مجله آبخوان و قنات
جلد ۳ شماره ۱ بهار و تابستان ۱۴۰۰
شماره صفحه: ۱۲ - ۱
http://dx.doi.org/ 10.22077/jaaq.2021.1860

مقاله پژوهشی:

پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل پیش‌بینی شبکه‌های بیزین در دشت هشتگرد

ابراهیم ابراهیمی[۱]، حمید کاردان مقدم*[۲]، عباس روزبهانی[۳]
۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
۲- دکتری منابع آب دانشگاه تهران- کارشناس پژوهشی مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو
۳- استادیار گروه آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
* نویسنده مسئول: hkardan@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴

چکیده

بحران آبی از مهم‌ترین مناقشات روز جهان محسوب می‌شود و ایران نیز در زمینه منابع آبیجزء کشورهای دارای شرایط تنش است. درپی افت سطح آب زیرزمینی آبخوان‌ها، اکثر دشت‌های کشورشرایط بحران منابع آبی و افت سطح آب زیرزمینی را تجربه کرده است و برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی آن‌ها محدود گردیده است. از جمله دشت‌هایدارای تنش آبی، دشت هشتگرد است که در این پژوهش به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. برای خروج این دشت از وضعیت مذکور، می‌بایست در زمینه مصارف آبی اقدامات مدیریتی اساسی صورت بگیرد که این امر نیازمند ابزارهای پیش‌بینی وضعیت منابع آبی در اثر اعمال این اقدامات است، یکی از این ابزارها، شبکه بیزین می‌باشد؛ که برای ایجاد مدل بیزین پیش‌بینی‌کننده وضعیت منابع آبی، متغیر پیش‌بینی‌شونده، پارامتر سطح آب زیرزمینی در ماه آتی و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، پارامترهای دما، بارش، تبخیر، میزان تغذیه آبخوان، میزان تخلیه آبخوان و سطح آب زیرزمینی در ماه فعلی درنظر گرفته شد. برای کاهش عدم قطعیت اطلاعاتی، از دو رویکرد پیش‌بینی با داده‌های دسته‌بندی‌شده (داده‌های گسسته) وپیش‌بینی با داده‌های صریح (دادههای پیوسته) استفاده شد. و با بررسی دقت پیش‌بینی آبخوان توسط دو رویکرد مورد اشاره، رویکرد صریح پیش‌بینی دقیقی از هیدروگراف مشاهداتی ارائه داد. درنتیجه، این رویکرد به‌عنوان رویکرد برتر برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در اثر اعمال سناریوهای مدیریتی انتخاب گردید که در آن مقادیر ضریب تبیین ۰/۹۴۵۲ و میانگین مجذور مربعات خطا ۰/۲۲۰۷ می‌باشد. رویکرد مورد استفاده در این پژوهش را می‌توان در دیگر دشت‌هایدارای تنش منابع آبی نیز به‌کار برد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های بیزین، پیش‌بینی سطح آبخوان، مدیریت آب‌های زیرزمینی، دشت هشتگرد.

مقدمه

در سال‌های اخیر کمبود منابع آبی، جوامع بشری را با مشکلات زیادی روبرو کرده است و فعالیت‌های کشاورزی و صنعت و خدمات و حتی تأمین آب شرب خانه‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. برای برون‌رفت از این بحران، در برخی نقاط با انتقال آب از مناطق پر آب، در برخی با تصفیه آب شور دریاها و اقیانوس‌ها، در برخی با نادیده گرفتن حقابه زیست‌محیطی و در مواردی هم با هجوم گسترده به آبخوان-ها و حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، به دنبال دستیابی به آب شیرین برای حفظ بقا و ادامه حیات خود می‌باشند؛ راه-حل‌هایی که جز تشدید بحران، هیچ نفعی در بهبود وضعیت منابع آبی ندارند. بحران آبی کشور ایران، بیش از همه، آبخوان‌ها را تحت تأثیر قرار داده و وضعیت بحرانی را بر آن حاکم ساخته است. آبخوان‌ها، با اینکه درصد کمی از آب موجود در کره زمین را دربردارند ولی به‌دلیل بهره‌مندی از منابع آبی شیرین و با کیفیت، مورد هجوم گسترده‌ای واقع شده‌اند که در نتیجه آنافتِ تراز آبخوان‌های کشور مشاهده شده است که در نتیجه برخی دشت‌ها به‌عنوان دشت‌های ممنوعه محسوب شده و برداشت آب از آبخوان آن غیرمجاز می‌باشد و در برخی نقاط نشست زمین رخ داده است که نشان از عمق فاجعه دارد؛ بنابراین ضرورت دارد که پایش سطح آبخوان و ارزیابی متغیرهای مؤثر بر آن انجام گیرد تا بتوان رفتارهای آتی آبخوان‌ها را پیش‌بینی نموده و اقدامات متناسب با آن را اعمال کرد.یکی از رویکردهای پایش سطح آبخوان، استفاده از ابزارهایپیش‌بینی در دوره‌های زمانی آتی می‌باشد. امروزه از ابزارهای مختلفی برای پیش‌بینی سطح آبخوان استفاده می‌شود که از جمله می‌توان به مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، نروفازی، شبکه‌های بیزین، سری زمانی و غیره اشاره کرد. در دهه اخیر استفاده چشم‌گیری از ارزیابی احتمالاتی، ارزیابی ریسک و موضوعات و روش‌هایی از این قبیل صورت گرفته‌است (Varis, 1997). در سال‌های اخیر به دلیل ساختار قابل انعطاف و ساده، شبکه‌های بیزین در پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های بیزین به عنوان یک چارچوب یکپارچه، دارای مزایای فراوانی هستند، از جمله توانایی آنها در ترکیب داده‌های کمی و کیفی، صراحت آنها در بررسی عدم قطعیت‌ها، ارائه یک سیستم مفهومی حتی زمانی که کل فرایند در یک سیستم حضور ندارند، است. همچنین می‌توانند به عنوان یک دانش جدید به آسانی به‌روز شده و مورد استفاده قرار گیرند (Castelletti and Soncini-Sessa, 2007). در زمینه استفاده از شبکه بیزین برای پیش‌بینی پارامترهای منابع آبی، Freni and Mannia (2010) از روش بیزین به منظور برآورد کیفیت آب استفاده نمودند. ایشان در این پژوهش از یک مدل کیفی سیلاب شهری استفاده کردند. این مدل در حوضه آبریز فوسولوی ایتالیا برای داده‌های کمی وکیفی موجود استفاده شد. ایشان معتقدند که امروزه مدل بیزین جایگزین مدل‌های ریاضی شده است که که به طور وسیعی برای تصمیمات مهم و استراتژی‌های مدیریتی به‌کار گرفته می‌شود. Ramin et al. (2012) از یک مدل بیزین برای ترکیب چند مدل مختلف به منظور پیش‌بینی کیفیت آب و تعیین عوامل مؤثر بر آن استفاده نمودند. دیدگاه‌های امروزه به این صورت است که یک مدل صحیح و واقعی در سیستم اکولوژیک برای اهداف خواسته شده موجود نمی‌باشد. به جای استفاده از یک مدل به عنوان بهترین مدل، باید ترکیبی از مدل‌های موجود را مورد بررسی قرار داد. ایشان از یک مدل پیچیده که با بیزین ترکیب می‌شود و ۱۴ متغیر را در نظر می‌گیرد، استفاده کردند. نتایج ترکیب مدل‌های موجود کارایی شبکه بیزین را در این تحقیق نشان می‌دهد.

با بررسی پژوهش‌های صورت‌گرفته مشاهده گردید که در زمینه پیش‌بینی وقایع آتی با استفاده از شبکه‌های بیزین پژوهش‌هایی صورت گرفته است و از شبکه‌های بیزین برای مدل کردن و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی کمتر استفاده شده است. در این پژوهش،از شبکه بیزین با رویکرد عدم قطعیت در پیش‌بینی آبخوان دشت هشتگرد استفاده شده است.

روش‌شناسی

در این پژوهش برای اعمال مدیریت آب‌های زیرزمینی تحت تنش منابع آبی در سال‌های آتی، از رویکرد شبکه‌ای بیزین استفاده شده است؛ به‌طوری که در آن، برای پیش‌بینی و بررسی اثربخشی وضعیت پیش‌روی آبخوان‌ها بر روی سطح

آبخوان دشت هشتگرد از مدل شبکه‌های بیزین استفاده شده است.

شبکه بیزین[1]

در دهه اخیر شبکه بیزین به‌دلیل سرعت بالا، نمایش گرافیکی، قرارنداشتن حداقلی برای داده‌ها، سادگی در بکارگیری، ترکیب منابع مختلف داده و مدیریت عدم قطعیت‌ها در مطالعات مختلف رشد روزافزونی داشته است (Sahoo, et.al, 2013)؛ به‌طوری‌که در بیشتر پژوهش‌های مهندسی مورد استفاده قرار گرفته و دقت بالای آن در پیش‌بینی مشاهده شده است. شبکه‌های بیزین، گرافی متشکل از مجموعه گره‌ها و مسیرهای ارتباطی هستند که گره‌ها نشان‌دهنده یک سری متغیرهای تصادفی گسسته یا پیوسته و مسیرهای ارتباطی نیز نشان‌دهنده ارتباطات شرطی بین این گره‌ها هستند. این ارتباطات شرطی به عنوان توزیع‌های احتمالاتی شرطی بین متغیرهای ورودی مستقل شناخته می‌شوند. شبکه‌های بیزین ساختارهای محاسباتی هستند که توسط آنها توزیع احتمالاتی پیوسته یک مجموعه از متغیرهای مربوط به هم توسط داده‌های مشاهداتی استنباط می‌شوند. به طورکلی اصول پایه شبکه‌های بیزین بر مبنای تئوری مشهور بیز است.برای سال‌های متمادی احتمالات شرطی رویدادهای مورد نظر با استفاده از تئوری بیز محاسبه می‌شد. این تئوری به‌صورت زیر بیان شده است (Neapolitan, 2004):

اگر E و F دو رویداد مفروض باشند به گونه‌ای که $P(E)\neq0$ و $P(F)\neq0$، آنگاه داریم:

$$P(E|F)=\frac{P(F|E)P(E)}{P(F)} \qquad (۱)$$

همچنین برای n رویداد E1, E2, … En که $P(Ei)\neq0$ باشد، برای $1\leq i\leq n$ داریم:

$$P(E_i|F)=\frac{P(F|E_i)P(E_i)}{P(F|E_1)P(E_1)+P(F|E_2)P(E_2)+..P(F|E_n)P(E_n)} \qquad (۲)$$

در واقع 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 ۱ و ۲ 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 به‌دست آمده و روابط احتمالاتی موجود بین متغیرهای تصادفی تعیین می‌گردند.

شبکه بیزین با دارا بودن ویژگی نمایش گرافیکی روابط بین متغیرهای مختلف، از ساختار بازو و گره برای تعیین روابط علت و معلولی بین متغیرهای مختلف استفاده می‌کند. در صورتی که گرهی یک یا چند والد داشته باشد، دارای جدول احتمالات شرطی (CPT۲) خواهد بود. جدول احتمالات شرطی (CPT) در حالت متغیرهای پیوسته (صریح)، اطلاعات مربوط به میانگین و واریانس مربوط به هر یک از گره‌ها (متغیرها) را نشان می‌دهد؛ این جدول در حالت متغیرهای گسسته (خوشه‌بندی‌شده) مقدار احتمال تعلق هر گره (متغیر) به خوشه‌های مختلف را نمایش می‌دهد، به‌طوری که مجموع احتمالات برابر یک می‌شود.

مدلسازی شبکه بیزین

گام اول: آماده‌سازی متغیرهای ورودی به مدل

در این بخش نوع و کمیت متغیرهای مورد استفاده در آموزش و صحت‌سنجی مدل تعیین می‌گردد. با توجه به داده‌های موجود در پایگاه داده‌های ایجاد شده، داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزش (داده‌های مورد استفاده در آموزش شبکه بیزین) و داده‌های صحت سنجی (جهت بررسی دقت شبکه آموزش دیده) تقسیم شدند. داده‌های مربوط به متغیرهای ورودی می‌تواند شامل داده‌های صریح (واقعی) و داده‌های خوشه‌بندی‌شده (دسته‌بندی‌شده) باشد.

گام دوم: آموزش شبکه بیزین

آموزش شبکه‌های بیزین با استفاده از داده‌های مشاهداتی شامل دو مرحله آموزش ساختار شبکه و آموزش پارامترهای شبکه است که به ترتیب صورت می‌گیرد. آموزش ساختار شبکه به معنای تعیین متغیرهای وابسته و مستقل و یافتن

[1]Bayesian Network

[2]Conditional Probability Table

ارتباط‌های ممکن بین متغیرهایی است که روابط علت و معلولی آنها براساس داده‌های مشاهداتی قابل تشخیص است. اما آموزش پارامترها به معنی ساختن احتمالات شرطی بین هر دو گره از شبکه با داشتن ساختار آموزش‌دیده آن و همچنین داده‌های مشاهداتی است.در این پژوهش برای آموزش ساختار، روش الگوریتم NPC[1] توصیه می‌گردد. راه حل این الگوریتم استفاده از مفهوم «فضای مبهم[2]» است که زمینه انتخاب کمان‌های نامعلوم را فراهم می‌کند. پس از نهایی شدن ساختار شبکه بیزین، به آموزش پارامترهای مدل پرداخته می‌شود. در این پژوهش برای آموزش پارامترها از الگوریتم EM[3] استفاده شده است. این روش ابزاری منعطف برای تخمین بیشینه احتمال در مسائل مختلف شامل داده‌های ناقص ارائه می‌دهد.

گام سوم: صحت‌سنجی مدل

پس از انجام مراحل آموزش شبکه، نوبت به این می‌رسد که دقت و صحت پیش‌بینی‌های مدل مورد بررسی قرار گیرد. صحت‌سنجی مدل از مهم‌ترین مراحل توسعه یک مدل است که نشان‌دهنده میزان اطمینان‌پذیری مدل می‌باشد. برای این مرحله، باید از داده‌های صحت‌سنجی که از قبل جدا شده‌اند، استفاده نمود.

خوشه‌بندی

به دلیل اینکه خوشه‌بندی فرایند غیرنظارتی است و بسیاری از روش‌های آن به شدت تحت تأثیر مفروضات اولیه‌شان است، لازم است ارزیابی درمورد نتایج خوشه‌بندی در تحقیقات کاربردی صورت پذیرد تا اعتبار آن تأیید شود. شاخص‌های اعتبار، معیارهایی هستند که نتایج خوشه‌بندی را مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌دهند. شاخص عرض سیلهوت برای هر ایستگاه معیاری مقایسه‌ای است و نشان می‌دهد که آیا بهتر است که این ایستگاه در خوشه‌ای که در آن قرار دارد بماند یا این‌که به خوشه دیگری منتقل شود. عرض سیلهوت برای ایستگاه i ام در خوشه k ام برابر است با:

$$SW_i = \frac{O_i - I_i}{\max[I_i, O_i]} \qquad (۳)$$

که در آن I_i متوسط فاصله ایستگاه i ام تا تمامی ایستگاه‌های خوشه k ام و O_i حداقل فاصله بین ایستگاه i ام تا سایر خوشه‌ها می‌باشد. از این رو مقدار SW_i بین ۱+ تا ۱- خواهد بود. هر چه مقدار SW_i به ۱+ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تعلق درست ایستگاه i ام به خوشه‌ای که در آن تعلق دارد است. بر این اساس، متوسط عرض سیلهوت، میانگین تمامی عرض‌های سیلهوت خواهد بود. بنابراین خوشه‌ای بهینه است که از بیشینه متوسط عرض سیلهوت برخوردار باشد.

روش K میانگین (K-Means)

روش K میانگین، کاربردی‌ترین روش خوشه‌بندی داده‌هاست. این روش اولین بار توسط مک کویین ارایه شد. تعداد خوشه‌ها در این روش ثابت و از پیش تعیین شده است. این روش برای خوشه‌بندی داده هایی طراحی شده است که به صورت عددی (کمّی) باشند و خوشه دارای مرکزی به نام میانگین باشد. در این روش، ابتدا اشیاء به صورت تصادفی به k خوشه تقسیم می‌شوند. در گام بعد، مرکز هر یک از اشیاء از مرکز خوشه خود محاسبه می‌شود. درصورتی که فاصله شیء مورد نظر از میانگین خوشه خود زیاد و به خوشه دیگری نزدیک‌تر باشد، این شیء به خوشه ای که نزدیک‌تر است اختصاص می‌یابد. این کار آن قدر تکرار می‌یابد تا تابع خطا حداقل شود و یا تابع خطا تغییر نیابد (Macqueen, 1967).

اگر D مجموعه داده ها با n شیء باشد و $C_k, ..., C_2, C_1$ بیانگر k خوشه مجزای D باشند، در این صورت تابع خطا (EF[4]) مجموع فواصل هر شیء از مرکز خوشه خودش تعریف می‌شود (Macqueen, 1967):

$$EF = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in C_i} d(X, \mu(C_i)) \qquad (۴)$$

[1] Necessary Path Condition
[2] Ambiguous regions
[3] Estimation-Maximization algorithm
[4] Error Function

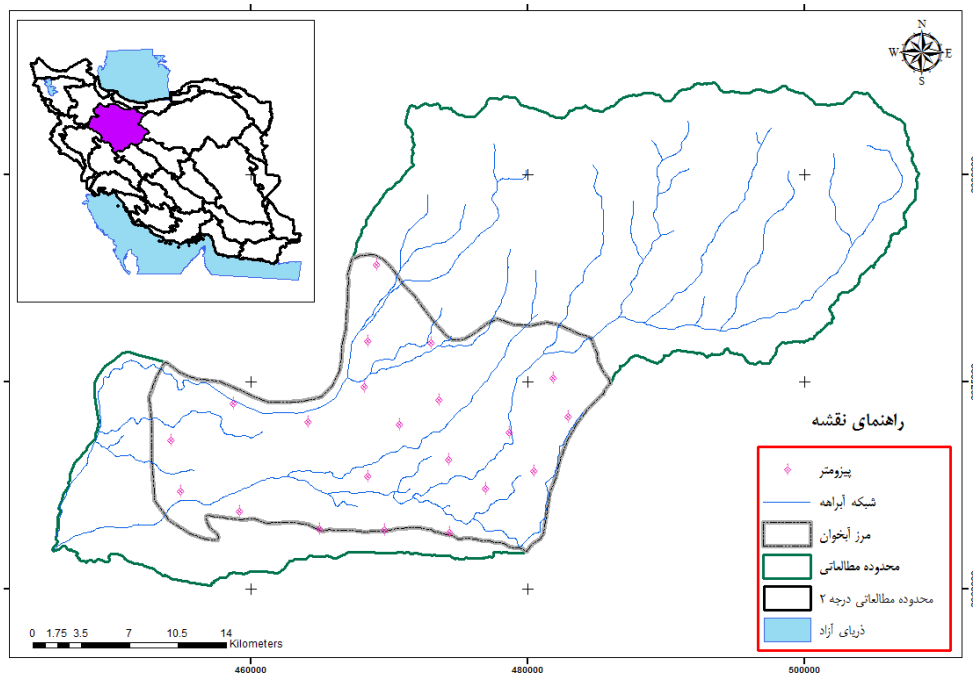
که در آن μ نشان‌دهنده مرکز (میانگین) خوشه و $d(X,\mu(C_i))$ فاصله هر شیء از خوشه خود می‌تواند بر پایه اقلیدسی یا روش‌های دیگر محاسبه شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

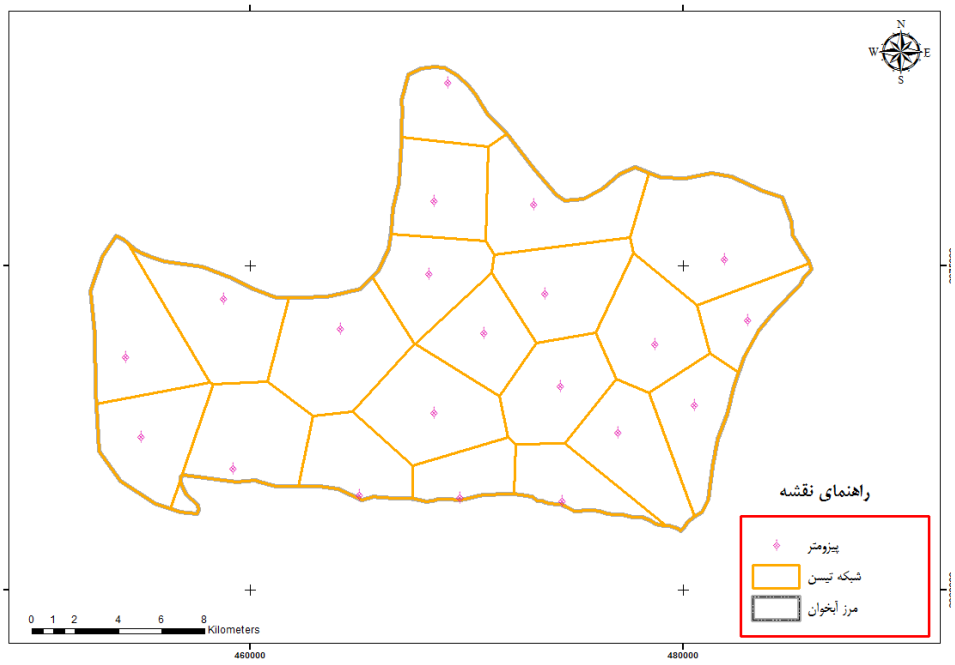
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، دشت هشتگرد، از دشت‌های دارای تنش منابع آبی استان البرزدر کشور ایران می‌باشد. دشت هشتگرد در فاصله ۷۰ کیلومتری شمال غربی تهران قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی هشتگرد با وسعت ۵۹۱/۶ کیلومتر مربع، جزو حوضه آبریز دریاچه نمک بوده و در محدوده شهرستان ساوجبلاغ استان البرز قرار دارد. به دلیل تراکم جمعیت و افزایش نیاز منابع آبی آشامیدنی و توسعه کارخانجات صنعتی از یک طرف و وجود کشاورزی از طرف دیگر، استفاده از منابع آب زیرزمینی این دشت افزایش یافته است و این خود باعث افت سطح آب زیرزمینی دشت گردیده است. بیشترین چاه‌های کشاورزی کرج در هشتگرد هستند و در سال‌های گذشته در این منطقه افت شدید سطح منابع آب زیرزمینی و نشست زمین رخ داده است و براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته فرونشست دشت هشتگرد حدود ۳۶ سانتی‌متر در سال خواهد بود که نشانگر وضعیت تنش منابع آبی بالایی در این دشت می‌باشد. این مقدار افت و فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و مصرف آب در بالادست، پیامدهای ناگواری داشته و موجب تنش منابع آبی در منطقه شده است که در صورت عدم اتخاذ راه حل درست برای استفاده بهینه از آب زیرزمینی، خسارات جبران‌ناپذیری را متحمل خواهد ساخت. در شکل ۱ موقعیت دشت هشتگرد در استان البرز نمایش داده شده است.

پارامترهای مورد استفاده در آموزش مدل بیزین

این پارامترها شامل بارش، دما و تبخیر دشت هشتگرد، تغذیه، تخلیه و سطح آب زیرزمینی آبخوان در بازه زمانی ماهانه می‌باشد. پارامترهای بارش، دما و تبخیر از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک هشتگرد استفاده شد.اطلاعات مربوط به تغذیه و تخلیه و سطح آب زیرزمینی در آبخوان هشتگرد، مربوط به ۲۱ پیزومتر مستقر در شبکه تیسن‌بندی می‌باشد، که براساس آمار ثبت شده توسط آب منطقه‌ای هشتگرد به‌دست آمده است که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی هشتگرد
Figure 1- Geographical location of study area in Hashtgerd



شکل ۲: محدوده شبکه تیسن آبخوان هشتگرد
Figure 2: Thiessen network area of Hashtgerd aquifer

نتایج و بحث

مدل‌سازی بیزین

مدل بیزین ابزاری برای پیش‌بینی سطح آبخوان و محاسبه میزان بهبود سطح آبخوان در اثر اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف می‌باشد. آموزش و مدلسازی بیزین براساس گام‌های زیر صورت می‌گیرد:

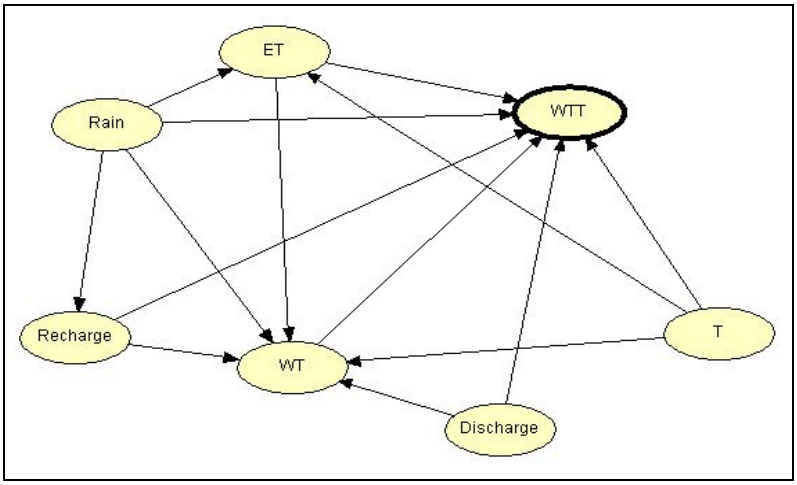
گام اول: آماده‌سازی متغیرهای ورودی به مدل

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، ۱۰ سال داده آبی با گام های زمانی ماهانه (۱۲۰ ماه) از سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ مربوط به ۲۱ پیزومتر در آبخوان هشتگرد می باشد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش به داده‌های کالیبراسیون برای آموزش مدل و داده‌های صحت سنجی برای بررسی دقت مدل تقسیم می‌شوند. داده‌های کالیبراسیون مدل شامل دوره آماری ۸ ساله با گام زمانی ماهانه از سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ و داده‌های صحت‌سنجی شامل دوره آماری ۲ ساله با گام زمانی ماهانه از سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ تا سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ می‌باشد. هرچه تعداد داده‌ها و طول دوره آماری پارامترها بیش‌تر باشد، عدم قطعیت موجود در مدل پایین خواهد بود.

گام دوم: آموزش شبکه بیزین

در این پژوهش، از دو رویکرد آموزشی برای بررسی دقت مدل بیزین استفاده شد، در رویکرد اول با استفاده از شاخص اعتبارسنجی عرض سیلهوت، تعداد خوشه مناسب تعیین شد و با استفاده از روش k میانگین، خوشه بندی داده‌ها صورت گرفت. با استفاده از داده‌های خوشه‌بندی‌شده و ساختار آموزشی NPC در سطح اطمینان ۵ درصد، آموزش مدل در این رویکرد انجام شد. در رویکرد دوم با استفاده از داده‌های صریح و ساختار آموزشی NPC در سطح اطمینان ۵ درصد، آموزش مدل انجام شد. در هر دو رویکرد مذکور آموزش پارامترها با

روش EM (حداکثر تخمین) صورت گرفت. براین اساس پارامترهای دما، بارش، تغذیه آبخوان، برداشت از آب زیرزمینی، تبخیر، سطح آب زیرزمینی در ماه فعلی به‌عنوان پارامترهای اثرگذار بر سطح آب زیرزمینی در ماه آتی تعیین شدند و آموزش شبکه بیزین صورت گرفت.



شکل ۳: ساختار پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی ماه آتی در شبکه بیزین

Figure 3: Next month's groundwater level forecasting structure in the Bayesian network

در این ساختار ET تبخیر، Rain میزان بارش، Recharge میزان تغذیه آبخوان، WT تراز آب زیرزمینی، Discharge تخلیه از آبخوان و T دما به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده و WTT تراز آب زیرزمینی در ماه آتی به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده است.

گام سوم: صحت‌سنجی مدل

برای انجام صحت‌سنجی مدل از داده های ماهانه ۵ سال اخیر استفاده گردید و پس از انجام مرحله آموزش پارامترهای شبکه بیزین، شبکه اجرا شد و در مدل مورد استفاده، داده‌های عوامل به شبکه بیزین آموزش دیده وارد شده و خروجی مدل که همان سطح آب زیرزمینی در ماه آتی است، بدست آمد.

بررسی دقت پیش‌بینی شبکه بیزین با دو رویکرد صریح و خوشه‌بندی

در ابتدا از رویکرد خوشه‌بندی برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در ماه آتی استفاده شد. درشبیه‌سازی به روش خوشه‌بندی برای داده های واقعی مورد استفاده، در محیط نرم افزار MATLAB شاخص عرض سیلهوت محاسبه گردید و مقدار بهینه تعداد خوشه برای هر یک از داده‌های مذکور تعیین گردید، که در نتیجه، برایپارامترهای دما، بارش، تبخیر، تغذیه آبخوان و برداشت از آبخوان تعداد خوشه بهینه، دو خوشه و برای پارامتر سطح آب زیرزمینی در ماه فعلی و آتی نیز تعداد خوشه بهینه، سه خوشه به‌دست آمد، که به اختصار در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر بهینه تعداد خوشه پارامترهای مورد استفاده در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی

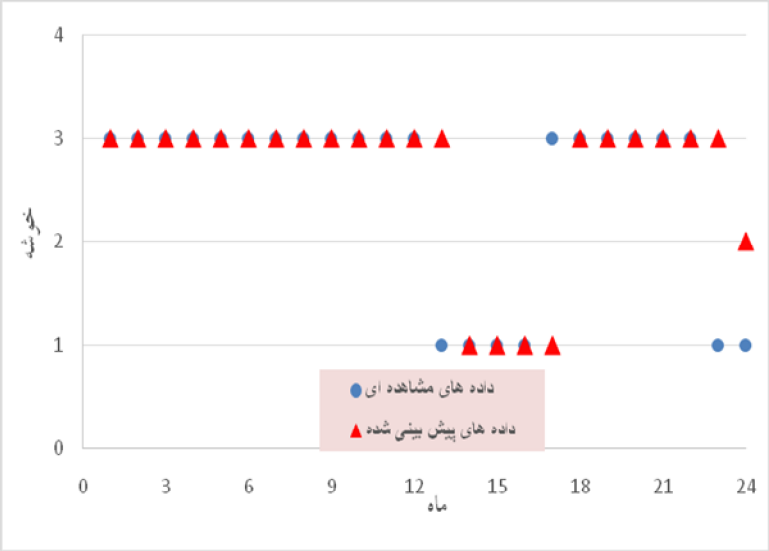
Table1- Optimal values of the number of clusters of parameters used in predicting groundwater level

پارامتر	دما	بارش	تبخیر	تغذیه آبخوان	برداشت از آبخوان	سطح آب زیرمینی در ماه فعلی	سطح آب زیرزمینی در ماه آتی
تعداد خوشه بهینه	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳

با توجه به تعداد بهینه خوشه‌ها که در جدول ۱ ارائه شده است، برای خوشه‌بندی داده‌ها از روش k میانگین استفاده شد و در رویکرد خوشه‌بندی و ساختار آموزشی NPC، داده‌های متعلق به خوشه‌های مختلف برای ۸ سال داده خوشه‌بندی‌شده (با گام زمانی ماهانه) در نرم‌افزار 8.1HUGIN آموزش داده شد و با ۲ سال داده خوشه-بندی‌شده (با گام زمانی ماهانه)، سطح آبخوان در ماه آتی پیش‌بینی شد و صحت‌سنجی مدل صورت گرفت. در این رویکرد، دقت پیش‌بینی درست خوشه‌ها نیز توسط مدل بیزین بررسی شد که از معادله ۵ به دست می‌آید:

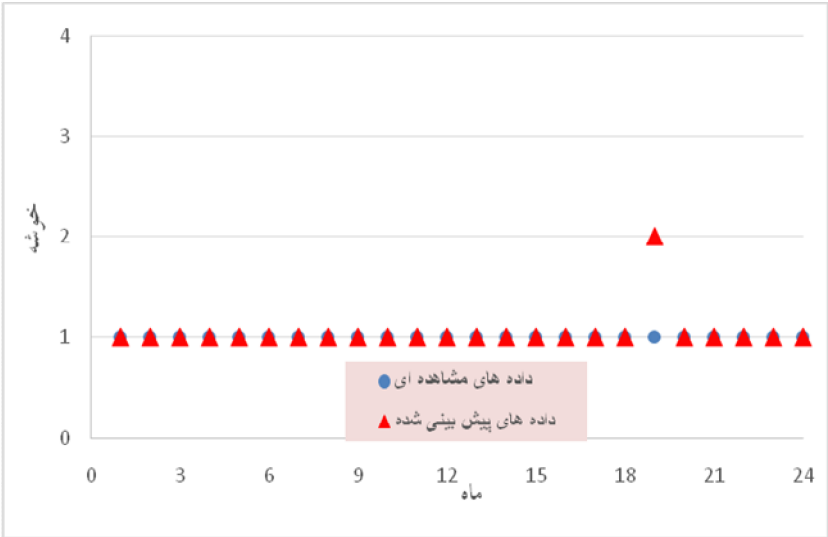
$$\text{درصد خوشه‌های درست پیش‌بینی شده} = \frac{\text{تعداد پیش‌بینی درست خوشه‌ها}}{\text{تعداد پیش‌بینی خوشه‌ها}} \times 100 \qquad (۵)$$

به‌طوری که اگر از ۶۰ خوشه پیش‌بینی شده، ۵۴ خوشه به درستی پیش‌بینی شود، درصد خوشه‌های درست پیش‌بینی-شده برابر ۹۰ خواهد بود و در مدل مورد استفاده درصد پیش‌بینی درصد خوشه‌ها ۷۸ درصد بدست آمد، که حاکی از دقت بالای پیش‌بینی خوشه‌ها در رویکرد خوشه‌بندی شبکه بیزین می‌باشد. در رویکرد خوشه‌بندی دو نمودار نمونه برای پیزومترهای شماره ۴ و ۱۰ رسم گردید که براساس نتایج، دقت پیش‌بینی خوشه برای دو پیزومتر ۲ و ۱۴ به ترتیب برابر ۸۳ و ۹۶ درصد می‌باشد. که در شکل ۴ و ۵ نمودار مربوط به این دو پیزومتر ارائه شده است



شکل ۴: مقایسه خوشه‌بندی سطح آب مشاهده‌شده و شبیه سازی‌شده در پیزومتر شماره ۲ در ۲ سال آبی

Figure 4- Comparison of water level clustering observed and simulated in piezometer No. 2 in 2 water years

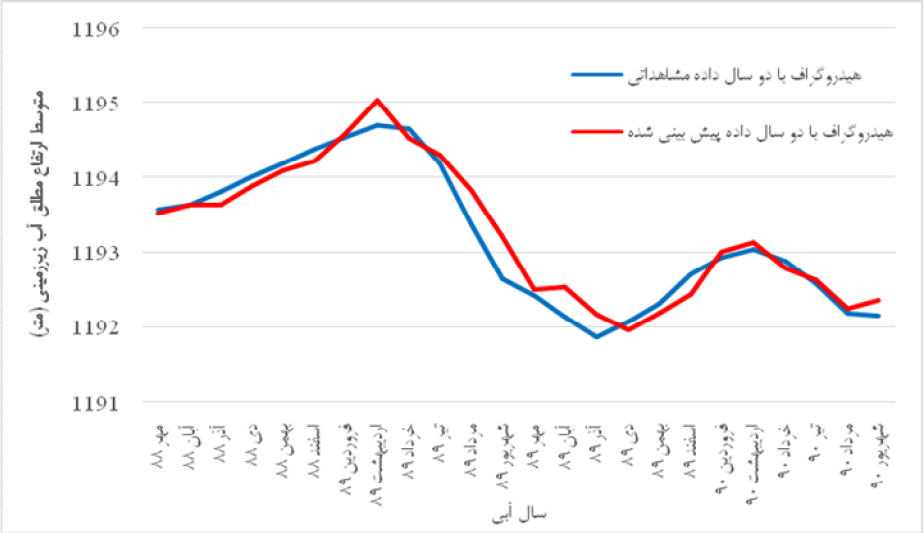


شکل ۵- مقایسه خوشه بندی سطح آب مشاهده شده و شبیه سازی شده در پیزومتر شماره ۱۴ در ۲ سال آبی

Figure 5- Comparison of water level clustering observed and simulated in piezometer No. 14 in 2 water years

با توجه به اینکه هیدروگراف آبخوان ابزار مناسبی برای بررسی دقت پیش‌بینی دو رویکرد خوشه‌بندی و صریح می‌باشد، با استفاده از آن به نحو مطلوب‌تری می‌توان رویکرد برتر را پیشنهاد نمود؛ بنابراین به‌دلیل دقت پیش‌بینی پایین رویکرد خوشه‌بندی، از رویکرد پیش‌بینی صریح در شبکه بیزین برای پیش‌بینی هیدروگراف آبخوان استفاده شد.

در رویکرد صریح (پیوسته احتمالاتی) نیز با آموزش مدل و ورود داده‌های صریح ۸ ساله (با گام زمانی ماهانه) به نرم‌افزار 8.1HUGIN آموزش مدل انجام شد و با داده‌های صریح ۲ ساله (با گام زمانی ماهانه) صحت‌سنجی مدل به‌دست آمد. هیدروگراف سطح آب زیرزمینی مربوط به داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده با رویکرد صریح بدست آمد که در شکل ۶ ارائه شده است:



شکل ۶- هیدروگراف آبخوان هشتگرد برای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده در رویکرد صریح

Figure 6- Hydrograph of Hashtgerd aquifer for observational and predicted data in explicit approach

براساس نتایج ارائه‌شده در هیدروگراف شکل ۸ مشاهده می‌شود دقت پیش‌بینی هیدروگراف آبخوان در رویکرد صریح بسیار بالا می‌باشد به‌طوری‌که در آن مقادیر ضریب تبیین ۰/۹۴ و میانگین مجذور مربعات خطا ۰/۲۲۰۷ می‌باشد؛ بنابراین به‌دلیل دقت مناسب رویکرد صریح در پیش‌بینی هیدروگراف آبخوان، این رویکرد به‌عنوان رویکرد برتر برای اعمال تاثیر سناریوهای مدیریتی مختلف بر بهبود سطح آبخوان انتخاب می‌گردد.

نتیجه‌گیری

به کارگیری ابزارهای مدیریتی برای مقابله با بحران‌های آب زیرزمینی و شبیه‌سازی رفتار آبخوان در مقاطع مختلف می‌تواند گامی مؤثر در احیای آبخوان‌های دارای تنش منابع آبی باشد. در این پژوهش، مدل مدیریت آب زیرزمینی دشت‌های دارای تنش منابع آبی با استفاده از روش شبکه بیزین معرفی شد. در ابتدا مدل بیزین در رویکرد خوشه‌بندی برایپیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در ماه آتی آبخوان دشت هشتگرد انتخاب شد، ولی به‌دلیل پایین بودن دقت پیش‌بینی در این رویکرد، از رویکرد صریح مدل بیزین برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در ماه آتیاستفاده شد، که در نتیجه رویکرد صریح با دقت بالایی پیش‌بینی هیدروگراف آبخوان را ارائه داد، که دارای مقادیر ضریب تبیین ۰/۹۴ و میانگین مجذور مربعات خطای ۰/۲۲۰۷ می‌باشد.

با بررسی نتایج ارائه‌شده در این پژوهش، مشاهده می‌شود که با اعمال روش شبکه بیزین در آب‌های زیرزمینی و در نظر گرفتن شرایط حاکم بر هر منطقه، می‌توان شرایط آتی متناسب با آبخوان آن منطقه را به‌دست آورد و حتی میزان تغییرات سطح آبخوان مورد مطالعه را محاسبه نمود و اینطرح در محدوده‌های مطالعاتی دیگری که شرایط منابع آبی پرتنشی دارند، اجرایی می‌باشد و می‌توان در آن‌ها این روش را پیاده‌سازی نمود و عمل مدیریت آب زیرزمینی را با درنظر گرفتن شرایط آتی آبخوان‌ها انجام داد. ساختار پیشنهادی این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک سیستم پیش‌بینی سطح آبخوان مورد استفاده مدیران و بهره‌برداران منابع آبی قرار گیرد.

منابع

1. Castelletti, A., Soncini-Sessa, R. 2007. Bayesian networks and participatory modelling in water resource management. Environmental Modelling & Software; 22: 1291-1233.
2. Freni, G., and Mannina, G. 2010. Bayesian approach for uncertainty quantification in water quality modelling: The influence of prior distribution. Journal of hydrology; 392(1): 31-39.
3. Macqueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the 5th Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. University of California, Berkeley, CA. 281-297.
4. Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A. Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances; 2(2): e1500323.
5. Neapolitan, R. E. 2004. Learning Bayesian Networks. Prentice Hall, New Jersey, US.
6. Ramin, M., Labencki, T., Boyd, D., Trolle, D., and Arhonditsis, G. B. 2012. Abayesian synthesis of predictions from different models for setting water quality criteria. Ecological Modelling; 242(14): 127-145.
7. Sahoo, S., Madan, K.J. 2013. Groundwater-level prediction using multiple linear regression and artificial neural network techniques: a

comparative assessment. Hydrogeology Journal; 21: 1865–1887.
8. Varis, O. 1997. Bayesian decision analysis for environmental and resource management. EnvironmentalModelling and Softwar; 12: 177–185.

Journal of Aqiufer and Qanat (semi-annual)

Vol.3, No.1, Spring & Summer, 2021

P 1-12

http://dx.doi.org/ 10.22077/jaaq.2021.1860

University of Birjand

Original Article:

Prediction of groundwater level using Bayesian Networks model in Hashtgerd Plain

Ebrahim Ebrahimi[1], Hamid Kardan Moghadam[*2], Abbas Roozbehani[3]

1- Msc Graduate of Abureihan Campus, University of Tehran, Iran

2- PhD of Water Resources, University of Tehran, Research Expert of Water Research Institute, Ministry of Energy, iran.

3- Assistant Professor, Irrigation and Drainage, Abureihan Campus, University of Tehran

*Corresponding Author E-mail: hkardan@ut.ac.ir

Received: 13-07-2019; Accepted: 04-08-2020

Abstract

The water crisis is one of the most important conflicts of the day, and Iran is also in the field of water resources from countries with tension. Following the drop in groundwater levels in aquifers, most of the country's plains have experienced water crisis and water scarcity and their groundwater aquifers have been limited. Among the water stresses, Hashtgerd Plain, which has been selected as the study area. In order to exit the plain from the aforementioned situation, water management should be undertaken with basic management measures, which requires the provision of water resources predictive tools through these measures, one of which is the Bayesian network; In this study, to create a water-borne water prediction model, the predicted variable, groundwater surface parameter in the following month and predictive variables, temperature, precipitation, evaporation, aquifer feeding, The discharge level of the aquifer and the groundwater level were considered in the current month. To reduce information uncertainty, two predictive approaches were used with categorized data (discrete data) and prediction with explicit data (continuous data), and by examining the precision of the pre- the aquifer nose by the two approaches referred to provides explicit precision approach to observational hydrographs. As a result, this approach has been selected as a superior approach for predicting groundwater level due to the application of management scenarios in which the values of the coefficient of explanation 0.94 and the RMSE is 0.207. The approach used in this study can be used in other water resources stresses.

Key words: Bayesian networks, water level prediction, groundwater management, Hashtgerd Plain.