تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یازدهم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۴
Volume 11, No. 3, Winter 2016 (IR-WRR)
۴۳-۵۶

تدوین مدل تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی با لحاظ تعاملات ذی‌نفعان: کاربرد مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی

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

چکیده

در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌های رفع اختلاف در زمینه مدیریت منابع آب از جمله آب‌های زیرزمینی به عنوان راه حلی مناسب برای لحاظ تضادها و تعاملات بین ذی‌نفعان درگیر و در نتیجه رسیدن به راه‌حل‌های بهینه قابل اجرا، رواج چشمگیری داشته است. در این تحقیق، با استفاده از تلفیق مدل‌های شبیه‌ساز-بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی، ضمن توجه به مطلوبیت‌های طرف‌های درگیر و معیارهای اجتماعی از جمله عدالت، بهترین سیاست‌های تخصیص تعیین شده است. برای تعیین منحنی تعامل بین اهداف متضاد، مدل بهینه‌ساز چند هدفه NSGA-II با فرامدل شبیه‌ساز M5P که با سری اطلاعات ورودی-خروجی حاصله از اجرای مکرر مدل MODFLOW آموزش و صحت‌سنجی شده، تلفیق گردید. از روش مونت کارلو برای تولید پایگاه داده جهت آموزش و صحت‌سنجی فرامدل به ازای مقادیر مختلف پمپاژ استفاده شد. به دلیل ماهیت چندهدفه بودن مسأله حاضر، مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی برای انتخاب نقطه مورد توافق روی منحنی تعامل بین اهداف به‌کار رفته است. کارآیی ساختار پیشنهادی با استفاده از اطلاعات آبخوان دشت داریان در استان فارس، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد اعمال سیاست بهینه تخصیص حاصل از مدل چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی موجب کاهش ۵۴٪ برداشت از آبخوان و افزایش ۴/۲ متری سطح تراز آبخوان می‌شود.

کلمات کلیدی: مدیریت منابع آب، چانه‌زنی بازگشتی، مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II، فرامدل شبیه‌ساز M5P، MODFLOW.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۹/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۶

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه شیراز.
۲- استادیار بخش مهندسی عمران و محیطزیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.
۳- استاد بخش مهندسی عمران و محیطزیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.
*- نویسنده مسئول

Developing an Optimal Groundwater Allocation Model Considering Stakeholder Interactions; Application of Fallback Bargaining Models

M.R. Alizadeh [1], M.R. Nikoo [2] and Gh.R. Rakhshandehrou [3]*

Abstract

In last few decades conflict-resolution models are being increasingly used in water resource management for cases such as the groundwater problems as an appropriate approach to consider the oppositions and trade-offs between the stakeholders involved in the conflict and to reach to an applicable optimal resolution. In this paper, by integrating simulation-optimization models of groundwater exploitation and bargaining methods, the optimal allocation scenarios are derived taking into account the preferences of the stakeholders and social criteria such as justice. Trade-off Pareto front between the rival objectives was computed through linking the NSGA-II multi-objective optimization model and M5P meta model which was trained and validated based on MODFLOW simulation results. Monte-Carlo method was used to develop a database for training and validating meta models for different allocation scenarios. Considering multi-objective nature of the problem, the best solutions on Pareto fronts were selected using fallback bargaining models. The effectiveness of the proposed methodology was verified in a case study performed on Daryan aquifer, Fars province, Iran. Results indicated that the total groundwater withdrawal after applying the optimal scenarios of allocation was reduced approximately 56% which resulted in the mean water level uplift of 4.2 meters in the aquifer.

Keywords: Water resources management, Fallback bargaining, NSGA-II optimization model, M5P simulation meta model, MODFLOW

Received: December 16, 2014
Accepted: August 28, 2015

1- M.Sc. Student, Department of Engineering, Civil and Environmental Engineering Division, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: alizadeh.mohamadreza@yahoo.com
2- Assistant Professor, Department of Engineering, Civil and Environmental Engineering Division, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: nikoo@shirazu.ac.ir
3- Professor, Department of Engineering, Civil and Environmental Engineering Division, Shiraz University, Shiraz, Iran.
*- Corresponding Author

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به چالش‌های فراوان بخش منابع آب زیرزمینی و این واقعیت که برخی مناطق کشور معمولاً در شرایط خشکسالی یا کمبود شدید آب به سر می‌برند، بهره‌برداری و تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی با در نظر گرفتن مطلوبیت‌ها و تضادهای تأثیر پذیرندگان این سیستم‌ها و همچنین با توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی و معیارهای اجتماعی از جمله عدالت به یکی از مباحث مهم در بهره‌برداری از منابع آب تبدیل شده است. معمولاً، در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، بخش‌ها و سازمان‌های مختلفی درگیر هستند و مطلوبیت‌های آنها در بسیاری از مواقع در تضاد با یکدیگر می‌باشند. از این رو تصمیم‌گیری در مورد انتخاب راه حل مورد توافق و مناسب برای همه ذی‌نفعان درگیر از بین جواب‌های بهینه ممکن، همواره از موضوعات چالش‌برانگیز بوده است. پاسخ به این مسئله مهم از طریق مدل‌های چانه‌زنی امکان‌پذیر است Bose and Bose (1995). مسأله چانه‌زنی، ساده‌ترین راه برای توصیف هر موقعیتی است که در آن کارگزاران قادرند منفعتی را از طریق همکاری با یکدیگر، خلق نمایند. اگر آن‌ها در ایجاد توافق، شکست بخورند، هیچ منفعت بالقوه‌ای بوجود نمی‌آید و طرفین چانه‌زنی ضرر می‌کنند. در چانه‌زنی ترتیبات جدیدی شکل می‌گیرد که مستلزم توافق در مورد چگونگی توزیع منافع و زیان‌ها است. از مهمترین تلاش‌ها در زمینه توسعه مدل‌های چانه‌زنی در سال‌های اخیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Chae and Heidhues (2004) راه حلی برای یک مدل چانه‌زنی گروهی ارائه دادند که راه حل آن‌ها، روش حل نش ما بین گروه‌ها بود. White (2005) تأثیر عدم قطعیت بر روی نتایج چانه زنی را بررسی کرد و نتایج چانه زنی را در شرایطی که برد یکی از طرفین در بازی به علت عدم وجود قطعیت ایجاد ریسک در مذاکره می‌کرد را بررسی نمود. Carraro and Sgobbi (2007) با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌های غیرهمکارانه، دیدگاه جدیدی در مورد برخی ابعاد فرآیند چانه‌زنی مانند عدم‌تقارن و عدم‌قطعیت ارائه کردند و یک مدل که فرایند چانه‌زنی میان دو شرکت‌کننده را شبیه‌سازی می‌کرد، توسعه دادند. Carraro et al. (2007) کاربرد مدل‌های چانه‌زنی غیرهمکارانه در مسائل مدیریت منابع آب را بررسی کردند. بر اساس رویکرد پیشنهادی ایشان زمان لازم برای رسیدن به یک توافق از طریق تعیین یک فضای قابل پذیرش کوتاه شده و به گزینش سیاست‌هایی که دارای قابلیت پذیرش بالایی بودند، کمک می‌کرد. Schwizer (2009) یک مدل چانه‌زنی مربوط به اختصاص یک کالای غیر قابل تقسیم و با ارزش به یکی از دو طرف بازی که طرفین نسبت به آن کالا مالکیت یکسانی داشتند، پرداخت. نظریه بازی‌ها و مدل‌های چانه‌زنی از کاربردی‌ترین تکنیک‌هایی هستند که اخیراً برای حل و فصل درگیری‌های موجود در مدیریت سیستم‌های منابع آب از جمله مشکلات تخصیص و مسائل مربوط به مدیریت آن‌ها در بخش‌های مختلف به‌کار رفته‌اند Mahjuri et al. (2013). از کاربرد مدل‌های چانه‌زنی و بازی‌های غیرهمکارانه در مسائل مربوط به بهره‌برداری از مخازن سدها می‌توان به کارهای Kerachian and Karamouz (2006, 2007)، Ganji et al. (2007) و Shirangi et al. (2008) اشاره کرد. Mahjouri and Ardestani (2011) دو روش‌شناسی همکارانه و غیرهمکارانه را در زمینه مدیریت انتقال آب بین حوضه‌ای برای یک مسأله بزرگ مقیاس انتقال آب در جنوب ایران توسعه دادند. Xiaokai et al. (2006) به بررسی نحوه تخصیص آب رودخانه‌ی زرد[1] در چین با استفاده از تئوری بازی‌ها پرداختند. در کار ایشان به منظور بازتوزیع منافع حاصله، مدل چانه‌زنی Nash-Harsanyi به کار برده شد. Niksokhan et al. (2009) با استفاده از تئوری چانه زنی Young مدلی را برای تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی در رودخانه‌ها توسعه دادند. Karamouz et al. (2004) به بررسی حل اختلاف در کنترل آلودگی آب در مناطق شهری تهران پرداختند. در مطالعه ایشان برای رفع اختلاف‌های موجود و سیاست‌های کنترل آلودگی آب سطحی و زیرزمینی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای طرح‌های توسعه، از تئوری چانه‌زنی Nash (NTB)[2] استفاده شد. در دهه‌های اخیر تئوری بازی‌ها و مدل‌های رفع اختلاف در زمینه مدیریت بهره‌برداری و تخصیص منابع آب زیرزمینی نیز رواج چشمگیری داشته است. Loaiciga (2004) با استفاده از تئوری بازی‌ها، مدلی را به منظور بررسی و تحلیل مسأله بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مشترک ارائه داد. تابع هدف مدل بهینه‌سازی در کار ایشان به صورت حداکثرنمودن سود با قید رعایت مقدار ارتفاع افت مجاز در سطح سفره آب زیرزمینی، در نظر گرفته شد. نتایج نشان‌دهنده این بود که تدوین مدل بازی‌های همکارانه و برقراری همکاری بین ذینفعان، امکان برقراری بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی مشترک را مهیا خواهد کرد. Salazar et al. (2007) به کمک چهار روش مختلف حل اختلاف بر مبنای تئوری بازی‌ها، سناریوی بهینه برداشت از سفره آب زیرزمینی ایالت Guanajuato در Mexico را تعیین نمودند. ایشان به منظور تعیین تخصیص‌های بهینه از بین ۱۲ سناریوی مختلف برداشت آب از سفره آب زیرزمینی، از تئوری بازی‌های همکارانه استفاده کردند. دو معیار حداکثرسازی منافع اقتصادی و حداقل‌سازی مقدار آلودگی آب به نیترات، برای انتخاب سناریوی برتر برداشت آب در نظر گرفته شد. Bazargan-Lari et al. (2009) یک مدل حل اختلاف بر مبنای تئوری چانه‌زنی Young را به منظور بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب

Archive of SID
www.SID.ir

سطحی و زیرزمینی، با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کیفیت آب، تدوین نمودند. به منظور تدوین مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی، از مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II و مدل‌های شبیه‌سازی کیفی و کمی آب زیرزمینی MODFLOW و MT3D استفاده شد. کارایی روش پیشنهادی ایشان در حل اختلاف در استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، در کلان‌شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. Madani and Dinar (2010) به بررسی مکانیزم‌های مختلف در رویکرد غیرهمکارانه در یک مسأله بهره برداری آب زیرزمینی پرداختند. این روش‌ها در یک مسأله بهره‌برداری آب زیرزمینی به کار برده شده اند تا مشخص شود چگونه متغیرهای تصمیم می‌توانند تحت تأثیر مکانیزم‌های مدیریتی مختلف قرار گیرند. نتایج ایشان نشان داد که حتی در حالت غیرهمکارانه بهره‌برداران می‌توانند با لحاظ کردن عوامل خارجی و توسعه دادن طرح‌های بلندمدت خود، سود خود را بهبود بخشند. Parsapour-Moghaddam et al. (2015) یک روش بر اساس یک بازی جدید تکاملی برای تعیین استراتژی‌های تعادل پایدار تکاملی[3] (ESE) در بهره‌بردای تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی برای کاربران با اهداف متضاد توسعه دادند. این روش چارچوبی منطقی و واقع گرایانه برای تشریح رفتارهای غیرهمکارانه آب‌بران در استفاده از منابع مشترک آب‌های سطحی و زیرزمینی را فراهم می‌آورد. به منظور تخصیص بهینه مدل چندهدفه NSGA-II با مدل MODFLOW متصل شده است. برای کنترل افت تراز سطح آب زیرزمینی از یک تابع خسارت استفاده شده است. روش تدوین شده بر روی دشت رفسنجان در ایران اعمال شده است. نتایج نشان داد که می‌توان از این روش برای توسعه سیاست‌های سطحی و آبهای زیرزمینی تخصیص استفاده کرد. یکی از مدل‌های پرکاربرد که اخیراً مورد توجه محققین در مدیریت منابع آب قرار گرفته است، مدل چانه‌زنی بازگشتی[4] است. چانه‌زنی بازگشتی (FB) در حداکثر رساندن حداقل رضایت همه ذینفعان تلاش می‌کند. این روش مذاکراتی را شبیه سازی می‌کند که در آن طرف‌های درگیر با انتخاب‌هایی که بیشترین ارجحیت را برای آن‌ها دارد، شروع به چانه‌زنی می‌کنند و گام به گام از ارجحیت خود عقب‌نشینی می‌کنند تا به یک توافق برسند Brams and Kilgour (2001). استفاده از (FB) در حل مناقشه در مسائل مدیریت منابع آب، خصوصاً در تخصیص از منابع آب زیرزمینی محدود بوده است. مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی در ابتدا از طرف Brams and Kilgour (2001) ارائه شد. سپس Brams et al. (2004) یک روش برای رسیدن به توافق بر معاهدات چند جانبه پیشنهاد کردند. توافقی که آن‌ها به عنوان نتیجه مطلوب چانه‌زنی ارائه کردند، سازشی بود که بر مبنای آن، فاصله نقطه سازش با اولویت اول هر کدام از طرف‌های درگیر به حداقل برسد. Sheikhmohammady and Madani (2008) در مطالعه‌ای به ارائه برخی از دیدگاه‌های خود در مورد حل اختلاف و پیش بینی نتایج احتمالی حاصل بر اساس قوانین انتخاب اجتماعی (SCR) و مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی برای حل اختلاف بر سر منابع مشترک دریای خزر پرداختند. در این مطالعه، پنج گزینه برای حل و فصل اختلاف که در طول مذاکرات پیشنهاد شده بود، معرفی شد و مورد بحث قرار گرفتند. Sheikhmohammady et al. (2010) مدل چانه‌زنی بازگشتی همراه با انتخاب اجتماعی را برای بدست آوردن محتمل‌ترین نتیجه ممکن حاصل از چانه‌زنی بر منابع مشترک دریای خزر ارائه کردند. هدف از این مطالعه شناسایی تکنیکی برای پیش‌بینی نتیجه یک مذاکره و پس از آن درخواست طرف‌های درگیر در مورد نظام حقوقی دریای خزر بود که این اختلاف از زمان فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی شکل گرفته بود. Madani et al. (2011) مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی را برای پیش بینی نتایج احتمالی مسأله حل اختلاف در دلتای ساکرامنتو در سن کواجوکمین برای انتخاب استراتژی صادرات آب به‌کار بردند. Read et al. (2013) طیف وسیعی از مدل‌های انتخاب اجتماعی، چانه‌زنی بازگشتی و MCDM را برای حل مشکل انتخاب یک منبع انرژی برای فیربنکس آلاسکا به عنوان یک مسأله چند معیاره–چند تصمیم گیرنده، شامل تعداد زیادی از ذینفعان که باید معیارهای اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی در تصمیم‌گیری لحاظ می‌شد را برای ارائه بهترین راه حل در نظر گرفتند. Mahjouri and Bizhani-Manzar (2013) در تحقیقی، فرآیند چانه زنی میان ذینفعان مختلف درگیر در مسئله تخصیص بار آلودگی با استفاده از چانه زنی بازگشتی را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از این دو روش با هم مقایسه و سناریو نهایی تعیین شد. Nikoo et al. (2014) در مطالعه‌ای یک روش بر مبنای شبیه‌سازی–بهینه سازی چندهدفه و تئوری بازی‌ها برای طراحی بهینه موج‌شکن حفره‌دار دو لایه ارائه کردند. ایشان، از مدل چانه‌زنی بازگشتی برای انتخاب نقطه بهینه منحنی تعامل بین اهداف استفاده کردند. Madani et al. (2015) یک روش برای تجزیه و تحلیل مشکلات چانه زنی که در آن طرف‌های درگیر در مورد عملکرد نتایج مختلف چانه‌زنی ناآگاه می‌باشند توسعه داد. در کار ایشان روش مونت کارلو با چانه‌زنی بازگشتی (FB) به منظور نگاشت عدم قطعیت در مسائل چانه‌زنی تصادفی ترکیب شده است. روش مذکور بر روی دلتای ساکرامنتو در کالیفرنیا اعمال شده است که در آن گروداران برای رسیدن به یک توافق بر سر صادرات آب برای مقابله با بحران فعلی در دلتا چانه‌زنی می‌کنند. این مسأله به عنوان یک بازی چانه‌زنی که در آن محیطزیست و صادرکنندگان آب برای دستیابی به

Archive of SID
www.SID.ir

یک توافق از طریق فرآیند چانه‌زنی که در آن نتایج حاصل از اجرای گزینه‌های مختلف صادرات آب نامشخص می‌باشد، مدل شده است.

در مسأله بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی، عملاً طرف‌های درگیر در موضوعاتی با ماهیت‌های متفاوت (مثلاً حجم آب) با هم اختلاف دارند، لذا یافتن یک راه‌حل که به موجب آن سازش، تسهیل یافته و چانه‌زنان به موجب آن از ارجح‌ترین مواضع خود عقب‌نشینی کرده و به یک پیامد عادلانه برسند مورد سوال خواهد بود. هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی به منظور دست یافتن به چنین راه‌حلی می‌باشد. لذا در این مقاله، شاید برای اولین بار، سعی شده است برای شبیه سازی مذاکرات میان طرف‌های درگیر در یک سیستم آبخوان آب زیرزمینی با در نظر گرفتن قیود حاکم بر سیستم، از مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی استفاده شود. چانه‌زنی بازگشتی، روشی است که به موجب آن همه چانه‌زنان(نه تنها یک گروه) برای رسیدن به یک نتیجه که همگی بر روی آن توافق دارند، از مواضع خود آرام آرام عقب رفته و به نقطه با مطلوبیت کمتر می‌رسند. همچنین در این تحقیق امکان‌پذیر بودن حصول جواب‌های بهینه در یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه بزرگ، از طریق تلفیق مدل‌های شبیه‌سازی آب زیرزمینی با مدل‌های بهینه‌سازی و رفع اختلاف به گونه‌ای که سناریوهای مختلف تولید شده توسط مدل بهینه‌سازی در یک تعامل هدفمند، توسط مدل شبیه‌سازی قابل اجرا بوده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز قابل بهره‌برداری توسط مدل‌های بهینه‌سازی و رفع اختلاف باشند، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌منظور در ادامه، در بخش ساختار تحقیق نحوه تدوین فرامدل‌های شبیه‌ساز آبخوان، مدل بهینه‌ساز چندهدفه و نیز انواع مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی بکار رفته در این مقاله شرح داده می‌شود. سپس آبخوان دشت داریان در استان فارس به عنوان مطالعه موردی معرفی شده و در نهایت نتایج ارزیابی ساختارهای تدوین شده بر روی آبخوان مورد مطالعه ارائه می‌شود.

۲- ساختار تحقیق

در شکل ۱، فلوچارت مربوط به ساختار کلی متدولوژی پیشنهادی برای تدوین مدل تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی با کاربرد مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی ارائه شده است. ساختار پیشنهادی شامل سه بخش اصلی: فرامدل شبیه‌سازی، مدل بهینه‌سازی چندهدفه و همچنین مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی می‌باشد. در ادامه، هر یک از این بخش‌های اصلی، تشریح می‌گردند.

۲-۱- فرامدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی

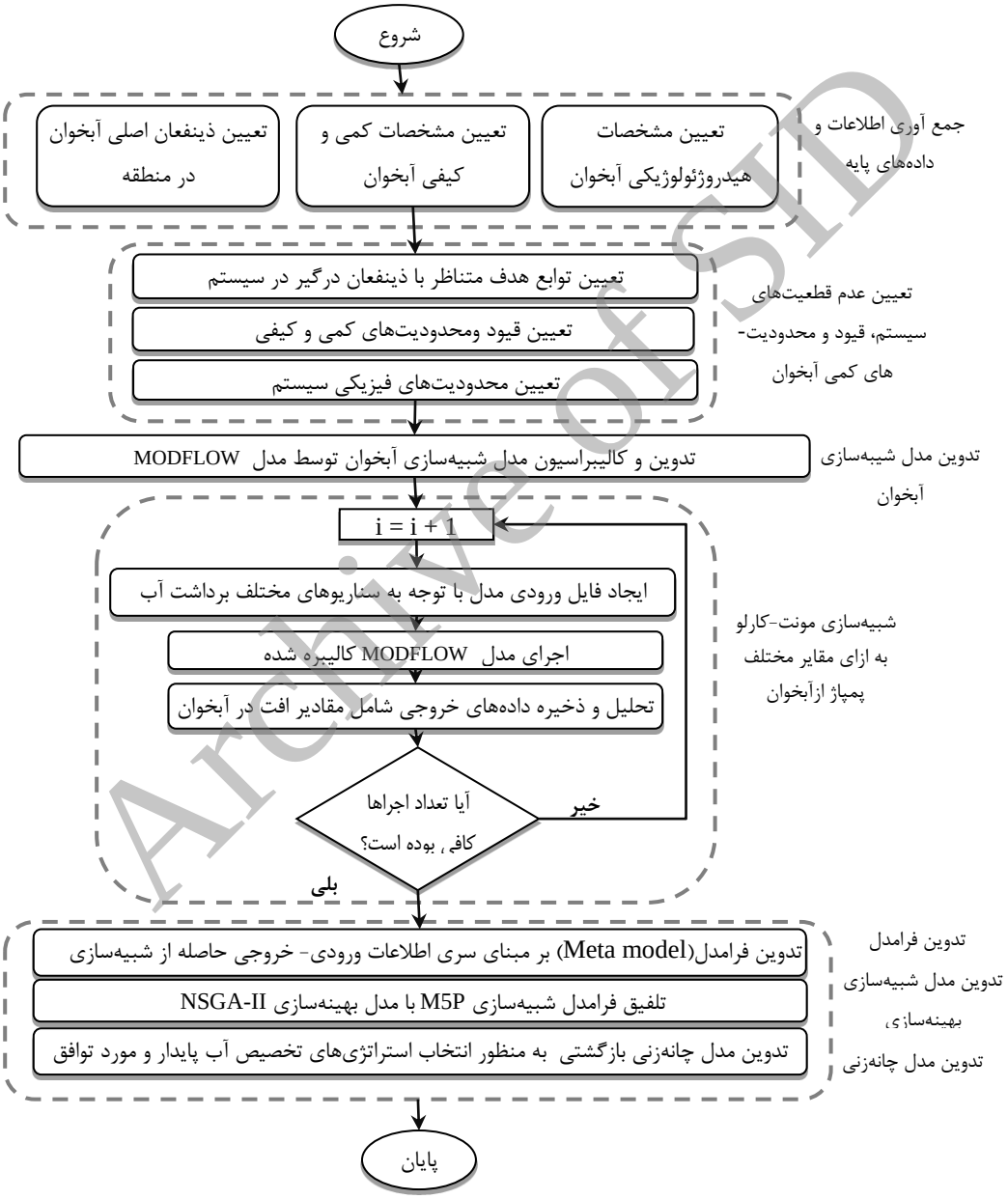
به منظور تدوین فرامدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی، در ابتد داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای طراحی مدل مفهومی آبخوان جمع‌آوری و تعیین شده‌اند. پس از تهیه و تدوین مدل مفهومی آبخوان دشت، توسط نرم افزار MODFLOW، منطقه به تعدادی ناحیه مدیریتی تخصیص تقسیم‌بندی شده و مدل برای دوره آماری سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۸کالیبره و برای سال۱۳۹۳-۱۳۹۲ مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. سپس به ازای سناریوهای مختلف مدیریتی برداشت آب از آبخوان، شبیه‌سازی مونت کارلو به ازای بهره‌برداری‌های مختلف از منابع آب زیرزمینی صورت گرفته است. سری اطلاعات ورودی-خروجی پایگاه داده حاصله برای آموزش و صحت‌سنجی فرامدل شبیه‌ساز آبخوان به‌کار رفته‌اند. در این تحقیق برای تدوین فرامدل شبیه‌ساز از مدل درخت تصمیم‌گیری M5P استفاده شده است. از جمله ویژگی‌های بارز مدل‌های M5P ارائه روابط رگرسیونی و معادلات ریاضی کاربردی بسیار ساده و قابل فهم و در عین حال با دقت مناسب جهت تخمین و پیش‌بینی‌ها می‌باشد. این الگوریتم اولین بار توسط Quinlan (1992) پیشنهاد شد. همچنین تکنیک n-Fold cross-validation برای کالیبراسیون فرا مدل به‌کار گرفته شد. این تکنیک از روش‌های رایج برای ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری پایگاه داده است، که برای ارزیابی توانایی عمومی مدل پیش‌بینی کننده در M5P استفاده می‌شود. این روش مجموعه داده‌ها را به طور تصادفی به n قسمت مساوی که Fold نامیده می‌شود تقسیم می‌کند. برای ساخت مدل از n-1 قسمت داده‌ها برای آموزش و از یک قسمت باقی مانده که برای ساخت مدل استفاده نشده است، برای تست مدل استفاده می‌شود. در این شیوه ساخت و تست مدل n بار تکرار شده و در هر بار داده‌های آموزش و تست تغییر می‌کنند تا هر n گروه به عنوان گروه تست به کار روند. بدین منظور در این تحقیق فرامدل به ازای تعداد فولدهای متفاوت اجرا شده و تعداد فولدی که منجر به تولید کمترین میزان خطا در پیش‌بینی شده، بکار رفته است.

۲-۲- مدل بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص آب

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نمونه بارزی از وجود ذی‌نفعان با مطلوبیت‌های متضاد می‌باشد. در سال‌های گذشته استان فارس همواره مدعی رتبه اول بودن در تولید محصولات کشاورزی بوده است. از این‌رو بخش کشاورزی (سازمان جهاد کشاورزی استان و نیز کشاورزان) بنابر باورها و سیاست‌های غلط همواره به دنبال افزایش تولید و میزان سوددهی اگرچه در کوتاه مدت بوده‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir

از طرفی خشکسالی‌های شدید و طولانی سال‌های اخیر در استان و همچنین برداشت‌های غیراصولی از چاه‌های غیرمجاز موجب ممنوعه شدن اکثر دشت‌های استان شده و بدین منظور سازمان آب منطقه‌ای به عنوان متولی امر بدنبال محدود کردن برداشت از آبخوان‌های استان بوده است. از این‌رو در این تحقیق، ذی‌نفعان درگیر در مسئله، بخش کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای با مطلوبیت‌های متضاد در نظر گرفته شده‌اند. پس از تعیین سازمان‌های تصمیم‌گیرنده و بخش‌های تأثیرپذیر به منظور تعیین اهداف و مطلوبیت‌های آن‌ها، برخی از اطلاعات ذینفعان جمع‌آوری و تحلیل شده‌اند. در این مقاله با در نظر گرفتن این شرایط برای ذینفعان، تلاش شده است تنها یک تخمین از وضعیت حالت رفع اختلاف ارائه شود. پس از مصاحبه با افراد متخصص از هر بخش درگیر در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، منحنی‌های هم مطلوبیت مربوط به این سازمان‌ها قابل تعیین می‌باشد. از برخورد منحنی‌های هم مطلوبیت تصمیم گیرندگان با منحنی تبادل و تعیین مختصات نقاط تلاقی، تابع مطلوبیت هر تصمیم گیرنده به‌دست آمده است. تابع هدف مدل بهینه‌سازی حداقل‌سازی کمبودها در تأمین نیاز آب‌بران (معادله ۲) و به تعبیری حداکثر کردن مقدار سود خالص کل مربوط به هر ناحیه کشاورزی در



شکل ۱- ساختار متدولوژی پیشنهادی در تدوین مدل تخصیص منابع آب زیرمینی

Archive of SID
www.SID.ir

سناریوهای مختلف تخصیص با توجه به معیار عدالت در تخصیص از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. هر چه مقدار حقابه‌های تخصیص داده شده به آب‌بران به میزان نیاز آن‌ها نزدیکتر باشد، امکان پذیرش آن سیاست تخصیص یا مجوز برداشت آب از سوی آبیران و پایـداری تخصیص‌ها بیشتر می‌شود. این معیار به صورت معادله ۱ در نظر گرفته می‌شود. معیار عدالت در تخصیص عددی است استاندارد بین صفر و یک که بیشینه‌سازی این معیار قسمتی از تابع هدف کلی خواهد بود. همچنین محدودیت‌های حاکم بر مسئله شامل موارد زیر خواهد بود:

محدودیت اول: قیود مربوط به مقدار بیشنیه افت مجاز تراز آب زیرزمینی رعایت شوند (معادله ۳).

محدودیت دوم: تدوین مجموع آب برداشتی هر کشاورز حداکثر برابر با ظرفیت پذیرش آب توسط کشاورز (که برابر با نیاز آبی کشاورز در نظر گرفته می‌شود) باشد (معادله۴).

فرمولاسیون مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای پیدا کردن مشخصات بهینه برداشت به صورت معادلات ۱ تا ۵ در نظر گرفته شده است. مقادیر دبی برداشت از چاه‌های موجود درمنطقه متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌سازی مذکور می‌باشند.

$$Max\ Z_1 = Min\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{GAA_i}{AD_i}\right) \quad (۱)$$

$$i = 1,2,3,\ldots,n = 561$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{i=1}^{n} GWSlack_i \quad (۲)$$

Subject to :

$$GWDr = f(GAA_i, GWL, \mathrm{Re}, k, \mathrm{S}_y, \ldots) \le GWDr_{all} \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n} GAA_i \le \sum_{i=1}^{n} AD_i \quad (۴)$$

$$GWSlack_i = AD_i - GAA_i \quad (۵)$$

در معادلات بالا Z توابع هدف مساله بهینه‌سازی تخصیص آب زیرزمینی، $GWSlack$ حجم کمبود در تأمین نیازها، GAA میزان تخصیص از آب زیرزمینی، AD حجم آب مورد نیاز آب‌بران، $GWDr$ مقدار افت تراز سطح آبخوان، $GWDr_{all}$ حداکثر افت مجاز تراز سطح آب زیرزمینی، GWL تراز اولیه سطح آب زیرزمینی، Re مقدار تغذیه آب به منابع آب زیرزمینی، K متوسط هدایت هیدرولیکی خاک، S_y ضریب ذخیره، $i = 1,\ldots,n = 561$ تعداد آب‌بران (چاه‌های برداشت در منطقه) و f تابعی است که با استفاده از اجرای مکرر فرامدل شبیه‌سازی آبخوان توسط مدل M5P به دست می‌آید.

در مرحله دوم از متدولوژی پیشنهادی، یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص آب برای تعیین مطلوب‌ترین مقادیر تخصیص با توجه به مشخصات و محدودیت‌های آبخوان تدوین شده است. بدین‌منظور، مدل چندهدفه NSGA-II[۵] به عنوان مدل بهینه‌ساز به‌کار گرفته شده و به فرامدل شبیه‌سازی آبخوان، متصل شده است. مـدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II یک مـدل بهینه‌سازی چند هدفه سریع است که بر اساس طبقه‌بندی غیر پست عمل می‌کند و در دهه گذشته به دلیل عملکرد مناسب در حل مسائل چندهدفه، توسط محققان متعدد با موفقیـت به کار گرفته شده است (Reed and Minsker (2004); Yandamuri et al. (2006); Nikoo et al. (2014)). این الگوریتم ویرایش جدیدی است از مدلی که اولین بار توسط Deb et al. (2000) ارائه شد. از تلفیق این مدل بهینه‌سازی چندهدفه با فرامدل شبیه‌سازی آبخوان و اجرای آن با توجه به تضاد موجود در اهداف، بجای یک جواب بهینه مشخص، مجموعه‌ای از بهترین جواب‌های ممکن تعیین می‌گردند که در واقع منحنی تعامل بین اهداف شامل بهترین پیشنهاد برای میزان دبی پمپاژ از چاه‌های برداشت هستند.

۲-۳- مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی

چانه‌زنی بازگشتی یک پروسه چانه‌زنی است که در آن چانه‌زنان با معرفی مرتبه مطلوبیت‌های خود در میان کل انتخاب‌های ممکن، چانه‌زنی را آغاز می‌کنند. سپس آهسته آهسته با کمتر و کمتر کـردن مطلوبیت‌های خود به انتخاب با مطلوبیت پایین‌تر نزول کرده (شروع با اولین انتخاب و سپس عقب‌نشینی کردن به انتخاب دوم) تا زمانی که به انتخابی برسند که همه چانه‌زنان بر روی آن انتخاب با هم، هم عقیده باشند. سه نوع از روش‌های چانه‌زنی بازگشتی که شامل: چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی[۶]، چانه‌زنی بازگشتی تأئیدی q چانه‌زن[۷] و چانه‌زنی بازگشتی با بن‌بست[۸] می‌باشند، به طور مختصر در ادامه ارائه می‌شوند.

۲-۳-۱- چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی

فرض کنید که n تعداد چانه‌زنان و k مجموعه گزینه‌ها یا پیشنهادات (موافقت‌های ممکن) باشند، که $|K| = K < \infty$ است. هر چانه‌زن بر اساس kهای ممکن اولویت‌های خود را به‌صورت دقیق رتبه‌بندی می‌کند. همه رتبه‌بندی‌ها می‌توانند با ماتریس A که یک ماتریس $K \times n$ می‌باشد، نشان داده شوند. هر یک از

Archive of SID
www.SID.ir

رتبه‌بندی‌ها به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. بیشترین مطلوبیت چانه‌زن i، a_{il} و کمترین مطلوبیتش a_{ik} است. برای توضیح بیشتر مطلب فرض کنید که $K=\{a,b,c,d\}$ مجموعه‌ای از پیشنهادات است، بنابراین $k=4$ خواهد بود. فرض کنید که دو چانه‌زن وجود دارند که $n=2$، مطلوبیت آن‌ها به شکل زیر است:

$$A=\begin{bmatrix} a & b & c & d \\ b & d & a & c \end{bmatrix}$$

مطلوبیت چانه‌زن شماره یک به ترتیب $(abcd)$ است که a بیشترین و d کمترین مطلوبیت را دارا هستند و برای چانه‌زن شماره دو مطلوبیت‌ها به ترتیب $(bdac)$ است که b بیشترین و c کمترین مطلوبیت را داشته و این مطلوبیت‌ها به ترتیب در ردیف‌های اول و دوم ماتریس A نشان داده شده‌اند.

مراحل انجام چانه‌زنی بازگشتی به ترتیب زیر است:

۱ – مطلوب‌ترین گزینه هر چانه‌زن در نظر گرفته می‌شود. اگر این گزینه برای همه چانه‌زنان یکسان باشد، این توافق مشترک نتیجه چانه‌زنی خواهد بود. پروسه متوقف می‌شود و می‌گوییم توافق در عمق[9] یک صورت گرفته است.

۲ – اگر هیچ توافقی در عمق یک صورت نگرفت (یعنی مطلوبیت‌های اول چانه‌زنان مورد قبول نبود)، سپس بیشترین مطلوبیت بعدی از همه چانه‌زنان مورد نظر قرار می‌گیرد. هر گزینه‌ای که در دو رتبه اول رتبه‌بندی از هر چانه‌زن قرار گرفته باشد را توافق عمق دو می‌نامیم. اگر توافق در عمق دو وجود داشت پروسه همین‌جا خاتمه می‌یابد و در غیر این صورت ادامه پیدا می‌کند.

۳ – تا زمانی که هیچ توافقی بین چانه‌زنان وجود نداشته باشد، چانه‌زنان در مطلوبیت‌های خود نزول می‌کنند (یک مرتبه در یک زمان) و به مرتبه‌های بعدی و پایین و پایین‌تر می‌روند تا زمانی که در گزینه‌ای برای اولین بار به نقطه مشترک برسند و آن نقطه مشترک تهی نباشد. اگر در d^* مراحل به پایان رسید، به $CS=(A)$ مجموعه سازش[10] از چانه‌زنی بازگشتی برای ماتریس A گفته می‌شود (Brams and Kilgour, 2001).

۲-۳-۲- چانه‌زنی بازگشتی تأئیدی q چانه‌زن

اگر روش چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی را تعمیم دهیم، چانه‌زنی بازگشتی تأئیدی برای تعداد q چانه‌زن بدست می‌آید و در آن قوانین تصمیم‌گیری برای پذیرش، تصویب تعداد q چانه‌زن را لازم دارند که در آن q بین ۱ و n می‌باشد. تا به حال ما از قوانین تصمیم‌گیری $q=n$ استفاده کرده‌ایم. به‌طور معمول در روش چانه‌زنی با هم‌آرایی فرض بر این است که توافق باید حداقل بین یک اکثریت ساده از چانه‌زنان باشد $\left(q\geq\frac{(n+1)}{2}\right)$، اما در روش چانه‌زنی بازگشتی تأئیدی q چانه‌زن نتایج برای هر q بین $1\leq q\leq n$ اعمال خواهد شد.

استفاده از چانه‌زنی تأئیدی q چانه‌زن باعث ایجاد یک مجموعه سازش می‌شود که معمولا آنرا با CS^q نشان می‌دهند که مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که برای اولین بار به‌عنوان افزایش عمق‌ها مورد تأئید q چانه‌زن قرار داشته است. برای هر q یک d_q^* داریم و اگر q = n باشد، آنگاه $d_n^*=d^*$ خواهد بود. نتایج به دست آمده از چانه‌زنی بازگشتی تأئیدی q چانه‌زن:

۱ – حد بالای عمق به صورت $d_q^*\leq\left|(kq-k+n)/n\right|$ می‌باشد.

۲ – محدودیت اندازه مجموعه سازش چانه‌زنی تأئیدی q چانه‌زن به شکل زیر می‌باشد.

$$1<\left|CS^q\right|<min\left\{\frac{nd^*}{q},n\right\}$$

۳ – اگر $x\in CS^q$ باشد، آنگاه x منحنی تعامل بهینه خواهد بود.

۴ – همه گزینه‌های موجود در $x\in CS^q$ حداقل رضایت‌بخشی q چانه‌زن را حداکثر می‌کند.

بهینگی منحنی تعامل همه گزینه‌هایی که از چانه‌زنی بازگشتی q چانه‌زن (که از $q=1$ تا $q=n$ انتخاب شده‌اند)، شاید جالب توجه باشد. با این حال، این واقعیت، دلیل خوبی برای در نظر گرفتن همه این گزینه‌ها به عنوان کاندیدای جدی برای پیامد هر دو فرآیند چانه‌زنی و رأی‌دهی نیست (Brams and Kilgour, 2001).

۲-۳-۳- چانه‌زنی بازگشتی با بن‌بست

در برخی موارد چانه‌زنان ترجیح می‌دهند به جای این‌که به یک توافق برسند و مطلوبیت پایین‌تر را انتخاب کنند، خود را درون یک بن‌بست قرار داده و انتظاراتشان را از یک کف پایین‌تر نیاورند. آن‌ها در ردیف مطلوبیت‌هایشان یک بن‌بست I قرار داده و به هیچ عنوان از آن I پایین‌تر نمی‌آیند. به این نوع چانه‌زنی بازگشتی، چانه‌زنی بازگشتی با بن‌بست می‌گویند. چانه‌زنی بازگشتی با بن‌بست کاملا شبیه چانه‌زنی بازگشتی با هم آرایی است اما با یک محدودیت. زمانی‌که پروسه کاهش مطلوبیت برای چانه‌زن به I رسید، این پروسه برای آن چانه‌زن متوقف می‌شود. اگر تا موقعی که به I می‌رسد، هیچ توافقی برای آن چانه‌زن بوجود نیامده باشد و در واقع در این کاهش و نزول از مطلوبیت‌ها، بین او و سایر چانه‌زنان توافقی پیدا نشده باشد، I نتیجه چانه‌زنی او خواهد بود. مجموعه سازش در

Archive of SID
www.SID.ir

این حالت را با CSI نشان داده و ماتریس مطلوبیت‌ها در این حالت به‌صورت $n\times(k+1)$ خواهد بود (Madani et al., 2011).

۳- محدوده مورد مطالعه

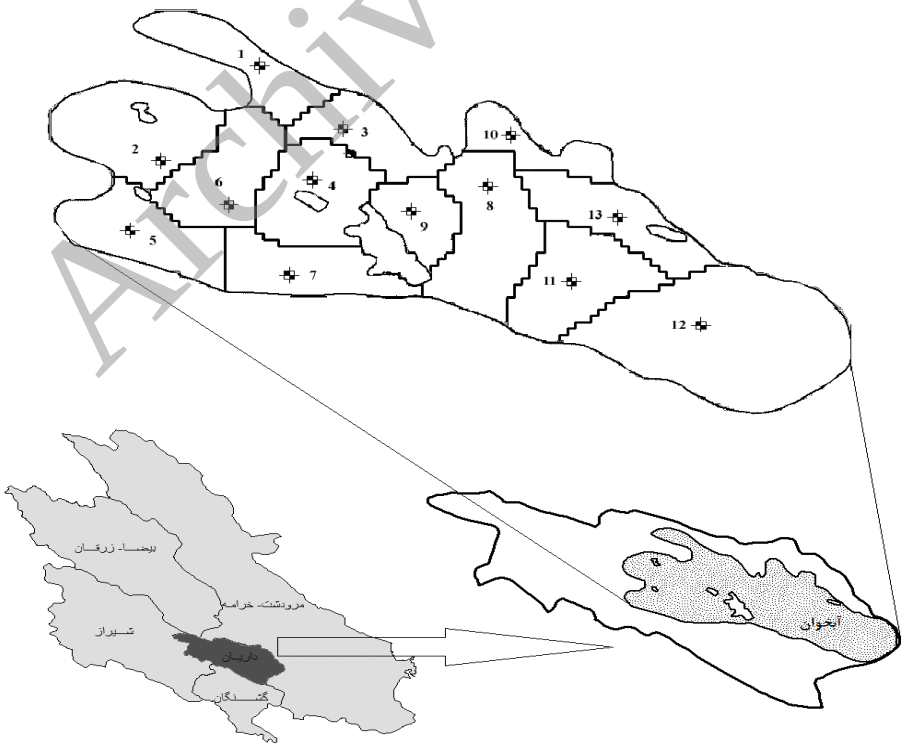
حوزه آبریز دریاچه‌های طشک – بختگان و مهارلو با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع در استان فارس واقع شده است. محدوده مطالعاتی داریان یکی از دشت‌های این حوزه آبریز بوده و تقریباً در جنوب غربی آن واقع می‌باشد. مساحت کل این محدوده مطالعاتی ۳۳۴ کیلومتر مربع بوده که از این میزان ۱۹۳/۲۰ کیلومتر مربع دشت و ۱۴۰/۸۰ کیلومتر مربع را ارتفاعات تشکیل داده است. حداکثر ارتفاع در این محدوده ۲۳۲۲ متر، در قله کوه سیاه، در شمال محدوده و حداقل آن ۱۵۵۰ متر، در دشت‌های مرکز محدوده بوده است. مهم‌ترین شهر این محدوده داریان است. جدول ۱، مشخصات فیزیوگرافی دشت را به اختصار نشان می‌دهد. در شکل ۲، نقشه جغرافیایی حوزه دریاچه‌های طشک–بختگان و مهارلو و موقعیت محدوده مطالعاتی داریان در آن نشان داده شده است.

عمده منابع آبی آبخوان این دشت (در حدود ۹۵ درصد)، از نوع آبرفتی بوده و بقیه آن سازند سخت می‌باشد. آبخوان آبرفتی شامل ۸۱۴ چاه بهره‌برداری، ۳ قنات بوده و سازند سخت شامل ۱۳ چاه بهره‌برداری و ۲ چشمه بوده و فاقد قنات می‌باشد. از کل منابع آبی، ۹۶/۹۴ درصد آن سهم بخش کشاورزی، ۲/۸۳ درصد آن سهم شرب و تنها ۰/۲۳ درصد آن سهم بخش صنعت می‌باشد.

برداشت بیش از حد از آبخوان آبرفتی و خشکسالی‌های پی در پی اخیر، باعث افت بسیار سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم مخزن آبخوان در طول سالیان گذشته شده است. این دشت یکی از دشت‌های ممنوعه بحرانی واقع در حوزه آبریز مهارلو و بختگان می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی هیدروگراف آبخوان در طی دوره ۱۶

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی دشت داریان (شرکت آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۹۱).

محدوده مطالعاتی		U.T.M		وسعت محدوده مطالعاتی (Km^2)			وسعت آبخوان (Km^2)	
نام	کد	حد جنوبی حد شمالی	حد غربی حد شرقی	ارتفاعات	دشت	کل	سفره آزاد	سفره تحت فشار
داریان	۱۲۴۳	۳۲۶۵ ۳۲۸۵	۶۶۰ ۶۹۵	۱۴۰/۸	۱۹۳/۲	۳۳۴/۰	۱۳۳/۰	-



شکل ۲- نقشه جغرافیایی محدوده مطالعاتی داریان و تقسیم‌بندی به ۱۳ ناحیه

Archive of SID
www.SID.ir

ساله از شهریور ۱۳۷۶ تا شهریور ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که افت متوسط سطح آب زیرزمینی در طول دوره ۲۳ متر و بطور متوسط سالانه ۱/۴۴ متر بوده است (گزارش بیلان شرکت آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۹۲).

۴- نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر حداکثر و میانگین تغییرات خطا و همچنین مجذور مربعات خطا (RMSE) مربوط به هد مشاهده‌ای و محاسباتی در دوره سه سال کالیبراسون و یک سال صحت‌سنجی مدل شبیه‌ساز MODFLOW ارائه شده است.

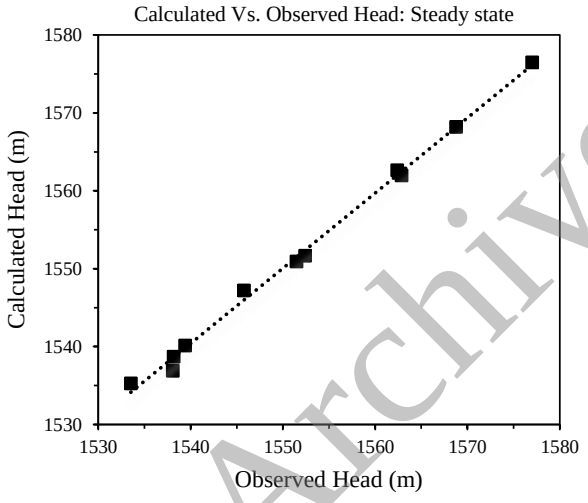
با توجه به اینکه میانگین مقادیر RMSE برای سه سال کالیبراسون برابر ۰/۵۶۷ متر می‌باشد و این مقدار خطا در مقایسه با مقادیر هدهای مشاهده‌ای و محاسباتی ناچیز است، نشان می‌دهد که که مدل شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی به خوبی کالیبره شده است. حداکثر خطای واسنجی در طول سه دوره سال آبی، برابر ۰/۷۲۷متر می‌باشد. مدل پس از کالیبراسیون برای سال ۱۳۹۲-۱۳۹۱ مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است که نتایج آن نیز در جدول ۲ آورده شده است. در شکل ۳ مقادیر هد مشاهده‌ای و محاسباتی در فرآیند کالیبراسیون مدل مبتنی بر هدایت هیدرولیکی برای ۱۱ چاه پیزومتری موجود در منطقه ارائه شده است.

جدول ۳، نتایج ارزیابی دقت مدل M5P در پیش‌بینی افت تراز آبخوان در قالب شاخص خطای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE) نشان می‌دهد. کمترین خطای RMSE مربوط به ناحیه ۱۳ می‌باشد. با توجه به نتایج، فرامدل درخت تصمیم‌گیری M5P در پیش‌بینی مقادیر افت تراز آبخوان عملکرد مناسبی داشته است.

بعد از اجرای مدل بهینه‌سازی چندهدفه متدولوژی پیشنهادی در این تحقیق، منحنی تعامل بین اهداف به‌دست آمد. به ازای جمعیت انتخاب‌شده برای مدل، این منحنی تعامل شامل ۱۰۵ نقطه تعیین گردید و در ادامه با استفاده از مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی کدنویسی شده، سیاست بهینه تخصیص مورد توافق ذی‌نفعان از بین نقاط مذکور تعیین شدند. نقاط مورد توافق انتخابی توسط روش‌های چانه‌زنی بازگشتی مختلف، در جدول ۴ ارائه شده است.

همانطور که نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد، مدل چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی نقطه شماره ۳ را روی منحنی تعامل بین اهداف بر می‌گزینند. اعمال این سیاست تخصیص بر آبخوان، کاهش ۵۴ درصدی در برداشت از آبخوان را در پی خواهد داشت. همچنین، سطح تراز آب در آبخوان به طور میانگین بعد از به تعادل رساندن مقادیر برداشت توسط این سیاست تخصیص، تا ۴/۲ متر بالا می‌آید.

در جداول ۵ و ۶ نیز، به‌ترتیب مقادیر بهینه توابع هدف برای نقاط بهینه انتخابی بر روی منحنی تعامل بین اهداف و دبی تجمعی متناظر به آن‌ها ارائه شده است. متغیرهای Q_1 تا Q_{13} متناظر با دبی تجمعی بهینه مربوط به ۱۳ ناحیه مدیریتی در منطقه هستند.



شکل ۳- مقادیر هد مشاهده‌ای و محاسباتی حاصل از صحت‌سنجی سال ۱۳۹۲-۱۳۹۱

جدول ۲- شاخص آماری خطای RMSE برای کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل MODFLOW

	دوره آماری	RMSE (m)	MAX |Δ| (m)	AVRG |Δ| (m)
کالیبراسون	۱۳۸۸-۱۳۸۹	۰/۵۰۴	۰/۹۵۸	۰/۳۹۶
کالیبراسون	۱۳۸۹-۱۳۹۰	۰/۴۳۵	۰/۹۶۶	۰/۳۳۹
کالیبراسون	۱۳۹۰-۱۳۹۱	۰/۷۲۷	۱/۲۳۸	۰/۶۳
صحت‌سنجی	۱۳۹۱-۱۳۹۲	۰/۹۲۸	۱/۸۲۵	۰/۸۱۱

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳- شاخص‌های آماری خطا برای ارزیابی فرامدل M5P

شماره ناحیه	RMSE(m)	RAE(%)	MAE(m)
۱	۰/۰۰۱۷	۳/۴۴۳۱	۰/۰۰۱۴
۲	۰/۰۰۳۸	۲/۸۸۴۶	۰/۰۰۳۲
۳	۰/۰۰۷۳	۳/۶۰۹۸	۰/۰۰۵۹
۴	۰/۰۸۴۸	۲/۳۵۹۸	۰/۰۶۸۴
۵	۰/۰۴۸۷	۲/۰۰۸۴	۰/۰۴۱۱
۶	۰/۰۵۳۲	۳/۰۸۵۱	۰/۰۴۵۳
۷	۰/۱۲۳۱	۱/۳۶۰۲	۰/۰۹۳۵
۸	۰/۱۱۷۱	۲/۷۱۹	۰/۰۹۴۹
۹	۰/۱۷۳۷	۳/۰۵۳۱	۰/۱۴۶۷
۱۰	۰/۰۰۲۲	۳/۰۳۸۶	۰/۰۰۱۹
۱۱	۰/۱۱۲۵	۲/۹۶۲۷	۰/۰۹
۱۲	۰/۰۱۶۷	۳/۲۶۸۷	۰/۰۱۴۳
۱۳	۰/۰۱۲۶	۳/۴۳۶۱	۰/۰۱۰۴

جدول ۴- جواب‌های بهینه انتخابی توسط مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی مختلف

مدل	شماره نقطه روی منحنی تعامل	دبی تجمعی تخصیصی (m^3/d)
Unanimity Fallback Bargaining (UFB)	۳	۶۳۹۵۲/۶
q-Approval Fallback Bargaining (QFB)	۱۰	۷۲۴۳۸
Fallback Bargaining with Impasse (FBI)	۱۰۵	۶۸۹۲۵

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود مقدار تغییرات سطح تراز آب در آبخوان در برخی از نواحی مدیریتی مثلاً در ناحیه مدیریتی شماره ۴ حتی به حدود ۱۹ متر افزایش سطح تراز نیز می‌رسد.

جدول ۵- مقادیر توابع هدف نقاط تعامل حاصل از مدل بهینه‌ساز چندهدفه

شماره نقطه	f_1= Drawdown (m)	f_2= Slack (m^3/d)	f_3= Equity
۳	۵/۷۶	-۱۳۸۳/۹۴۶	۰/۱۷۲
۱۰	۰/۵۹۸	-۱/۴۷۵	۰/۱۷۲
۱۰۵	۶/۰۷۸	-۲۱۲۵/۸۷۹	۰/۱۸

از طرفی در نواحی ۱، ۲، ۳، ۱۰ و ۱۳ مقادیر تغییرات افزایش سطح تراز تقریباً ناچیز است و کمتر از ۰/۵ متر می‌باشد. از دلایل این امر وجود مرزهای هیدرولیکی ثابت در محل ورود و خروج آب به آبخوان در این نواحی است که منجر به تغییرات اندکی در هد هیدرولیکی می‌شود.

شکل ۵ مقادیر تراز اولیه سطح آب مربوط به قبل از اعمال سیاست‌های تخصیص و تراز ثانویه سطح آب بعد از اعمال سیاست‌های تخصیص توسط مـــدل چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی را در ۱۳ ناحیه مدیریتی نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است نواحی میانی دشت (ناحیه ۹ و ۷) نسبت به سایر نواحی دارای حساسیت بالاتری بوده و پس از بهینه‌یابی، افزایش سطح تراز آب بیشتری خواهند داشت.

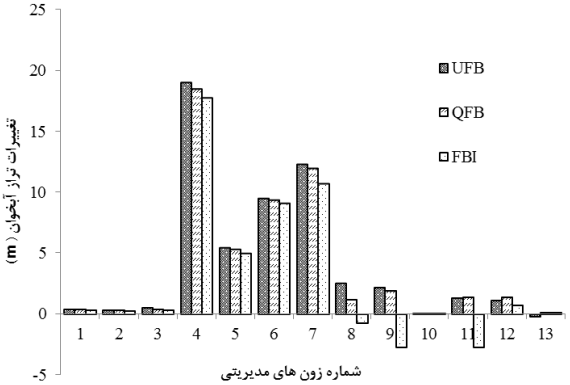
در قسمت‌های میانی دشت و در نواحی ۴، ۵، ۶ و ۷ مقادیر افزایش سطح تراز آب در آبخوان بسیار چشمگیر است و حتی تا حدود ۱۹ متر درناحیه ۴ می‌رسد. که این تغییرات نیز با منحنی اختلاف سطح آب زیرزمینی بیلان دشت (شکل ۷)، هم‌خوانی دارد.

جدول ۶- دبی متناظر با نقاط بهینه منحنی تعامل در ناحیه‌های مدیریتی*(مترمکعب در روز)

نقطه	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}
۳	۴۳۷/۲	۱۴۱۱/۵	۳۲۳۲/۹	۷۰۶۵/۸	۴۸۸۷/۹	۶۱۴۳/۷	۵۳۴۲/۱	۸۹۳۴/۲	۱۴۵۱۰/۸	۲۲۴۵	۷۶۱۷/۹	۶۹۴۷/۲	۳۶۶۱/۷
۱۰	۴۳۶/۷	۱۴۰۸/۱	۳۰۰۱/۵	۶۷۵۳/۴	۴۸۷۱/۵	۶۱۱۸/۴	۵۳۳۹/۹	۸۹۶۱	۱۱۶۹۶/۲	۲۱۴۰/۴	۶۲۶۱/۵	۶۸۲۹/۲	۵۰۴۴/۲
۱۰۵	۴۳۸/۱	۱۴۱۱/۸	۳۲۲۹/۸	۷۲۳۵/۲	۴۸۸۶	۶۱۴۰/۵	۵۳۴۴/۹	۸۹۴۹/۶	۱۴۲۷۰/۹	۲۲۴۷/۸	۷۶۲۵/۴	۶۹۳۷/۲	۲۹۱۹/۸

* Q_1 تا Q_{13} دبی تجمعی بهینه مربوط به ۱۳ ناحیه مدیریتی در منطقه هستند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- تغییرات سطح تراز آب بعد از اعمال مدل‌های چاه‌زنی بازگشتی

شکل ۵- مقادیر هد در ۱۳ ناحیه قبل و بعد از بهینه‌یابی

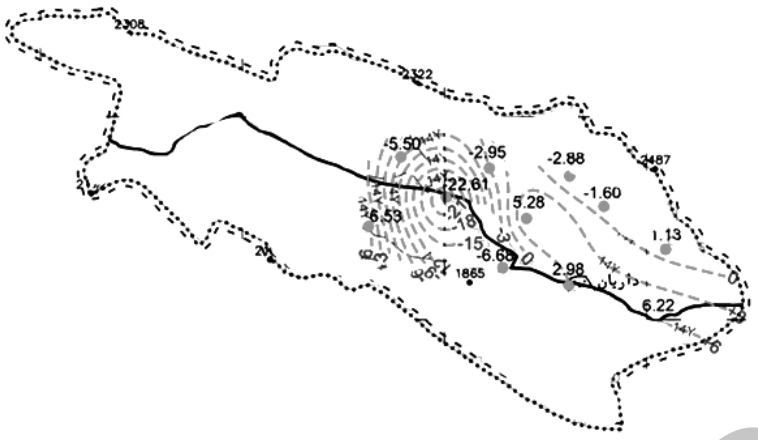
اعمال مدل چاه‌زنی بازگشتی تأئیدی q چاه‌زن منجر به انتخاب نقطه شماره ۱۰ بر روی منحنی تعامل بین اهداف شده است. در نتیجه تخصیص آب بر اساس سیاست‌های تخصیص آب متناظر با انتخاب این نقطه روی منحنی تعامل بین اهداف، افزایش میزان برداشت در نواحی ۹ و ۱۳ حاصل می‌شود و در دیگر نواحی کاهش چشمگیری را در برداشت آب ایجاد می‌کند. مقدار برداشت سالانه از آبخوان از طریق این روش به میزان تقریباً ۳۴ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. در نتیجه سطح تراز در آبخوان بعد از به تعادل رساندن مقادیر برداشت به طور میانگین تا ۴ متر بالا می‌آید. از طرف دیگر بعد از اعمال روش چاه‌زنی بازگشتی با بن‌بست، سطح تراز آبخوان به طور میانگین به مقدار ۲/۹ متر افزایش می‌یابد. در این حالت حتی در برخی از نواحی مثل ناحیه شماره ۸، ۹ و ۱۱ کاهش تراز سطح آبخوان نسبت به حالت اولیه را در پی خواهد داشت (شکل ۴). در نهایت خطوط کانتوری هم‌تراز در آبخوان به ازای سیاست‌های تخصیص آب، متناظر با اعمال مدل چاه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی به صورت شکل ۷ حاصل می‌شود. باتوجه به اینکه نتایج حاصله از مدل‌های چاه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی و تائیدی q چاه‌زن تقریباً نزدیک بهم می‌باشند می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، راه‌حل پیشنهادی در نتیجه سیاست‌های تخصیص توسط این دو روش، از قدرت بالایی برخوردار بوده و رفتار آبخوان تقریباً مشابه هم خواهد بود.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

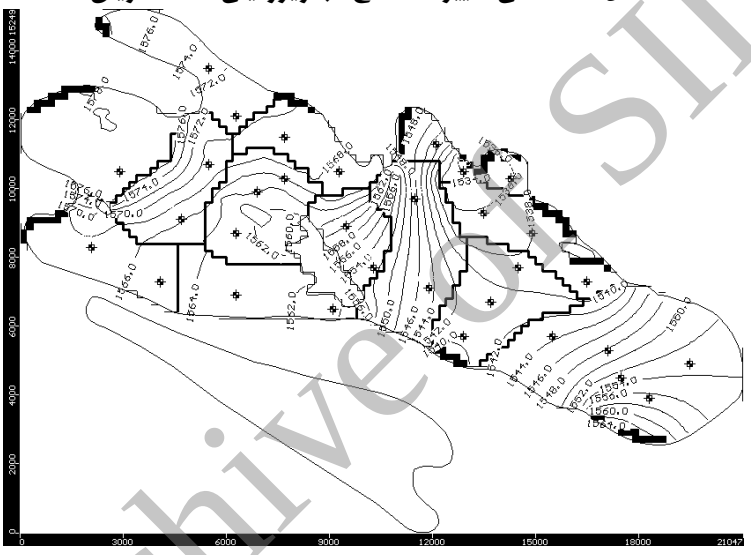
در مدل توسعه داده شده در این تحقیق، نتایج کاربرد مدل غیر قطعی تخصیص از منابع آب زیرزمینی در سطح حوضه آبخوان دشت داریان فارس ارائه شد. در این راستا، با استفاده از تلفیق مدل‌های شبیه‌ساز- بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و مدل‌های چاه‌زنی بازگشتی، ضمن توجه به مطلوبیت‌های طرف‌های درگیر و معیارهای اجتماعی از جمله عدالت، بهترین سیاست‌های تخصیص تعیین شد. بدین منظور فرامدل شبیه‌ساز آبخوان M5P که با سری اطلاعات ورودی-خروجی حاصله از اجرای مکرر مدل MODFLOW آموزش و صحت‌سنجی شده و با مدل بهینه‌ساز چندهدفه NSGA-II تلفیق شده است. در نهایت مدل‌های چاه‌زنی بازگشتی برای انتخاب نقطه مورد توافق ذینفعان، بر روی منحنی تعامل بین اهداف توسعه و به‌کار برده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش چاه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی، با کمترین کاهش در میزان دبی برداشت (نسبت به سایر روش‌های چاه‌زنی) و بیشترین افزایش سطح تراز در نتیجه سیاست‌های بهینه تخصیص، بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. سیاست بهینه تخصیص حاصل از مدل چاه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی موجب کاهش ٪۵۴ برداشت از آبخوان و افزایش ۴/۲ متری سطح تراز ایستابی در آبخوان شد. مقدار برداشت سالانه از آبخوان از طریق روش چاه‌زنی بازگشتی تأئیدی q چاه‌زن به میزان تقریباً ۳۴ میلیون مترمکعب کاهش یافت و در نتیجه سطح تراز در آبخوان بعد از به تعادل رسیدن مقادیر برداشت به طور میانگین تا ۴ متر بالا رفت. از طرف دیگر بعد از اعمال روش چاه‌زنی بازگشتی با بن‌بست، سطح تراز ایستابی به طور میانگین ۲/۹ متر افزایش یافت. علاوه بر این نتایج مدل‌های تدوین شده نشان می‌دهد که روش‌های چاه‌زنی بازگشتی بطور کلی می‌توانند به طور موثری برای تعیین سیاست‌های بهینه تخصیص از منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند. در تحقیقات بعدی، پیشنهاد می‌گردد با در نظر گرفتن خصوصیات احتمالاتی برخی از متغیرهای سیستم (چون متغیرهای اقلیمی و نیازهای آبی) ضمن توسعه یک مدل که قادر به لحاظ عدم قطعیت‌های مهم موجود در مسئله می‌شود از خروجی‌های فازی یا احتمالاتی حاصله از مدل به منظور توسعه مدل‌های فازی به منظور لحاظ عدم قطعیت‌های درگیر در پیامدهای نظیر هر استراتژی استفاده شود. بنابراین می‌توان احتمالات پسین متغیرهای خروجی را با استفاده از مقادیر مشاهداتی متغیرهای ورودی محاسبه نمود و برای تصمیم‌گیری و استدلال در شرایط عدم قطعیت استفاده کرد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶- منحنی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت داریان



شکل ۷- خطوط هم‌تراز بعد از اعمال مدل چانه‌زنی بازگشتی با هم‌آرایی

پی نوشت‌ها

1- Yellow River
2- Nash Bargaining Theory
3- Evolutionary Stable Equilibrium
4- Fallback Bargaining
5- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II
6- Unanimity Fallback Bargaining
7- q-Approval Fallback Bargaining
8- Fallback Bargaining with Impasse
9- Depth
10- Compromise Set

۶- مراجع

شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس (۱۳۹۲) مطالعات بهنگام‌سازی اطلس منابع آب حوزه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو. گزارش بیلان محدوده مطالعاتی داریان، ۶۱ صفحه.

Bazargan-Lari MR, Kerachian R 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.

Bose D and Bose B (1995) Evaluation of alternatives for water project using a multiobjective decision matrix. Water International 20:169-175.

Brams SJ and Kilgour DM (2001) Fallback bargaining. Group Decision Negotiation 10:287–316

Brams SJ, Kilgour DM and Sanver M (2004) A minimax procedure for negotiating multilateral treaties. Department of Politics, New York University Press Condorcet JAN (1785) An essay on the application of analysis: 265-282.

Archive of SID
www.SID.ir

Loaiciga HA (2004) Analytical game theoretic approach to groundwater extraction. Journal of Hydrology 297:22–33.

Madani K (2010) Game theory and water resources. Journal of Hydrology, 381(3-4):225-238.

Madani K and Dinar A (2010) Non-cooperative institutions for sustainable management of common pool resources. Working Paper 01-1210, Water Science and Policy Center, University of California, Riverside.

Madani K, Read L and Shalikarian L (2014) Voting under uncertainty: A stochastic framework for analyzing group decision making problems. Water Resources Management 28(7): 1839-1856.

Madani K, Shalikarian L and Naeeni STO (2011) Resolving hydro environmental conflicts under uncertainty using Fallback bargaining procedure. In Proceeding of the 2011 international conference on environment science and engineering (ICESE 2011), Bali Island, Indonesia, 192–196.

Madani K, Shalikarian L, Hamed A, Pierce T, Msowoya K and Rowney C (2015) Bargaining under uncertainty: A Monte-Carlo Fallback Bargaining method for predicting the likely outcomes of environmental conflicts. Conflict Resolution in Water Resources and Environmental Management, 201-211,DOI: 10.1007/978-3-319-14215-9_11

Mahjouri N and Ardestani M (2011) Application of cooperative and non-cooperative games in large-scale water quantity and quality management: A case study. Environmental Monitoring and Assessment 172(1-4): 157-169.

Mahjouri N and Bizhani-Manzar M (2013) Waste load allocation in rivers using Fallback bargaining. Water Resource Management 27(7):2125–2136.

Nikoo MR, Varjavand I, Kerachian R, Pirooz M and Karimi A (2014) Multi-objective optimum design of double-layer perforated-wall breakwaters: Application of NSGA-II and bargaining models. Applied Ocean Research 47:47–52.

Niksokhan MH, Kerachian R and Amin P (2009b) A stochastic conflict resolution model for trading pollutant discharge permits in river systems. Environmental Monitoring and Assessment 154(1-4): 219-232.

Parsapour-Moghaddam P, Abed-Elmdoust A and Kerachian R (2015) A heuristic evolutionary game theoretic methodology for conjunctive use of surface and groundwater resources. Water Resources Management, 29(11):3905-3918.

Carraro C and Sgobbi A (2008) Modelling negotiated decision making in environmental and natural resource management: A multilateral, multiple issues, noncooperative bargaining model with uncertainty. Automatica, 44(6): 1488-1503.

Carraro C, Marchiori C and Sgobbi A (2007) Negotiating on water: Insights from noncooperative bargaining theory. Environment and Development Economics 12(2): 329-349.

Chae S and Heidhues P (2004) A group bargaining solution. Mathematical Social Sciences 48(1): 37-53.

Deb K, Agrawal S, Pratap A and Meyarivan T (2000) A fast elitist nondominated 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

Ganji A, Khalili D and Karamouz M (2007) Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information, Advances in Water Resources 30(3): 528–542.

Goetz RU, Martinez Y and Rodrigo J (2008) Water allocation by social choice rules: The case of sequential rules. Ecological Economics 65(20):304–314.

Jafarzadegan K, Abed-Elmdoust A and Kerachian R (2013) A stochastic model for optimal operation of inter-basin water allocation systems: a case study. Stoch Environ Res Risk Assess 28(6):1343-1358.

Karamouz M, Kerachian R and Zahraie B (2004) Monthly water resources and irrigation planning: A case study of conjunctive use of surface and groundwater resources. Journal of Irrigation and Drainage 130(5):391-402.

Kerachian R and Karamouz M (2006) Optimal reservoir operation considering the water quality issues: A stochastic conflict resolution approach. Water Resources Research 42(12): 1-17.

Kerachian R and Karamouz M (2007) A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. Advances in Water Resources 30(4): 866-882.

Kerachian R, Fallahnia M, Bazargan-Lari MR, Mansoori A and Sedghi H (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.

Archive of SID

www.SID.ir

Sheikhmohammady M, Kilgour DM and Hipel KW (2010) Modeling the Caspian Sea negotiations. Group Decis Negot 19(2):149–168.

White L (2008) Prudence in bargaining: The effect of uncertainty on bargaining outcomes. Games and Economic Behavior 62(1): 211-231.

Xiaokai L, Haifeng S and Xueyu L (2006) Modeling of water resources allocation regimes with a case study of the yellow river basin. 6th Meeting on Game Theory and Practice, Zaragoza, Spain.

Yandamuri SRM, Srinivasan K and Bhallamudi SM (2006) Multi objective optimal waste load allocation models for rivers using nondominated sorting genetic algorithm-II. Journal of Water Resources Planning and Management 132(3):133–43.

Yang Z, Zeng Y, Cai Y and Tan Q (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(4):461-483.

Quinlan JR and Kohavi R (1999) Decision tree discovery, in Handbook of data mining and knowledge discovery. University Press: 267-276.

Raqual S, Szidarouszky F, Coppola E and Rojana A (2007) Application of game theory for groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management 84(4):560-571.

Read L, Mokhtari S, Madani K, Maimoun M and Hanks C (2013) A multi-participant, multi-criteria analysis of energy supply sources for fairbanks, Alaska. World Environmental and Water Resources Congress 2013:1247-1257.

Reed PM and Minsker BS (2004) Striking the balance: Long-term groundwater monitoring design for conflict objectives. Journal of Water Resources Planning and Management 130(2):140-149.

Schweinzer P (2010) Sequential bargaining with common values. Journal of Mathematical Economics 46(1): 109-121.

Sheikhmohammady M and Madani K (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.

Archive of SID

www.SID.ir