نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۱، ص. ۱۵۳۴-۱۵۲۲

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 6, Jan.-Feb. 2013, p. 1522-1534

مدیریت کمی آبخوان بر اساس شبکه‌ی تصمیم بیزی

حدیث مهاجرانی[۱]- مجید خلقی[۲]- ابوالفضل مساعدی[۳*]- امیر سعدالدین[۴]- مهدی مفتاح هلقی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۶

چکیده

بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها در بسیاری از کشورها در سال‌های اخیر موجب افت و کاهش کیفیت آبخوان‌ها شده است. از این‌رو، استفاده از علوم و تکنولوژی جدید در مدیریت این منابع آبی ارزشمند اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از انجام این پژوهش، مدیریت کمی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با شبکه‌ی تصمیم بیزی است. دشت کردکوی در استان گلستان به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. این منطقه براساس مقادیر ضریب قابلیت انتقال و نیز ضریب هدایت الکتریکی در نقاط مختلف دشت به سه ناحیه تقسیم‌بندی شد. سپس پارامترهای شبکه بیزی در هر یک از این سه ناحیه به دست آمد. سناریوهای مدیریتی در قالب سه گروه اصلی و براساس دو متغیر تصمیم "الگوی کشت" و "نیاز آبی شرب" در هر یک از ناحیه‌ها طراحی و اجرا شد. نتایج اجرای سناریوهای مدیریتی، ویژگی‌های متغیرهای مختلف را در هر ناحیه به خوبی مشخص کرد. امکان ایجاد خسارات جبران ناپذیر بر سفره آب زیرزمینی این منطقه براساس نتایج حاصل و با توجه به خصوصیات آبخوان در نقاط مختلف دشت، در صورت اعمال بهره‌برداری‌های مدیریت نشده و غیراصولی، وجود دارد. نتایج نشان داد که استفاده از شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزی در مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب بنماید.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، تئوری بیز، نرم‌افزار نتیکا، احتمالات شرطی، استان گلستان

مقدمه

مسیر انجام مدیریت آب‌های زیرزمینی دربرگیرنده‌ی یک روند آموزشی سیاسی، قانونی و فنی شامل حفاظت از آب‌های زیرزمینی در یک منطقه جغرافیایی مشخص است. اولین قدم در مدیریت آب-های زیرزمینی مشخص کردن منابع آب موجود، نوع مصرف و مصرف‌کنندگان است. سپس منابع بر اساس یک طرح مدیریتی، به هر گروه از مصرف‌کنندگان تخصیص می‌یابد (۳). پورطبری و همکاران (۱) به مدیریت بهره‌برداری تلفیقی از آب‌های زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم دقت در پارامترهای آبخوان پرداختند. آن‌ها برای در نظر گرفتن عدم دقت از ترکیب منطق فازی و روش بهینه‌سازی مبتنی بر جستجوی تصادفی استفاده کردند. خلقی و همکاران (۱۱) مدیریت آب‌های زیرزمینی و سطحی را با تلفیق سه دیدگاه شبیه-سازی، بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره، انجام دادند. عبدلهم و همکاران (۲) پژوهشی در رابطه با مدیریت جامع آب‌های‌زیرزمینی در پروژه بزرگ یک رودخانه مصنوعی در لیبی با سه سناریو انجام دادند. آن‌ها از نرم‌افزار Vistas(Gv) و از اجراهای نرم‌افزار MODFLOW و MODFIC، برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در منطقه مورد نظر بهره گرفتند. تامرآیواز (۲۱) با اجرای یک الگوی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی توأم، به مدیریت منابع آب زیرزمینی پرداخت. کراچیان و همکاران (۱۰) از الگو بهینه‌سازی چندهدفه‌ی "الگوریتم ژنتیک ترتیبی غیر مسلط[۶] (NSGA)" در مدیریت منابع آب زیرزمینی استفاده کردند.

ابزارهای مختلفی در مدیریت منابع آب زیرزمینی، استفاده می‌شود. شبکه‌های تصمیم بیزی نیز به عنوان ابزاری برای مدیریت مطرح هستند که می‌توانند با رویکرد مدیریت یکپارچه دربرنامه‌های توسعه منابع آب مورد استفاده قرار گیرند. شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزی دارای این قابلیت هستند که داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز را از منابع مختلف جمع‌آوری کنند و همچنین می‌توانند اهداف و

۱و۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تهران
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: mosaedi@um.ac.ir)
۴- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

6- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

رویکردهای مختلف زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را با هم مجتمع نموده و در جهت ساخت و پشتیبانی از تصمیم در اختیار مدیران بخش‌های مربوطه قرار دهند (۷ و ۱۵). سعدالدین (۲۰)، اجزای هیدرولوژیک، اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی را در یک شبکه تصمیم بیزی در تحقیقی با هم ترکیب و از آن به منظور تهیه یک پروتوتیپ سامانه پشتیبان تصمیم برای مدیریت شوری آبخیز لیتل ریور[1] در کشور استرالیا استفاده نمود. الالا و همکاران (۱۶) با کاربرد روش شبکه‌های تصمیم بیزی به مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی پرداختند. رجیانی و ویرتس (۱۹) با کاربرد الگو-ی بیزی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های تصادفی موجود به پیش‌بینی سطح آب در سامانه پیش‌بینی جریان رود راین[2] پرداختند. فرمانی و همکاران (۹) با شبکه‌های بیزی به مدیریت بهینه‌ی آلودگی آب‌های زیرزمینی در کپنهاگ پرداختند. نتیجه‌ی به دست آمده، نشان از موفقیت آمیز بودن کاربرد الگوهای شبکه‌ی بیزی با روش بهینه‌سازی چندهدفه در مدیریت آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه بوده است. کارمونا و همکاران (۵) برای تهیه یک طرح مدیریت جامع منابع آب در اسپانیا، از الگو شبکه بیزی به همراه یک الگوی اقتصاد کشاورزی استفاده نمودند. کارمونا و همکاران (۶) برای مدیریت منابع آب زیرزمینی در دو مطالعه موردی در اسپانیا از شبکه تصمیم بیزی به عنوان یک سامانه پشتیبانی تصمیم استفاده کردند. رامین و همکاران (۱۸) برای تنظیم معیارهای کیفی آب از الگوی بیزی با تلفیق الگوهای پیش‌بینی کننده مختلف دیگر استفاده نمودند.

با توجه به کارائی استفاده از روش تصمیم‌گیری بیزی در مدیریت و در سایر علوم، هدف از این تحقیق آزمون و کاربرد سامانه تصمیم‌گیری بیزی در مدیریت کمی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است.

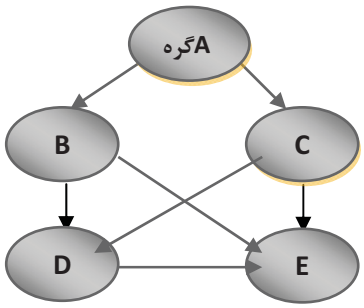
مواد و روش‌ها

شبکه‌های تصمیم بیزی

شبکه بیزی یک الگوی نموداری احتمالاتی است که مجموعه‌ای از متغیرها و احتمالات مربوط به هر یک را نشان می‌دهد. این شبکه، یک گراف مستقیم و غیر چرخه‌ای است که در آن، گره‌ها[3] در حکم متغیرهای مسئله هستند. ساختار یک شبکه بیزی در واقع یک نمایش نموداری از اثرات متقابل متغیرهایی است که باید الگوبندی شوند و علاوه بر این که کیفیت رابطه بین متغیرهای مسئله را نشان می‌دهد، کمیت ارتباط بین این متغیرها را نیز به نمایش می‌گذارد که به صورت عددی از توزیع احتمال مشترک[4] آن‌ها استفاده می‌کند (۸، ۱۳و ۱۴). یک شبکه‌ی بیزی را می‌توان این‌گونه تعریف کرد: "تعدادی گره که نشان‌دهنده آن دسته از متغیرهای تصادفی هستند که با یکدیگر در تعامل می‌باشند. این برهم‌کنش، بوسیله‌ی ایجاد ارتباط بین گره‌ها بیان می‌شود" (۴). این روش بر مبنای محاسبات احتمالات شرطی (قانون بیز[5])، است. معادله ۱، رابطه بیز را نشان می‌دهد.

$$P(a|b) = \frac{P(b|a) \times P(a)}{P(b)} \qquad (۱)$$

که در آن، P(a)، احتمال وقوع پیشامد a، P(b)، احتمال وقوع پیشامد b، P(b|a)، احتمال شرطی پیشامد b است به شرطی که پیشامد a اتفاق افتاده باشد و P(a|b)، احتمال شرطی پیشامد a است. هر شبکه‌ی بیزی از سه جزء اصلی تشکیل شده است: مجموعه‌ای از گره‌ها (متغیرهای سامانه مدیریتی)، مجموعه‌ای از بندها (روابط سببی بین متغیرها) و مجموعه‌ای از احتمالات. شکل ۱، نمونه‌ای از گراف شبکه بیزی را به صورت چرخه‌ای و مستقیم نشان می‌دهد.

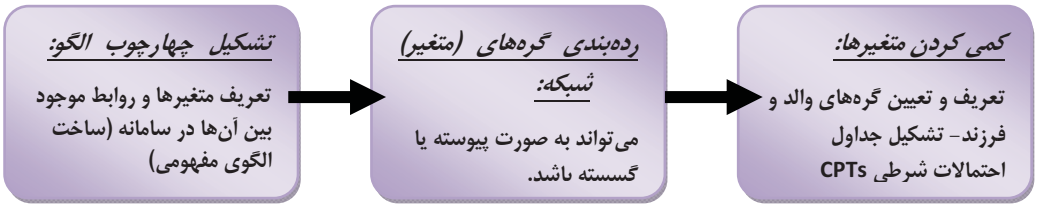


شکل ۱- نمایش گراف چرخه‌ای و مستقیم شبکه بیزی

در حالت کلی، گره‌ها یا والد[6] هستند یا ولد (فرزند[7]). یک گره فرزند می‌تواند توسط چندین والد، تولید شده باشد. گره‌هایی که قبل از آن‌ها گره دیگری در گراف وجود دارد با توزیع احتمال شرطی[8] تعریف می‌شوند. در غیر این صورت با احتمال آغازین (اولیه)[9] آن‌ها بیان می‌شوند. احتمالات مربوط به پایین‌ترین بخش در شبکه بیزی از طریق قانون احتمال کل[10] به دست می‌آید. احتمالات مرتبط با بخش‌های بالایی شبکه، بر اساس قانون بیز هستند (۱۲ و ۲۱).

شکل ۲، مراحل ساخت و توسعه‌ی الگو شبکه‌ی بیزی را به صورت خلاصه بیان می‌کند (۱۷):

1- Little River
2- Rhine
3- Node
4- Joint Probability
5- Bayes theorem
6- Parent
7- Child
8- Conditional probability
9- Prior probability
10- Total Probability



شکل ۲- نمایش مراحل ساخت و توسعه‌ی شبکه بیزی

می‌توان برای به دست آوردن توابع سود[1] و هزینه[2] و جداول CPT در مواردی که داده‌های واقعی وجود ندارد ، از تحلیل‌های اقتصادی به همراه قضاوت کارشناسان استفاده کرد (۱۲).

بسته‌های نرم‌افزاری متعددی برای ساخت الگوهای شبکه‌ی بیزی وجود دارند که در این تحقیق از نرم‌افزار نتیکا (Netica) استفاده شده است. Netica به صورت گسترده‌ای در مورد شبکه‌های بیزی به کار می‌رود. این نرم‌افزار، تحت ویندوز است و می‌تواند مجموعه‌ی داده‌ها را برای تعیین احتمالات شرطی، آموزش دهد. ابزار رسم گره‌ها و پیکان‌های ارتباطی به تفکیک نوع گره –اعم از گره تصمیم، گره وضعیت و گره ارزش– در نتیکا موجود است. جداول احتمال شرطی در محیط نتیکا پس از رسم گره‌ها و ایجاد ارتباط بین آن‌ها با پیکان‌ها، تکمیل می‌گردد و سپس، شبکه بیزی مربوط، با نرم‌افزار، اجرا[3] می‌شود. احتمالات پسین مربوط به گره‌های فرزند به ازای حالات مختلف متغیر تصمیم پس از هر بار اجرای شبکه با نتیکا، به دست می‌آید.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه برای اجرای بهتر سیاست‌های مدیریتی برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه و با توجه به خصوصیات زمین شناسی و پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی و همچنین ضرایب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی، به سه ناحیه[4] تقسیم شد. این تقسیم بندی با استفاده از درون‌یابی پارامترهای یادشده در سامانه اطلاعات جغرافیایی و در محدوده مرز منطقه و از شمال به جنوب منطقه صورت گرفت. هر ناحیه از نظر خصوصیات زمین‌شناسی و همچنین پارامترهای کیفی و کمی آب زیرزمینی، تا حدود زیادی دارای خصوصیات یکسان و مشابه هستند. ایجاد شبکه تصمیم‌گیری بیزی جداگانه در هر یک از سه ناحیه، به مدیران و تصمیم‌گیرندگان امکان اتخاذ تصمیم‌های مناسب و واقع‌بینانه‌تری را می‌دهد، زیرا می‌توان پس از هر مرتبه اجرای مدل، با توجه به شرایط متغیرهای مسئله در هر ناحیه تصمیم‌گیری نمود. با طراحی سناریوهای مدیریتی مناسب، تصمیم‌های اجرا نشده در زمینه مدیریت آب‌های زیرزمینی دشت کردکوی، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مراحل انجام تحقیق را می‌توان به صورت خلاصه در شکل ۳ مشاهده کرد.

موقعیت منطقه مطالعاتی

دشت کردکوی به مساحت تقریبی ۲۱۴ کیلومتر مربع، منطقه مطالعاتی است. این منطقه در طول جغرافیایی ´۱-°۵۴ تا ´۱۶-°۵۴ و عرض جغرافیایی ´۴۵-°۳۶ تا ´۵۳-°۳۶ قرار دارد. این منطقه به دو بخش کوهستانی در جنوب و نواحی پست (دشت هموار) در قسمت شمالی تقسیم می‌شود. حوضه آبریز محدوده عمدتاً در دو ناحیه (زون) زمین‌شناسی البرز و فرو نشست خزر واقع شده است. این محدوده از شمال به محور رودخانه قره سو، از جنوب به ارتفاعات جنوبی کردکوی، از غرب به محور رودخانه باغو تا دریا و از شرق به محور رودخانه شموشک منتهی می‌شود. آبرفت دشت در حاشیه ارتفاعات از قلوه سنگ، شن و ماسه تشکیل شده و به سمت شمال از اندازه دانه‌ها کاسته شده و به لایه‌های رسی ریزدانه منتهی می‌شود. چالش‌های عمده موجود در منابع آب زیرزمینی منطقه را می‌توان افت زیاد در نواحی جنوبی و کیفیت نامطلوب آب‌های زیرزمینی در نواحی شمال و شمال غربی دانست. افت سطح آب‌های زیرزمینی در نواحی جنوب کردکوی، در بعضی از سال‌ها تا ۲/۵ متر مشاهده شده است. منابع آب زیرزمینی از کیفیت مطلوبی برخوردار هستند و به همین دلیل منابع آب زیرزمینی نواحی جنوبی به عنوان میدان تامین آب شرب منطقه مطرح است. کیفیت منابع آب زیرزمینی به تدریج با نزدیک‌تر شدن به نواحی شمال و شمال غربی که محل تخلیه آب‌های زیرزمینی منطقه است، نامطلوب‌تر شده و مقدار هدایت الکتریکی در برخی نقاط از مرز ۳۰۰۰ میکروموهوس بر سانتی‌متر تجاوز کرده است. شکل ۴، نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

تقسیم‌بندی منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی به سه ناحیه تقسیم شد تا برنامه مدیریت آب‌های زیرزمینی در منطقه به نحو بهتری اجرا گردد. ناحیه یک شامل

1- Benefit
2- Cost
3- Compile.
4- Zone

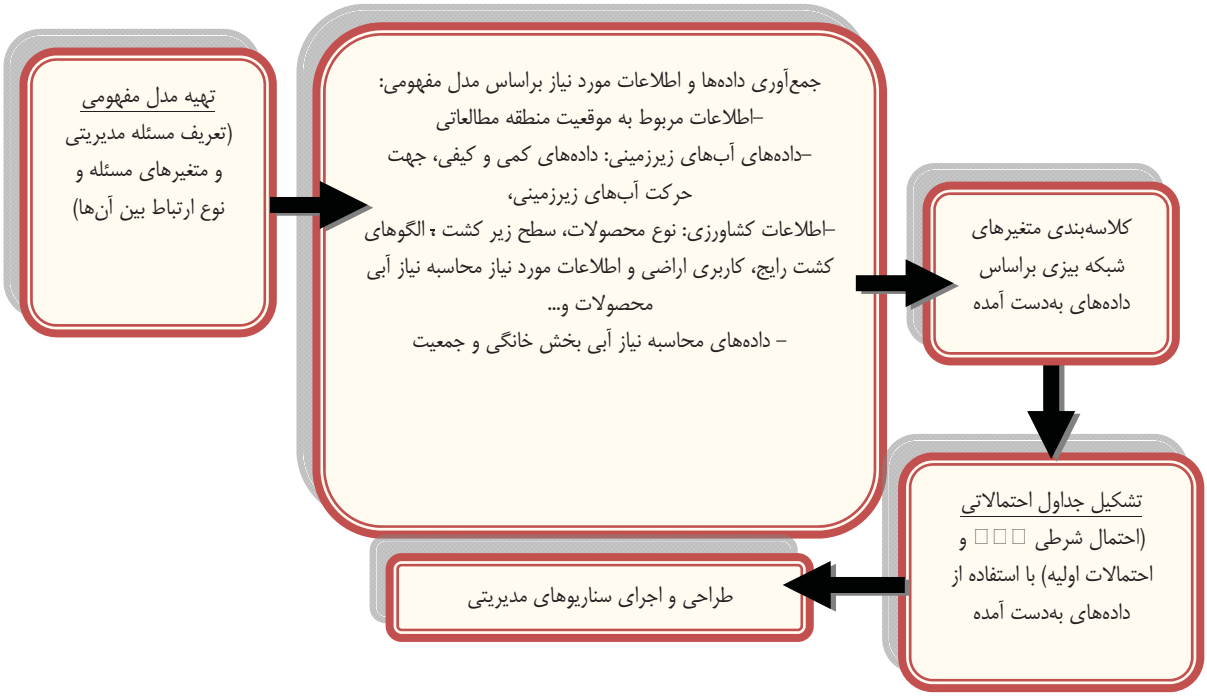
بخش‌های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی، ناحیه دو شامل بخش‌های میانی منطقه از غرب تا شرق منطقه و ناحیه سه شامل قسمت‌های شمالی و شمال غربی است که در قسمت شمال غربی آن خلیج گرگان قرار دارد. جدول ۱، مقادیر مربوط به ضریب هدایت الکتریکی و ضریب قابلیت انتقال حاصل از پهنه‌بندی در محیط GIS و نیز مساحت را در هر یک از سه ناحیه، نشان می‌دهد.

مدل (الگوی) مفهومی

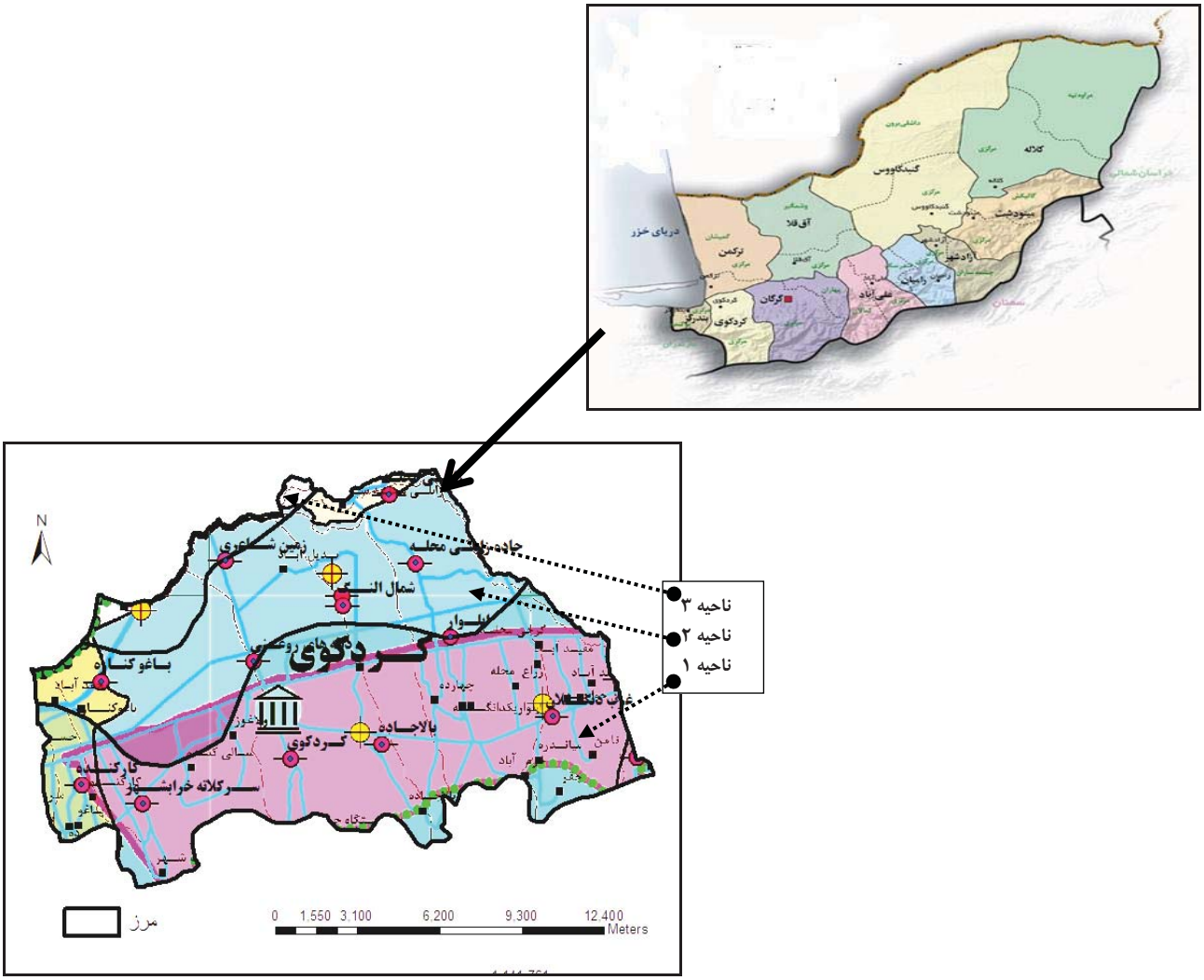
دو الگوی مفهومی جداگانه برای مدیریت آب‌های زیرزمینی نواحی سه‌گانه در منطقه مطالعاتی مورد نظر، تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است. نواحی دو و سه، یک مدل مفهومی و مدیریت منابع آب زیرزمینی ناحیه یک نیز یک مدل مفهومی جداگانه دارد. به دلیل این که نیاز آبی در بخش خانگی و شرب در کل منطقه، از منابع آب زیرزمینی ناحیه یک تامین می‌شود، الگوی مفهومی مربوط به ناحیه یک، دارای گرهی با نام "نیاز آبی بخش خانگی" است. در حالی که الگوی مفهومی مربوط به نواحی دو و سه، فاقد این گره استف ولی سایر گره‌ها در هر دو الگوی مفهومی مشترک هستند. شکل ۵، دو الگو مفهومی مسئله مدیریتی را نشان می‌دهد که تنها تفاوت این دو الگو در گره "نیاز آبی بخش خانگی" است.

برآورد و ارزیابی داده‌ها

تکمیل شبکه تصمیم‌گیری بیزی منوط به تشکیل جداول احتمال شرطی است. تکمیل این جدول‌ها مشروط به تکمیل اطلاعات مربوط به متغیرها (گره‌های شبکه) است. دو نوع الگوی کشت (A و B) برای متغیر (گره) "الگوی کشت" موجود در الگوی مفهومی، در منطقه، پیشنهاد شد. این دو الگوی کشت برای داده‌های کشت براساس مقادیر حداقل و حداکثر درصد کشت هر محصول در منطقه طی دوره زمانی موجود ، پیشنهاد شده است. مقدار حداقل درصد کشت برای گندم و جو و حداکثر درصد کشت برای برنج و پنبه در الگوی A در منطقه اتفاق افتاده است. این ترتیب در الگوی B برعکس است. الگوی کشت به عنوان "متغیر تصمیم" در شبکه تصمیم‌گیری بیزی مطرح است. زیرا براساس الگوی مفهومی شبکه تصمیم بیزی، سایر متغیرهای مسأله متاثر از تغییرات متغیر الگوی کشت است. جدول ۲، دو نوع الگوی کشت مفروض را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمایش خلاصه روش تحقیق



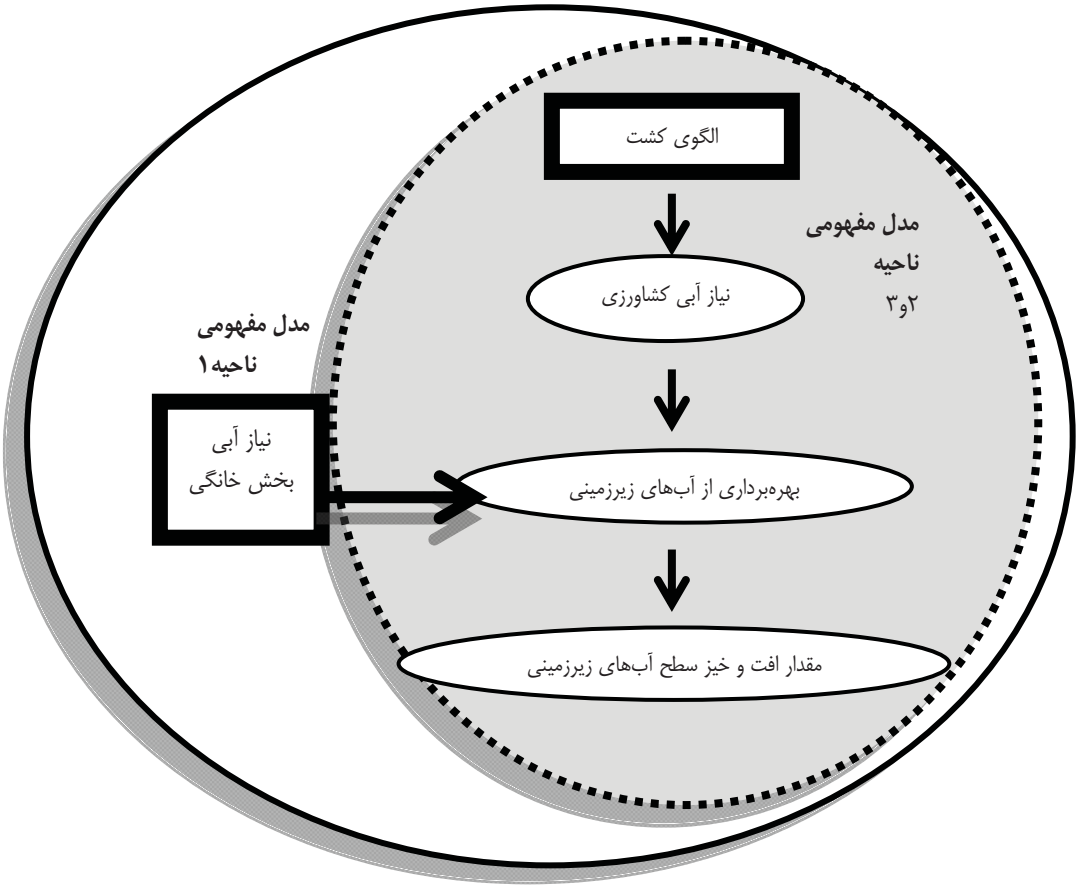
شکل ٤- محدوده و موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در استان گلستان و در محدوده مرز تعیین شده (به ترتیب از راست به چپ)

جدول ۱- مقادیر ضریب هدایت الکتریکی (میکرومهوس بر سانتی‌متر)، ضریب قابلیت انتقال (مترمربع در روز) و مساحت (کیلومترمربع) در هر یک از سه ناحیه

ناحیه	ضریب هدایت الکتریکی	ضریب قابلیت انتقال	مساحت
یک	۶۰۰-۱۲۰۰	۵۵۰-۷۰۰	۱۲۶/۸۴
دو	۱۲۰۰-۲۰۰۰	۴۰۰-۵۵۰	۷۶/۳۷
سه	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۱۳/۷۲

جدول ۲- الگوی‌های کشت پیشنهادی

توع محصول	الگوی کشت A	الگوی کشت B
گندم	٪۶۰	٪۷۰
جو	٪۲	٪۵
برنج	٪۲۵	٪۱۵
پنبه	٪۱۳	٪۱۰



شکل ۵- نمایش دو مدل مفهومی از مسئله مدیریتی در نواحی سه‌گانه

واحد زمانی بررسی روند تغییرات متغیرهای منابع آب زیرزمینی منطقه در این تحقیق، به صورت سالانه در نظر گرفته شده است. براساس دو نوع الگوی کشت مفروض، نیاز آبی محصولات مورد نظر توسط مدلCROPWAT به دست آمد. محدوده اراضی کشاورزی واقع در هر ناحیه با نقشه کاربری اراضی منطقه، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مشخص شد. مساحت این اراضی در هریک از سه ناحیه به دست آمد و در نهایت، کل نیاز آبی در بخش کشاورزی در هر یک از ناحیه‌ها و مطابق با هر الگوی کشت محاسبه شد. گره نیاز آبی بخش خانگی نیز یک متغیر تصمیم است. گره نیاز آبی بخش خانگی به عنوان بخشی از نیاز آبی و برای اعمال تاثیر نیاز آبی خانگی بر مقدار بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در ناحیه یک، به صورت یک گره ورودی به سمت گره "بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی" وارد شده و مستقیما بر آن تاثیر می‌گذارد. کل نیاز آبی در بخش شرب و خانگی، پس از برآورد جمعیت منطقه و مقدار سرانه مصرف در بخش شرب و سایر مصارف خانگی برای کل منطقه محاسبه شد (۹/۴۳ میلیون مترمکعب در سال). از آمار و اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی و شرب موجود در منطقه برای بررسی و برآورد مقدار "بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی" منطقه، استفاده شده است. مقدار بهره‌برداری سالانه (میلیون مترمکعب) پس از تفکیک چاه‌های بهره‌برداری هر ناحیه از منابع آب زیرزمینی هر یک از ناحیه‌ها برآورد شد. ناحیه یک (به دلیل دارا بودن مساحت بیشتر و وجود تعداد چاه‌های بهره‌برداری شرب و کشاورزی بیشتر) دارای بیشترین مقدار بهره‌برداری سالانه در منطقه است. ناحیه سه نیز به دلیل دارا بودن کمترین مساحت و نیز کمترین تعداد چاه‌های بهره-برداری، نسبت به دو ناحیه دیگر دارای کمترین مقدار تخلیه سالانه در منطقه مطالعاتی است. شبکه تیسن چاه‌های مشاهده‌ای موجود در مرز محدوده مطالعاتی برای بررسی روند "افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی" منطقه تهیه، سپس هیدروگراف واحد سطح تراز آب‌های زیرزمینی رسم شد. بوسیله هیدروگراف واحد به دست آمده، مقدار افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی در هر ناحیه (برحسب متر در سال)، از سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ برآورد شد.

طبقه‌بندی مقادیر هر یک از متغیرهای شبکه بیزی

مسأله‌ی تعیین تعداد و مقادیر طبقات (سطوح[1]) مختلف هر متغیر در شبکه بیزی، یک مسأله‌ی کارشناسی است. تعداد سطوح و مقادیر هر سطح، برای هر گره شبکه بیزی پس از مشورت با کارشناسان و اعمال نظرات کارشناسی، معین شد. گره الگوی کشت به عنوان متغیر تصمیم، به دو سطح A و B تقسیم که این دو سطح همان دو نوع الگوی کشت ارائه شده هستند. سه سطح برای مقادیر نیاز آبی بخش کشاورزی تعیین شد. با توجه به مقادیر به دست آمده برای نیاز آبی کشاورزی در هر ناحیه، سطوح مختلف این گره به گونه‌ای انتخاب شدند که مقادیر نیاز آبی هر ناحیه با یکی از سطوح هم‌خوانی داشته باشند. جدول ۳، مقادیر مربوط به هر سطح از گره نیاز آبی بخش کشاورزی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر مربوط به سطوح مختلف گره نیاز آبی کشاورزی

سطح	دامنه تغییرات (میلیون مترمکعب)
۱	۱-۱۵
۲	۱۵-۵۰
۳	۵۰-۷۵

مقدار واقعی نیاز آبی خانگی برابر ۹/۴۳ میلیون مترمکعب در سال است. بنابراین برای گره نیاز آبی بخش خانگی دو سطح در نظر گرفته شد. سطح "کمتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال"، شرایط فعلی منطقه است. سطح "بیشتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال"، شرایط جمعیت و نیاز آبی خانگی منطقه را در آینده در نظر گرفته است. جدول ۴، سطوح مربوط به گره نیاز آبی در بخش خانگی را نشان می‌دهد.

جدول ٤- طبقه‌بندی گره نیاز آبی بخش خانگی

سطح	نیاز آبی (میلیون متر مکعب)
۱	کمتر از ۱۰ میلیون متر مکعب در سال
۲	بیشتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال

سه سطح متفاوت برای گره "بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی" براساس مقادیر به دست آمده برای بهره‌برداری سالانه از منابع آب زیرزمینی هر ناحیه، در نظر گرفته شد. جدول ۵، سطوح مربوط به گره بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و مقادیر هر سطح را نشان می‌دهد.

دامنه تغییرات مقادیر افت (درایه اول) و خیز (درایه دوم) سطح آب‌های زیرزمینی در مورد ناحیه‌های یک، دو و سه به ترتیب برحسب متر برابر (۱/۲۱+ ، ۲/۴۲-)، (۱+ ، ۰/۲۸-) و (۰/۷+ ، ۰/۶۶-) است.

1- States

بر این اساس و با مشورت با کارشناسان، تعداد و دامنه سطوح گره "افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی" به دست آمد. جدول ۶ سطوح تعیین شده برای طبقه‌بندی گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد.

جدول ٥- سطوح گره بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی

سطح	دامنه تغییرات (میلیون متر مکعب)
کم	۰-۱۵
متوسط	۱۵-۲۵
زیاد	۲۵-۴۰

جدول ٦- مقادیر مربوط به سطوح گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی

سطح	دامنه تغییرات (متر)
افت زیاد	(-۱) - (-۲/۵)
افت کم	(۰) - (-۱)
خیز	(۰) - (۱/۵)

دو سطح "افت زیاد" و "افت کم"، دلالت بر نزول و افت سطح آب‌های زیرزمینی در دو دامنه مختلف دارند. سطح "خیز"، مقدار خیز و صعود سطح آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. این طبقه‌بندی، براساس واقعیت موجود در مورد تغییرات سطح تراز آب‌های زیرزمینی منطقه در دوره آماری مورد نظر و پس از بررسی‌های لازم و اعمال نظر کارشناسان به‌دست آمده است.

تشکیل جداول احتمال شرطی

احتمالات شرطی بین متغیرها و "جداول آن‌ها" پس از "تعریف الگوی مفهومی" ، "تشریح متغیرهای مسئله" و "طبقه‌بندی مقادیر مربوط به هر متغیر در سطوح مختلف"، تشکیل می‌شود. گره الگوی کشت، تحت تاثیر هیچ گره والدی[2] در شبکه قرار ندارد و یک متغیر مستقل[3] ورودی[4] است. احتمالات مربوط به این گره، احتمالات اولیه[5] است. به عبارت دیگر احتمالات اولیه مربوط به گره الگوی کشت، شامل احتمالی است که نشان می‌دهد در منطقه مورد نظر احتمال اجرای هر یک از الگوهای کشت A و B چه مقدار است. این احتمال بر حسب درصد بیان می‌شود. آمار محصولات کشت شده و مساحت زیر کشت آن‌ها در منطقه از پایگاه اطلاعات و آمار سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان اخذ شد. براساس اطلاعات موجود در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۹، محصولاتی که بصورت غالب در منطقه

2- Parent
3- Independent
4- Input Node
5- Prior Probability

کشت شده‌اند شامل گندم، جو، برنج، پنبه و انواع حبوبات می‌باشد. درصد مساحت کشت هر یک از این محصولات در منطقه در دوره آماری مورد نظر بصورت سالانه بدست آمده و مورد بررسی قرار گرفت که دو نوع الگوی کشت پیشنهاد شد. حداقل و حداکثر درصد مساحت کشت برای هر یک از این محصولات در این دوره آماری، معین شد. پس از بررسی و پیشنهاد الگوی کشت در منطقه، براساس داده‌های کشت در دوره آماری مذکور –درصدهای مساحت کشت محصولات مختلف الگوی کشت در سال‌های مختلف دوره آماری– و تفکیک براساس دو الگوی کشت پیشنهاد شده، احتمال وقوع هر یک از الگوهای کشت A و B در دوره آماری بدست آمد. جدول ۷، مقدار احتمالات اولیه مربوط به متغیر الگوی کشت در شبکه بیزی را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقادیر احتمالات اولیه گره الگوی کشت

الگوی کشت	احتمال اولیه (درصد)
A	۶۴
B	۳۶

تغییرات گره نیاز آبی کشاورزی، به طور مستقیم مشروط به تغییرات گره الگوی کشت است. تغییرات گره بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، مشروط به تغییرات گره نیاز آبی بخش کشاورزی (در نواحی ۲ و ۳) و نیاز آبی در بخش کشاورزی و خانگی (در ناحیه ۱) است. مستقیما هیچ نوع داده مشاهده‌ای و یا داده‌های مستخرج از الگوی شبیه‌سازی برای تعیین احتمالات شرطی بین این سه گروه از گره‌ها، موجود نیست، بنابراین، از نظرات و اطلاعات کارشناسی و اطلاعات به دست آمده در مورد متغیرهای الگوی کشت، نیاز آبی و بهره‌برداری برای تشکیل جدول‌های احتمال شرطی مربوط به آن‌ها استفاده شد.

مقدار نیاز آبی هر یک از ناحیه‌ها و مطابق هر یک از الگوهای کشت مفروض، با وجود ارائه دو نوع الگوی کشت ثابت برای کل منطقه، به دلیل تفاوت در مساحت کشاورزی هر ناحیه، متفاوت است. به عنوان مثال، الگوی کشت A در هر یک از ناحیه‌ها مقدار نیاز آبی متفاوتی دارد. این مقدار در ناحیه سه و دو کمتر از مقدار مشابه در ناحیه یک است. بنابراین، مقدار احتمال شرطی گره نیاز آبی کشاورزی در هر یک از ناحیه‌ها متفاوت است. جدول ۸، احتمال شرطی گره نیاز آبی کشاورزی را به ترتیب در ناحیه‌های یک، دو و سه نشان می‌دهد.

مطابق با الگوی مفهومی مربوط به ناحیه یک، گره دیگری علاوه بر گره نیاز آبی در بخش کشاورزی، به عنوان گره نیاز آبی خانگی وجود دارد که تاثیر مقدار نیاز آبی موجود در بخش خانگی و شرب را بر گره بهره‌برداری نشان می‌دهد.

جدول ۸- احتمال شرطی گره نیاز آبی کشاورزی و الگوی کشت در نواحی سه‌گانه (درصد)

ناحیه	الگوی کشت	نام سطوح گره نیاز آبی کشاورزی		
		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
ناحیه ۱	A	۰	۱۰	۹۰
	B	۰	۲۰	۸۰
ناحیه ۲	A	۰	۷۵	۲۵
	B	۰	۸۵	۱۵
ناحیه ۳	A	۸۵	۱۵	۰
	B	۹۰	۱۰	۰

این گره، دو سطح دارد و می‌تواند با اجرای شبکه بیزی، تاثیر تغییر نیاز آبی خانگی را در شرایط فعلی (کمتر از ۱۰ میلیون مترمکعب) و در آینده (بیشتر از ۱۰ میلیون مترمکعب) با افزایش جمعیت نشان داده و مورد بررسی قرار دهد. چون مقدار واقعی نیاز آبی بخش خانگی در منطقه، ۹/۴ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد، احتمال اولیه مربوط به سطح "کمتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال" برابر ۱۰۰ درصد بوده و احتمال این که این مقدار بیشتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال باشد، صفر است. جدول ۹، جدول احتمال اولیه مربوط به گره نیاز آبی شهری را در ناحیه یک نشان می‌دهد.

جدول ۹- احتمال اولیه مربوط به گره نیاز آبی شهری در ناحیه یک

نیاز آبی بخش خانگی	احتمال اولیه (درصد)
کمتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال	۱۰۰
بیشتر از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال	۰

مقادیر احتمالات شرطی "گره بهره‌برداری و گره نیاز آبی بخش کشاورزی" و نیز احتمالات شرطی "گره بهره‌برداری و گره نیاز آبی بخش شرب و خانگی"، با اعمال نظر کارشناسان امر به دست آمده است. این کار براساس داده‌های موجود، مقادیر تخلیه سالانه محاسبه شده در منطقه و سایر ملاحظاتی که براساس اطلاعات موجود و واقعیات منطقه هستند، صورت گرفته است. این یکی از مزایای استفاده از شبکه‌های بیزی است که در مواقع فقدان داده‌ی مشاهداتی، امکان ادامه روند مسئله مدیریتی و اتخاذ تصمیم مناسب را به مدیران می‌دهد.

جدول احتمال شرطی گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی "براساس داده‌های مشاهده‌ای موجود"، به‌دست آمده است. جدول ۱۰، احتمالات شرطی "گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی و گره بهره‌برداری" را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- احتمال شرطی گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی و بهره‌برداری (درصد)

بهره‌برداری	افت زیاد	افت کم	خیز
کم	۰	۲۵	۷۵
متوسط	۰	۳۰	۷۰
زیاد	۲۹	۱۴	۵۷

سناریوهای مدیریتی

می‌توان تصمیم‌های مناسبی با طراحی و اجرای سناریوهای مدیریتی در هر ناحیه و بررسی اثرات آن‌ها بر متغیرهای شبکه بیزی، در مورد مدیریت آب‌های زیرزمینی در هر ناحیه اتخاذ کرد.

سناریوهای مدیریتی طراحی شده، شامل ۳ گروه سناریوی اصلی است. گروه اول شامل "سناریوهای حفظ وضعیت موجود منابع آب زیرزمینی" و دو گروه دیگر، تغییرات مختلف را در مورد متغیرهای "الگوی کشت" و "نیاز آبی بخش خانگی"، بررسی می‌کند. گره‌های الگوی کشت و نیاز آبی بخش خانگی، براساس دو الگوی مفهومی تهیه شده، از نوع گره‌های ورودی (والد ورودی) بوده و متغیرهای مدیریت‌پذیر هستند. سه گروه سناریوی پیشنهادی در هر یک از ناحیه‌ها اجرا شده است. جدول ۱۱، تقسیم‌بندی این سه گروه سناریوی مدیریتی را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از اجرای سناریوهای گروه ۲ و ۳ در هر مرحله، با نتایج سناریوهای گروه ۱ مقایسه می‌شود تا بتوان نتایج تصمیم‌های اجرا نشده را با شرایط کنونی آب‌های زیرزمینی مقایسه کرد. این شیوه سبب می‌شود که مدیران و تصمیم‌گیرندگان بتوانند به اتخاذ سیاست‌های مناسب در رابطه با بهبود و حفظ وضعیت منابع آب زیرزمینی منطقه بپردازند. سناریوهای گروه ۳، فقط در ناحیه یک اجرا خواهد شد. زیرا گره نیاز آبی خانگی فقط در ناحیه یک وجود دارد. سناریوهای این گروه به بررسی اثر تغییر مقدار نیاز آبی بخش خانگی منطقه در آینده –افزایش نیاز آبی خانگی به بیش از ۱۰ میلیون مترمکعب در سال– می‌پردازد و با رویکردی به آینده به بررسی اثرات این رویکرد بر سایر متغیرهای مسئله مدیریت آب‌های زیرزمینی منطقه و تصمیم‌های اجرا نشده مربوط به آن پرداخته است. جدول ۱۲، احتمالات نهایی گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی را به ترتیب در سناریوهای گروه ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهند.

شکل‌های ۶ و ۷ و ۸، نمودار مقایسه مقادیر احتمالات نهایی مربوط به گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی را با اجرای سناریوهای مختلف نشان می‌دهند.

احتمالات نهایی گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی در شرایط فعلی نشان می‌دهد که احتمال وقوع بیشترین افت در سطح آب‌های زیرزمینی در ناحیه یک بیشتر است. زیرا ارتفاعات جنوب منطقه مطالعاتی، محل تغذیه آب‌های زیرزمینی منطقه است و جهت جریان آب‌های زیرزمینی در منطقه از سمت جنوب به شمال صورت می‌گیرد. منابع آب زیرزمینی ناحیه یک در حاشیه ارتفاعات قرار دارد و مقدار تخلیه بیشتری که از چاه‌های بهره‌برداری این منطقه صورت می‌گیرد. ضمن آنکه جهت جریان آب‌های زیرزمینی از ناحیه یک به سمت ناحیه دو و سه می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده، احتمال وقوع "افت زیاد" در سطح آب‌های زیرزمینی ناحیه ۱ بیشتر است. بنابراین با نزدیک‌تر شدن به نواحی شمالی و ناحیه سه، به تدریج سطح آب‌های زیرزمینی بالاتر می‌آیند، زیرا مقدار آب‌های زیرزمینی تخلیه شده توسط چاه‌های بهره‌برداری این منطقه به دلیل ورود جریان آب‌های زیرزمینی از سمت ارتفاعات جنوبی، تقریبا جبران‌پذیر هستند و به طور طبیعی باعث صعود سطح آب‌های زیرزمینی در نواحی شمالی خواهند شد. به این ترتیب براساس نتایج حاصل از احتمالات نهایی به دست آمده می‌توان گفت که بیشترین احتمال وقوع "خیز" و صعود در سطح آب‌های زیرزمینی ناحیه سه رخ می‌دهد. با توجه به احتمالات نهایی به دست آمده برای گره افت و خیز، می‌توان نتیجه گرفت که این احتمالات با واقعیت موجود و شرایط منابع آب زیرزمینی در منطقه مطابقت دارد.

جدول ۱۱- تقسیم‌بندی سناریوهای مدیریتی

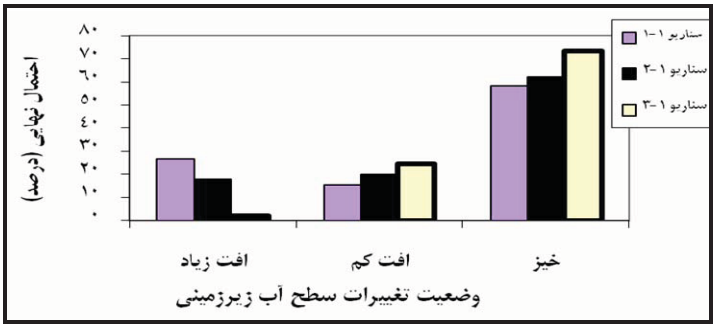
	نام سناریو	توضیحات
سناریوهای گروه ۱	۱-۱	حفظ وضعیت موجود در ناحیه ۱
	۱-۲	حفظ وضعیت موجود در ناحیه ۲
	۱-۳	حفظ وضعیت موجود در ناحیه ۳
سناریوهای گروه ۲	۲-۱	الگوی کشت A ناحیه ۱
	۲-۲	الگوی کشت A ناحیه ۲
	۲-۳	الگوی کشت A ناحیه ۳
	۲-۴	الگوی کشت B ناحیه ۱
	۲-۵	الگوی کشت B ناحیه ۲
	۲-۶	الگوی کشت B ناحیه ۳
سناریوهای گروه ۳	۳-۱	نیاز آبی خانگی بیشتر از MCM ۱۰ در سال
	۳-۲	نیاز آبی خانگی بیشتر از MCM ۱۰ _ الگوی کشت A
	۳-۳	نیاز آبی خانگی بیشتر از MCM ۱۰ _ الگوی کشت B

جدول ۱۲- احتمالات نهایی گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی در سناریوهای مدیریتی (درصد)

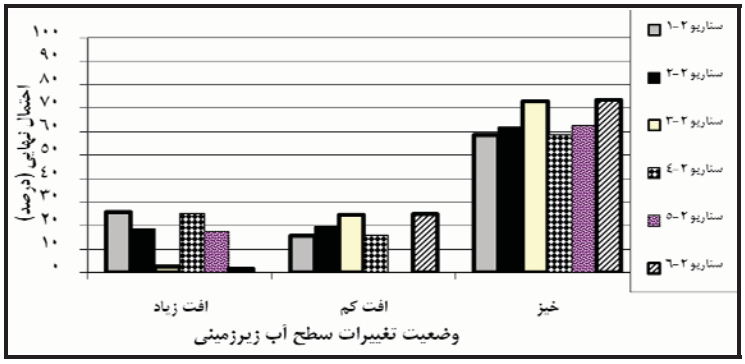
سناریوهای گروه ۱ (حفظ وضعیت موجود)	نام سطح / نام سناریو	۱-۱	۲-۱	۳-۱
	افت زیاد	۲۵/۴	۱۸	۱/۹۹
	افت کم	۱۶	۱۹/۹	۲۴/۷
	خیز	۵۸/۶	۶۲/۱	۷۳/۳
	دامنه تغییرات (متر)	۱/۱ ± ۰/۰۸۵-	۱ ± ۰/۰۶	۰/۷۳ ± ۰/۴

سناریوهای گروه ۲	نام سطح / نام سناریو	۱-۲	۲-۲	۳-۲	٤-۲	٥-۲	٦-۲
	افت زیاد	۱۵/۸	۱۸/۵	۲/۳۹	۲۵/۲	۱۷/۵	۱/۵۹
	افت کم	۱۵/۲	۱۹/۶	۲۴/۶	۱۶/۱	۲۰/۱	۲۴/۸
	خیز	۵۸/۵	۶۱/۹	۷۳	۵۸/۷	۶۲/۴	۷۳/۶

سناریوهای گروه ۳	نام سطح / نام سناریو	۱-۳	۲-۳	۳-۳
	افت زیاد	۲۷/۱	۲۷/۳	۲۷
	افت کم	۱۵	۱۵	۱۵/۱
	خیز	۵۷/۸	۵۷/۸	۵۷/۹



شکل ٦- مقایسه نتایج حاصل از اجرای سناریوهای گروه ۱ (مقادیر افت و خیز در هر یک از ناحیه‌ها در وضعیت موجود)



شکل ۷- مقایسه نتایج حاصل از اجرای سناریوهای گروه ۲

نتایج حاصل از سناریوهای مدیریتی گروه ۲ نشان می‌دهد که تغییر نوع الگوی کشت در هر یک از ناحیه‌ها، اثر قابل توجهی بر تغییرات مقدار نیاز آبی کشاورزی خواهد داشت. با توجه به احتمالات به دست آمده نتیجه گرفته می‌شود که انتخاب و اعمال الگوی کشت A در هر ناحیه در مقایسه با الگوی کشت B، مقدار نیاز آبی کشاورزی را نسبت به وضعیت موجود به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

در اثر اعمال الگوی کشت A در هر یک از ناحیه‌ها در مقایسه با الگوی کشت B، مقدار بهره‌برداری افزایش یافته و احتمال وقوع "افت زیاد" در سطح آب‌های زیرزمینی نیز در مقایسه با شرایط کنونی بیشتر خواهد شد. اعمال الگوی کشت A در ناحیه یک نسبت به شرایط موجود، باعث کاهش بیشتر سطح آب‌های زیرزمینی شده و منجر به افت بیشتری می‌شود. در حالی‌که اعمال الگوی کشت B در مقایسه با شرایط کنونی، منجر به افت کمتری در سطح آب‌های زیرزمینی ناحیه یک خواهد شد. بنابراین تغییرات مقدار گره افت و خیز با تغییر الگوی کشت نسبت به وضعیت کنونی در منابع آب زیرزمینی ناحیه یک از شدت بیشتری برخوردار است و اعمال الگوی کشت با نیاز آبی بیشتر، احتمال وقوع "افت زیاد" را در سطح آب‌های زیرزمینی ناحیه یک نسبت به شرایط فعلی افزایش می‌دهد.

با اجرای سناریوهای گروه ۳ و افزایش جمعیت و نیاز آبی خانگی در آینده، در مورد گره افت و خیز سطح آب‌های زیرزمینی، احتمال وقوع "افت زیاد" نسبت به وضعیت موجود، افزایش خواهد یافت. استفاده از الگوی کشت با نیاز آبی بیشتر (A) همراه با در نظر گرفتن افزایش نیاز آبی بخش خانگی و افزایش جمعیت در آینده، احتمال وقوع "افت زیاد" را نسبت به وضعیت کنونی افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

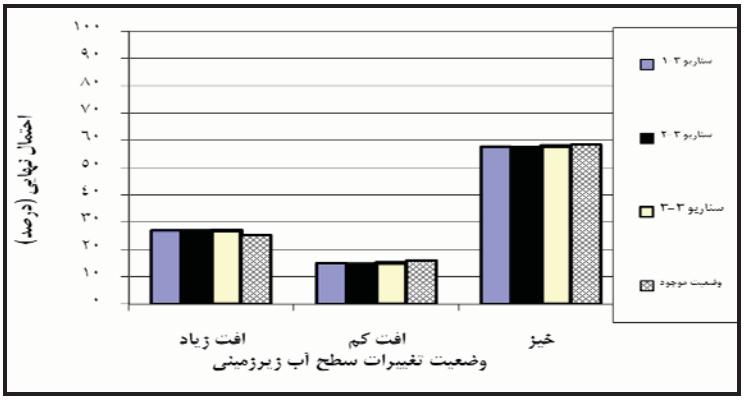
هدف از پژوهش حاضر، مدیریت کمی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با شبکه تصمیم بیزی است. دشت کردکوی مطالعه موردی است. منطقه مطالعاتی براساس ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، به سه ناحیه مختلف از جنوب تا شمال تقسیم‌بندی شد. در مجموع سه شبکه بیزی در هر یک از سه ناحیه تشکیل شد. پس از تهیه الگو مفهومی و تعریف متغیرها و تشکیل جداول احتمال شرطی، سه گروه سناریوی مدیریتی طراحی و اجرا شد. هدف از طراحی و اجرای سناریوهای مدیریتی، پیش‌بینی و بررسی نتایج حاصل از تصمیم‌های اجرا نشده و بهبود روند تصمیم‌گیری در آینده است.

نتایج به دست آمده از اجرای سناریوهای حفظ وضعیت موجود نشان داد که احتمالات نهایی به دست آمده برای متغیرهای مختلف در وضعیت کنونی، شرایط موجود متغیرها در هر ناحیه و یافته‌های پیشین را تایید می‌نماید. منظور از شرایط فعلی، شرایطی است که در آن، داده‌ها و اطلاعات شرایط فعلی در مورد هر یک از متغیرهای مسئله مدیریتی مورد استفاده قرار گرفته و جداول احتمال شرطی گره‌های شبکه بیزی براساس آن‌ها تشکیل شده است.

بنابر احتمالات به دست آمده از اجرای شبکه بیزی و سناریوهای مدیریتی در منطقه مطالعاتی می‌توان به طور کلی نتیجه گرفت که منابع آب زیرزمینی ناحیه یک، در معرض وقوع "افت زیاد" در سطح آب‌های زیرزمینی قرار دارد، بنابراین در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی این ناحیه باید این نکته مد نظر قرار گیرد که ضمن حفظ کیفیت، بهره‌برداری بیش از حد مجاز باعث وقوع افت زیاد و جبران‌ناپذیر در سطح آب‌های زیرزمینی نگردد. براساس نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت که محدودیت موجود در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ناحیه دو و سه، شامل محدودیت‌های کیفی می‌باشد.

نتایج به دست آمده از ساخت و اجرای شبکه بیزی و سناریوهای مدیریتی در این تحقیق نشان می‌دهند که الگوی شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزی، روشی موثر و عملی در جهت نیل به مدیریت کمی (کنترل سطح ایستابی) آبخوان در مناطق مختلف می‌باشد.

نکته قابل توجه این است که مسیر حرکت در یک پروسه مدیریت آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش شبکه تصمیم‌گیری بیزی، به صورت مستقیم متأثر از الگوی مفهومی اولیه‌ای است که برای ساخت شبکه بیزی تهیه می‌شود. شبکه تصمیم‌گیری بیزی قادر به تجمیع اهداف و اولویت‌های متفاوت و رویکردهای مختلف مدیریت آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بنابراین با بررسی اولویت‌های هر منطقه در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تهیه‌ی یک الگو مفهومی منطبق با اولویت‌های مورد نظر تصمیم‌گیرندگان در آن منطقه، می‌توان به بررسی تصمیم‌های اجرا نشده پرداخت.



شکل ۸- مقایسه نتایج حاصل از اجرای سناریوهای گروه ۳

در این تحقیق، مدیریت کمی منابع آب زیرزمینی و کنترل سطح ایستابی، به عنوان هدف و اولویت مدیریتی مطرح می‌باشد و الگوی مفهومی بر این اساس شکل گرفت. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای استفاده از شبکه تصمیم‌گیری بیزی در مدیریت بهره‌برداری از آبخوان‌های کشور، ابتدا اولویت‌های هر منطقه در بهره‌برداری از آب-های زیرزمینی و نیز مسائل و مشکلات آبخوان‌های مورد نظر بررسی و تعیین گردد. این اولویت‌ها می‌تواند شامل اهداف کمی و کیفی آب-های زیرزمینی و نیز مسائل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی باشد.

منابع

۱- پورطبری م.م.ر.، مکنون ر. و عبادی ت. ۱۳۸۸. مدیریت بهره‌برداری تلفیقی تحت شرایط عدم دقت در پارامترهای آبخوان. مجله آب و فاضلاب. ۴، ۱۵-

2-Abdelrhem I.M., Rashid K., and Ismail A. 2008. Integrated Groundwater Management for Great Man-Made River Project in Libya. European Journal of ScientificResearch . 22: 562-569.

3-Anuraga T.S., Ruiz L., Mohan Kumar M.S., Sekhar M., and Leijnse A. 2006. Estimating groundwater recharge using land use and soil data: A case study in South India. agricultural water management. 84 :65–76.

4-Cain J. 2001. Planning improvement in natural resource management: guideline for using Bayesian networks to support the planning and management of development program in the water sector and beyond. Centre for Ecology and Hydrology (CEH). Wallingford, UK.

5-Carmona A., Varela Ortega C., and Bromley J. 2009. Stakeholder involvement in water management using Object-oriented Bayesian networks and economic models in Spain. Contributed Paper prepared for presentation at the International Association of Agricultural Economists Conference. Beijing, China. August 16-22, 2009.

6-Carmona G., Molina J.L., Bromley J., Varela-Ortega C., and García-Aróstegu J.L. 2011. Object-Oriented Bayesian Networks for Participatory Water Management: Two Case Studies in SpainJournal Of Water Resources Planning And Management, 137:366-376.

7-Chellattan Veetti P., Speelman S., Frija A., Buysse J, and Huylenbroeck G.V. 2011. Complementarity between water pricing, water rights and local water governance: A Bayesian analysis of choice behaviour of farmers in the Krishna river basin, India. Ecological Economics, 70: 1756–1766.

8-Davies P. 2007. Bayesian Decision Networks for Management of High Conservation. Report to the Conservation of Freshwater Ecosystem Values Project. Department of Primary Industries and Water, Hobart, Tasmania.

9-Farmani R., Henriksen H.J., and Savic D. 2009. An evolutionary Bayesian belief network methodology for optimum management of groundwater contamination. Environmental Modelling & Software. 24: 303-310.

10-Kerachiana R., Fallahniab M., Bazargan-Lari M.R., Mansoori A., and Sedghi H. 2010. A fuzzy game theoretic approach for groundwaterresources management: Application of Rubinstein Bargaining Theory. Resources, Conservation and Recycling. 54: 673–682.

11-Kholghi M., Razach M., and Treichel V. 1996. Modelization comjoimte des eadx de surface et soutteraimei. Hydrogeologie. 3:1-10.

12-Kuikka S., and Varis O. 1997. Uncertainties of climate change impacts in Finnish watersheds: a Bayesian network analysis of expert knowledge. Boreal Environment Research.

13-Liu Y., Yang P., Huc C., and Guo H. 2008. Water quality modeling for load reduction under uncertainty: A Bayesian approach. Water Research, 42: 3305– 3314.

14-McCann R., Marcot B., and Ellis R. 2006. Bayesian Belief Networks: application in ecology and natural resource management. NRC Research Press.

15-Molina J.L., Farmani R., and Bromley J. 2011. Aquifers Management through Evolutionary Bayesian Networks: The Altiplano Case Study (SE Spain). Water Resour Manage, 25:3883–3909.

16-Olalla F.J., Santa A., Dominguez A., Artigao C., and Fabeiro J.F. 2005. Integrated water resources management of the hydrogeological unit "Eastern Mancha" using Bayesian Belief Networks. Agricultural Water Management. 76: 211-223.

17-Pollino C., and Hart B. 2006. Bayesian network models in natural resource management. Integrated catchment assessment and management (iCAM) *Centre* of the Australian.

18-Ramin M., Labencki T., Boyd D., Trolle D., and Arhonditsis G. B. 2012. A Bayesian synthesis of predictions from different models for setting water quality criteria. Ecological Modelling, 127–145.

19-Reggiani P., and Weerts A. 2008. Bayesian approach to decision-making under uncertainty: An application to real-time forecasting in the river Rhine. Journal of Hydrology. 356: 56-69.

20-Sadoddin A., Letcher R.A., Jackeman A.J., and Newham L.T.H.A. 2005. Bayesian decision network approach for assessing the ecological impact of salinity management. Mathematics and Computer in Simulation. 69: 162-176.

21-Singh A. 2012. An overview of the optimization modelling applications. Journal of Hydrology, 167–182.

22-Tamer Ayvaz M. 2009. Application of Harmony Search algorithm to the solution of groundwater management models. Advances in Water Resources.32: 916–924.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 6, Jan.-Feb. 2013, p. 1522-1534

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۱، ص. ۱۵۳۴-۱۵۲۲

Quantitative Management of Groundwater Using Bayesian Decision Network

H. Mohajerani[1]- M. Kholghi[2]- A. Mosaedi[3*]- A. Sadoddin[4]- M. Meftah[5]

Received: 13-5-2012
Accepted: 16-12-2012

Abstract

In recent years, quantity and quality of groundwater in most country is reduced due to over-withdrawal of water. It is important to use new tools and technology to manage these water resources. The purpose of this study was to manage the groundwater resource using a Bayesian Decision Network (BDN). The Kordkooy region in North of Iran (Golestan province) has been selected as the study area. The region has been divided to three parts based on transmisivity (T) and electrical conductivity (EC) values. The BDN parameters - marginal probabilities and Conditional Probability Tables (CPTs)- have been identified for each of the three zones. Three groups of management scenarios have been developed based on the two decision variables including "Crop pattern" and "Domestic water demand" across the three zones of the study area. Arising from implementing each scenario have been predicted using the functional BDN for each of the zones.The results showed that unmanaged operation causing irreparable damage to the groundwater of study area. In conclusion, we can propose that the use of BDNs in groundwater management studies is a practical and effective approach for assessing and managing these valuable water resources in a probabilistic context representing the uncertainties.

Keywords: Groundwater resources, Bayesian decision network, Netica, Conditional probability tables, Golestan Province

1,5- Graduated MSc and Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Tehran University
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Correspoding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Watershed Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources