



## ارزیابی ساختار *DPSIR* جهت تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی با تصمیم‌گیری چندمعیاره و مشارکت ذینفعان

حمید کاردان مقدم<sup>۱</sup>، عباس روزبهانی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس پژوهشی موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، دکترای منابع آب دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

\* نویسنده مسئول: [roozbahany@ut.ac.ir](mailto:roozbahany@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۶

### چکیده

یکی از مهمترین منابع تامین آب بخصوص در مناطق خشک، منابع آب زیرزمینی است. بحران‌های مختلف اقلیمی و انسانی سبب پیچیدگی در سیستم‌های منابع آب بخصوص آب زیرزمینی شده است. ارزیابی کارایی فنی مناسب این سیستم‌ها با در نظر گرفتن مدیریت یکپارچه قابلیت بهره‌برداری دارد. رویکرد یکپارچه *DPSIR* در سیستم آبخوان با توجه به وضعیت بحرانی منابع آب زیرزمینی می‌تواند کارایی طرح تعادل بخشی را ارتقاء بخشد. این رویکرد با در نظرگیری چهار بخش نیروی محرک، فشار، حالت و اثرات می‌تواند جهت تدوین سیاست بهره‌برداری مناسب با در نظرگیری سازگاری با وضعیت آبخوان بکار گرفته شود. اثرات متعدد زیست محیطی بر آبخوان‌های کشور لزوم ایجاد یک چارچوب و برنامه مناسب را برای احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت کرده است. در این پژوهش ضمن پیشنهاد رویکرد یکپارچه *DPSIR* برای مدیریت آبخوان‌ها، سیاست سازگاری مناسب جهت بهره‌برداری بهینه با در نظرگیری تصمیم‌گیری در ۴ سطح عملیاتی تدوین و پیشنهاد شد. این رویکرد یکپارچه برای سیستم منابع آب زیرزمینی جهت تصمیم‌گیری می‌تواند ابزار مناسبی را با حداقل تنش برای بهره‌برداران و دولت در برداشته باشد.

کلمات کلیدی: مدیریت آب زیرزمینی، *DPSIR*، تعادل بخشی، تصمیم‌گیری چندمعیاره

## مقدمه

دنیا، برنامه پایداری منابع آب زیرزمینی در کالیفرنیا آمریکا می‌باشد که در حال اجراء است. این برنامه در سال ۲۰۱۴ شروع و با درنظرگرفتن گام زمانی ۲۰ ساله، جهت مدیریت پایدار آب زیرزمینی یک چارچوب اجرایی را جهت پیاده‌سازی طرح و راهکارها با مشارکت کشاورزان منطقه تدوین کرده است.

در پی ایجاد این وضعیت، تصمیم‌گیران آب در سطح منطقه و کشور، ارائه طرح‌های تعادل بخشی جهت برون رفت از این وضعیت را ارائه دادند. ارائه سناریوهای مختلف جهت تعادل بخشی بدون توجه به میزان اثرگذاری و ارزیابی پایداری آبخوان بصورت سیستمی نمی‌تواند اثربخشی بالایی را داشته باشد. استفاده از چارچوب سیستمی *DPSIR* با رویکرد یکپارچگی در منابع آب زیرزمینی می‌تواند عکس-العمل‌های مختلف سیستم را در قبال حالات مختلف ارائه و در نهایت بهترین پاسخ مناسب را تدوین کند. شکل (۱) نمای کلی از چارچوب مدل مفهومی *DPSIR* در سیستم بهره‌برداری آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

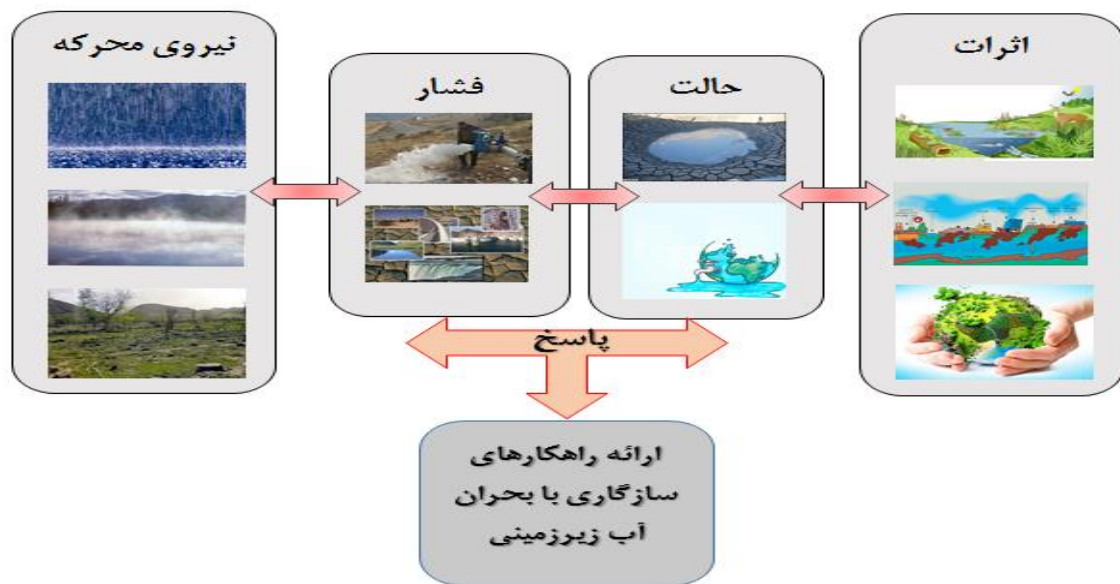
یک سیستم منابع آب زیرزمینی در رویکرد یکپارچه *DPSIR*، تحت تاثیر نیروی محرکه ناشی از فرآیندهای هیدرولوژیکی قرار داشته که آن فرآیندها در میزان تامین آب به عنوان یک نیروی فشاری تاثیرگذار بوده و سبب ایجاد حالات مختلف تغییرات کمی و کیفی در منابع آب زیرزمینی می‌شود. ساختار ایجاد شده از فشار، نیروی محرکه و حالت، سبب اثرات مختلف زیست‌محیطی در سیستم منابع آب می‌شود. این ساختار بصورت یکپارچه بصورت عمل و عکس‌العمل، ارزیابی می‌شود و در هر شرایط پاسخ‌های مختلف و اثرات آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

تحلیل سیستمی یک ساختار منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد که با توجه به این موضوع که بهره‌برداران آب در این بخش، کشاورزان هستند؛ لذا مشارکت بهره‌برداران در احیاء و توسعه منابع آب زیرزمینی در عنوان پاسخ‌های مختلف رویکرد یکپارچه *DPSIR* مهم است. بررسی شرایط موجود در مناطقی که با بحران آب زیرزمینی و تصمیم‌گیری مواجه هستند؛ نشان می‌دهد که میزان تقاضای آب در مقابل آب در دسترس، رشد زیادی داشته است. افزایش این نسبت به مفهوم وارد آمدن تنش بیشتر به منابع آب زیرزمینی می‌شود.

بحران‌های مختلف انسانی و اقلیمی، سبب پیچیدگی در سیستم‌های منابع آب شده است. این بحران‌ها تنش‌های مختلف را از دیدگاه‌های مختلف بوجود آورده است. تصمیم‌گیری در خصوص این بحران‌ها نیازمند ارزیابی دقیق با ابزارها و رویکردهای نوین است. ارزیابی منابع آب را می‌توان از مهمترین اقدامات برای افزایش آگاهی و شناخت وضعیت منابع آب پذیرفت. نتایج ارزیابی منابع آب جهت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب موثر و ارزشمند است. ارزیابی وضعیت منابع آب با رویکرد سیستمی، نیازمند درنظرگیری عوامل مختلف ایجادکننده تنش می‌باشد. یکی از ابزارهای تحلیل سیستمی منابع آب چارچوب *DPSIR*<sup>۱</sup> می‌باشد. این چارچوب مدل مفهومی از ساختار سیستمی جهت یکپارچگی وضعیت منابع آب را در قالب مدل تصمیم‌گیری مورد تحلیل قرار می‌دهد. چارچوب مدل تصمیم‌گیری علیرغم تاریخچه کوتاه در ارائه، به منظور ارزیابی ساختار یک سیستم با درنظرگرفتن روابط علت و معلول بکار برده می‌شود. این ساختار توسط آژانس محیط زیست اروپا در سال ۱۹۹۵، تدوین شده است. این چارچوب براساس پاسخ-های ارائه داده شده به سیاست‌های مختلف در سیستم، از چهار بخش نیروی محرک، فشار، حالت و اثرات تشکیل شده است (*IMPRESS, 2002*).

با توجه به رشد جمعیت و نیاز به توسعه در بخش‌های مختلف جهت تامین مصارف، مصرف آب در این بخش‌ها رشد زیادی داشته است. در این شرایط مصرف آب بدون برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی بخصوص در مناطق خشک که تنها منبع تامین آن، منابع آب زیرزمینی هستند، سبب افت شدید و بحرانی شدن آبخوان‌های کشور شده است. در طی دو دهه اخیر کاهش حجم ۷۵ میلیارد مترمکعب از ذخیره استاتیک آبخوان‌های کشور سبب خشک شدن بسیاری از منابع آب زیرزمینی، رودخانه‌ها، تالاب‌ها، باغات و اراضی کشاورزی، افت کیفی منابع آب زیرزمینی، نشست زمین، بلااستفاده شدن بیش از ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر شبکه آبقا، مهاجرت و حاشیه‌نشینی، به خطر افتادن امنیت سیاسی، افزایش مصرف انرژی و سایر پیامدها شده است. یکی از برنامه‌های پایداری منابع آب زیرزمینی در سطح

<sup>1</sup> *Driving forces-Pressures-States-Impacts-Responses*



شکل ۱- نمای کلی از رویکرد *DPSIR* در سیستم منابع آب زیرزمینی  
 Fig 1- Overview of the *DPSIR* approach in groundwater resources system

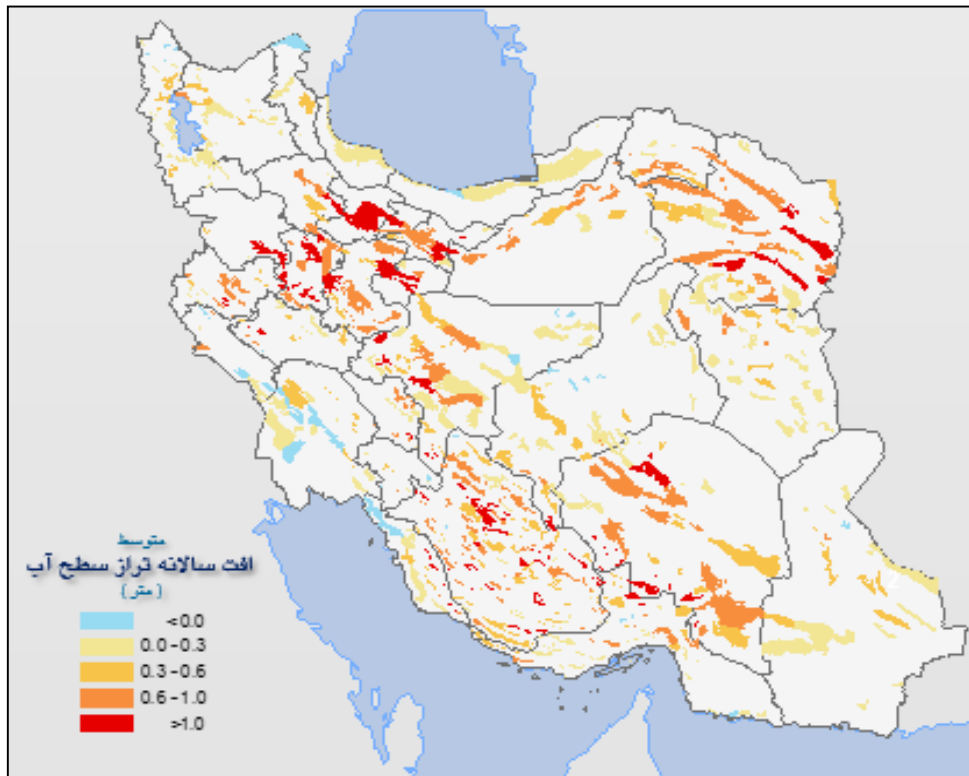
تصمیم‌گیری مناسب در خصوص پایداری هر منطقه می‌تواند با رویکرد یکپارچه *DPSIR* سنجش و نتایج مناسبی را نشان دهد.

## مواد و روش‌ها

### بررسی وضعیت منابع آب

بهره‌برداری بی‌برنامه از منابع آب زیرزمینی در کشور سبب بحران شده است. این بحران زمانی تشدید شده که خشکسالی‌های اخیر نیز همراه با عدم مدیریت صحیح آبخوان‌ها همراه بوده است. این بحران سبب شده تا بیش از ۴۰۰ محدوده مطالعاتی کشور ممنوعه و بحرانی معرفی شود. بهره‌برداری بیش از توان آبخوان‌ها و بیلان منفی آبخوان‌ها بخصوص در بخش مرکزی کشور که وابستگی شدید به منابع آب زیرزمینی دارد؛ مشهودتر است (Ministry of Energy, 2014). تنش‌های محیطی و انسانی سبب شده تا وابستگی کشور به منابع آب زیرزمینی براساس گزارش فائو در سال ۲۰۱۴ افزایش یابد. شکل (۲) وضعیت افت را در آبخوان‌های کشور نشان می‌دهد. بر این اساس تنها ۲۸ آبخوان کشور با افت مواجه نبوده و ۱۳۸ آبخوان کشور با افت بیش از یک متر در سال مواجه هستند که این آبخوان‌ها، اکثراً در بخش جنوبی رشته کوه البرز و بخش شمال شرقی زاگرس هستند (بخش مرکزی کشور).

اگرچه افزایش برداشت آب زیرزمینی، توسعه اقتصادی را به همراه داشته اما جوابگوی میزان رشد جمعیت با توجه به سطح بهره‌وری آب نبوده است. وضعیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بوجود آمده در شرایط بحرانی بودن برداشت از آب زیرزمینی سبب ناپایداری اکوسیستم منطقه و کاهش منابع آب زیرزمینی، افت آبخوان، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و وابستگی‌های اقتصادی و اجتماعی به حوضه‌های اطراف شده است. در این شرایط پاسخ یک سیستم می‌بایست براساس نیازهای منطقه تدوین شود. با توجه به در نظرگیری ابعاد مختلف رویکرد یکپارچه *DPSIR* برای مدیریت آب زیرزمینی، تصمیم‌گیری جهت پاسخ به اثرات مختلف می‌بایست براساس معیارهای مختلف فنی، اقتصادی و اجتماعی و یا بطور کلی بصورت چندمعیاره مورد سنجش قرار گیرد. تصمیم‌گیری براساس معیارهای مختلف می‌تواند با درگرفتن ابعاد مختلف تاثیرگذار در سیستم منابع آب زیرزمینی موثر باشد. کشاورزان به عنوان بهره‌برداران و متولیان آب به عنوان تصمیم‌گیران، دارای معیارهای مختلف، جهت ارائه رویکرد پایدار برای منابع آب زیرزمینی هستند. مهمترین معیار کشاورزان، رشد اقتصادی بوده و وابستگی شدید امرومعاش با اقتصاد، سبب در نظر گرفتن این معیار و در پایداری آبخوان‌ها به عنوان معیار اصلی بخش تصمیم‌گیر دولتی است. در این شرایط با در نظر گرفتن معیارهای مختلف دو بخش درگیر با تنش آبی،



شکل ۲- وضعیت آبخوان‌های کشور از نظر افت

Fig 2- The state of the aquifers of the country in terms of decline

چندمعیاره است. همچنین با توجه به رویکرد عدم قطعیت و مبنای احتمالاتی پارامترهای مختلف می‌توان از تلفیق روش‌های فازی نیز برای تصمیم‌گیری استفاده کرد.

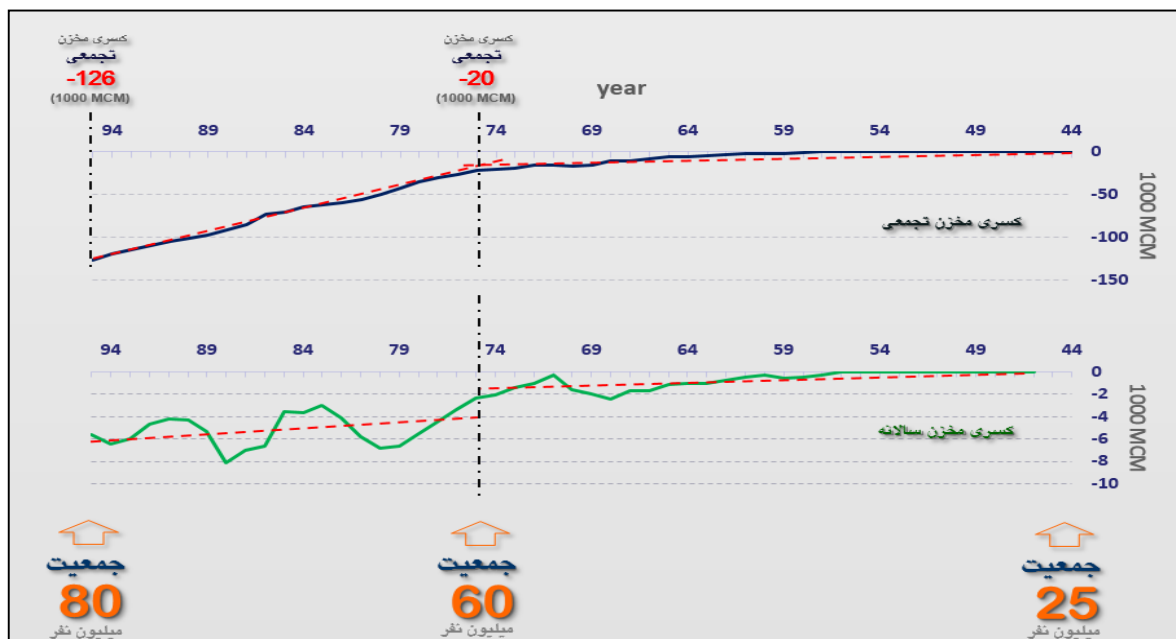
#### تدوین رویکرد سیستم یکپارچه *DPSIR*

رویکرد یکپارچه *DPSIR* در مدیریت منابع آب زیرزمینی براساس وضعیت پایداری آبخوان‌ها می‌بایست تدوین شود. فشارهای وارده شده به آبخوان از دو منظر کمی و کیفی تاثیرگذار است. رشد جمعیت، عدم مدیریت عرضه و تقاضا، بهره‌برداری بی‌رویه، تغییر اقلیم، تغییر کاربری و غیره از جمله فشارهای وارده به سیستم منابع آب بخصوص منابع آب زیرزمینی است. تاثیر این فشارها بر مخازن آبخوان‌ها از سال ۱۳۴۴ که ابتدای شکل‌گیری وزارت نیرو (وزارت آب و برق سابق) تاکنون حاکی از کسری ۱۲۶ میلیارد مترمکعبی می‌باشد. شکل (۳) روند تغییرات کسری مخازن آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

#### تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۱</sup>

تدوین یک برنامه عملیاتی جهت رسیدن به هدف طرح تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور در ۴ سطح عملیاتی تعریف شده است. سطح ملی، سطح استانی، سطح دشت و سطح بهره‌برداران هر دشت ۴ سطح برنامه عملیاتی می‌باشد که هر سطح براساس یک هدف قرار گرفته است. در سطح ملی، هدف تامین امنیت سیاسی و اقتصادی و عدم وابستگی کشور، در سطح استانی هدف رشد اقتصادی و کاهش تنش‌های مدیریتی، در سطح دشت، پایداری آبخوان به عنوان هدف اصلی و حداقل رسیدن تنش‌های اجتماعی به عنوان هدف اصلی در مدیریت در سطح بهره‌برداران دشت است. با توجه به سطوح مختلف معیارهای تصمیم‌گیری، استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند گزینه مناسب را جهت بهره‌برداری بهینه در مقابل حداکثر سود اقتصادی که بالطبع آب، کمترین تنش اجتماعی است را بدست آورد. روشهای *ELECTRE*، *TOPSIS*، *AHP* و غیره از جمله روشهای تصمیم‌گیری

<sup>1</sup> Multi Criteria Decision Making



شکل ۳- روند تغییرات کسری مخزن آب زیرزمینی در کشور (وزارت نیرو، ۱۳۹۳)

Fig 3- Changes in the deficit of groundwater reservoir in the country (Ministry of Energy, 2014)

منفی زیست محیطی را کاهش داد. تدوین اصول و قوانین بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، ایجاد نیروهای حفاظتی منابع آب، استفاده از راهکارهایی نوین جهت بهره‌وری بالای منابع آب (بهبودسازی الگوی کشت، نوین‌سازی سیستم‌های انتقال، کشت بر مبنای کمیت و کیفیت آب و غیره)، تأمین صحیح نیاز آبی و حقایق‌های زیست محیطی، ارتقاء سیستم مدیریتی و نیروی انسانی و غیره از جمله راهکارهایی می‌باشد که در کنار طرح تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان راهکارهای پاسخ به سیستم یا سازگاری باشد. تدوین راهکارهای سازگاری با ایجاد یک سیستم یکپارچه مدیریتی DPSIR برای به حداقل رساندن تنش در سطوح مختلف عملیاتی با تصمیم‌گیری چند معیاره را فراهم می‌کند. براین اساس ساختار پیشنهادی جهت تدوین این سیستم یکپارچه می‌بایست دارای گام‌های ذیل باشد که در شکل (۴) این ساختار پیشنهادی ارائه شده است.

۱. مدیریت داده‌های پایه منابع آب: لزوم تهیه یک برنامه عملیاتی جهت مدیریت سیستم‌های منابع آب، داشتن داده‌های منابع آب می‌باشد. مدیریت یک سیستم نیازمند تهیه یک بانک اطلاعاتی کامل و مطمئن، جهت تحلیل وضعیت فعلی و روند تغییرات می‌باشد.

۲. شناسایی و اولویت‌دهی آبخوان‌های بحرانی و ارزیابی تنش‌های مختلف در ۴ سطح تصمیم‌گیری: با توجه به

در چنین شرایطی با توجه به قرارگیری کشور در اقلیم خشک و تابع بودن منابع تغذیه از نزولات آسمانی، خشکسالی‌های اخیر همراه با گرمایش زمین سبب تغییرات در نوع توزیع زمانی و مکانی نزولات شده است. بطوریکه علاوه بر افزایش وقایع حدی و کاهش میزان بارندگی، طول دوره خشکسالی نیز همراه با فشارهای محیطی افزایش داشته است. تغییرات ایجاد شده در نیروی محرکه رویکرد یکپارچه حالات مختلفی را از نظر بهره‌برداری بوجود آورده است. افت سفره و کاهش حجم آبخوان (Campos-Gaytan, J.R, et al, 2014 and Du, S.H, et.al, 2013), کاهش کیفیت آب (Pophare, A.M, et al, 2013), مهاجم جبهه‌های آب شور ساحلی و کویری (Werner, A,D, et al, 2013), نشست زمین (Jafari, F., et al, 2015 and Zhang, W.J., et al, 2014) از جمله حالات منفی بوجود آمده بر محیط زیست می‌باشد که در مناطق مختلف کشور در دهه‌های اخیر بوجود آمده است.

تصمیم‌گیری در خصوص کاهش اثرات منفی ارائه شده در آبخوان‌ها، نیازمند یک برنامه‌ریزی صحیح با رویکرد سیستمی جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی است. بر مبنای رویکرد سیستمی یکپارچه DPSIR با تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان ضمن کاهش تنش‌های اجتماعی، اثرات

هوشمند مانند شبکه‌ها بیزین یا شبکه‌های عصبی و غیره باشد (Roozbahani, A, et al., 2017)

۴. انتخاب روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و تعیین شاخص‌های پایداری: با توجه به معیارهای تعریف شده، روش تصمیم‌گیری تعیین و معیارهای مدل تدوین می‌شود.

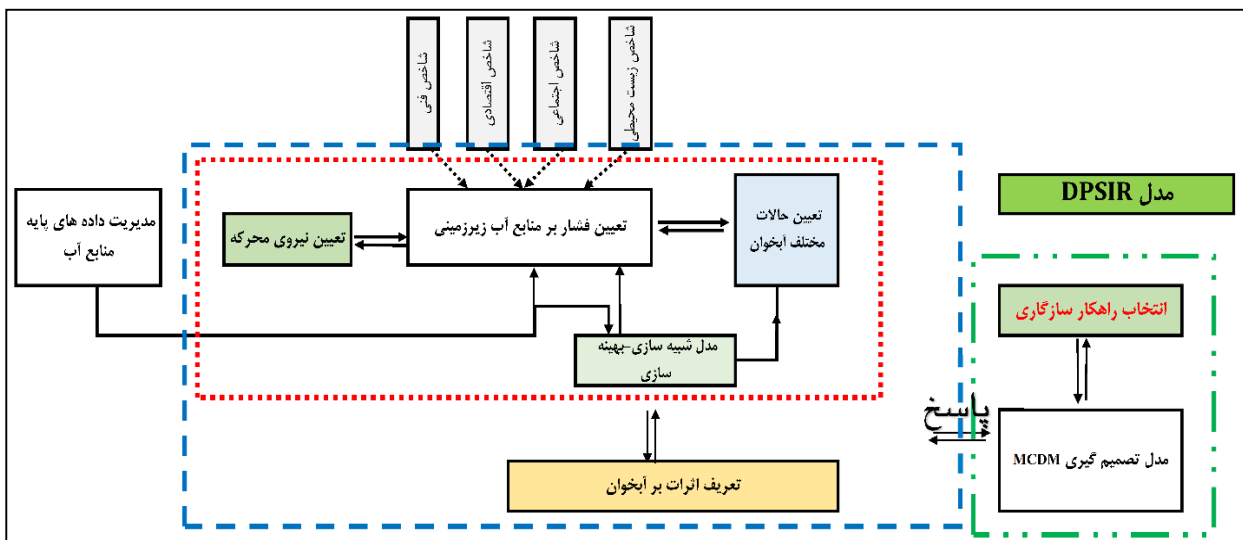
۵. ارزیابی سیاست‌های مختلف و بررسی اثربخشی: با توجه به وضعیت کمی و کیفی آبخوان، وضعیت اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی، راهکارهای سازگاری با شرایط موجود تدوین و اثربخشی این سیاست‌ها با استفاده از مدل آنالیز می‌شود.

۶. تحلیل حساسیت سیاست‌ها و تصمیم‌گیری در خصوص راهکارهای سازگاری: پس از آنالیز سیاست‌های مختلف، تحلیل حساسیت بر مبنای سیاست‌های اقتصادی-اجتماعی جهت رسیدن به پایداری در سطوح مختلف تصمیم‌گیری با رویکرد یکپارچه تدوین می‌شود.

سطوح مختلف تصمیم‌گیری، شناسایی و اولویت‌بندی آبخوان‌های کشور براساس شاخص تنش‌های آبی، جمعیتی و زیست محیطی انجام و آبخوان‌های بحرانی انتخاب می‌شود.

۳. انتخاب معیارهای مختلف برای سطوح مختلف تصمیم‌گیری: با توجه به سطوح مختلف تصمیم‌گیری شاخص‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی برای آبخوان‌ها تعریف می‌شود.

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی (در صورت لزوم): با توجه به بررسی و اثربخشی سیاست‌ها و راهکارهای سازگاری، تدوین یک مدل که قابلیت پاسخ‌گویی به عکس-العمل (پاسخ) راهکارهای سازگاری را داشته باشد می‌بایست انتخاب شود. این مدل‌ها می‌تواند شامل مدل‌های تجاری موجود مانند MODFLOW و یا مدل‌های پیش‌بینی



شکل ۴- مدل پیشنهادی DPSIR برای تعادل بخشی آبخوان  
Fig 4- DPSIR Proposed Model for balance of Aquifer

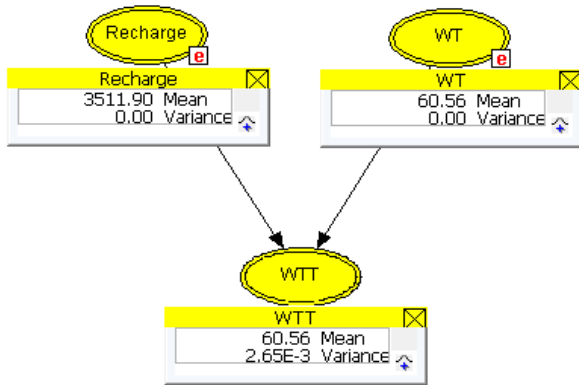
برداشت شده که سبب شده این آبخوان بصورت ممنوعه و بحرانی از سوی شرکت آب منطقه‌ای معرفی شود (Ministry of Energy, 2014). به منظور بررسی وضعیت آبخوان بیرجند با رویکرد پیش‌بینی وضعیت آبی آبخوان، از مدل شبکه بیزین که یک مدل شبیه‌ساز هوشمند است استفاده شد. پارامترهای تغذیه آبخوان، تخلیه آبخوان، بارندگی، دما، تبخیر و تراز آب زیرزمینی به عنوان نیروی محرکه چرخه، برداشت بی‌رویه و عدم مدیریت به عنوان فشارهای سیستم، کنترل تراز آب زیرزمینی به عنوان

## نتایج و بحث

### اجرای مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز

به منظور پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت آبخوان، با استفاده از نتایج مطالعات انجام شده در آبخوان بیرجند تحلیل وضعیت تعادل بخشی انجام گرفت. آبخوان بیرجند در محدوده مطالعاتی (۴۶۱۶) بیرجند در حوزه کویرلوت در شرق ایران با میانگین بارندگی ۱۷۰ میلیمتر در یک اقلیم خشک و سرد قرار دارد. بیش از ۱۲ میلیون مترمکعب در طی دوره ۲۰ ساله اخیر از حجم استاتیک آبخوان آب

برای آموزش شبکه و ۵ سال انتهایی برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شد. آموزش مدل با رویکرد عددی با استفاده از ساختار آموزشی با الگوریتم *NPC* و آموزش پارامترها به روش *EM* با نرم‌افزار *Hugin 8.1* انجام گرفت. در شکل (۶) ساختار آموزشی شبکه بیزین را نشان می‌دهد.

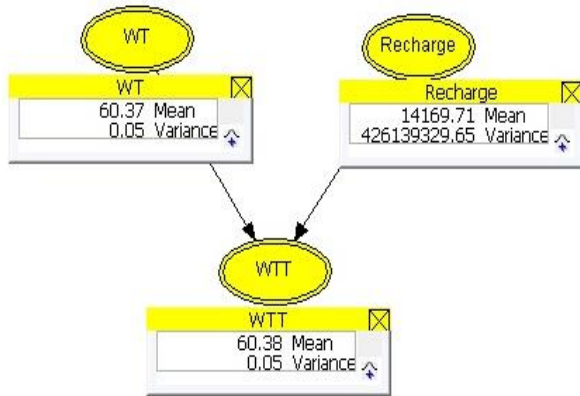


شکل ۶- ساختار آموزشی شبکه بیزین  
Fig 6- Trained Bayesian Network model

(*C4*) برای سیستم تدوین شده پیشنهاد شد. چهار معیار مقبولیت در نظر گرفته شده براساس نتایج پژوهش‌های میدانی و پرسشنامه از متولیان در منطقه تکمیل گردید. پرسشنامه کتبی شامل پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط ۱۰ تن از متخصصین دانشگاهی در زمینه منابع آب، ۱۰ تن متخصصین حوزه مدیریت منابع آب و ۱۰ نفر از بهره‌برداران می‌باشد. وزن‌دهی معیارها به دو روش مستقیم و مقایسه زوجی انجام گرفت. در هر دو حالت نتایج نشان داد که بیشترین وزن مربوط به معیار هزینه اقتصادی طرح و پس از آن بهبود وضعیت آبخوان است. جدول (۱) نتایج وزن‌دهی به دو روش را نشان می‌دهد.

پس از وزن‌دهی معیارها، ماتریس تصمیم‌گیری برای این چهار راهکار و معیار بصورت شکل (۸) تدوین و در نهایت طرح بهسازی تغذیه مصنوعی به عنوان اولویت اول انتخاب شد. در جدول (۲) اولویت‌بندی راهکارهای مختلف جهت تدوین مدل تصمیم‌گیری ارائه شده است.

سیستم، کاهش حجم و کیفیت منابع آب زیرزمینی به عنوان اثر در سیستم آبخوان ارزیابی شد. شکل (۵) نمای مدل بیزین اجرا شده را برای آبخوان بیرجند نشان می‌دهد. مدلسازی برای دوره آماری ۱۷ ساله (۷۷-۱۳۷۶ تا ۹۳-۱۳۹۲) برای منطقه انجام شد. براین اساس ۱۲ سال ابتدایی



شکل ۵- مدل شبکه بیزین تدوین شده  
Fig 5- Developed Bayesian Network model

براساس اثرات ایجاد شده در سیستم آبخوان راهکارهای مختلف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی پیشنهاد شد. پس از مدلسازی با استفاده از شبکه بیزین، راهکارهای مختلف جهت تعادل بخشی آبخوان پیشنهاد شد. چهار راهکار تغییر سیستم‌های آبیاری سطحی به آبیاری تحت فشار (*A1*)، بهسازی طرح‌های تغذیه مصنوعی (*A2*)، حذف چاه‌های غیرمجاز (*A3*) و نصب کنتورهای هوشمند (*A4*) به عنوان راهکارهای تعادل بخشی انتخاب شد. برای هر راهکار در مدل شبیه‌سازی بیزین، مدلسازی انجام و نتایج مدلسازی جهت پیاده‌سازی سیستم تصمیم‌گیری اخذ گردید. شکل (۷) نتایج مدلسازی با استفاده از شبکه بیزین را در دو حالت عددی (صریح) و خوشه‌بندی تحت ۱۰ سناریو ارائه شده است.

#### پیاده‌سازی سیستم تعادل بخشی آبخوان

پس از نتایج شبیه‌سازی به منظور تصمیم‌گیری از روشهای چندمعیاره استفاده و چهار معیار مقبولیت و مشارکت اجتماعی - فرهنگی ذی‌نفعان (*C1*)، میزان بهبود سطح آبخوان (*C2*)، هزینه اقتصادی طرح (*C3*) و سهولت اجرا



رویکرد	پارامترهای پیش‌بینی‌کننده							سناریوی پیش‌بینی	
	خوشه‌بندی	صریح	سطح آب	برداشت از	تغذیه آب	تبخیر	بارش		
دقت پیش‌بینی	$R^2$	RMSE	زیرزمینی در ماه	آب	زیرزمینی				
۹۳/۵۹	۰/۹۹۲۴	۰/۲۸۵۵	✓	✓		✓	✓	✓	۱
۹۵/۹۰	۰/۹۹۲۳	۰/۷۰۲۶	✓			✓	✓	✓	۲
۹۵/۲۶	۰/۹۹۲۹	۰/۲۵۴۳	✓		✓	✓	✓	✓	۳
۹۳/۳۳	۰/۹۹۲۳	۰/۲۷۲۳	✓	✓	✓	✓		✓	۴
۹۳/۳۳	۰/۹۹۳۱	۰/۲۶۹۶	✓	✓	✓	✓	✓		۵
۹۵/۲۶	۰/۹۹۴۶	۰/۱۲۷۵	✓	✓	✓		✓	✓	۶
۹۷/۱۸	۰/۹۸۶۷	۰/۱۸۶۳	✓	✓	✓		✓		۷
۹۷/۸۲	۰/۹۸۶۵	۰/۳۴۱۹	✓	✓	✓				۸
۳۷/۹۵	۰/۱۰۰۴	۴/۹۷۰۹		✓	✓	✓	✓	✓	۹
۹۲/۵۶	۰/۹۹۲۵	۰/۲۶۵۴	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۱۰

شکل ۷- سناریوهای مختلف پیش‌بینی با استفاده از شبکه بیزین  
 Fig 7- Various prediction scenarios using Bayesian Network

جدول ۱- نتایج وزن‌دهی معیارهای مدیریتی با دو روش

Table 1- Weighting results of management criteria with two methods

معیار مدیریتی <i>Management Criterion</i>	وزن‌دهی مستقیم <i>Direct Weighting</i>	وزن‌دهی با روش مقایسه زوجی <i>Pairwise Comparison</i>
مقبولیت و مشارکت اجتماعی-فرهنگی ذینفعان <i>Socio-cultural acceptance and participation of stakeholders</i>	0.24	0.28
میزان بهبود سطح آبخوان <i>Improvement of the aquifer's water level</i>	0.29	0.3
هزینه اقتصادی طرح <i>Cost of the implementation of the scenarios</i>	0.32	0.33
سهولت اجرا <i>Feasibility of implementation</i>	0.15	0.09



معیار				
سهولت اجرا	هزینه اقتصادی	میزان بهبود سطح	مقبولیت و مشارکت	سناریو
	طرح	آبخوان	اجتماعی- فرهنگی ذی نفعان	
C4	(میلیون ریال) C3	(سانتی متر) C2	C1	
۴/۹	۳۲۵۱۳	۱۴	۵/۷	A1 تغییر سیستم های آبیاری
۶/۷	۳۸۹	۹	۴/۳	A2 سطحی به آبیاری تحت فشار
۵/۵	۵۴۰۰	۲۹	۶/۶	A3 حذف چاه های غیر مجاز
۵/۷	۱۶۷۷۵	۱۲	۵/۵	A4 بهسازی طرح های تغذیه
				A4 نصب کنتور های هوشمند

شکل ۸- ماتریس تصمیم گیری

Fig 8- Decision matrix

جدول ۲- رتبه بندی سناریوهای مختلف تعادل بخشی

Table 2- Ranking of different scenarios

سناریو	رتبه	امتیاز
Scenario	Rank	Score
بهبودی تغذیه مصنوعی Improvement of artificial recharge projects	1	16
حذف چاه های غیر مجاز Removal of unauthorized wells	2	14
تغییر سیستم آبیاری سطحی به تحت فشار Changing current surface irrigation to pressurized irrigation systems	3	3
نصب کنتور هوشمند Installation of smart water meters	4	2

راهکارهای مناسبی را در اختیار متولیان و مدیران تصمیم-گیر قرار دهد. با توجه به تنش های مختلف در حوزه آب، استفاده از یک رویکرد جهت تدوین یک برنامه جهت به تعادل رساندن وضعیت فعلی و کاهش تنش های اجتماعی به عنوان یکی از اولویت های اصلی تصمیم گیران کشور است. در این مطالعه رویکرد یکپارچه DPSIR در سیستم آبخوان معرفی می شود. این رویکرد از چهار بخش نیروی محرک، فشار، حالت و اثرات جهت تدوین سیاست بهره برداری مناسب با در نظرگیری سازگاری با وضعیت آبخوان بکار گرفته می شود. پارامترهای تغذیه آبخوان، تخلیه آبخوان،

براساس نتایج نهایی روش تصمیم گیری گروهی بوردا، سناریوی بهسازی طرح های تغذیه مصنوعی به عنوان سناریوی مدیریتی برتر در دشت بیرجند انتخاب شد. میزان بهبود تراز سطح آبخوان در اثر اعمال این سناریو در سناریوی اقلیمی خشکسالی ۲۴ سانتی متر و در سناریوی اقلیمی ترسالی ۲۹ سانتی متر است.

### نتیجه گیری

استفاده از ابزارها و تکنولوژی های جدید، امروزه جهت مدیریت، بخصوص در شرایط عدم قطعیت می تواند

آبخوان نتایج با استفاده از چهار معیار مقبولیت مورد با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی شد. پس از وزن‌دهی معیار نتایج نهایی مدل نشان داد که راهکار بهسازی تغذیه مصنوعی به عنوان اولویت اول تعادل بخشی مطرح است. ساختار پیشنهادی این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی برای تعادل بخشی آبخوان‌های مختلف بویژه آبخوان‌های ممنوعه بکار برده شود.

بارندگی، دما، تبخیر و تراز آب زیرزمینی به عنوان نیروی محرکه چرخه، برداشت بی‌رویه و عدم مدیریت به عنوان فشارهای سیستم، کنترل تراز آب زیرزمینی به عنوان حالت سیستم، کاهش حجم و کیفیت منابع آب زیرزمینی به عنوان اثر در سیستم آبخوان برای این رویکرد یکپارچه در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی وضعیت آبخوان با استفاده از مدل شبکه بیزین انجام و برای چهار راهکار تعادل بخشی

## منابع

- Campos-Gaytan, J.R., Kretschmar, T. and Herrera-Oliva C.S. (2014). "Future groundwater extraction scenarios for an aquifer in a semiarid environment: case study of Guadalupe Valley Aquifer, Baja California, Northwest Mexico", *Environ Monit Assess*, 186, 7961–7985.
- Dezab Consulting Engineering. 2017. *Report Basics and strategies for balancing groundwater. (In Persian)*
- Du, S.H., Su, X.S. and Zhang, W.J. (2013). "Effective storage rates analysis of groundwater reservoir with surplus local and transferred water used in Shijiazhuang City, China". *Water Environ J* 27, 157–169.
- IMPRESS, 2002. "Guidance for the analysis of pressures and impacts in accordance with the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy Working Group 2.1, 156 pp. Office for Official Publications of the European Communities". Retrieved on July 12, 2005 from <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library>, ISBN: 92-894-5123.
- Jafari, F., Javadi, S. and Karimi, N. (2015). "Forecasting of subsidence due to groundwater over exploitation using MODFLOW and interferometry technique in Radar imagery", 36th IAHR World Congress, Netherlands.
- Ministry of Energy. 2014. *Report of Reduction program and balance groundwater. (In Persian)*
- Pophare, A.M., Lamsoge, B.R., Katpatal, Y.B. and Nawale, V.P. (2014). "Impact of over-exploitation on groundwater quality: a case study from WR-2 Watershed, India", *J Earth Syst Sci* 123, 1541–1566.
- Roozbahani, A., Ebrahimi, E. and Banihabib, M. (2017). "Ground water risk management using dynamic bayesian networks and PROMETHEE method", *European Water*, 57, 367 – 374.
- Zhai, Y.Z, Wang, J.S, Huan, H., Zhou, J., Wang, W. (2013). "Characterizing the groundwater renewability and evolution of the strongly exploited aquifers of the North China Plain by major ions and environmental tracers", *J Radioanal Nucl Chem*, 296, 1263–1274.
- Zhang, W.J., Gao, L., Jiao, X., Yu, J., Su, X.S. and Du S.H. (2014). "Occurrence assessment of earth fissure based on genetic algorithms and artificial neural networks in Su-Xi-Chang land subsidence area", *China. Geosci J* 18, 485–493.
- Werner, A.D, Bakker, M., Post, VEA, Vandenbohede, A., Lu, C.H., Ataie-Ashtiani B, Simmons, C.T. and Barry, D.A. (2013). "Seawater intrusion processes, investigation and management: recent advances and future challenges", *Adv Water Resour* 51, 3–26.



***Evaluation of DPSIR structure for balancing groundwater resources with multi-criteria decision making and stakeholder participation***

***Hamid kardan moghaddam<sup>1</sup>, Abbas Rozbahani<sup>2\*</sup>***

*1- Ph.D. Department of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran. Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.*

*2- Assistant Prof., Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran*

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

*Received: 04-04-2018; Accepted: 07-09-2018*

***Abstract***

*One of the most important sources of water supply, especially in arid areas, is groundwater resources . The various climate and human crises have caused complexity in water resources systems, particularly groundwater. The evaluation of the technical efficiency of these systems is based on the integrated management of operational capability. The integrated approach of the DPSIR in the aquifer system can improve the efficiency of the equilibrium plan due to the critical state of groundwater resources. This approach can be applied by considering the four parts of the actuator, pressure, mode and effects to formulate proper utilization policy with consideration of compatibility with aquifer status. In this research, while proposing a unified DPSIR approach for managing aquifers, an appropriate compatibility policy was developed for optimal utilization with consideration of decision making at four operational levels. This integrated approach to the groundwater resources system for decision making can provide the right tools with minimal stress for the users and the government.*

***Keywords:*** *Balancing groundwater, DPSIR, Groundwater management, Multi-criteria decision*