Archive of SID

هشتمین کنگره ملّی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل
۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه۱۳۹۳

پیش‌بینی بلندمدت مصرف آب شهری با استفاد از شبکه بیزین

مهدی ملارمضانی[۱]،مسعود تابش[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ایران
۲. استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

m.molaramezani@ut.ac.ir

mtabesh@ut.ac.ir

خلاصه

با توجه به نوسانات بزرگ اقتصادی در مناطق شهری در حال توسعه، پیش‌بینی بلندمدت مصرف آب همواره به عنوان یکی از موضوعات مورد علاقه مهندسین مطرح بوده است. بیشتر مدل‌های موجود، از متغیرهای مستقلی استفاده می‌کنندکه نیازمند داده‌های بلندمدت و پیوسته هستند که این اطلاعات بیشتر به صورت ناقص موجود می‌باشند. پیچیدگی و تاثیر عوامل مختلف بر میزان تقاضای آب و عدم قطعیت هریک از این عوامل در طول بازه پیش‌بینی، سبب شده است که علاوه بر روش‌های قطعی، روش‌های احتمالاتی، از جمله شبکه بیزین نیز مورد توجه قرار گیرند. هدف این مقاله ارائه الگوریتمی برای پیش‌بینی تحلیلی و به دنبال آن ارائه دو مدل مناسب و قابل اطمینان برای بدست آوردن میزان مصرف آب شهر نیشابور با استفاده از شبکه بیزین است، تا تصمیم‌گیری برای آینده با عدم قطعیت کمتری صورت پذیرد. در این مطالعه، همچنین کارایی مدل بیزین در پیش‌بینی بلندمدت مصرف آب و در مقایسه با سایر مدل‌های موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی مصرف آب، روش‌های احتمالاتی، شبکه بیزین، عدم قطعیت

۱. مقدمه

آب به عنوان یکی از مهمترین نیازهای بشر، در زندگی روزمره دارای نقش‌حیاتی است. آگاهی از میزان تقاضای مورد نیاز آب برای سیاست‌گذاری مدیریت تقاضا، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مصرف آب از جمله مواردی است که در مناطق شهری از اهمیت بالایی برخوردار است. پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت نیاز آبی برای بهره برداری از منابع آب و طراحی و مدیریت اقتصادی بسیار با اهمیت است. پیش‌بینی کوتاه‌مدت در مدیریت و بهره برداری‌های از منابع آب و پیش‌بینی بلندمدت در مدیریت دارایی، طراحی و برنامه ریزی سیستم، از اهمیت بالایی برخوردارند. از چالش‌های پیش رو، دسترسی به دقت بالا در پیش‌بینی‌های مورد نظر است، به دلیل اینکه در پیش‌بینی می‌بایست بسیاری از پارامترها از جمله تغییر اقلیم، وضعیت اقتصادی مردم، وضعیت الگویی مصرف مردم و رشد جمعیت را در نظر گرفت. بدین منظور پیش‌بینی نیاز آبی در ابعاد زمانی و مکانی مختلف از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است.

چنگ کی[۳] و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی کامل مدل‌های پیش‌بینی تقاضای آب در سال‌های اخیر پرداختند و مدل دینامیکی ارائه دادند که رابطه بین نیاز آبی و اقتصاد کلان را به چالش می‌کشد. با مدل ارائه شده به پیش‌بینی نیاز آبی یکی از شهرهای فلوریدا پرداخته می‌شود. چنگ کی معتقد است که مدل‌های پیش‌بینی سنتی از قبیل رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سری زمانی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت نیاز آبی همانند مدل‌های

---

[۱] **دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ایران**
[۲] **استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران**
[3] Cheng Qi

www.SID.ir

Archive of SID

پیشرفته از قبیل سیستم‌های خبره و شبکه عصبی مصنوعی کاربرد دارند، با این وجود مدیریت در زمینه نیاز آبی به خوبی انجام نمی‌شود. [1] هررا[1] و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی و مقایسه مدل‌های پیش‌بینی نیاز آبی پرداختند. ایشان معتقد است که یکی از اهداف مدیریت کارآمد در تامین آب، عرضه آب با کیفیت در فشارهای مورد نیاز برای مصرف کنندگان می‌باشد. به این منظور پیش‌بینی نیاز آبی به خصوص در مناطق شهری بسیار با اهمیت می‌باشد که می‌بایست با دقت زیاد به انجام این کار پرداخته شود و از جمله عواملی که در این امر بسیار با اهمیت است متغیر اقتصادی و در نظرگرفتن قیمت آب می‌باشد. [2] بهبودیان و تابش (۱۳۸۹)، یک مدل جفت شده اقلیمی و مدل پیش‌بینی مصرف برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیم بر مصرف آب شهری به کار بردند. نتایج پیش‌بینی مصرف آب برای سه سناریو، نشان دهنده‌ی افزایش مصرف آب با توجه به تغییرات اقلیمی در آینده است.[3] مهاجرانی و همکاران (۱۳۸۹)، به معرفی مدل‌های احتمالاتی-گرافیکی بیزین و کاربرد آن‌ها در مدیریت سیستم‌های منابع آب پرداختند. ایشان معتقدند که کاربرد مدل‌های شبکه بیزین به دلیل در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها و همچنین توانایی مدل سیستم‌های پیچیده طبیعی در عرصه مدیریت منابع آب، بسیار مفید واقع می‌شود.[4] رامین[2] و همکاران (۲۰۱۲)، از یک مدل بیزین برای ترکیب چند مدل مختلف به منظور پیش‌بینی کیفیت آب و تعیین پارامترهای آن استفاده نمودند. مرور پیشینه مطالعات انجام شده نشان می‌دهد یک مدل صحیح و واقعی در سیستم اکولوژیک برای اهداف خواسته شده موجود نمی‌باشد و به جای استفاده از یک مدل به عنوان بهترین مدل باید ترکیبی از مدل‌های موجود را مورد بررسی قرار داد.[5]

هدف این تحقیق ارائه یک روش مناسب و قابل اطمینان برای بدست آوردن میزان تقاضای آب شهری با استفاده از شبکه بیزین است تا تصمیم‌گیری برای آینده با عدم قطعیت کمتری صورت پذیرد. پیچیدگی و تاثیر عوامل و پارامترهای مختلف بر میزان تقاضای آب و عدم قطعیت هریک از این عوامل و گسترش عدم قطعیت در طول بازه پیش‌بینی سبب گردیده است که علاوه بر روش‌های قطعی، روش‌های احتمالاتی نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی شبکه بیزین

شبکه بیزین[3] (BN) مدلی گرافیکی برای بیان روابط احتمالاتی بین متغیرها و یکی از روش‌های DSS است که ابزاری قدرتمند در مدل‌سازی روابط علت و معلولی در قالب شبکه‌ای از احتمالات است. در طول دو دهه اخیر، از شبکه‌های بیزین برای استفاده از دانش کارشناسان در قالب سیستم-های خبره استفاده شده است و پس از آن محققین روش‌هایی برای آموزش این شبکه‌ها با استفاده از داده‌های موجود توسعه داده‌اند. همچنین از شبکه بیزین در مدل‌سازی مسائل غیرخطی و پیچیده مهندسی عمران از طریق الگوریتم‌های خاص و روش‌های آماری استفاده می‌شود. با استفاده از روش بیزین می‌توان به مدل‌سازی روابط علت و معلولی یک فرایند، آنالیز وضعیت موجود و پیش‌بینی وضعیت آینده یک سیستم یا فرایند پرداخت. این روش‌ها کارایی خود را در تعدادی از مسائل تحلیل داده به خوبی نشان داده‌اند. مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه بیزین، به شرح زیر است [6].

۱- امکان توسعه شبکه در صورت وجود داده‌های ناقص.
۲- امکان ترکیب مناسب نظرات کارشناسی و داده‌های موجود.
۳- نمایش متغیرها در یک مدل به صورت گره و روابط علت و معلولی به صورت ارتباطات میان گره‌ای.
۴- تشخیص موقعیت فعلی یک مجموعه براساس موقعیت گذشته آن.
۵- امکان و سهولت به‌روز رسانی پارامترها و احتمالات شرطی بین پارامترهای مختلف.
۶- تحلیل مسائل با اطلاعات مبهم، متضاد و غیرقطعی.
۷- امکان محاسبات رو به جلو و رو به عقب (پی بردن از وضعیت علّت به معلول و برعکس).

همان گونه که اشاره شد، شبکه‌های بیزین امکان محاسبات رو به جلو و رو به عقب را برای تحلیل‌گر ایجاد می‌کنند. در واقع نه تنها از تجمیع وضعیت پارامترهای علت می‌توان به وضعیت معلول رسید، بلکه در این روش، با در اختیار داشتن وضعیت معلول یا همان پارامتر پیش‌بینی شونده با یک فرآیند بازگشت به عقب، امکان محاسبه وضعیت پارامترهای تأثیرگذار وجود دارد. به بیان دیگر می‌توان تعیین نمود که میزان تأثیرگذاری هر پارامتر بر ریسک نهایی یا همان خروجی نهایی چقدر خواهد بود.

[1] Herrera
[2] Ramin
[3] Bayesian Network

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر موارد ذکر شده، مدل شبکه‌های بیزین در بسیاری از موارد می‌تواند به شکل سیستم خبره عمل نماید. در این حالت در صورت عدم وجود داده‌های مشاهداتی کافی، تحلیل‌گر می‌تواند احتمالات شرطی بین علت و معلول را تعیین نموده و مدل را تحلیل کند. البته واضح است که اگر مدل بیزین بر پایه اطلاعات مشاهداتی بسیار اندک توسعه داده شده و تحلیل شود، خطای تحلیل و پیش‌بینی‌های مربوطه افزایش می‌یابد. زیرا برای تمامی حالاتی که داده‌های مشاهداتی در دسترس نیست، مدل احتمال ۵۰٪-۵۰٪ را برای حالت شکست و عدم شکست در نظر می‌گیرد که در صورت تجمیع تعداد زیادی از حالت مذکور خطا بسیار بالا خواهد رفت. برای حل این مسئله می‌توان از نظرات کارشناسی بهره برد [7]. در موضوعاتی مانند پیش‌بینی مصرف آب که کمبود شدید داده‌های مشاهداتی وجود دارد و اندک داده‌های موجود نیز گاهی از دقت لازم برخوردار نیستند، می‌بایست اهمیت استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان را مورد توجه قرار داد.

۲-۲- مفاهیم احتمالاتی شبکه بیزین

یک مفهوم مهم در شبکه‌های بیزین، مفهوم استقلال شرطی است. دو متغیر A و B مستقل شرطی نامیده می‌شوند، هرگاه اگر متغیر C به متغیرهای A و B وابسته باشد و مقدار متغیر C معلوم باشد، وجود اطلاعات در مورد متغیر B، هیچ‌گونه اطلاعات اضافی در مورد متغیر A ارائه ندهد. این مفهوم را می‌توان به صورت رابطه ۱ بیان نمود.

$$P(A|B,C) = P(A|C) \qquad (۱)$$

توزیع احتمالاتی توأم مجموعه‌ای از متغیرهای $x_1, x_2, \dots x_n$ با فرض مستقل بودن آن‌ها، از حاصل‌ضرب توزیع احتمالات شرطی آن‌ها به دست می‌آید:

$$P(x_1, x_2, \dots x_n) = \prod_{i=1}^{n} P(x_i|\pi(x_i)) \qquad (۲)$$

که $P(x_1, x_2, \dots x_n)$: احتمال توأم مقادیر متغیرها و $\pi(x_i)$: مقادیر کمی مجموعه علل x_i است.

برای مثال اگر متغیر B وابسته به A و متغیر C وابسته به A و B باشد، آنگاه احتمال توأم آن‌ها مطابق رابطه ۳ خواهد بود.

$$P(A,B,C) = P(A).P(B|A).P(C|A,B) \qquad (۳)$$

اساس شبکه بیزین بر مبنای تئوری بیز است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۲-۳- تئوری بیز[1]

برای سال‌های متمادی احتمالات شرطی رویدادهای گوناگون با استفاده از تئوری بیز[2] محاسبه می‌گردید. این تئوری به صورت زیر بیان می‌شود:

اگر E و F دو رویداد مفروض باشند به گونه‌ای که $P(E)\neq 0$ و $P(F)\neq 0$ ، آنگاه:

$$P(E|F) = \frac{P(F|E)P(E)}{P(F)} \qquad (۴)$$

همچنین برای n رویداد $E_1, E_2, \dots E_n$ که $P(E_i)\neq 0$ باشد، برای $1 \le i \le n$ داریم:

$$P(E_i|F) = \frac{P(F|E_i)P(E_i)}{P(F|E_1)P(E_1)+P(F|E_2)P(E_2)+\cdots P(F|E_n)P(E_n)} \qquad (۵)$$

در مواردی از تئوری بیز استفاده می‌شود که نمی‌توان احتمال شرطی مورد نظر را به طور مستقیم محاسبه کرد، اما می‌توان با محاسبه احتمالات موجود در طرف راست روابط (۴) و (۵) احتمال مورد نظر را تعیین نمود. اما دلیل عدم توانایی محاسبه مستقیم احتمال شرطی مورد نظر، این است که در این حالت متغیرهای تصادفی، به طور مستقیم به دست آمده و سپس روابط احتمالاتی موجود بین متغیرهای تصادفی تعیین می‌گردند (بر خلاف حالت معمول که ابتدا فضای نمونه تعیین می‌گردد).

۲-۴- استنباط در شبکه بیزین

به محاسبه احتمال شرطی تعدادی از متغیرها بر اساس اطلاعات موجود سایر متغیرها در شبکه بیزین، استنباط (استنتاج)[1] گفته می‌شود. زمانی که تمامی اطلاعات موجود در مورد گره‌های والد، متغیر یا متغیرهای مورد نظر باشند، استنباط ساده است. اما اگر اطلاعات فرزندان یا نوادها موجود باشد،

[1] Bayes' theorem

[2] این تئوری توسط توماس بیز (۱۷۶۱-۱۷۰۲) مطرح گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

باید استنباط را بر خلاف مسیر کمان‌ها انجام داد که کار پیچیده‌تر خواهد بود. برای این منظور از کاربرد تئوری بیز که پیش‌تر توضیح داده شد، استفاده می‌گردد.

به عنوان مثالی ساده، متغیر X دارای دو وضعیت x_1 و x_2 و متغیر Y نیز دارای دو وضعیت y_1 و y_2 است و متغیر X علت متغیر Y است. در این مسئله، اطلاعات زیر داده شده است:

$$P(x_1) = 0.01 \ , \ P(x_2) = 0.99$$
$$P(y_1|x_1) = 0.05 \ , \ P(y_1|x_2) = 0.01 \ , \ P(y_2|x_1) = 0.95 \ , \ P(y_2|x_2) = 0.99$$

حال می‌توان با استفاده از استنباط ساده، احتمال وقوع وضعیت‌های متغیر Y را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$P(y_1) = P(y_1|x_1)P(x_1) + P(y_1|x_2)P(x_2) = 0.05 \times 0.01 + 0.01 \times 0.99 = 0.0104$$
$$P(y_2) = 0.95 \times 0.01 + 0.99 \times 0.99 = 0.9896$$

در مثال فوق، محاسبات در مسیر جهت کمان صورت گرفته است. اما اگر نیاز به محاسبه در خلاف مسیر کمان‌ها باشد، لازم است که استنباط با استفاده از کاربرد تئوری بیز صورت گیرد[8].

۲-۵- آزمون‌های آماری

۲-۵-۱- ضریب تشخیص (R^2):

ضریب R^2 همان توان دوم ضریب همبستگی است. برای حالتی که مقادیر داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به طور کامل به یکدیگر انطباق داشته باشند، مقدار ضریب همبستگی با توجه به روند صعودی و نزولی داده‌ها، ۱ یا ۱- خواهد بود. در صورتی که هیچ انطباقی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی وجود نداشته باشد، مقدار ضریب R^2 صفر خواهد بود.

۲-۵-۲- میانگین خطای مطلق (MAPE)[۲]:

خطای مطلق به صورت تفاضل داده‌های مشاهداتی از داده‌های محاسباتی، تقسیم بر داده‌های واقعی تعریف می شود. میانگین خطای مطلق یا خطای میانگین مطلق نسبی از میانگین‌گیری تمامی خطاهای مطلق بدست می‌آید و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|y_{observed\ i} - y_{calculated\ i}|}{y_{observed\ i}} \qquad (۶)$$

که در آن $y_{observed\ i}$ و $y_{calculated\ i}$ به ترتیب برابر مقادیر مشاهداتی و محاسباتی هستند. [9]

۳- ساختار مدل پیشنهادی

۳-۱- انتخاب پارامترها:

داده‌های مورد استفاده در مدل شامل اطلاعات اندازه گیری شده هواشناسی، اطلاعات مربوط به مصرف ماهانه آب، وضعیت فرهنگ، آموزش و اقتصاد در شهر نیشابور (واقع در استان خراسان رضوی) است.

برای بدست آوردن آمار و اطلاعات میزان مصرف آب در شهر نیشابور، با مراجعه به مرکز کامپیوتر سازمان آب و فاضلاب استان خراسان رضوی، از بانک اطلاعات امور مشترکین میزان مصرف آب به صورت ماهانه در طی فروردین ۱۳۷۶ تا اسفند ۱۳۸۷ استخراج شد.

متوسط قیمت آب از تقسیم مبلغ کل درآمد آب بهای شرکت آب و فاضلاب استان خراسان بر مقدار مصرف آب همان ماه محاسبه شده است. از آنجا که این متغیر با مصرف آب رابطه ای افزایشی دارد، جهت برآورد نمودن انتظارات تئوریک در تقاضای آب لازم است تعدیلاتی در آن صورت گیرد. بدین منظور با تقسیم شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی بر آب بهاء قیمت آب در مدل اولیه وارد می شود. همچنین از آمار مربوط به متوسط کل هزینه‌های خوراکی و غیرخوراکی جمعیت شهری استان خراسان رضوی موجود در سالنامه‌های آماری و نتایج تفصیلی آمارگیری، به عنوان شاخصی برای متوسط درآمد خانوار استفاده شده است. از سرشماری‌های صورت گرفته در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ نرخ بیکاری محاسبه گردیده است. متوسط سرانه درآمد خانوار و نرخ بیکاری به عنوان معیاری از سطح اقتصادی استفاده شده است.

---

[1] inference

[1] Mean Absolute Percentage Error

www.SID.ir

Archive of SID

به عنوان جانشین قیمت سایر کالاهای مصرفی، شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی در استان خراسان رضوی به قیمت سال پایه ۱۳۷۶ که توسط بانک مرکزی محاسبه شده، به کار می‌رود.

از آمار تعداد باسوادان شهر نیشابور برگرفته از سال نامه‌های آماری استان خراسان رضوی، به عنوان جانشین سطح فرهنگ و آموزش استفاده گردید.

همچنین متوسط درجه حرارت حداکثر ماهانه، درجه حرارت حداقل ماهانه، بارش و تابش خورشید تهیه شده از ایستگاه سینوپتیک نیشابور برای دوره مطالعه (فروردین ۱۳۷۶ تا اسفند ۱۳۸۷) به عنوان جانشین متغیر هیدرولوژیکی استفاده شده است. [3]

به منظور بررسی تاثیر هریک از پارامترهای مورد استفاده بر مصرف آب از ضریب همبستگی استفاده شده است که نتایج حاصل از آن در جدول ۱ ارائه گردید. نتایج، همبستگی بالای پارامترهای انتخاب شده با مصرف آب را نشان می دهند.

جدول۱- همبستگی بین پارامترهای مختلف بر مصرف آب

پارامتر مورد استفاده	ضریب همبستگی
حداکثر درجه حرارت ماهانه	**۰.۵٤**
حداقل درجه حرارت ماهانه	**۰.٤۷**
مینگین بارش ماهانه	**۰.۲٦**
تابش خورشید	**۰.٤۸**
درآمد ماهانه	**۰.٦۰**
قیمت آب ماهانه	**۰.۷۳**
شاخص قیمت کالا و خدمات مصرفی	**۰.۵۷**
با سوادان	**۰.٦٤**
نرخ بیکاری	**۰.۵۹**

با محاسبه ضریب همبستگی قیمت آب مشخص شد، سیاست‌های قیمت گذاری می‌تواند به عنوان راهکاری اصلی در کاهش مصرف آب بکار گرفته شود. همچنین با توجه به مقدار ضریب همبستگی سایر متغیرها، اهمیت متغیرهای در نظرگرفته شده بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد. مشخصات آماری متغیرهای ورودی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲- مشخصات آماری پارامترهای ورودی به مدل‌ها

متغیر	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
سرانه مصرف	M^3	۳.۸۲	۴.۸۹	۲.۸۴	۰.۵
قیمت واقعی	ریال	۵۶.۳۹	۱۰۹.۲۹	۲۳.۴۰	۲۲.۵۳
سرانه درآمد واقعی	ریال	۲۱۴۳۷۵	۵۰۱۲۲۶	۵۶۰۰۰	۱۳۸۴۳۴
نرخ بیکاری	نفر	۱۶۲۹۳۷	۲۷۵۶۵۶	۸۵۹۸۵	۵۴۷۵۱
شاخص کالا و خدمات	-	۲۳.۹۱	۱۹۵.۸۰	۳۵.۶۰	۴۳.۲۰
تعداد باسوادان	نفر	۱۵۳۶۷۶	۱۹۲۴۴۶	۱۲۴۹۷۶	۱۸۷۲۳
دمای حداکثر	سانتی گراد	۲۲.۲۷	۳۶.۴۳	۵	۹.۷۶
دمای حداقل	سانتی گراد	۷.۳۳	۱۷.۸۳	-۵.۹۲	۷.۰۶
بارش	میلیمتر	۱۸.۶۴	۱۱۹.۵۰	۰	۲۴.۵۴
تابش خورشید	یک گرم کالری در هر سانتیمتر مربع از سطح غیر متشعشع	۸.۷۲	۱۲.۵۴	۳.۰۲	۲.۵۵

www.SID.ir

Archive of SID

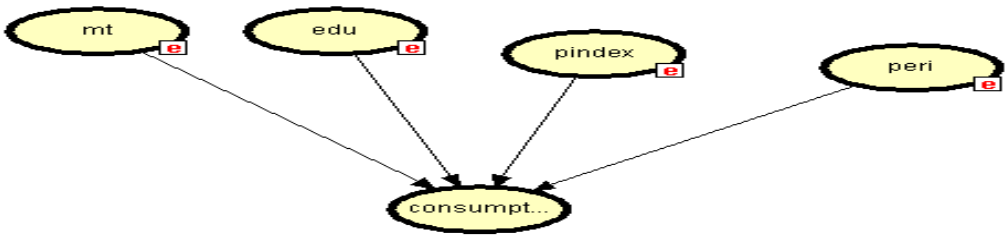
۳-۲- ساخت مدل:

۳-۲-۱- مدل اولیه:

پارامترهای ورودی به مدل شامل تعداد باسوادان، حداکثر درجه حرارت، نسبت متغیر درآمد به قیمت آب و نسبت شاخص کالا و خدمات به قیمت آب به صورت ماهانه است. در این مدل سعی شده است از حداقل تعداد و پارامترهایی استفاده گردد که بیشترین تاثیرگذاری را (طبق نتایج جدول۱) بر مصرف آب دارند. در این مدل پارامترهای درآمد، قیمت آب و شاخص کالا و خدمات مصرفی به صورت نسبت درآمد بر قیمت آب (peri) و نسبت شاخص کالاها و خدمات مصرفی (pindex) در نظر گرفته شده‌اند. مدل گرافیکی مورد نظر در برنامه Hugin 7.8 ساخته شده است. مراحل ساخت مدل به شرح زیر می باشد:

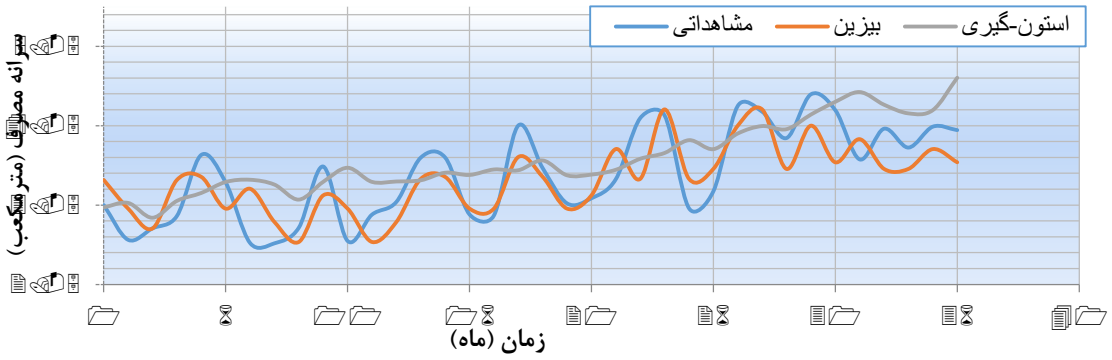
- استخراج داده‌های مشاهداتی
- آماده سازی داده‌ها (نرمال سازی و حذف روند)
- تعریف گره‌ها و روابط بین آنها در برنامه Hugin 7.8
- تکمیل اطلاعات مرتبط با گره‌ها و دسته‌بندی آنها (در دسته بندی داده‌ها از برنامه متلب ۲۰۱۱ استفاده شده است.)
- کالیبراسیون مدل همراه ۷۰ درصد داده‌ها
- صحت سنجی مدل همراه ۳۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها
- ارزیابی خروجی برنامه توسط آزمون‌های آماری

مدل پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل۱- مدل اولیه پیشنهادی در شبکه بیزین

۷۰ درصد از داده‌ها به منظور کالیبراسیون و ۳۰ درصد از داده‌های مشاهداتی که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند به منظور صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. برای مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی، نتایج حاصل از پیش بینی مصرف بلندمدت آب شهر نیشابور با استفاده از مدل بیزین با نتایج مدل تابع استون-گیری [3] مقایسه می‌شود. لازم به ذکر است که تعداد داده‌ها و متغیرهای ورودی در این دو مدل یکسان در نظر گرفته شده است. نتایج صحت سنجی هر دو مدل در شکل ۲ نمایش داده شده است.

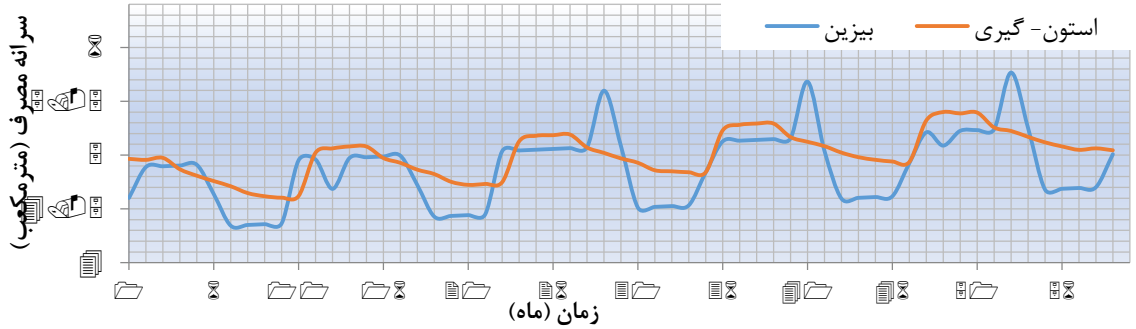


شکل۲- صحت‌سنجی مدل‌های پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID

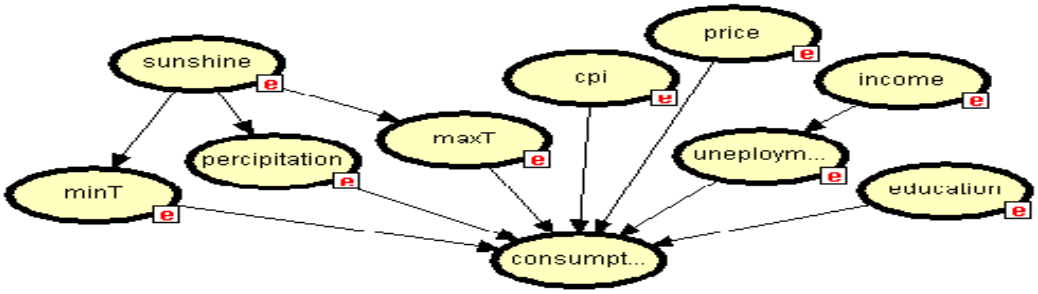
همان‌طور که در شکل(۲) مشخص است، اطلاعات مرتبط با مدل پیشنهاد شده بیزین همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی نسبت به مدل تابع استون-گیری دارد. در مقایسه دو مدل، مدل بیزین توانسته است تغییرات مصرف آب، حداقل و حداکثر مصرف آب را به خوبی در نظر بگیرد، در صورتیکه مدل تابع استون-گیری در زمان‌هایی که مصرف آب به حداقل خود می‌رسد را در نظر نمی‌گیرد. پیش‌بینی‌های انجام شده توسط تابع استون-گیری اغلب زمان‌ها بیشتر از مدل بیزین است، با توجه به این موضوع می‌توان گفت پیش‌بینی‌های مدل تابع استون-گیری نزدیکتر به شرایط بحرانی در زمان‌های حداکثر مصرف است. پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل، نتایج پیش‌بینی (اردیبهشت ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) به دست آمده از هر دو مدل در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل۳- پیش بینی مصرف آب شهر نیشابور (اردیبهشت ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

۳-۲-۲- مدل گسترده:

به منظور بررسی و درنظر گرفتن بیشتر پارامترهای موثر در پیش‌بینی مصرف آب به ایجاد مدلی پرداخته می شود که به نتایجی با دقت بالاتر و قابل اطمینان‌تر رسیده شود. پارامترهای ورودی به مدل علاوه بر مدل اولیه، شامل حداقل درجه حرارت، تابش آفتاب، بارش و نرخ بیکاری به صورت ماهانه است. در این مدل پارامترهای قیمت آب و درآمد سرانه و شاخص قیمت کالا و خدمات مصرفی به منظور تاثیر مستقیم بر مصرف آب هریک به صورت جداگانه دیده شده‌اند. برنامه استفاده شده، مراحل ساخت، کالیبراسیون و صحت سنجی مدل گسترده همانند مدل اولیه می‌باشد. مدل پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

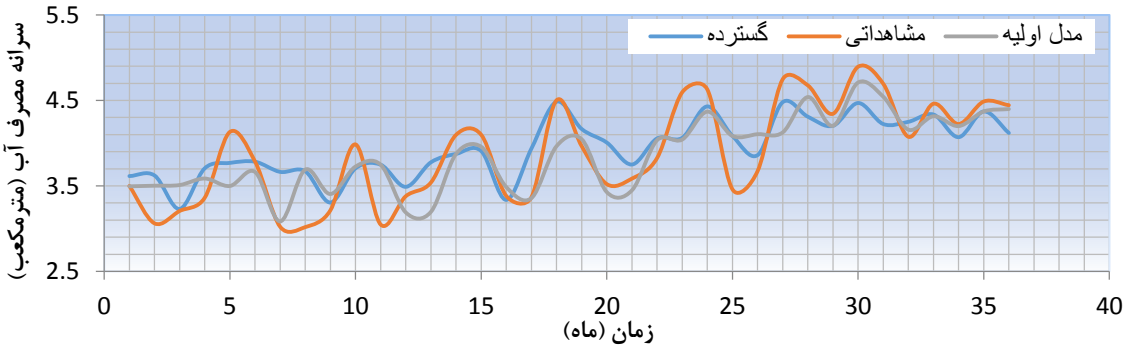


شکل٤- مدل گسترده پیشنهادی در شبکه بیزین

نتایج حاصل از صحت سنجی مدل گسترده و مقایسه آن با مدل اولیه که توسط ۳۰ درصد از داده‌های مشاهداتی انجام گرفته شده است در شکل ۵ و جدول ۳ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵- صحت‌سنجی مدل‌های اولیه و گسترده

جدول۳- مقایسه نتایج مدل‌های اولیه و گسترده با تابع استون-گیری

معیار ارزیابی	مدل اولیه	مدل گسترده	تابع استون-گیری
ضریب R^2	۰.۷۹	۰.۸۲	۰.٦۹
میانگین خطای مطلق (MAPE)	۰.۰۷	۰.۰٦	۰.۱۰

همان‌طور که از شکل ۵ و نتایج جدول۳ مشخص است، آزمون‌های آماری، مدل‌سازی بهتر مدل گسترده را نسبت به مدل اولیه و تابع استون- گیری نشان می‌دهد، مدل گسترده توانایی بالایی در پیش‌بینی نقاط حداکثر و حداقل نسبت به دو مدل دیگر دارد. در مجموع نتایج مدل اولیه و گسترده بسیار بهم نزدیک بوده و اضافه شدن پارامترهای تابش خورشید، حداقل درجه حرارت، بارش و نرخ بیکاری تفاوت زیادی را در نتایج ایجاد نکرده‌اند. این مهم ممکن است به دلیل هم‌پوشانی تاثیر متغیرهایی باشد که در مدل گسترده نسبت به مدل اولیه اضافه شده است.

٤- جمع بندی و نتیجه گیری:

پیش‌بینی مطمئن مصرف بلندمدت آب، مدیران یک شبکه آبرسانی را قادر می‌سازد که برنامه ریزی بهتری جهت مدیریت و بهره برداری بهینه از شبکه داشته باشند. در این مقاله با استفاده از شبکه بیزین دو مدل جهت پیش بینی مصرف بلندمدت آب شهر نیشابور پیشنهاد شده است که با توجه به ساختار احتمالاتی این دو مدل و سهولت در نظر گرفتن عدم قطعیت در پیش‌بینی و نیز لحاظ نمودن روابط علّی، برای پیش‌بینی مصرف آب شهری بسیار مطلوب می‌باشد. پارامترهای ورودی مدل‌ها شامل حداکثر درجه حرارت، حداقل درجه حرارت، تابش خورشید، بارش، تعداد باسوادان و نرخ بیکاری شهر، شاخص کالا و خدمات، قیمت آب مصرفی و درآمد سرانه می باشد. پارامترهای ورودی به مدل از طریق ضریب همبستگی بین پارامترهای مختلف با مصرف انتخاب شده است. در مجموع مدل‌هایی کاربردی با استفاده از شبکه بیزین پیشنهاد شده است که نتایج صحت سنجی و مقایسه آن با مدل تقاضای تابع استون-گری، نشان دهنده توانایی بالای این دو مدل در پیش‌بینی مصرف آب دارد.

٤- مراجع

[1] Cheng, Q., and Chang, N., (2011), “System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts”, Journal of Environmental Management 92 , 1628-1641

[2] Herrera, M., and Torgo, L., and Izaquin, J., Perez-Garcia, R., (2010), “Predictive models for forecasting hourly urban water demand”, Journal of Hydrology 387 , 141–150

[3] بهبودیان، ص.، (۱۳۸۹)، "پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب خانگی"، پایان نامه ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[4] مهاجرانی، ح.، مساعدی، ا.، خلقی، م.، مفتاح هلقی، م.، و سعدالدین، ا.، (۱۳۸۹)، "معرفی شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزین و کاربرد آن‌ها در مدیریت منابع آب"، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.

[5] Ramin, M., and Labencki, T., and Boyd., D., and Trolle., D., and Arhonditsis., G., (2012), “A Bayesian synthesis of predictions from different models for setting water quality criteria”, Ecological Modelling 242, 127– 145

www.SID.ir

Archive of SID

[6] Heckerman, D., (1996), "A Tutorial on Learning With Bayesian Networks", Microsoft Research Advanced Technology Division, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA

[7] روزبهانی، ع.، (۱۳۹۱)،"مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک برای مدیریت سیستم‌های آب شهری"، پایان‌نامه دکتری مهندسی عمران- آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[8] HUGIN EXPERT A/S, (2012), "Hugin Researcher Userguide, Version 7.8".

[9] هیدرولوژی مهندسی، حمید رضا صفوی، چاپ دوم، ویرایش دوم، ۱۳۸۸، انتشارات ارکان دانش.

www.SID.ir