کاربرد قوانین انتخاب اجتماعی (SCR) در مدیریت و بهره‌وری بهینه از منابع آبی

محمدرضا علیزاده[۱]، محمدرضا نیکو*[۲]، غلامرضا رخشندرو[۳]، ناصر طالب‌بیدختی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۷

چکیده

مدیریت و بهره‌وری بهینه منابع از آب زیرزمینی با توجه به ویژگیهای آن، تمهیدات مناسبی را می طلبد. بهره وری از منابع آب زیرزمینی دارای مسائل مهمی مانند اهداف متضاد و پیچیده، متغیرهای تصمیم‌گیری قابل‌توجه، و عدم قطعیتهای مختلف می‌باشد. بویژه زمانی که ذینفعان متفاوتی با مطلوبیتهای متضاد در این بهره وری درگیر باشند تضاد منافع بین ذینفعان بیش از پیش بروز می‌کند. هدف از روش شناسی ارائه شده در این مقاله، تعیین مقدار بهینه‌ی تخصیص منابع آب زیرزمینی با تأکید بر رفع اختلاف بین طرفهای درگیر در تدوین سیاستهای بهره وری بر مبنای رویکرد کاربرد قوانین انتخاب اجتماعی می‌باشد. در این مطالعه، با تدوین یک روش شبیه‌سازی-بهینه‌سازی، مقادیر بهینه‌ی تخصیص از آبخوان تعیین گردیدند. بدین منظور، یک فراشبیه بر مبنای شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با استفاده از نتایج اجرای مکرر شبیه شبیه‌ساز آبخوان (MODFLOW) برای پیش‌بینی مقادیر افت تراز آب زیرزمینی، آموزش و صحت‌سنجی گردید. منحنی تعامل بین اهداف متضاد، به وسیله‌ی شبیه بهینه‌سازی چندهدفه‌ی NSGA-II به دست آمده است. برای انتخاب بهترین نقطه‌ی غیرپست به عنوان راه‌حل مورد توافق در مورد منحنی تعامل بین اهداف، روشهای انتخاب اجتماعی به کار رفته است. کارایی ساختار تدوین شده بر روی آبخوان دشت کوار- مهارلو در استان فارس مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان می-دهد که روش پیشنهادی، از کارایی مناسبی برای تعیین سیاستهای تخصیص از منابع آب زیرزمینی برخوردار است. پس از اعمال سیاستهای تخصیص بهینه تعیین‌شده با کاربرد شبیه شبیه‌سازی- بهینه‌سازی پیشنهادی در دشت کوار-مهارلو، حجم تخلیه‌ی سالانه از آبخوان به‌طور میانگین با کاهش ۵۶ درصدی به ۲۵/۵۲ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، قوانین انتخاب اجتماعی (SCR)، شبیه بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II، فراشبیه MLP، MODFLOW

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز

[۲]- استادیار بخش مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز،

[۳]- استاد تمام بخش مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

*- نویسنده مسوول مقاله: nikoo@shirazu.ac.ir

مقدمه

امروزه، بسیاری از کشورهای در حال توسعه به علت رشد جمعیت، صنعتی‌شدن، تغییر اقلیم و نبود مدیریت کارامد، در معرض کمبود آب قرار دارند. در کشور ما وجود بیش از ۶۰۰ هزار حلقه چاه آب در آبخوانهای آبرفتی و سازند سخت و حجم قابل توجه برداشت از منابع آب زیرزمینی از طریق این چاهها بیانگر نقش مهم و انکارناپذیر منابع آب زیرزمینی در توسعه زیرساختها در بخشهای مختلف از جمله کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت می‌باشد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی نشریه شماره ۵۵۷، ۱۳۹۲). با توجه به جایگاه و اهمیت منابع آب زیرزمینی، این منابع باید به دقت مطالعه شده و با روش‌های صحیح مورد بهره‌برداری قرار گیرند و نهایتا به درستی و با بالاترین کارایی به مصرف برسند. به این ترتیب لزوم مطالعات علمی، اصولی و هدفمند منابع آب زیرزمینی به منظور بهینه کردن میزان بهره‌برداری از این منابع ضرورت پیدا می‌کند. یکی از موارد مهم در بهره وری بهینه از منابع آب زیرزمینی در مقیاس بزرگ، رفع اختلاف بین تصمیم‌گیرندگان و تاثیرپذیرندگان این سیستمها می‌باشد که هدف اصلی این تحقیق است. در ایران، معمولاً در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، بخشها و سازمانهای مختلفی مانند وزارت نیرو، سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت کشاورزی، وزارت بهداشت، بخشهای خصوصی و ... دخالت دارند و اهداف و مطلوبیتهای آنها در بسیاری از مواقع در تضاد با یکدیگر می‌باشد. از اینرو لازم است سیاست‌های تخصیص آب با جامع‌نگری کافی و با توجه به معیارهایی مانند عدالت اجتماعی، کارایی اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی تدوین شوند. بر این اساس، سیاست‌های تخصیص آب به آب‌بران، آبکشی از چاه‌ها و برداشت از آب زیرزمینی در مناطق مختلف به عنوان متغیرهای تصمیم باید به گونه‌ای تعیین شود که محدودیتهایی نظیر تغییرات سطح آب، کیفیت آب و سود حاصل از برداشت که از طریق طرفهای مختلف درگیر دیکته می‌شود، تأمین شده و رضایت طرفین درگیر تا حد امکان به نحوی تأمین شود که در مورد جواب مسأله یک توافق نهایی حاصل شود.

در دهه‌های اخیر استفاده ار نظریه بازی‌ها و شبیه‌های رفع اختلاف نظیر قوانین انتخاب اجتماعی[1] (SCR) در زمینه مدیریت منابع آب از جمله آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از راه‌حل‌های ممکن مورد توجه قرار گرفته است.می‌توان از مهمترین مطالعات در زمینه استفاده از تئوری بازی‌ها در مدیریت منابع آب و مدیریت سامانه‌های چند منظوره‌ی منابع آب به وسیله‌ی بوگاردی و همکاران (۱۹۷۶) اشاره کرد. همچنین یانگ و همکاران (۱۹۸۲) به منظور تخصیص هزینه‌های مربوط به توسعه سیستمهای منابع آب از تئوری بازیهای همکارانه استفاده نمودند. لوایسیگا (۲۰۰۴) با استفاده از تئوری بازیها، شبیه‌ی را به منظور بررسی و تحلیل مسأله بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مشترک ارائه داد. در تحقیق ایشان، تابع هدف شبیه بهینه‌سازی به صورت حداکثرنمودن سود با قید رعایت مقدار ارتفاع افت مجاز در سطح سفره آب زیرزمینی، تعریف شد. کراچیان و کارآموز (۲۰۰۷-۲۰۰۶) شبیه های رفع اختلاف غیر قطعی‌ای به ترتیب برای بهره برداری کمی و کیفی از سامانه های مخزن و رودخانه - مخزن ارائه دادند. ایشان برای نخستین بار امید ریاضی تابع ضربی Nash را به عنوان تابع هدف شبیه بهره برداری کمی و کیفی از سامانه‌های منابع آب مورد استفاده قرار داند. سالازار و همکاران (۲۰۰۷) شبیه‌ی را به منظور حل اختلاف در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از نظریه بازیها توسعه داده و اثرات زیست‌محیطی نامطلوب ناشی از افزایش برداشت از سفره آب زیرزمینی به منظور افزایش سود حاصله از تولید محصولات کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. ساک و پترسون (۲۰۰۷) روش مناسبی بر مبنای شبیه بازی با اطلاعات ناقص[2]، به منظور بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی پیشنهاد نمودند. استفاده از بازی با اطلاعات ناقص در مدیریت منابع آب بوده که بنا بر ماهیت مسائل مدیریت منابع آب، کار بسیار معقولی به نظر می‌رسد از نکات قوت این تحقیق به شمار می‌آید. گنجی و همکاران (۲۰۰۷) روش جدیدی بر مبنای تئوری بازیها، برای حل اختلاف بین مصرف‌کنندگان مختلف آب تخصیص داده‌شده از مخازن سدها تدوین

[1] Social Choice Rule
[2] Incomplete information

نمودند. لذا بر مبنای اصول تئوری بازی‌ها، یک شبیه بازی پویای غیر قطعی Nash با اطلاعات کامل (SDNG)[1] در بهره‌برداری از سد مخزنی زاینده‌رود توسعه داده شد. یانگ و همکاران (۲۰۰۸) به منظور مدیریت کمی و کیفی رودخانه گواتینگ در شمال چین، از تئوری بازی‌ها استفاده نمودند. در تحقیق ایشان، شرایط غیر همکارانه و همکارانه بین ذینفعان در نظر گرفته شده و برای بازتوزیع سود حاصل از حالت برقراری بازی همکارانه، از راه حل نش[2] استفاده شد. نیکسوخان و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تئوری رفع اختلاف شبیهی را برای تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی در رودخانه‌ها توسعه دادند. با استفاده از تئوری چانه‌زنی Young و بر اساس مطلوبیت بین تصمیم‌گیرندگان و تأثیر پذیرندگان سامانه‌های رودخانه‌ای، نقطه مورد توافق را روی منحنی تعامل بین اهداف که از روش بهینه‌سازی NSGA-II به دست آمده بود، تعیین شد. بازرگان‌لاری و همکاران (۲۰۰۹) یک شبیه حل اختلاف را به منظور بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کیفیت آب، تدوین نمودند. به منظور تدوین شبیه بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی در این تحقیق، از شبیه بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II، تئوری چانه‌زنی Young و شبیه‌های شبیه‌سازی کیفی و کمی آب زیرزمینی MODFLOW و MT3D استفاده شد. کراچیان و همکاران (۲۰۱۰) استفاده ازنظریه روش بازی فازی برای مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی (کاربرد نظریه چانه زنی روبنشتاین) را مورد بررسی قرار دادند. به منظور توسعه منحنی تعامل بین اهداف، از الگوریتم ژنتیک (NSGA -II) استفاده شد و برای حل در منحنی تعامل نظریه چانه زنی روبنشتاین متوالی[3](RSBT) مورد استفاده قرار گرفت. مدنی و همکاران (۲۰۱۳) یک شبیه چانه‌زنی برای حل اختلاف بر سر منابع طبیعی با مرزهای مشترک بین‌المللی ارائه نموده و در یک مطالعه موردی دریای خزر و مسائل مربوط به کشورهای همسایه آن را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه ایشان شبیهی برای معین کردن مرزهای اشتراکی با درنظر گرفتن روش‌های مختلف توزیع ارائه شد. این شبیه تحت نمایشنامه های مختلف تقسیم سهام برای ارزیابی میزان سهام هر یک از مشترکین، مکان و فواصل مرزهای دریایی و نیز ارزیابی اقتصادی اجرا گردید. رفیع‌پور و همکاران (۲۰۱۴) یک روش جدید برای توسعه قوانین بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی ارائه کردند. قوانین بهره‌برداری بر اساس شبکه‌های بیزی و با استفاده از نتایج حاصل از شبیه بهینه‌سازی چند هدفه (NSGA -II) آموزش دیده و صحت‌سنجی شدند. مینابادی و همکاران (۲۰۱۴) از روش‌های نظریه ورشکستگی در تخصیص منابع آب استفاده کردند. آنها استفاده از روش جدید نظریه ورشکستگی بر روی رودخانه فرات را مورد بررسی قرار داده و با ۴ روش دیگر مقایسه کردند. فلاح‌مهدی‌پور و بزرگ‌حداد (۱۳۹۳) مسأله بهره-وری بهینه از سامانه سه‌مخزنه با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان جهت برقراری سازش بین ذینفعان، از توابع مطلوبیت در قالب تابع نش استفاده کردند. اعلمی و همکاران (۱۳۹۳) بهره وری و تخصیص بهینه منابع آب مخزن سد علویان واقع در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را با استفاده از شبیه‌سازی پویایی سامانه‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد رویکرد شبیه‌سازی پویایی سامانه‌ها علاوه بر سادگی و دقت مناسب در طراحی، امکان وفق‌پذیری با شرایط و قیود متفاوت فرآیند تخصیص بهینه منابع آب مخازن سدها را دارا می‌باشد. فلاح‌مهدی‌پور و همکاران (۱۳۹۳) نحوه بهره‌برداری در زمان واقعی از منابع متفاوت و تخصیص آب به نیازهای مختلف سامانه آبخوان- سد در محدوده کرج را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور کارایی الگوریتم ژنتیک[4] (GA) در استخراج قاعده بهره‌برداری خطی و برنامه‌ریزی ژنتیک با موقعیت ثابت ژن[5] (FLGGP) در یافتن روابط ریاضی بدون قالب از پیش تعیین‌شده خطی یا غیرخطی، با هدف کمینه‌سازی مجموع مربعات انحرافات مقادیر به هنجار شده تخصیص از نیاز، مقایسه شده‌اند.

با این حال، با توجه به مرور پیشینه فرض بر این اساس بوده است که قانون‌گذار در زمینه تخصیص منابع آب،

[1] Stochastic Dynamic Nash Game (SDNG)
[2] Nash solution
[3] Rubinstein Sequential Bargaining Theory
[4] Genetic Algorithm
[5] Fixed Location Gene Genetic Programming

معمولا به اندازه کافی اطلاعات دقیقی در مورد طرفهای درگیر در مساله ندارد تا ادعای هر کدام از عوامل را نسبت به ترجیحات و اولویت‌های آنها مورد بررسی قرار دهد. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیران انگیزه دارند تا به صورت راهبردی رفتار کنند. دقیقا به همین دلیل نوع دیگری از قوانین تخصیص که ضد راهبردی بودند توسعه داده شد (باربرا و همکاران، ۲۰۰۵). از شبیه‌های پرکاربرد و موثر در این حوزه می‌توان قوانین انتخاب اجتماعی را نام برد که اخیرا مورد توجه محققین زیادی در تخصیص منابع آب قرار گرفته‌اند. از قوانین انتخاب اجتماعی در مباحث تجارت آب و نیز جنبه‌های اقتصادی آن به وفور استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به کارهای هاو و همکاران (۱۹۸۶)، ایستر و هرنی (۱۹۹۵)، باربرا و همکاران (۱۹۹۷) و لی و ژورولو (۱۹۹۸) اشاره کرد. همچنین اسپرومنت (۱۹۹۱) قوانین تخصیص یکنواخت را در یک مقاله تعریف نمود. این قانون مستلزم آن است که نتیجه مطابق با معیارهای پارتو، ضد استراتژی، ناشناس و سازگار باشد و شرایط یکنواختی منابع را نیز ارضا کند. شیخ‌محمدی و مدنی (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به ارائه برخی از دیدگاه‌های خود در مورد حل اختلاف و پیش‌بینی نتایج ممکن حاصل، بر اساس قوانین انتخاب اجتماعی (SCR) و روش‌های چانه‌زنی بازگشتی برای حل اختلاف بر سر منابع مشترک از دریای خزر پرداختند. در این مطالعه، پنج گزینه برای حل و فصل اختلاف که در طول مذاکرات پیشنهاد شده است معرفی شده و مورد بحث قرار گرفته‌اند. شیخ‌محمدی و همکاران (۲۰۱۰) روش چانه‌زنی بازگشتی همراه با انتخاب اجتماعی (SCR) را برای محتمل‌ترین نتیجه ممکن حاصل از چانه‌زنی بر منابع مشترک دریای خزر ارائه کردند. هدف از این مطالعه شناسایی روشی برای پیش‌بینی نتیجه یک مذاکره و پس از آن درخواست طرف‌های درگیر در مورد نظام حقوقی دریای خزر است که اختلاف از زمان فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی شکل گرفته است. در نهایت نتایج حاصل از نظر اقتصادی با چند روش نظریه ورشکستگی مقایسه شده است. رید و همکاران (۲۰۱۳) به منظور حل مشکل انتخاب منبع کارمایه در فیربنکس آلاسکا که شامل طیف وسیعی از ذینفعان با معیارهای مختلف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، و زیست محیطی در تصمیم‌گیری بود از شبیه های انتخاب اجتماعی(SCR)، چانه‌زنی بازگشتی و چندمعیاره و چندتصمیم‌گیرنده[1] برای ارائه بهترین راه‌حل استفاده کردند. اخیرا مارتینز و همکاران (۲۰۱۴) سامانهی را برای تخصیص منابع آب زیرزمینی بر اساس نوعی از شبیه‌های انتخاب اجتماعی (SC) ارائه کردند. در تحقیق ایشان قانون یکنواختی[2] به عنوان سازو کاری برای تخصیص بهینه منابع آب در نظر گرفته شده و با قانون نسبت[3] و قانون تجارت[4] مقایسه شده است. همچنین مساله بهینه‌سازی به وسیله ی شبیه GAMS حل شده است. ایشان ساختار پیشنهادی خود را بر روی آبخوان لامانچای غربی در اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند. همانطور که مرور پیشینه مطالعات نشان می‌دهد، استفاده از نظریه بازی‌ها و شبیه‌های رفع اختلاف کارایی مناسبی در لحاظ تعاملات و اهداف متضاد ذی‌نفعان اصلی درگیر در مسائل مدیریت بهینه منابع آب داشته‌اند. لذا در این مقاله، به عنوان نگرشی نو، سعی شده است ابتدا یک سامانه آبخوان آب زیرزمینی در راستای کاهش زمان اجرا به وسیله‌ی فراشبیه شبیه‌سازی شود، سپس مساله به صورت چندهدفه در نظر گرفته شده و شبیه شبیه‌ساز به شبیه بهینه‌ساز چندهدفه متصل شود. در نهایت برای شبیه-سازی مذاکرات میان طرف‌های درگیر از قوانین انتخاب اجتماعی (SCR) استفاده شده است. بدین‌منظور در ادامه، در بخش مواد و روش‌ها ابتدا ذی‌نفعان و تابع مطلوبیت آنها تشریح شده است و سپس نحوه تدوین فراشبیه شبیه-ساز آبخوان، شبیه بهینه‌ساز چندهدفه و نیز انواع شبیه-های قوانین انتخاب اجتماعی به کار رفته در این مقاله شرح داده می‌شود. سپس آبخوان دشت کوار-مهارلو در استان فارس به عنوان مطالعه موردی معرفی شده است و در نهایت نتایج ارزیابی روش شناسی تدوین شده بر روی آبخوان مورد مطالعه ارائه خواهد شد.

[1] Multi-Criteria Decision Making (MCDM)
[2] Uniform rule
[3] Proportional rule
[4] Market rule

مواد و روش‌ها

تشریح ذی‌نفعان و تابع مطلوبیت آنها

از آنجایی که هدف از ساختار این تحقیق، تدوین سیاست‌های بهینه تخصیص آب زیرزمینی می‌باشد، اولین گام، شناخت طرف‌های اصلی درگیر در سامانه است. پس از شناخت تصمیم‌گیرندگان و ذی‌نفعان در زمینه‌ی مدیریت تخصیص آب زیرزمینی، دومین گام تعیین اهداف و مطلوبیتهای مربوط به آنها در فرآیند شبیه‌سازی می‌باشد. تعیین محدودیتهای کمی منابع و مصارف و همچنین تعیین محدودیتهای فیزیکی سامانه نیز لازم است به عنوان ورودیهای شبیه مد نظر قرار گیرند. در بهره‌وری از منابع آب زیرزمینی معمولا ذینفعان متعددی با مطلوبیتهای متفاوت و غالبا متضاد وجود دارد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نمونه بارزی از وجود ذینفعان با مطلوبیتهای متضاد می‌باشد که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است. مسأله چند هدفه مورد بحث در این تحقیق، از سه تابع هدف به شرح زیر تشکیل می‌شود:

- بیشینه کردن سود حاصل از برداشت منابع آب زیرزمینی با توجه به حداقل کردن میزان کمبود در تأمین نیازهای آب‌بران[1]
- کمینه کردن افت سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به آبخوان در منطقه در اثر برداشت
- بیشینه کردن حداقل نسبت میزان آب تخصیصی به میزان تقاضای آب‌بران و لحاظ کردن معیار عدالت در تخصیص منابع آب زیرزمینی

این اهداف به تفصیل در قالب توابع مطلوبیت ذی‌نفعان در ادامه تشریح می‌گردند.

ذینفع شماره ۱، بخش کشاورزی (کشاورزان)

عمده بخشهای منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را زمینهای کشاورزی تشکیل می‌دهند. در این منطقه آب زیرزمینی نقش قابل‌توجهی در تأمین نیاز آب‌بران دارد. سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به دلیل خشکسالیهای اخیر استان و نیز برداشت بی‌رویه و غیر اصولی از منابع آب زیرزمینی به شدت کاهش یافته است. از طرفی کشاورزان ترجیح می‌دهند که منافع خود را با افزایش برداشت هرچه بیشتر از منابع آب زیرزمینی و آبکشی افزایش دهند. به دلیل این افزایش بی‌رویه در برداشت که منجر به سوددهی بیشتر برای کشاورزان خواهد شد و مطلوب کشاورزان است افت شدیدتراز سطح آب زیرزمینی حاصل خواهد شد حال آنکه این کاهش سطح تراز آب زیرزمینی از نظر شرکت آب منطقه‌ای استان نامطلوب ارزیابی می‌گردد. آب مورد نیاز مصارف کشاورزی از طریق برداشت از چاههای کشاورزی در منطقه تأمین می‌شود. بنابراین کمینه کردن میزان کمبود در تأمین نیاز آب به آب‌بران در منطقه که شامل مناطق کشاورزی می‌گردد، به عنوان تابع مطلوبیت این بخش به صورت معادله ۱ لحاظ گردیده است:

$$m = 1,2,3,...,13 \qquad (۱)$$
$$Min\ (\sum_{y}\sum_{r}\sum_{m} DI_r^{y,m})$$

در معادله بالا ، DI حجم کمبود در تأمین نیازها (مترمکعب در روز)، نمایه‌های r و m و y به ترتیب بیانگر منطقه، ماه و سال مورد نظر می‌باشند.

ذینفع شماره ۲، شرکت آب منطقه‌ای

تأمین تقاضای آب مورد نیاز مصارف شهری و کشاورزی از اولویتهای شرکت آب منطقه‌ای استان می‌باشد. در این راستا کنترل متوسط سطح تراز آب زیرزمینی در حد مجاز در منطقه مورد مطالعه مطلوبیت شرکت آب منطقه‌ای به‌شمار می‌آید. برای کنترل سطح تراز آب زیرزمینی، کمینه‌کردن افت تراز سطح آب در دوره برنامه‌ریزی به عنوان تابع هدف در این سازمان مطرح است و به صورت یک قید در مسأله شبیه‌سازی لحاظ می‌گردد:

$$\sum_{r}\sum_{m} WTD_r^m = f_{net}(Q_i, \mathrm{Re}, k, ...) \qquad (۳)$$

$$\sum_{r}\sum_{m} WTD_r^m \le WTD_{allowable} \qquad (۴)$$

در معادله بالا WTD متوسط افت سطح تراز آب زیرزمینی در منطقه، Q میزان تخصیص از منابع آب

[1] Slack

زیرزمینی WTD_{all} حداکثر افت مجاز تراز سطح آب زیرزمینی، Re مقدار تغذیه آب به منابع آب زیرزمینی، K متوسط هدایت آبی خاک، i تعداد آب‌بران(چاههای برداشت در منطقه) و f تابعی است که با استفاده از اجرای فراشبیه شبیه‌سازی MLP آبخوان به دست می‌آید.

معیار عدالت (مساوات)

برداشت از منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر ملاحضات سیاسی قرار دارد. میزان پذیرش و قابل قبول بودن سیاستهای تخصیص آب به وسیله‌ی آب‌بران مختلف بسیار حائز اهمیت است. در این راستا، هر چه مقدار حقابه‌های تخصیص داده شده به آب‌بران به میزان نیاز آنها نزدیک‌تر باشد، امکان پذیرش آن سیاست تخصیص یا مجوز برداشت آب به آب‌بران و پایداری تخصیص‌ها بیشتر می‌شود. از این رو در نظر گرفتن معیار عدالت در تخصیص از منابع آب زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. در این تحقیق حداکثر کردن معیار عدالت در تخصیص به عنوان یکی از موءلفه‌های تابع هدف آورده شده است که خود می‌تواند به عنوان عاملی در تضاد با مطلوبیت‌های دیگر طرف‌های درگیر قرار گیرد. تابع مطلوبیت این بخش به صورت زیر لحاظ گردیده است:

$$Max\left(Min\left(\sum_{y}\sum_{r}\sum_{m}\frac{Q_r^{y,m}}{De_r^{y,m}}\right)\right) \quad (۳)$$

در این معادله، Q مقدار حقابه‌های تخصیص داده شده به آببران، De میزان حجم نیاز آبی آب‌بران، نمایه‌های r و m و y به ترتیب بیانگر منطقه، ماه و سال می‌باشد.

تدوین شبیه شبیه‌سازی-بهینه‌سازی

در روش شناسی پیشنهادی برای حل معادلات مربوط به مطلوبیتهای ذی‌نفعان درگیر در منطقه با اهداف متضاد که در واقع توابع هدف مسأله بهینه‌سازی چندهدفه سامانه را تشکیل می‌دهند از شبیه NSGA-II به عنوان شبیه بهینه‌ساز چندهدفه استفاده شده است. شبیه بهینه‌ساز چندهدفهٔ NSGA-II برای فائق آمدن بر ضعف شبیه‌های چندهدفهٔ قبلی (مانند مشکلات مربوط به هزینه محاسباتی و ...) به وسیله‌ی دب و همکاران در سال (۲۰۰۰) پیشنهاد شد. در دهه گذشته به دلیل عملکرد مناسب در حل مسائل چندهدفه در مدیریت منابع آب، به وسیله‌ی محققان متعددی مانند رید و مینسکر (۲۰۰۴)، یانداموری و همکاران (۲۰۰۶)، نیکو و همکاران (۲۰۱۴)، با موفقیت به کارگرفته شده است. بهترین جوابها در NSGA-II بر پایه الگوریتم ژنتیک و با توجه به برازش، گسترش و پراکندگی جوابها در یک روند نخبه‌گرایانه انتخاب می‌گردد. در مرحله بهینه‌یابی، شبیه NSGA-II قادر به تعیین منحنی تعامل بین اهداف با سرعت بالایی می‌باشد. حال آنکه همین شبیه بهینه‌یابی سریع، در شبیه‌سازی مسائل تخصیص آب در یک آبخوان بزرگ مقیاس مانند کوار-مهارلو به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، در اتصال مستقیم به شبیه شبیه‌ساز آبخوان که به وسیله ی MODFLOW صورت می‌گیرد، با مشکل زمان اجرا روبه‌رو است. مشکل زمان اجرا در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت قابل قبول است اما با بزرگ‌شدن مسأله برای برنامه‌ریزیهای بلندمدت، با توجه به افزایش قابل توجه متغیرهای تصمیم، اجتناب ناپذیر و قابل توجه می‌باشد. این مشکل در ساختار پیشنهادی به کمک استفاده از فراشبیه‌های شبیه‌ساز تدوین شده به وسیله‌ی شبیه شبکه عصبی پرسپترون چند لایه[1] (MLP) برطرف گردیده است و با تلفیق آن با شبیه بهینه‌ساز چندهدفه، مدیریت بهینه تخصیص آب از آبخوان را ممکن ساخته است. نتایج حاصله از تلفیق این شبیه‌ها و شبیه‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی، رویه‌ای از مجموعه جوابهای بهینه غیرپست در فضای اهداف است که به منحنی تعامل بین اهداف مشهور است.

قوانین انتخاب اجتماعی[2]

با توجه به اینکه در بهره‌برداری از منابع آبی زیرزمینی، تصمیم‌گیرندگان مختلفی با مطلوبیتهای متفاوت و اغلب متضاد وجود دارند، پس از بررسی مسأله به صورت چندهدفه، استفاده از شبیه‌های چانه‌زنی می‌تواند در بهبود و افزایش مقبولیت سیاستهای بهینه بهره‌برداری از نظر تصمیم‌گیرندگان و استفاده‌کنندگان از سیستم مؤثر بوده و

[1] Multi-Layer Perceptron
[2] Social Choice Rule

اجرای سیاستها را ممکن سازد. از اینرو، پس از آنکه مجموعه‌ای از جوابهای بهینه ممکن در فضای اهداف که به منحنی تعامل بین اهداف مشهور است، به وسیله‌ی شبیه شبیه‌سازی-بهینه‌سازی به دست آمد، در نهایت به منظور در نظر گرفتن تعارضات ممکن در انتخاب بهترین سیاستهای تخصیص بین تصمیم‌گیرندگان و تأثیرپذیران سیستم، از نظریه‌های قوانین انتخاب اجتماعی (SCR) در انتخاب راه‌حل بهینه اجتماعی[1] استفاده شده است. نظریه-های انتخاب اجتماعی مربوط به اصولی می‌شوند که به طور ضمنی، انتخابها و مطلوبیتهایی را در برمی‌گیرد که طی آن گروهی از ذینفعان، اولویتهای متفاوتی برای انتخابهای ممکن و قابل دسترس قائل می‌شوند. این روش در مفهوم با اصول قانون جمع اولویتها سر و کار دارد و به نظر می‌رسد مطلوبتر است که مطلوبیتهای فردی در قالب مطلوبیتهای گروه منعکس شود. نظریه انتخاب اجتماعی در تصمیم‌گیریهای کمیته‌ای، رأی‌گیریهای سیاسی و بیشتر جنبه‌های اقتصادی و رفاهی قابل اجرا می‌باشد. یک قانون انتخاب اجتماعی (SCR) مجموعه ای از حالتهای اجتماعی ممکن و قابل اجرا را برای هر وضعیتی از اولویتهای ذی‌نفعان انتخاب می‌کند. در این تحقیق، برخی از قوانین انتخاب اجتماعی شناخته شده از جمله انتخاب کندورسه[2] (CC)، امتیاز دهی بردا[3] (BS)، قانون کثرت[4] (PR) و قانون رای‌گیری میانه[5] (MVR)، برای پیدا کردن راه حلهای "بهینه اجتماعی" برای حل اختلاف استفاده شده است.

انتخاب کندورسه (CC)

بر اساس این روش، مطلوبیتی که حداقل نسبت به سایر انتخابها برای اکثریت ذینفعان درگیر اولویت دارد به عنوان برنده کندورسه انتخاب می‌شود. در این روش تمامی انتخابهای ممکن به صورت دو به دو با هم مقایسه می-شوند و هر بار که یک انتخاب نسبت به انتخاب دیگر به وسیله‌ی طرفهای درگیر ترجیح داده شود یک امتیاز خواهد گرفت. در نهایت، انتخابی که بیشترین امتیاز را به خود اختصاص دهد برنده کندورسه می‌باشد. در واقع، برنده کندورسه برابر با بیشترین تعداد دفعاتی است که یک انتخاب نسبت به بقیه انتخابها ترجیح داده می‌شود (شیخ‌محمدی و مدنی، ۲۰۰۸).

امتیازدهی بردا (BS)

بر اساس این روش هر تصمیم‌گیرنده به iامین انتخاب خود که بیشترین ارجحیت را دارد و بالاترین مطلوبیت او است، امتیاز $m-i$ را اختصاص می‌دهد که در آن m تعداد انتخابها می‌باشد. به عبارت دیگر، امتیاز اختصاص داده شده به وسیله‌ی تصمیم گیرنده به یک انتخاب، تعداد دفعاتی است که آن انتخاب نسبت به انتخابهای دیگر ترجیح داده شده است. به ازای هر انتخاب، امتیاز اختصاص داده شده به وسیله‌ی هر کدام از تصمیم-گیرندگان به صورت تجمعی محاسبه می‌شود. سپس انتخاب با بالاترین امتیاز کل به عنوان انتخاب مجموعه‌ای بردا تعریف می‌شود (شیخ‌محمدی و مدنی، ۲۰۰۸).

قانون کثرت (PR)

این روش یکی از قدیمیترین روشهای انتخاب اجتماعی است. قانون کثرت، انتخابی را به عنوان بهترین انتخاب مطلوب اجتماعی در نظر می‌گیرد که بالاترین تعداد رأی‌دهندگان به خود را داشته باشد. این قانون بدون توجه به مطلوبیتهای پائین‌تر، بر اولویت اول هر کدام از طرفهای درگیر تمرکز می‌کند. در واقع انتخابهای ممکن بر اساس اولویتهایی که دارند مانند روش بردا امتیازبندی شده و سپس انتخابهای با بیشترین تعداد دفعات و بالاترین امتیاز برگزیده می‌شوند (شیخ‌محمدی و مدنی، ۲۰۰۸).

قانون رأی‌گیری میانه (MVR)

در این روش ابتدا تمامی انتخابهای ممکن بر اساس میزان مطلوبیتی که برای ذینفعان درگیر در مساله دارند، اولویتبندی می‌شوند. تعداد دفعاتی که هر کدام از انتخاب-ها در اولویتهای اول، دوم و تا آخرین اولویت قرار می‌گیرد، محاسبه می‌شود. سپس در هر سطحی از اولویت، اولین نقطه‌ای که بیشترین تعداد رأی‌دهنده (بیشتر از نصف

[1] Socially Optimal Resolution
[2] Condorcet Choice
[3] Borda Scoring
[4] Plurality Rule
[5] Median Voting Rule

ذینفعان درگیر) را بـه خـود اختصـاص مـی‌دهـد انتخـاب MVR است. در واقـع اولـین گـامی کـه یـک انتخـاب بـه بیشترین تعداد رأی‌دهنده می‌رسد را بیان می‌کنـد. MVR انتخابی که در بالاترین سـطح اولویـت ممکـن در دریافـت حمایـت اکثریـت قـرار دارد را انتخـاب مـی‌کنـد (بـازت و پارسکی، ۱۹۹۹).

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در این تحقیق دشت کوار مهارلو در جنوب‌غربی حوزه تلفیق در اسـتان فـارس مـد نظـر قـرار گرفته است. ایـن محـدوده از سـمت شـمال بـه محـدوده مطالعاتی قره‌باغ و از شرق به سروستان محدود شده اسـت (شـکل ۱). مسـاحت کـل ایـن محـدوده مطالعـاتی ۳۲۳ کیلومتر مربع بوده که از این میزان ۱۴۷/۱۰ کیلومتر مربع دشت و ۱۷۵/۹۰ کیلومتر مربـع را ارتفاعـات تشـکیل داده اسـت. حـداکثر ارتفـاع در ایـن محـدوده ۲۲۰۲ متـر، در ارتفاعـات جنـوب محـدوده و حـداقل آن ۱۵۰۰ متـر، در دشتهای مرکز محدوده بوده است. متوسط ارتفاع دشت در این محدوده مطالعاتی ۱۵۹۳/۳ متر و متوسط ارتفـاع کـوه ۱۹۴۸/۹۱ متر است. مهمتـرین شـهر ایـن محـدوده کـوار اسـت. همچنـین وسـعت آبخـوان آبرفتـی ایـن محـدوده مطالعاتی ۱۳۱/۵۰ کیلومتر مربـع اسـت. در مجمـوع ۸۸۲ منبع آب در این محدوده مطالعاتی وجود داشـته اسـت. از این تعداد ۸۷۲ حلقه چاه فعال (۵۱۰ حلقه عمیـق و ۳۵۹ حلقه کم‌عمق) و ۳ حلقه چاه غیرفعال و متروکه در منبـع آب آبرفتی و ۱۰ منبع در سازند سخت قـرار دارد. بررسـی نوسـانات سـطح آب زیرزمینـی در سـالهای اخیـر نشـان می‌دهد که با توجه به خشکسالی و کاهش میـزان نـزولات جوی و برداشت بی‌رویه از آبهای زیرزمینی، سطح تراز آب زیرزمینی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. افت سطح آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۱ سـاله بـه مقـدار ۱۱/۸۷ متر بوده که بدین ترتیب میانگین افـت سـالانه ۱/۰۸ متـر بوده اسـت (سـازمان آب منطقـه‌ای فـارس،گزارش بـیلان محدوده مطالعاتی کوار-مهارلو، ۱۳۹۱).

نتایج و بحث

با توجه به بخش تدوین ساختار شبیه (قسـمت ۲-۲)، ابتدا منطقه مورد مطالعه به ۱۳ ناحیه تقسـیم‌بنـدی شـده است (شکل شماره ۲) و رفتار آبخوان به وسـیله ی شـبیه MODFLOW شبیه‌سازی شده است. فراشبیه شـبیه‌سـاز بر اساس شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) بوده و بـا اسـتفاده از دادههـای حاصـله از شـبیه آب زیرزمینـی آبخوان (MODFLOW) واسـنجی و صـحت‌سـنجی شـده است. فراشبیه MLP زمان اجرای قابل قبولی در تلفیـق بـا شبیه بهینه‌ساز چندهدفه NSGA-II داشت. نتایج حاصـل از ۷۵۴ نمایشـنامه‌ی مختلـف سیاسـت تخصیصـی بـرای آموزش و صحت‌سنجی فراشبیه MLP به کار رفتند که بـه ترتیب ۷۵ درصد و ۲۵ درصد از داده‌ها بدین منظور مـورد استفاده قرار گرفت. خروجی شبیه MLP مقادیر افـت تـراز آب زیرزمینی در سلولهای آبخوان را بـه دسـت مـی‌دهـد. بدین ترتیب در ساختار فراشبیهMLP به ازای تعداد لایه و نرونهای متفاوت تحلیل حساسـایت صـورت گرفتـه اسـت. مقادیر فراسنجهای شبکه شامل تعداد نرون‌ها، بایاس‌ها و... حین آموزش شبکه تنظـیم شـده اسـت. شـکل شـماره ۳ نتایج صـحت‌سـنجی فراشـبیه MLP را بـرای پـیش‌بینـی مقـادیر افـت تـراز آب زیرزمینـی در نتیجـه سیاسـتهای مختلف برداشت از آبخوان را نشان می‌دهـد. همـانطور کـه در شکل دیده می‌شود فراشبیه می‌تواند بـا دقـت مناسـبی برای پـیش‌بینـی افـت تـراز بـه‌کـار رود. سـپس فراشـبیه آموزش‌دیده و صحت‌سنجی شده برای یـافتن بهینـه‌تـرین سیاستهای تخصیص منابع آب زیرزمینی از آبخوان دشـت به شبیه بهینه‌ساز چندهدفه NSGA-II تلفیق شده است.

در روش شناسی در نظر گرفته شـده در ایـن تحقیـق شبیه بهینه‌ساز چندهدفه NSGA-II برای به دست آوردن منحنی تعامل بین اهداف متضاد، مقادیر کمبود در تأمین-نیازها (S)، مقادیر افت تـراز آب زیرزمینـی (D_r) و نیـز نسبت میزان آب تخصیصی بـه مقـدار نیـاز آبـی آب‌بـران (برای لحاظ کردن معیار عدالت (E) در تخصیص) به کار رفته است. در شکل شماره ۴ منحنی تعامـل بـین اهـداف ارائه شده است که در آن چگونگی تضاد بین اهداف مساله را نشان می‌دهد.

در نهایت از روشهای قـوانین انتخـاب اجتمـاعی بـرای یافتن بهینه‌ترین نقطه غیر پست[1] بر روی منحنـی تعامـل

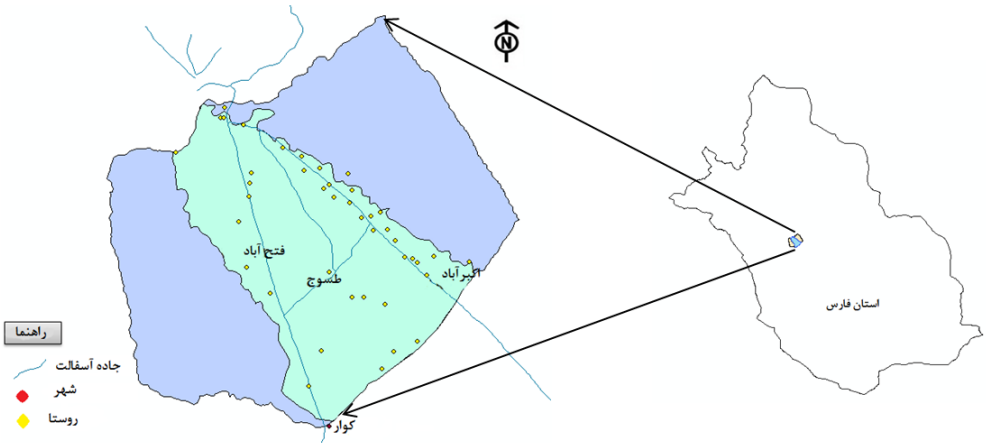
[1] Non-Dominated Solution

بین اهداف در شکل شماره ۴ که منجر به برآورده کردن تمامی قیود و اهداف مساله می‌شود استفاده شده است. در جدول شماره ۱ مقادیر توابع هدف برای مشخصات بهترین نقاط بهینه غیرپست انتخاب شده بر روی منحنی تعامل به وسیله‌ی روشهای مختلف قوانین انتخاب اجتماعی آورده شده است. مشخصات این نقاط بهینه شامل مقادیر بهینه‌شده کمبود در تأمین نیازهای آبران، افت تراز آب زیرزمینی و نیز نسبت میزان آب تخصیصی به میزان تقاضای آبران می‌باشد. با توجه به جدول ۱ به نظر می‌رسد روش امتیازدهی بردا (BS) نسبت به سایر روشهای انتخاب اجتماعی بیشتر به تأمین نیازهای آبران توجه داشته است و لذا در پی آن افت ۰/۳۵۱ متری تراز آبخوان را در پی خواهد داشت. از طرفی روشهای انتخاب کندورسه (CC) و رأی‌گیری میانه (MVR) تقریبا یکسان عمل می‌کنند و اگرچه موجب افزایش سطح تراز آبخوان تا حدود ۶ متر می‌شوند اما در تأمین نیاز آبی آبران کمبود زیادی را در پی خواهند داشت با این وجود که روش کندورسه (CC) نسبت میزان آب تخصیصی به مقدار نیاز آبی آبران و لحاظ کردن معیار عدالت (E) وضعیت مطلوبتری دارد. در شکل شماره ۵ مقایسه تغییرات میزان متوسط بده برداشت در ناحیه‌های مدیریتی در منطقه مورد مطالعه که به وسیله‌ی شبیه بهینه‌ساز چندهدفه و بعد از اعمال روش‌های SCR به دست آمده، ارائه شده است. براساس مقادیر بده‌های تخصیصی بهینه‌ای که به وسیله‌ی قوانین انتخاب اجتماعی به دست می‌آید تقریبا در اکثر مناطق دشت کوار مهارلو تغییرات بده در جهت کاهش برداشت از سفره آب زیرزمینی است. این مقادیر کاهش با میانگین ٪۵۶ برای کل آبخوان دشت حاصل می‌شود. بیشترین تغییرات منفی در بخش جنوب و جنوب-غربی دشت در نواحی ۴ و ۶ با میزان کاهش تقریبا ۷۰ درصدی است. در قسمتهای شمالی دشت نیز تغییرات منفی زیادی در برداشت از آب زیرزمینی دیده می‌شود. در قسمت مرکزی دشت و در نواحی ۹ و ۱۳ تغییرات مثبت برداشت از آب زیرزمینی قابل مشاهده است که علت آن می‌تواند تغذیه از سنگ کف و به تبع آن افزایش سطح آب زیرزمینی در این نواحی باشد. البته بر اساس روش امتیازدهی بردا (BS) سیاست تخصیصی در ناحیه مرکزی ۹ نیز منجر به کاهش در برداشت می‌شود. در کل مقدار تخلیه سالانه از آبخوان به وسیله‌ی چاه‌های برداشت حدود ۵۸ میلیون مترمکعب بوده است که پس از اعمال سیاستهای تخصیص بهینه این مقدار به طور میانگین با کاهش ٪۵۶ به مقدار ۲۵/۵۲ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. باتوجه به اینکه نتایج حاصله از قوانین انتخاب اجتماعی تقریبا نزدیک بهم می‌باشند می‌توان نتیجه‌گیری کرد سیاستهای تخصیص و برداشت از آبخوان در نتیجه راه‌حلهای پیشنهادی به وسیله‌ی این روشها، از کارایی مناسبی برخوردار بوده و رفتار آبخوان در پی اعمال این روشها تقریبا مشابه هم خواهد بود. منحنیهای هم‌تراز سطح آب زیرزمینی بعد از اعمال روشهای مختلف SCR در شکل شماره ۶ ارائه شده است. منحنیهای هم‌تراز سطح آب زیرزمینی نشان‌دهنده کاهش عمق سطح آب زیرزمینی از حاشیه ارتفاعات به سمت مرکز دشت است. علت تفاوت عمق سطح آب زیرزمینی در قسمتهای مختلف دشت می‌تواند مواردی مانند بافت و دانه‌بندی آبرفت، عمق سنگ کف و توپوگرافی باشد. بر این اساس حرکت آب زیرزمینی از سمت جنوب شرق دشت در ناحیه ۶ و به سمت شمال و شمال‌غرب در نواحی ۱ و ۷ دشت است. در حاشیه ارتفاعات شمالی دشت جهت جریان آب زیرزمینی به سمت ارتفاعات آهکی متمایل می‌شود که علت آن احتمالا تراکم چاههای بهره‌برداری است. برداشت زیاد از آبخوان آبرفتی باعث تغییرات تراز آب زیرزمینی در محل خروجی دشت در بخش شمال‌غربی شده به گونه‌ای که جریان خروجی زیرزمینی در این ناحیه متوقف گردیده است. با توجه به نتایج حاصله و در مقایسه با نتایج مطالعات پیشین، مشخص می‌شود که اگرچه قواعد مختلف تخصیص برای سفره‌های آب زیرزمینی در بسیاری از آبخوانها از جمله در منطقه مورد مطالعه به کار رفته است اما مزایای بالقوه اعمال قوانین اجتماعی در تخصیص به عنوان یک مکانیسم برای مدیریت بهینه آبهای زیرزمینی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. نتایج حاصل از این مقاله بیانگر این است که چگونه اجرای این قوانین در مدیریت آبهای زیرزمینی برای رسیدن به تخصیص کارآمدتر منابع آب موثر خواهد بود. در استفاده از قوانین انتخاب اجتماعی در تخصیص منابع آب

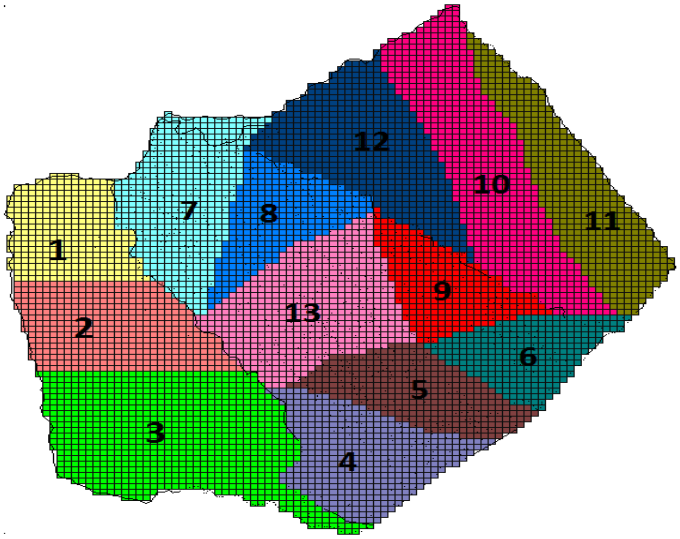
زیرزمینی در عین حال علاوه بر اینکه بهینگی نقاط منحنی تعامل حفظ می‌شود، به دلیل اینکه به وسیله‌ی یک مجموعه از قوانین مهم انتخاب جمعی برگزیده شده- اند از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده و در تعادل عرضه و تقاضای آب موثرتر واقع می‌شوند.

جدول۱- مقادیر توابع هدف حاصل از شبیه بهینه‌سازی چندهدفه و روش‌های مختلف انتخاب اجتماعی

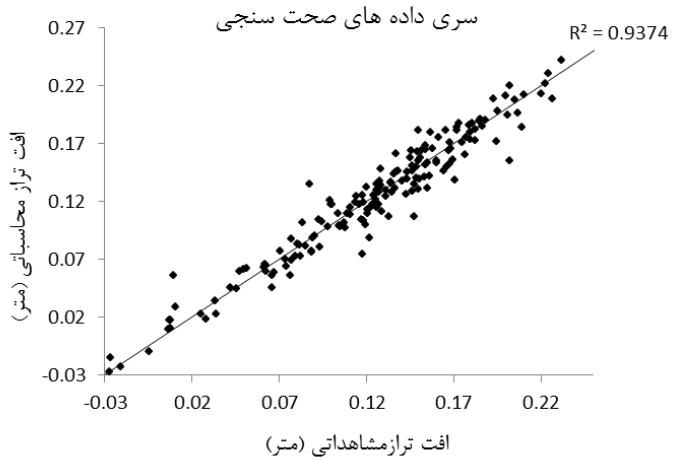
SCR	D_r (m)	S (m^3/d)	E
Condorcet Choice (CC)	۶/۳۹۱	-۲۰۶۶/۵۳	۰/۰۹
Borda Scoring (BS)	-۰/۳۵۱	۰	۰/۱۸
Plurality Rule (PR)	۰/۳۲۵	-۴۳/۲۵	۰/۱۹
Median Voting Rule (MVR)	۵/۵۷۴	-۱۲۷۶/۳۶	/۱۶



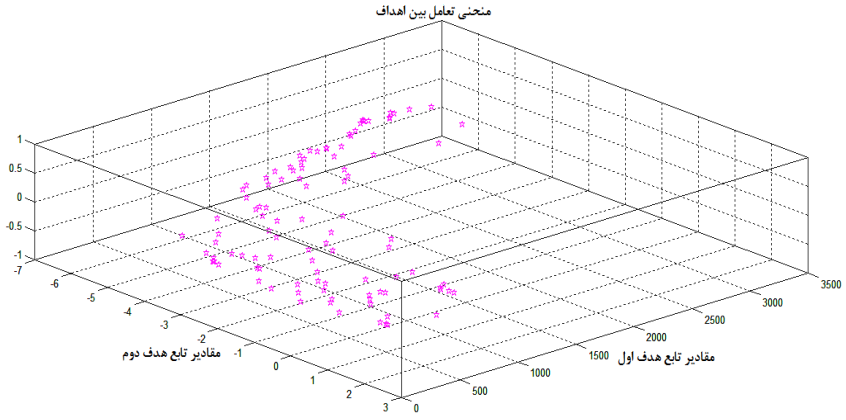
شکل ۱- محدوده مطالعاتی کوار مهارلو در استان فارس



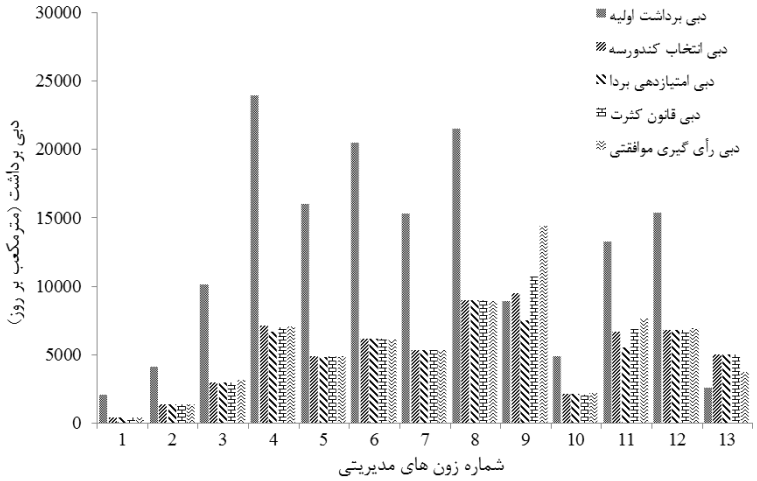
شکل ۲- تقسیم‌بندی دشت کوار-مهارلو به ۱۳ ناحیه مدیریتی



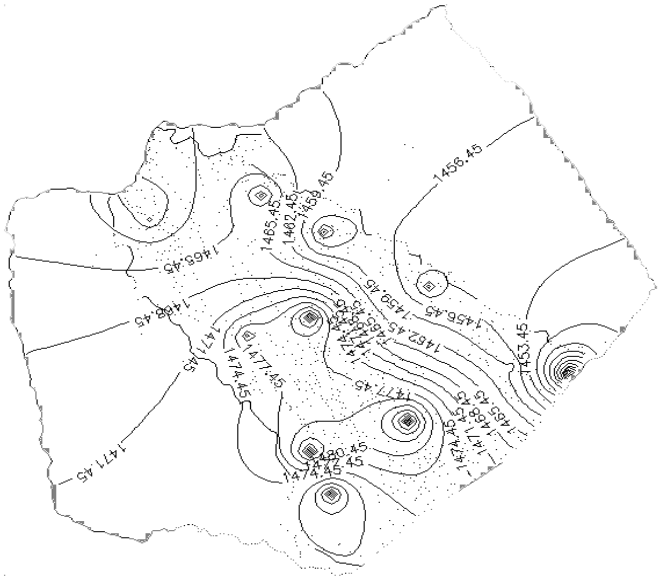
شکل ۳- نتایج فراشبیه MLP برای پیش‌بینی مقادیر افت تراز در دوره صحت‌سنجی



شکل شماره ۴- فضای سه‌بعدی تعامل بین اهداف



شکل ۵- مقایسه تغییرات میزان بده برداشت در نواحی مدیریتی



شکل ۶- منحنی‌های هم‌تراز آب زیرزمینی دشت بعد از اعمال سیاست تخصیص بهینه

نتیجه‌گیری

مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با توجه به خصوصیات ویژه‌ای که دارد، تمهیدات ویژه‌ای را طلب می‌کند. در این تحقیق، با تدوین یک شبیه حل اختلاف چانه‌زنی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی بر مبنای روشهای انتخاب اجتماعی، شبیه MLP و MODFLOW، مقادیر بهینه برداشت از آبخوان دشت کوار-مهارلو تعیین شد. بدین منظور، یک فراشبیه بر مبنای شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و با استفاده از نتایج شبیه شبیه‌سازی آبخوان (MODFLOW) برای پیش‌بینی مقادیر افت تراز آب زیرزمینی آموزش و صحت‌سنجی شد. در ادامه منحنی تعامل بین اهداف منظور شده با اتصال فراشبیه MLP به شبیه بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II به دست آمد. برای انتخاب بهترین نقاط مورد توافق ذینفعان بر روی منحنی تعامل بین اهداف بهینه به دست آمده از قوانین انتخاب اجتماعی استفاده شد. نتایج حاصل شده نشان داد که روش شناسی تدوین شده به نحو مناسبی می‌تواند در تعیین مقادیر بهینه برداشتها از منابع آب زیرزمینی به طوری که تعاملات ذینفعان لحاظ شده و قیود مساله نیز در نظر گرفته شود، مورد استفاده قرار گیرد. در کل مقدار تخلیه سالانه از آبخوان به وسیله‌ی چاههای برداشت پس از اعمال سیاستهای تخصیص بهینه به‌طور میانگین با کاهش ۵۶ درصدی به مقدار ۲۵/۵۲ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. همچنین در قسمتهای میانی دشت بر خلاف مناطق شرقی در ارتفاعات، توان بیشتری برای افت تراز آب در ازای برداشت از آبخوان وجود دارد که می‌بایست سیاستهای برداشت محدودتری مورد نظر قرار گیرد. همچنین به عنوان پیشنهاد برای مطالعات بعدی می‌توان در تدوین ساختار مورد استفاده در این تحقیق فراسنجهای بیشتری را با در نظر گرفتن عدم قطعیتهای حاکم بر مساله نظیر داده‌های ورودی و در شبیه‌سازی آبخوان به‌کار برد.

منابع

۱. اعلمی م. ت، ب، آقابالایی، م. ح، احمدی، س، فرزین. ۱۳۹۳. تخصیص بهینه نظام‌های منابع آب با استفاده از سامانه پویا. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی منابع آب. ۷(۲۳): ۹۹-۱۱۰

۲. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، دستورالعمل تعیین محل و نظارت بر حفر چاه های آب در آبرفت و سازندهای سخت.. نشریه شماره ۵۵۷، ۲۲۶ صفحه

۳. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. ۱۳۹۱. مطالعات به هنگام‌سازی اطلس منابع آب حوزه آبریز دریاچه-های طشک-بختگان و مهارلو. گزارش بیلان محدوده مطالعاتی کوار-مهارلو، ۵۹ صفحه.

۴. فلاح‌مهدی‌پور ا، ا، بزرگ‌حداد، ۱۳۹۳. کاربرد شبیه حل‌اختلاف نش در بهره‌برداری چندمنظوره سامانه مخزن. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی منابع آب. ۷(۲۲): ۱۱-۲۲

۵. فلاح‌مهدی‌پور ا، ا، بزرگ‌حداد، س، علیمحمدی، ۱۳۹۲. بهره‌وری بهینه از سامانه تلفیقی آبخوان- سد: رویکرد برنامه‌ریزی ژنتیک. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی منابع آب. ۷(۲۱): ۵۱-۶۶

6. Barberà S, M, Jackson, and A. Neme. 1997. Strategy-proof allotment rules. Games and Economic Behavior. 18: 1–21.
7. Barberà S. 2005. Strategy proofness. In: Arrow, KJ, Sen AK, Suzumara K. (Eds.). Handbook of Social Choice and Welfare. vol. II. Elsevier Science, Amsterdam.
8. Bassett GW, and J. Persky. 1999. Robust Voting. Public Choice. 99: 299-310.
9. Bazargan-Lari MR, R, Kerachian, and Mansoori A. 2009. A conflict-resolution model for the conjunctive use of surface and groundwater resources that considers water-quality issues: A case study. Environmental Management. 43:470–482.
10. Bogardi I and F. Szidarovszky. 1976. Application of game theory in water management, Applied Mathematical Modeling. 1(1):16-20.
11. Deb K, S, Agrawal, A, Pratap, and T. Meyarivan, 2000. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. 6th International Conference Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI, 18–20 September, Paris, France. 849-858
12. Easter W, and R.Hearne 1995. Water markets and decentralized water resources management: international problems and opportunities. Water Resources Bulletin. 31 (1): 9–20.
13. Ganji A, D, Khalili and M. Karamouz 2007. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. The symmetric stochastic model with perfect information. Advances in Water Resources. 30:528–542.
14. Howe C, D, Schurmeier, and Jr, W. Shaw. 1986. Innovative approaches to water allocation: the potential for water markets. Water Resources Research. 22 (4): 439–445.
15. Kerachian, R, and M. Karamouz, 2006. Optimal reservoir operation considering the water quality issues: A stochastic conflict resolution approach, Water Resources Research. 42(12): 1-17.
16. Kerachian, R, and M. Karamouz, 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems, Advances in Water Resources. 30(4): 866-882.
17. Kerachian, R, M, Fallahnia, M. R, Bazargan-Lari, A. Mansoori. and H. Sedghi, (2010). A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management: Application of Rubinstein bargaining theory, Journal of Resources, Conservation and Recycling. 54(10): 673-682.
18. Lee, T, and A. Jouravlev, 1998. Los Precios, la Propiedad y los Mercados en la Asignación del Agua. CEPAL (Naciones Unidas), Santiago de Chile. Martínez Y., 2002.
19. Loaiciga HA. 2004. Analytical game theoretic approach to groundwater extraction. J Hydrol. 297:22–33.
20. Madani, K, OM, Rouhani, A. Mirchi. and S. Gholizadeh. 2013. A negotiation support system for resolving an international trans-boundary natural resource conflict. Environmental Modeling & Software. 51:240-249

21. Martinez, Y. and E. Esteban. 2014. Social choice and groundwater management: application of the uniform rule, agricultural economics, ciencia e investigación agrarian. 41:153-162.
22. Mianabadi, O, E, Mostert, M. Zarghami, and N. van de Giesen, 2014. A new bankruptcy method for conflict resolution in water resources allocation. Journal of Environmental Management. 144:152–159
23. Nikoo, MR, I, Varjavand, R, Kerachian, M, Pirooz, A. Karimi, (2014) Multi-objective optimum design of double-layer perforated-wall breakwaters: Application of NSGA-II and bargaining models. Applied Ocean Research. 47:47–52.
24. Niksokhan, MH, R. Kerachian. and M. Karamouz, 2009. A game theoretic approach for trading discharge permits in rivers, Water Science and Technology. 609(3): 793-804.
25. Rafipour-Langeroudi M, R.Kerachian. and MR. Bazargan-Lari, 2014. Developing operating rules for conjunctive use of surface and groundwater considering the water quality issues. KSCE Journal of Civil Engineering. 18: 454-461
26. Read, L, S, Mokhtari, K, Madani, M. Maimoun, and C. Hanks. 2013. A Multi-Participant, Multi-Criteria Analysis of Energy Supply Sources for Fairbanks, Alaska. World Environmental and Water Resources Congress. 2013: 1247-1257.
27. Reed, PM, and BS. Minsker, 2004. Striking the balance: Long-term groundwater monitoring design for conflict objectives. Journal of Water Resources Planning and Management. 130(2):140-149.
28. Saak, AE, and JM. Peterson, 2007. Groundwater use under incomplete information. Journal of Environmental Economics and Management. 54: 214-228.
29. Salazar, R, F, Szidarouszky, EJr, Coppola, and A. Rojana. 2007. Application of game theory for groundwater conflict in Mexico", Journal of Environmental Management. 84: 560-571.
30. Sheikhmohammady, M, DM, Kilgour, and KW. Hipel. (2010) Modeling the Caspian Sea Negotiations. Group Decis Negot. 19:149–168.
31. Sheikhmohammady, M, and K. Madani, 2008. Bargaining over the Caspian Sea—the largest lake on the earth. In: Babcock RW, Walton R (eds) Proceeding of the 2008 world environmental and water resources congress, Honolulu, Hawaii. ASCE:1-9.
32. Sprumont, Y. 1991. The division problem with single peaked preferences: a characterization of the uniform allocation rules. Econometrica. 59: 509–519.
33. Yandamuri, SRM, K. Srinivasan, and SM. Bhallamudi. 2006. Multi objective optimal waste load allocation models for rivers using nondominated sorting genetic algorithm-II. Journal of water resources planning and Management. 132:133–43.
34. Yang, Z, Y, Zeng, Y, Cai, and Q. Tan. 2008. An integrated game-theory based model for trans-boundary water resources management in north china: A case study in the guanting reservoir basin (GRB), Beijing", International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. 18: 461-483.
35. Young, HP, N, Okada, and T. Hashimoto 1982. Cost allocation in water resources development. Water Resources Research. 18: 463–475.