3-4): 153-164.