هیدروژئولوژی، سال چهارم، شماره ۲، زمستان۱۳۹۸
Hydrogeology, Volume 4, No. 2, Winter 2020

بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی و نامتعارف دشت هشتگرد

فریبا علویانی[۱]، حسین صدقی[۲]*، اصغر اصغری مقدم[۳]، حسین بابازاده[۴]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
۲- استاد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
۳- استاد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز.
۴- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
* نویسنده مسئول: sedghi@srbiau.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۲ تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳

چکیده

بهره‌برداری تلفیقی منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی و نامتعارف در مقایسه با بهره‌برداری جداگانه این منابع، منجر به افزایش اعتماد پذیری و کاهش کمبود ها و هزینه های بهره‌برداری می‌گردد. در این تحقیق دو گزینه بهره‌برداری از آب زیرزمینی و بهره‌برداری تلفیقی منابع آب حوضه هشتگرد در قالب مدل‌های ترکیبی مورد توجه قرار گرفت. به این منظور دو مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به نام‌های *GMS* و *PSO* به ترتیب برای محاسبه‌ی بیلان آب زیرزمینی و بهره‌برداری تلفیقی منابع آب، هر دو با هدف حداقل سازی افت تراز آبخوان ارائه شده است. در این رویکرد ابتدا رفتار آب زیرزمینی به کمک نرم‌افزار مدل شبیه سازی مادفلو در قالب پارامترهای هیدرودینامیکی و بیلان آبخوان مشخص شد و سپس این مقادیر در مدل بهینه‌سازی قرار گرفت. نتایج مدل شبیه سازی نشان داد که در شرایط ناپایدار برای سال آبی ۹۱-۹۰ بیلان آب زیرزمینی دشت هشتگرد منفی، تقریباً سالانه برابر با ۱۷ میلیون مترمکعب است. نتیجه حل مدل بهینه‌سازی نشان داد که بیشترین افزایش ذخیره مخزن در تمام زون‌ها به ترتیب مربوط به ماه‌های آبان، فروردین و بهمن می‌باشد. در هر چهار زون مقدار برداشت آب‌زیرزمینی به طور متوسط برای ۶۰ درصد ماه‌ها، با حد مرزی ذخیره آبخوان روبه‌رو هستند. بر اساس شرایط حاکم بر منطقه و نتایج به دست آمده از مدل‌ها، با استفاده حداکثری از آب‌های سطحی، برگشتی و آب‌های نامتعارف می‌توان تا حد امکان از کاهش سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرد. به طوری که در ماه‌هایی که مقدار ذخیره برابر صفر است نباید بیش از مقادیر ارائه شده از آب زیرزمینی برداشت شود. بنابراین بهترین راهکار استفاده ترکیبی از همه منابع آبی موجود در هر زون برای مدیریت منابع آب و جلوگیری از افزایش برداشت در مناطقی با نیاز آبی بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های غیرمتعارف، بهره‌برداری تلفیقی، مدل بهینه‌سازی، مدل شبیه‌سازی.

مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش جمعیت، تغییر و ارتقا استانداردهای زندگی و گسترش مناطق شهری و صنعتی سبب رشد روزافزون تقاضای آب در مناطق مختلف دنیا شده است. روند رو به رشد تقاضا در حالی است که محدودیت منابع به خصوص منابع آب شیرین به ویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک دنیا افزایش یافته است. با توجه به شناخت مناسب از منابع آب، آب سطحی و رودخانه‌ها که تمرکز و شدت جریان سطحی در آن‌ها بیش از سایر مناطق است، به‌عنوان اولین گزینه‌های مطرح جهت استحصال و مصرف در این مناطق می‌باشند. اما توزیع زمانی جریان موجود در این رودخانه‌ها در برخی موارد با توزیع نیازهای موجود در تضاد می‌باشد و یا گاه این جریانات به صورت فصلی و

سیلابی اتفاق می‌افتد. در مقابل منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، یکی از بهترین ذخایر آبی است که به طور معمول از کیفیت مناسبی نیز جهت استفاده در مصارف مختلف به خصوص در فصول خشک برخوردار می‌باشند، اما ذخیره و احیای مجدد آن زمان زیادی را طلب می‌نماید. از سوی دیگر افت تراز سطح ایستابی، تداخل آب شور و شیرین در نواحی ساحلی و هزینه پمپاژ از جمله مشکلات موجود در استفاده از این منابع می‌باشد. همچنین جوامع شهری و روستایی کانون اصلی مصارف آب برای مقاصد شرب، زراعی، صنعت و تولید فاضلاب انسانی می‌باشند. افزایش مصارف آب و به تبع آن تولید فاضلاب و روند رو به رشد این تولید، و همین‌طور توجه به استفاده غیراصولی در وضع موجود، ایجاب می‌نماید، برای جلوگیری از گسترش مشکلات محیط‌زیستی و همچنین تأمین بخشی از آب مورد نیاز مصارف مختلف از طریق بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب‌ها و آب‌های برگشتی برنامه‌ریزی شود. با توجه به موارد مطرح شده، استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با هدف کاهش اثرات مخرب استفاده مجزا از این منابع آب از جمله گزینه‌های مطرح موجود می‌باشد (محمدرضا پورطبری، ۱۳۸۸). از مطالعات صورت گرفته در خصوص بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب توسط بوراس (۱۹۶۳) شروع شده و تاکنون ادامه دارد ، می‌توان دریافت که در تمامی این مطالعات، تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است ولی مدل‌سازی مسائل و واقعیت‌های سیستم منابع آب در بهره‌برداری تلفیقی همراه با آب‌های غیرمتعارف کمتر مورد توجه بوده است. بنابراین بهره برداری تلفیقی از منابع آب همراه با آب‌های غیرمتعارف در این دشت مورد مطالعه که ضرورت و نوآوری تحقیق هست، می تواند ضمن تأمین نیازهای موجود، کمترین اثرات سوء بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی در محدوده طرح ایجاد کند. و همچنین در پی افزایش مصرف آب، میزان پساب تولید شده نیز سیر صعودی دارد. محدودیت منابع آب تجدیدشونده باعث گردیده که تصمیم‌گیران صنعت آب به فکر استفاده از منابع آب غیرمتعارف نظیر پساب به‌عنوان یک منبع دائمی باشند. استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها در تعدادی از کشورهای جهان از جمله آمریکا، کانادا، فرانسه، آلمان، مکزیک، برزیل، مصر، قطر، عربستان سعودی، هند، چین، قبرس و... مورد توجه قرار گرفته است. در منطقه اسکاتزدیل ایالت آریزونای آمریکا آب بازیافتی کاملاً تصفیه شده (تا حد استاندارد آب شرب) از طریق چاه‌های حفر شده در منطقه غیراشباع به سفره آب زیرزمینی تزریق می‌شود (عابدی کوپایی، ۱۳۸۲).

با توجه به اهداف مورد نظر تحقیق که بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی، زیرزمینی و آب‌های غیرمتعارف می‌باشد. به این منظور در ابتدا مطالعاتی در خصوص بهره‌برداری تلفیقی صورت گرفته است که یکی از اولین مطالعات انجام شده در این زمینه توسط بوراس (۱۹۶۳) انجام شده است. او سد و آبخوان را به‌عنوان منابع آب و نیاز اراضی کشاورزی را به‌عنوان مصرف در نظر گرفته است. در تحقیق اشاره شده، تغذیه مصنوعی از سد به رودخانه نیز مدنظر بوده که توسط برنامه‌ریزی پویای احتمالاتی در گام زمانی سالانه انجام شده است (بوراس، ۱۹۶۳). مباشری و شارون (۱۹۶۹) مدل بهره‌برداری تلفیقی در سیستم تخصیص بهینه با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی *(NLP)* را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که بهره‌برداری تلفیقی مزایای بیشتری نسبت به بهره‌برداری مجزای آب سطحی و زیرزمینی دارد. اونتا و همکاران (۱۹۹۱) مدلی سه مرحله‌ای به منظور تحلیل جامع مدیریت برنامه‌ریزی یکپارچه از منابع آب سطحی و زیرزمینی ارائه کردند. در ابتدا با استفاده از برنامه‌ریزی پویای تصادفی *(SDP)* سیاست بهره‌برداری بهینه استخراج گردیده و در مرحله دوم، سیاست‌های استخراج شده مورد آزمایش قرار گرفت و در مرحله سوم با استفاده از برنامه‌ریزی سازشی *(CP)* گزینه‌ها و سیاست‌هایی که شاخص‌های سیستم نظیر تخصیص آب و مقدار پمپاژ را بهتر ارضا می‌نمود، به‌عنوان سیاست‌های برتر انتخاب شده‌اند. در نهایت، تحلیل حساسیت بر روی هزینه پمپاژ، راندمان سیستم آبیاری و ضریب تغذیه در

سیاست‌های برتر صورت گرفت. باساگاوگلو و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی جهت یافتن سیاست‌های بهینه بهره‌برداری منابع سطحی و زیرزمینی با هدف کمینه‌سازی هزینه ارائه نمودند. از آنجا که هزینه پمپاژ به صورت تابع غیرخطی در نظر گرفته شده بود که با روش‌های معمول امکان حل آن وجود نداشت، برای حل آن از مدل تقریبی دلتافرم که یکی از شاخه‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی استفاده نمودند. براساس نتایج به دست آمده، سیاست‌های بهره‌برداری بهینه و هزینه بهره‌برداری استخراج گردید. مهجوری (۱۳۸۳) سیاست‌های تعادل بخشی کمی- کیفی آبخوان دشت کاشان را تدوین نمود. این سیاست‌ها از طریق تلفیق مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک *(GA)* با مدل شبیه‌سازی رگرسیونی که حاصل اجرای مدل مادفلو بوده، به دست آمده است. در این تحقیق، مقادیر شبیه‌سازی کمی-کیفی و معادلات تغییرات سطح و کیفیت آب به‌صورت ماهانه به دست آمده است. با استفاده از روابط شبیه‌سازی در مدل بهینه‌سازی، مقادیر برداشت بهینه از آبخوان مصارف مختلف ارائه گردید. کارآموز و همکاران (۲۰۰۵) مدل بهره‌برداری بهینه تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی بر تأکید بر مشخصات کیفیت آب زیرزمینی در قالب مدل شبیه سازی شبکه عصبی مصنوعی *(ANN)* و با استفاده از *GA* مورد بررسی قرار دادند. در این مدل هدف استخراج مقادیر تخصیص بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی به اراضی کشاورزی جنوب تهران عنوان شده است. نتایج مدل بهینه‌سازی نشان دهنده کارایی سیاست‌های ارائه شده در بهبود وضعیت کمی-کیفی منابع آبی می‌باشند. صفوی و همکاران(۲۰۱۰)، یک مدل شبیه سازی-بهینه‌سازی جهت بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در نجف‌آباد ارائه نمودند. آن‌ها از *ANN* به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی و از *GA* به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده نمودند. هدف اصلی این تحقیق حداقل نمودن مجموع مربعات از نیاز در تمامی دوره‌ها و مناطق بوده است. براین اساس گام زمانی مدل‌سازی فصلی و مناطقی که بایستی نیاز کشاورزی آن‌ها تامین شود، براساس نوع آرایش شبکه‌های آبیاری به سه قسمت تقسیم شده بود. نتایج حاکی از آن بود که مدل *ANN-GA* قابلیت مناسبی جهت استخراج مقادیر بهینه برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی داشته است. در ادامه، مطالعاتی نیز در خصوص استفاده از *PSO* در حوزه‌های مختلف منابع آب انجام شده است. چاو و همکاران (۱۹۹۸)، از الگوریتم *PSO* برای آموزش شبکه عصبی در پیش‌بینی تراز سطح آب رودخانه شینگ – مون در هنگ کنگ، استفاده نمودند. معراجی و همکاران(۲۰۰۶)، پس از آزمودن الگوریتم *PSO* توسط چندین توابع آزمونی استاندارد و تأیید قابلیت این الگوریتم در حل مسائل بهینه‌سازی فراگیر، از آن برای حل مسئله بهره‌برداری از مخزن سد دز در ایران استفاده نمودند. سوریبابو و همکاران (۲۰۰۸)، از روش *PSO* برای طراحی بهینه شبکه‌های تحت فشار توزیع آب استفاده کردند و نتیجه گرفتند که این روش در مقایسه با روش *SA*و الگوریتم ژنتیک همگرایی سریع‌تری دارد. مونتالو و همکاران(۲۰۰۸)، نشان دادند که روش *PSO* برای طراحی بهینه شبکه توزیع آب شهر هانوی و تونل تأمین آب شهر نیویورک نسبت به روش لانه مورچگان و الگوریتم ژنتیک برتر است.

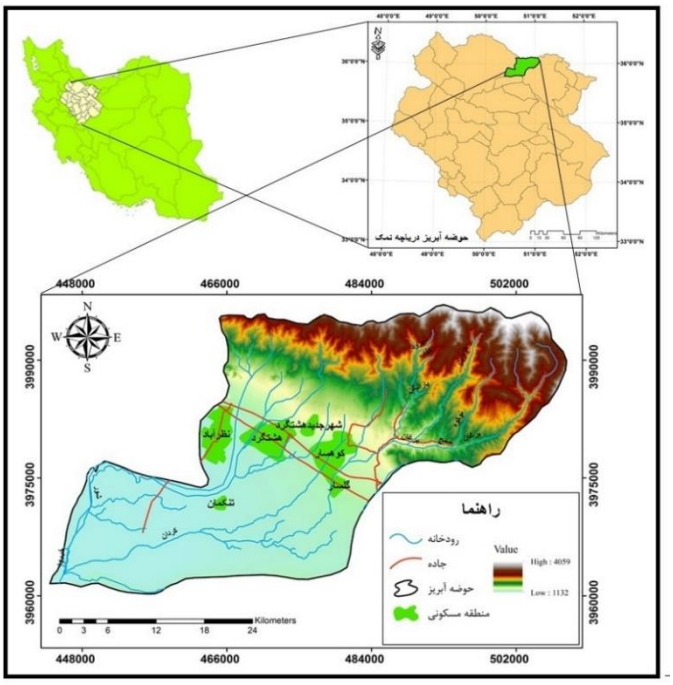
برای بررسی رفتار پیچیده سیستم آب زیرزمینی و تعیین بهترین شیوه مدیریتی، ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. از مواردی که به منظور بررسی مشکلات مهم مدیریت آب زیرزمینی از ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی آب زیرزمینی با ابزار بهینه‌سازی استفاده شده، میتوان به موارد زیر اشاره کرد. نیشیکاوا (۱۹۹۸) از مدل عددی مادفلو و مدل بهینه‌سازی لیندو برای مدیریت بهینه منابع آب سانتاباربارای کالیفرنیا استفاده کرد. وی از مادفلو برای مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی و از لیندو برای کمینه کردن هزینه تأمین آب با در نظر گرفتن قیود تقاضای آب و بار هیدرولیکی برای کنترل پیشروی آب شور استفاده کرد. همچنین سلیمان خرمه (۲۰۰۷) از مادفلو برای به دست آوردن مقدار بهینه پمپاژ آب زیرزمینی آبخوان ائوسن در بیابان جنین در

محدوده طرابلس استفاده کرد. در تحقیق حاضر مدل‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی منابع آب بررسی شد. و بر اساس اطلاعات به دست آمده، استفاده از مدل‌های ترکیبی برای بهره‌برداری تلفیقی منابع آب محدوده مورد انتخاب گردید. در مرحله اول از مدل عددی *GMS* به‌عنوان مدل شبیه‌سازی آبخوان دشت مورد مطالعه، با استفاده از کد مادفلو برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی برای سال آبی ۹۱-۹۰ و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان استفاده شد و سپس در مرحله دوم این پژوهش، از مدل هوش مصنوعی بهینه‌سازی جامعه ذرات *PSO* برای بهره‌برداری تلفیقی منابع آب سطحی ، زیرزمینی و آب‌های غیر متعارف استفاده گردید تا مقدار برداشت بهینه از آبخوان دشت، به منظور جلوگیری از افت بیش از حد سطح آب زیرزمینی برای ماه‌های سال و مناطق مختلف ارائه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

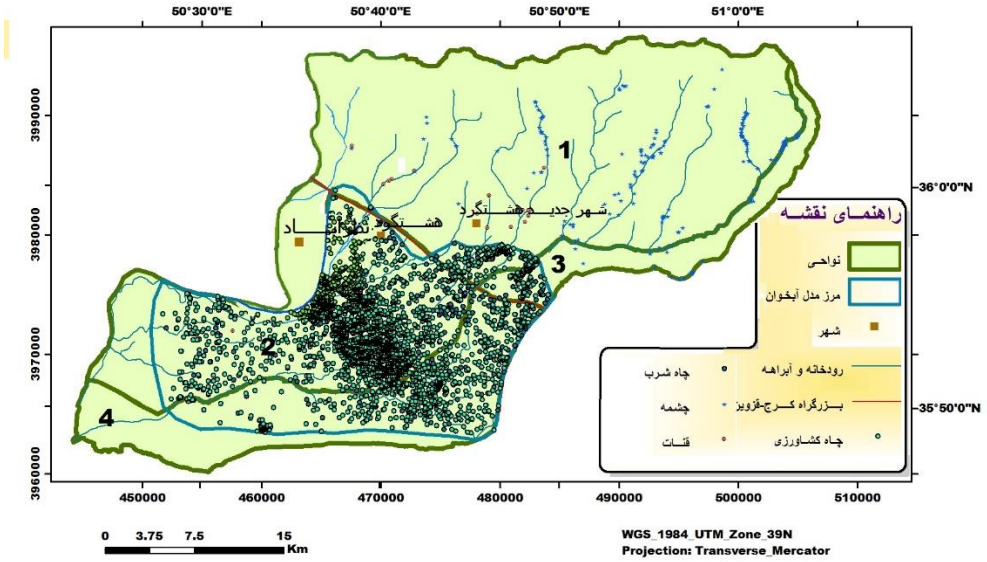
محدوده مطالعاتی هشتگرد در شمال ایران و جنوب رشته کوه‌های البرز در استان البرز به فاصله‌ی ۴۰ کیلومتری غرب کرج واقع شده است. از شمال به محدوده‌ی مطالعاتی طالقان - الموت، از جنوب به ارتفاعات حلقه در منطقه اشتهارد، از شرق به محدوده‌ی مطالعاتی تهران - کرج و از غرب به محدوده‌ی مطالعاتی قزوین محدود شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه با وسعت ۱۱۷۰/۴ کیلومتر مربع قسمتی از حوضه‌ی آبریز دریاچه نمک می‌باشد، مساحت ارتفاعات و دشت در این محدوده به ترتیب ۵۷۹ و ۵۹۱/۴ کیلومترمربع می‌باشد. دشت هشتگرد در نواحی دانه درشت مخروط افکنه، آبخوان آبرفتی از نوع آزاد به وسعت ۴۱۰/۹۵ کیلومتر مربع تشکیل داده که به سمت خروجی دشت در ناحیه تنکمان و جنوب نظرآباد به تدریج و با یک ارتباط جانبی، آبخوان تحت فشار نیز به آن اضافه می‌گردد. آبخوان در بخش‌های شمال شرقی (منطقه تغذیه) دارای کیفیت خوب بوده و با حرکت به سمت جنوب غرب منطقه از کیفیت آب کاسته می‌شود. جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از سمت شمال شرقی به جنوب غرب می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد روند کلی هیدروگراف آبخوان آزاد، نزولی است. به طوری‌که در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۰ تراز سطح آب زیرزمینی به میزان ۱۰/۳۹ متر افت کرده است که این روند افت نشان دهنده‌ی بهره‌برداری غیر بهینه از منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این محدوده شامل شهرهای هشتگرد، نظرآباد، کوهسار و گلسار می‌باشد. همچنین مهم‌ترین رودخانه‌ی موجود در منطقه رودخانه‌ی کردان می‌باشد، که از شمال شرق محدوده سرچشمه گرفته و در امتداد جنوب غرب جریان داشته و با گذر از داخل شهرستان در نهایت به رودخانه‌ی شور در محدوده اشتهارد می‌پیوندند. از راه‌های ارتباطی منطقه اتوبان تهران _ قزوین و جاده آسفالته کرج _ قزوین می‌باشد که از داخل شهر هشتگرد عبور می‌کند (شکل ۱).



شکل۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دشت هشتگرد.

برای تعیین برداشت بهینه از آبخوان دشت هشتگرد با توجه به تفاوت در نیاز آبی و آب در دسترس در هر منطقه از محدوده، دشت به ۴ منطقه تقسیم می‌شود.

منابع بهره‌برداری کننده از آب‌های زیرزمینی در کل محدوده مطالعاتی هشتگرد شامل ۶۶۵۶ حلقه چاه با تخلیه سالانه ۳۱۸/۹۸ میلیون مترمکعب، ۱۸۲ دهنه چشمه با تخلیه سالانه ۶/۰۵ میلیون مترمکعب و ۱۹رشته قنات با تخلیه سالانه ۳/۴۵ میلیون مترمکعب می‌باشد که سهم آبخوان از این آمار ۵۳۲۵ حلقه چاه با تخلیه سالانه ۳۰۶/۹۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. لازم به ذکر است که چشمه در محدوده آبخوان وجود ندارد، ولی دو رشته قنات در این منطقه قرار گرفته که به دلیل کاهش سطح آب خشک شده اند (شکل ۲).



شکل ۲- محدوده مطالعاتی دشت هشتگرد به تفکیک نواحی چهارگانه

مدل شبیه‌ساز *GMS*

در این مطالعات برای انجام مدل‌سازی عددی از مدل *GMS* استفاده شده است که یک رابط گرافیکی قوی برای نرم‌افزار مادفلو می‌باشد. در میان کدهای مختلف مدل‌سازی، کد مادفلو، بیشترین کاربرد را در زمینه مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در کشورهای مختلف دنیا دارد. کد مذکور توسط سازمان تحقیقات زمین‌شناسی امریکا (*USGS*) تهیه شده و با توجه به قابلیت بالا و داشتن زیر برنامه‌های مختلف که در برگیرنده پارامترهای گوناگون تشکیل دهنده یک سیستم آبخوان زیرزمینی می‌باشد، تقریباً کد کاملی در مدل‌سازی سیستم در محیط اشباع و آبخوان های آبرفتی می‌باشد. در واقع *GMS* کلیه اطلاعات مورد نیاز را که در پایگاه اطلاعاتی ذخیره شده است برای تهیه مدل مفهومی جمع‌آوری می‌کند. هدف از تهیه‌ی مدل مفهومی ساده کردن شرایط واقعی مورد مطالعه و سازمان‌دهی داده‌های صحرایی است، به‌گونه‌ای که با استفاده از آن، سیستم مورد نظر راحت‌تر مورد تحلیل و تجزیه قرار گیرد(آندرسون و وسنر، ۱۹۹۲).

مشخصات آبخوان‌های زیرزمینی و میزان تغذیه و تخلیه طبیعی همراه با توزیع آن در سطح سفره بر اساس یک سری آمار و بررسی‌های اکتشافی و همچنین نظریه هیدروژئولوژیست منطقه، به طور مقدماتی برآورد می‌شود و تنها اطلاعاتی که می‌توان به طور نسبتاً دقیق از منابع آب زیرزمینی تهیه کرد، میزان برداشت از آبخوان و نوسان سطح آب آبخوان می‌باشد. بنابراین به منظور این که بتوان از مدل در جهت مدیریت بهره‌برداری از سفره استفاده کرد، می‌بایست مدل را به منطقه مورد نظر تطبیق داد. بدین معنی که مقادیر ضرایبی را که عدم قطعیت در آن‌ها وجود دارد. آن قدر تغییر داد تا مقادیر سطح آب محاسبه شده و مشاهده شده تقریباً و در حد قابل قبولی منطبق بر هم شوند. این فرایند را واسنجی، تنظیم، تطبیق و یا کالیبراسیون مدل می‌نامند. بدون شک یکی از حساس‌ترین مراحل مدل‌سازی، مرحله واسنجی است و در واقع کلید مدل سازی را می‌توان همین مرحله دانست به طور کلی پارامترهایی که در مدل، لازم به تصحیح دارند، ضرایب هیدرودینامیکی سفره و مقادیر عددی تغذیه و تخلیه طبیعی از سفره می‌باشد.

مدل بهینه‌ساز *PSO*

بهینه‌سازی مسائل علوم مهندسی آب در گذشته از طریق انواع روش‌های بهینه‌سازی سنتی متداول حل می‌شد، ولی در دهه اخیر گرایش کارشناسان به روش‌های فراکاوشی بیشتر شده است. یکی از روش‌های فراکاوشی، الگوریتم بهینه‌سازی جامعه ذرات (*PSO*) می‌باشد. روش بهینه‌سازی *PSO* اولین بار توسط کندی و ابرهارت (۱۹۹۵) معرفی گردید. اساس *PSO* شبیه‌سازی یک رفتار دسته جمعی است که از آن برای نشان دادن حرکت گروه پرندگان و ماهیان استفاده می‌شود.

در چنین مجموعه‌ای، هر کدام از حیوانات صرفاً از چند قانون ساده تبعیت می‌کنند و رفتارهای پیچیده‌ای که در کل قابل مشاهده هستند، چیزی جز ترکیب این قوانین ساده نیستند. هر کدام از دسته ماهی‌ها در یک دسته، از موقعیت، جهت حرکت و سرعت ماهی‌ها نزدیکش خبر دارد و با استفاده از این اطلاعات و پیروی از چند قانون ساده، خود را با جمع تطبیق می‌دهد.

مانند همه الگوریتم‌های تکاملی، *PSO* با ایجاد یک جمعیت تصادفی از افراد شروع می‌شود، که در اینجا به‌عنوان یک گروه از ذره‌ها خوانده می‌شود. برای هر ذره در گروه، مجموعه مختلفی از پارامترهای نامشخص باید مقادیرشان بهینه شود و در واقع هر ذره یک نقطه از فضای راه‌حل را ارائه می‌دهد. در این الگوریتم، جستجوی فضای راه‌حل‌ها به سوی بهترین موقعیتی که در گذشته با آن روبرو شده‌اند، به این امید که در این فرآیند به موقعیت بهتری برسند، صورت می‌گیرد تا سرانجام همه ذره‌ها در نقطه بهینه همگرا شوند. تفاوت بین *PSO* و سایر الگوریتم‌های تکاملی در روشی است که از طریق آن، جمعیت ایجاد شده، در فضای جستجو حرکت می‌کند، یعنی *PSO* از روش مختص خود جهت هدایت گروه استفاده می‌کند. هر چند در *PSO* علاوه بر آن که هر عضو از جمعیت، دارای یک سرعت انطباقی (تغییر مکان) است که مطابق با آن در فضای جستجو حرکت می‌کنند،

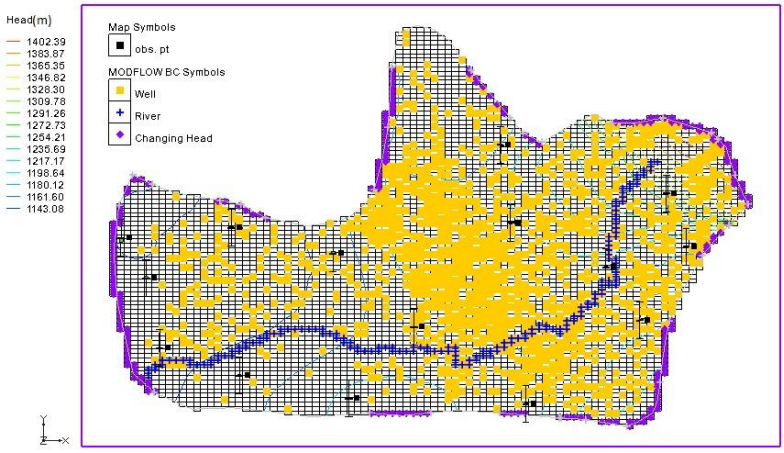
هر کدام از آن‌ها دارای حافظه نیز می‌باشند، یعنی بهترین موقعیتی که در فضای جستجو به آن می‌رسند را به خاطر می سپارند. بنابراین حرکت هر عضو در دو جهت صورت می‌گیرد: ۱- به سوی بهترین موقعیتی که ملاقات کرده‌اند، ۲- به سوی بهترین موقعیتی که بهترین عضو در همسایگی آن‌ها ملاقات کرده است (صابرچناری و همکاران، ۱۳۹۵).

بحث و نتایج

مدل آب زیرزمینی دشت هشتگرد

برای محدوده‌ی مورد مطالعه، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد ۲۳۴/۵×۳۷۱/۸ متر با مساحت ۸۷۱ کیلومتر مربع در یک لایه طراحی شد. شبکه ایجاد شده به روش *Block centred* و یا مرکز سلولی بوده است که دارای ۱۰۰ ردیف و ۱۰۰ ستون می‌باشد. اطلاعات سطح آب پیزومترها برای سال‌های آبی ۹۰ تا۹۱ به نرم‌افزار وارد گردید. آب پمپاژ شده توسط چاه‌های بهره‌برداری به تعداد ۳۶۹۱ حلقه به مدل *GMS* در سطح مدل مفهومی با استفاده از بسته نرم‌افزاری *Well* وارد گردید و سپس به مدل شبکه‌ای مادفلو تبدیل شد. بیشتر این چاه‌ها در شمال شرق و مرکز دشت هشتگرد قرار گرفته‌اند.

مقدار تغذیه سطحی (شامل نفوذ آب برگشتی کشاورزی و بارندگی و نفوذ از بستر رودخانه کردان) توسط بسته‌ی تغذیه *(Recharge Package)* و بسته‌ی رودخانه *(River Package)* شبیه‌سازی گردید که خروجی رودخانه در مدل برابر با صفر است یعنی رودخانه تغذیه کننده‌ی آبخوان بوده و زهکش نیست. مقدار فاضلاب شهری و صنعتی مورد نیاز در مدل را که توسط بسته‌ی چاه تغذیه‌ای، شبیه‌سازی شده است از تقسیم مقدار فاضلاب محدوده آبخوان، در تعداد چاه‌های جذبی که در مدل در مکان‌های مسکونی و صنعتی وارد شده است، به دست می‌آید (شکل ۳).



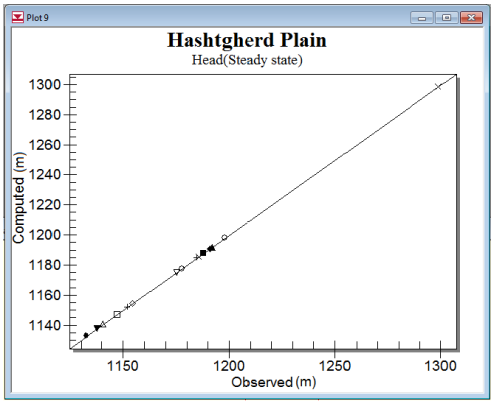
شکل ۳- موقعیت داده‌های وارد شده در مدل مادفلو.

برای به دست آوردن مقادیر ضرایب هیدرولیکی آبخوان و جریان‌های زیرزمینی ابتدا مدل برای حالت پایدار برای مهرماه ۹۰ واسنجی گردیده است و سپس به علت شرایط ناپایدار حاکم بر آبخوان، واسنجی مدل در شرایط ناپایدار برای یک دوره ۱۲ماهه (مهر ماه ۱۳۹۰ تا شهریور ماه ۱۳۹۱) انجام گرفته است. در ابتدا از روش سعی و خطا و سپس روش خودکار استفاده شده است. در این روش مفروضات اولیه خصوصیات آبخوان، شرایط مرزی و تنش ها (در یک محدوده قابل قبول) برای هر اجرای متوالی مدل تغییر داده می‌شوند تا بهترین برازش بین بارهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای به دست آید و بیلان حاصل از شبیه‌سازی با بیلان جرمی مطابقت و همخوانی داشته باشد.

در شکل۴ برازش مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای برای شرایط پایدار نشان داده شده است. نمودار پراکندگی تطابق خوب سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل را نشان می‌دهد. مربع ضریب *(R2)* برای خط رگرسیون نزدیک به یک است که گویای واسنجی مطلوب می‌باشد. در شرایط ناپایدار نیز

مقدار خطای *RMS* محاسبه شده که مهم‌ترین این معیارها به شمار می‌رود، دارای مقدار مطلوبی (۳۴ سانتی‌متر) می‌باشد.

بر اساس داده‌های موجود و مطالعات هیدروژئولوژی ابتدا مقادیر هدایت هیدرولیکی و سپس آبدهی ویژه (در حالت ناپایدار) به‌عنوان مقادیر اولیه به مدل داده شد و سپس در طی واسنجی به صورت دستی و اتوماتیک (با استفاده از ابزار *pest*) این مقادیر به صورت زون بندی و نقطه‌ای تصحیح گردیدند. بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی در اطراف آبادی‌های دولت‌آباد اقبالیه، تنکمان، جنوب نظرآباد، در مسیر رودخانه کردان و ناحیه جنوب شرقی دشت به دست آمده است و کمترین مقادیر هدایت هیدرولیکی در ورودی و خروجی‌های دشت، به دست آمده است. مقادیر واسنجی شده ضریب آبدهی ویژه (*SY*) در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد مقدار آن بین ۰/۰۸در ناحیه مرکزی به علت وجود لایه‌های آبرفتی با ضخامت بالا (تراکم چاه‌های بهره‌برداری موجود در این بخش دلیل بر بالا بودن آبدهی ویژه می‌باشند) تا ۰/۰۲ در ورودی و خروجی دشت متغیر می‌باشد.



شکل ۴ - نمودار پراکندگی برای سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در انتهای دوره واسنجی.

بیلان آبخوان محاسبه شده توسط مدل جریان

هدف از محاسبه‌ی بیلان آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد تعیین مقادیر ورودی، مصرفی و ذخیره‌ی آب در دشت می‌باشد. بدین منظور از مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی دشت با استفاده از کد مادفلو و *Flow Budget* گنجانده شده در نرم‌افزار *GMS 7.1* برای محاسبه‌ی بیلان آب زیرزمینی برای سال‌های آبی ۹۰-۹۱ استفاده شده است. در جدول ۱، خلاصه بیلان حجمی شبیه‌سازی شده توسط مدل در انتهای دوره واسنجی در شرایط ناپایدار برای سال آبی ۹۱-۹۰ قابل مشاهده است. با توجه به بیلان به دست آمده تقریباً سالانه ۱۷ میلیون متر مکعب، کسری مخزن در آبخوان وجود دارد. نتایج بیلان حجمی شبیه‌سازی شده توسط مدل در شرایط ناپایدار با بیلان جرمی موجود در دشت مورد مطالعه مطابقت دارد.

بیلان ماهانه مدل به تفکیک نواحی چهارگانه محدوده مطالعاتی، که جزء یکی از داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل بهینه‌سازی می‌باشد نیز تهیه گردید.

جدول۱- خلاصه بیلان حجمی شبیه‌سازی شده توسط مدل در انتهای دوره واسنجی.

مؤلفه بیلان	حجم (میلیون مترمکعب)
برداشت از آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره‌برداری	-۳۰۸/۳
جریان‌های ورودی زیرزمینی به وسیله چاه‌های جذبی و رودخانه	۱۰/۷۹
تغذیه سطحی و آب برگشتی کشاورزی	۲۰۳
تغذیه از طریق *GHB* (مرزهای ورودی)	۹۰/۳۷
تخلیه از طریق *GHB* (مرزهای خروجی)	-۱۱/۹۹
تغییرات حجم مخزن	-۱۶/۲۵

مدل بهینه‌سازی دشت هشتگرد

هدف از تحقیق بهینه‌سازی میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی دشت هشتگرد با استفاده بهینه از آب‌های سطحی و آب‌های غیر متعارف است. افزایش تعداد و تخلیه چاه‌های بهره برداری، کاهش نزولات جوی و سایر عوامل در سال‌های اخیر در این دشت باعث افت آب زیرزمینی و کاهش آبدهی منابع آبی شده و در نتیجه باعث شکل‌گیری فرونشست زمین در این محدوده مطالعاتی گردیده است. لذا ارائه مدل مناسب برای بهره برداری و مدیریت منابع آبی در دشت هشتگرد ضروری به نظر می‌رسد،که لازمه آن ارائه تابع هدف و محدودیت‌ها یا قیود آن برای استفاده بهینه از هر نوع منابع آبی موجود در منطقه و به تبع آن تعیین الگوی کشت مناسب به‌عنوان منشأ اصلی آب مصرفی می‌باشد. در نهایت ارائه سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب موجود (سطحی، زیرزمینی و غیرمتعارف) در حوضه می‌تواند راه‌کارهای مدیریتی مناسبی جهت مدیریت حوضه در شرایط متفاوت در آینده را ارائه کند. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل بهینه‌سازی میزان برداشت شامل: نیاز آبی برای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب، مقادیر آب‌های غیرمتعارف، میزان رواناب، مقدار آب نفوذی و مقدار تغییر در آب زیرزمینی ورودی و خروجی آبخوان می‌باشد که به تفکیک نواحی محدوده مورد مطالعاتی تهیه شده است.

تابع هدف: تابع هدف در این تحقیق در برگیرنده اختلاف مقدار مجموع آب سطحی و آب زیرزمینی با میزان آب مورد نیاز برای کشاورزی، صنعت و شرب در دشت است که با توجه به برقراری رابطه پیوستگی نوشته می‌شود. پس از تنظیم این تابع، مینیمم آن به صورت رابطه ۱ محاسبه خواهد شد.

$$Minimize\ F=\sum_{i=1}^{m=4}\sum_{t=1}^{n=12}\left(R_{ti}+G_{ti}-D_{ti}\right)^2+\sum_{i=1}^{m=4}\sum_{t=1}^{n=12}\left(\Delta S_{ti}-I_{ti}-\Delta Q_{ti}+G_{ti}\right)^2$$

پارامترهای ذکر شده دررابطه فوق عبارت‌اند از:

Rti : مقدار رواناب موجود در منطقه i، و در ماه t،

Gti : مقدار آب زیرزمینی مورد نیاز در منطقه i، و در ماه t،

Dti : میزان آب مورد نیاز برای کشاورزی، صنعت و شرب در منطقه i، و در ماه t،

ΔSti : مقدار تغییرات ذخیره آبخوان در منطقه i، و در ماه t،

Iti : مقدار آب نفوذی از باران و فاضلاب‌های شهری و صنعتی در منطقه i، و در ماه t،

ΔQti : مقدار تغییر در آب زیرزمینی ورودی و خروجی از آبخوان در منطقه i، و در ماه t.

متغیرهای تصمیم: تعداد متغیرهای تصمیم در این مسئله ۲۴ متغیر برای هر منطقه می‌باشد که شامل خروجی آب زیرزمینی و حجم ذخیره آبخوان برای ۱۲ ماه از سال است، هدف این است که بیشترین حجم ذخیره آبخوان با در نظر گرفتن کمینه‌سازی خروجی آب زیرزمینی در برابر نیاز آبی هر منطقه به دست آید. به عبارت دیگر هدف به صفر رساندن کمبود یا مازاد جریان خروجی از ذخیره آبخوان می‌باشد.

قیود حاکم بر مسئله: محدودیت‌ها یا قیدهای مدل ارائه شده شامل موارد زیر می‌باشد:

قیود تابع هدف: تغییرات ظرفیت ذخیره آبخوان یکی از متغیرهایی است که نیاز به قید دارد. برای تغییرات حجم ذخیره آبخوان یک حد پایین در نظر گرفته می‌شود. حد پایین متناظر با مقدار کنونی آن است یعنی هیچ‌گاه نباید از این سطح پایین آمده و ΔS_{ti} را منفی کند.

$$0 \le \Delta S_{ti}$$

خروجی از آب زیرزمینی نیز یکی از پارامترهایی است که نیاز به قید دارد. خروجی از آب زیرزمینی بعلاوه رواناب سطحی باید بزرگتر از مقادیر نیاز آبی دشت در ماه مورد نظر باشد:

$$D_{ti} \le R_{ti}+G_{ti}$$

که D_{ti} نیاز آبی دشت در ماه t بر حسب میلیون متر مکعب است. چگونگی اعمال قیود حاکم بر مسئله: بهینه‌سازی توابع مقید ریاضی، محاسبه مقدار حداقل یا حداکثر آن تابع همزمان با تأمین قیود حاکم می‌باشد. در مورد تابع هدف مسئله مورد نظر نیز باید قیود موجود اعمال شوند. ابتدا در حالت کلی نحوه اعمال

قیدها بیان می‌شود، سپس در مورد مسئله مورد نظر قیدها اعمال خواهند شد. اگر تابع هدف مسئله به صورت کلی زیر باشد:

$$F = b\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right)$$

این تابع هدف تحت تاثیر قیود زیر قرار دارد:

$$g_K \le \bar{g}_K \qquad k = 1,2,\ldots,n_c$$
$$g_l \ge \bar{g}_l \qquad l = 1,2,\ldots,n_c$$

در رابطه فوق F نشان‌گر تابع هدف، b معرف رابطه ریاضی میان متغیرهای $x_1, x_2, \ldots, x_n$ می‌باشد. پارامتر n نیز مبین تعداد متغیرهای تابع هدف است. عبارات g_l, g_k توابعی از یک یا چند متغیر به کار رفته در تابع، $\bar{g}_l, \bar{g}_k$ حد نهایی و حد پایین آن می‌باشند. که مجموع آن‌ها معرف یکی از قیود حاکم بر تابع هدف است. پارامتر nc نیز تعداد قیود حاکم را نشان می‌دهد. محاسبات برای توابع بدون قید بیان شده‌اند. بنابراین جهت اعمال آن‌ها بر تابع هدف مقید باید مجموعه تابع هدف و قیود حاکم بر آن را به تابع شبه هدف تبدیل کنیم. به همین منظور با اعمال عملیات جبری بر تابع هدف و قیود، تابع جدیدی را معرفی می‌کنیم که تحت تاثیر هیچ قیدی قرار ندارد. بدیهی است که بهینه تابع شبه هدف برابر بهینه تابع هدف اولیه تحت تأثیر قیود می‌باشد. تابع هدف و قیود حاکم به صورت زیر به تابع شبه هدف تبدیل شده است(کلرک، ۱۹۹۹) :

$$\varphi = F + R_p \sum_{i=1}^{n_c}\left[\max\left(\frac{g_i}{\bar{g}_i} - 1, 0\right)\right]^2 + R_p \cdot \sum_{j=1}^{n_c}\left[\max\left(1 - \frac{g_j}{\bar{g}_j}, 0\right)\right]^2$$

در رابطه فوق φ تابع شبه هدف می‌باشد. F تابع هدف اولیه و g_j, g_i، $\bar{g}_J, \bar{g}_i$ عبارات طرفین قیود نامساوی می‌باشند. همچنین Rp یک ضریب عددی است که مقدار بزرگی برای آن فرض می‌شود.

در رابطه ۶ عبارت $\left[\max\left(\frac{g_i}{\bar{g}_i} - 1, 0\right)\right]^2$ مقادیر جریمه برای حدنهایی متغیرها را محاسبه می‌کند. بدین ترتیب که اگر مقدار g_i که یکی از متغیرهای انتخابی مسئله می‌باشد از مقدار $\bar{g}_i$ که حد نهایی آن می‌باشد، بیشتر شود حاصل $\frac{g_i}{\bar{g}_i}$ بیشتر از یک می‌شود، در نتیجه مقدار اختلاف آن با یک نیز عددی مثبت خواهد بود و چون در عبارت تعریف شده که ماکزیمم $\frac{g_i}{\bar{g}_i} - 1$ و صفر در نظر گرفته شود، بنابراین مقدار عددی مثبت در نظر گرفته شده به توان دو می‌رسد و در عدد بزرگ RP هم ضرب می‌شود. بدین ترتیب برای متغیر g_i که از حد نهایی تجاوز نموده جریمه در نظر گرفته می‌شود. ولی اگر متغیر انتخابی g_i از $\bar{g}_i$ کوچک‌تر باشد، حاصل $\frac{g_i}{\bar{g}_i}$ کمتر از یک خواهد شد و اختلاف آن با یک عددی منفی خواهد بود. بنابراین صفر به‌عنوان ماکزیمم در نظر گرفته می‌شود و جریمه‌ای اعمال نخواهد شد.

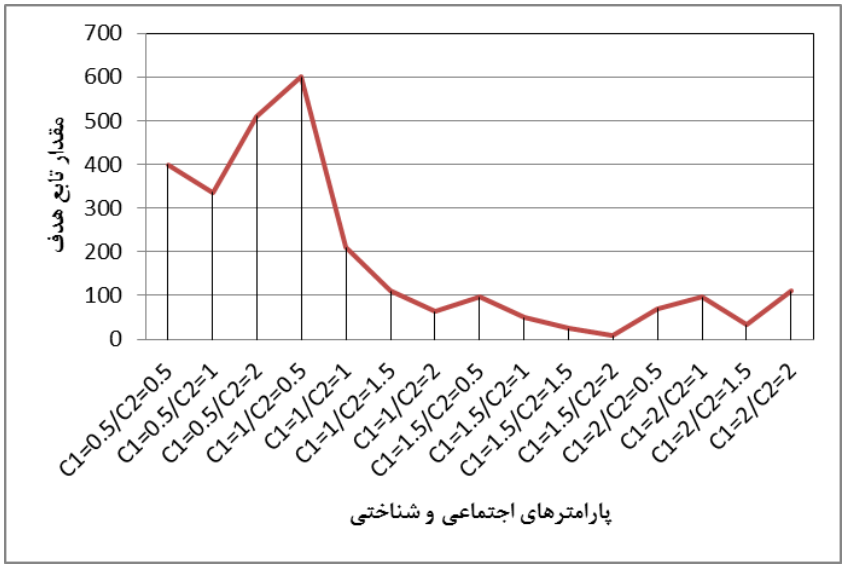
عبارت $\left[\max\left(1 - \frac{g_j}{\bar{g}_j}, 0\right)\right]^2$ مقادیر جریمه برای حد پایین متغیرها را محاسبه می‌کند. بدین ترتیب که اگر مقدار g_j که یکی از متغیرهای انتخاب مسئله می‌باشد از مقدار $\bar{g}_j$ که حد پایین آن می‌باشد کمتر شود حاصل $\frac{g_j}{\bar{g}_j}$ کمتر از یک می‌شود، در نتیجه مقدار اختلاف یک با آن عددی مثبت خواهد بود و چون در عبارت تعریف شده که ماکزیمم $1 - \frac{g_j}{\bar{g}_j}$ و صفر در نظر گرفته شود، بنابراین مقدار عددی مثبت در نظر گرفته شده به توان دو می‌رسد و در عدد بزرگ RP هم ضریب می‌شود. بدین ترتیب برای متغیر g_j که از حد پایین تجاوز نموده جریمه در نظر گرفته می‌شود ولی اگر متغیر انتخابی g_j از $\bar{g}_j$ بزرگ‌تر باشد، حاصل $\frac{g_j}{\bar{g}_j}$ بیشتر از یک خواهد شد و اختلاف یک با آن

عددی منفی خواهد بود. بنابراین صفر به‌عنوان ماکزیمم در نظر گرفته می‌شود و جریمه‌ای به آن اعمال نخواهد شد، برای اعمال قیدها در مسئله مورد نظر بایستی ابتدا حدود بالا و پایین هر یک از متغیرها مشخص شود. همان‌طور که گفته شد در تابع مسئله موردنظر ۲۴ متغیر برای هر منطقه وجود دارد که ۱۲ متغیر مربوط به مقدار برداشت از آب زیرزمینی در هر ماه و ۱۲ متغیر دیگر مربوط به تغییرات ذخیره آبخوان در ماه‌های سال می‌باشند. در مورد قیدهای تاثیر گذار بر مسئله همانند مقدار حداقل و حداکثر مربوط به خروجی از آبخوان در هر ماه و در هر منطقه بایستی گفت که حداقل مقدار خروجی بایستی زمانی رخ می‌دهد که مقدار آب مورد نیاز از آب سطحی تأمین شود که این مقدار می‌تواند برابر صفر باشد و حداکثر آن نیز زمانی ایجاد خواهد شد که میزان آب سطحی برابر صفر باشد که این مقدار هم برابر ماکزیمم درخواست آب در هر منطقه، در هر ماه خواهد بود. میزان حداقل نیز برای تغییرات ذخیره آبخوان نیز برابر صفر در نظر گرفته شد.

آنالیز حساسیت پارامترهای الگوریتم جامعه ذرات

پس از مشخص شدن محدودیت‌های مسئله و خط مشی ارزیابی در هر نسل، ارزیابی متغیرهای تصمیم برای راه حل حاضر انجام و سپس مرزهای مسئله کنترل شدند. برای متغیرهایی که از مرزهای تخطی کرده‌اند، یک تابع پنالتی در نظر گرفته شد. به منظور انجام آنالیز حساسیت مدل *PSO* ترکیب‌های مختلف از هر پارامتر در نظر گرفته شد. در این آنالیز با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای *C1* و *C2* (پارامترهای شناختی و اجتماعی)، *Wmin* و *Wmax* و بعد از ۱۷ بار اجرای مدل، بهترین مقادیر این پارامترها با توجه به کمترین مقدار تابع هدف به ترتیب ۱/۵و ۲، ۰/۱ و ۰/۵ به دست آمد (شکل ۵). البته پارامتر اینرسی وزنی حساسیت چندانی از خود نشان نداد.

شکل۵ آنالیز حساسیت پارامترهای شناختی و اجتماعی را نشان می‌دهد. برای بهینه‌سازی دو پارامتر برداشت آب زیرزمینی و ذخیره مخزن با استفاده از مفاهیم ارایه شده بالا و با به کارگیری الگوریتم *PSO*، تابع هدف کمینه شد. بدین منظور جمعیت اولیه ۲۰۰ در نظر گرفته شد. نتایج این بهینه‌سازی در جدول۲ نشان داده شده است.



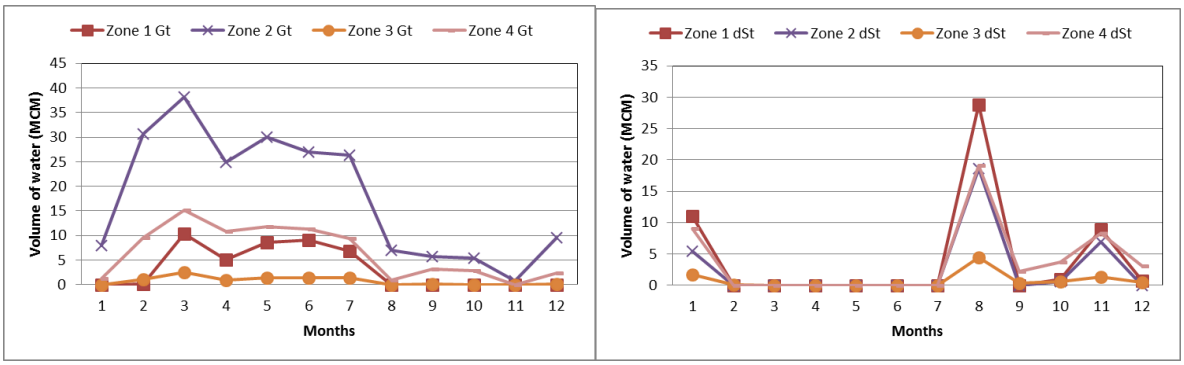
شکل ۵-آنالیز حساسیت پارامترهای شناختی و اجتماعی.

جدول ۲- نتایج اجرای مدل‌های *PSO*، برای سال آبی ۹۱-۹۰ (*MCM*).

Month	*Zone 1*		*Zone 2*		*Zone 3*		*Zone 4*	
	Gt	*dSt*	*Gt*	*dSt*	*Gt*	*dSt*	*Gt*	*dSt*
1	*0.00*	*11.07*	*8.01*	*5.41*	*0.00*	*1.65*	*1.26*	*9.01*
2	*0.17*	*0.00*	*30.62*	*0.00*	*1.08*	*0.09*	*9.54*	*0.00*
3	*10.27*	*0.00*	*38.21*	*0.00*	*2.56*	*0.00*	*15.21*	*0.00*
4	*5.12*	*0.00*	*24.97*	*0.00*	*0.95*	*0.00*	*10.81*	*0.00*
5	*8.56*	*0.00*	*30.09*	*0.00*	*1.39*	*0.00*	*11.76*	*0.00*
6	*9.02*	*0.00*	*27.01*	*0.00*	*1.45*	*0.00*	*11.25*	*0.00*
7	*6.77*	*0.00*	*26.31*	*0.00*	*1.38*	*0.00*	*9.33*	*0.00*
8	*0.00*	*28.80*	*7.00*	*18.62*	*0.00*	*4.40*	*0.95*	*19.11*
9	*0.00*	*0.00*	*5.72*	*0.00*	*0.06*	*0.36*	*3.17*	*2.18*
10	*0.00*	*0.92*	*5.34*	*0.62*	*0.00*	*0.63*	*2.90*	*3.68*
11	*0.00*	*8.86*	*0.75*	*6.93*	*0.00*	*1.30*	*0.00*	*8.29*
12	*0.00*	*0.70*	*9.48*	*0.00*	*0.03*	*0.41*	*2.29*	*3.02*

بر اساس جدول ۲ نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که بیشترین افزایش مخزن در تمام زون‌ها مربوط به آبان ماه می-باشد و پس از آن بیشترین افزایش مخزن مربوط به ماه‌های فروردین و بهمن می‌باشد (شکل ۶). با استفاده حداکثری از آب‌های سطحی، برگشتی و آب‌های نامتعارف می‌توان تا حد امکان از کاهش سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرد. به‌طوری که در ماه‌هایی که مقدار ذخیره برابر صفر است نباید بیش از مقادیر ارائه شده در جدول۲ از آب زیرزمینی برداشت شود. در غیر این صورت باعث کاهش مقدار آب در مخزن خواهد شد که شاید قابل جبران نباشد. به طور متوسط برای ۶۰ درصد ماه‌ها در هر چهار زون، مقدار برداشت از آب زیرزمینی در مرز قرار گرفته و نیاز به مدیریت برداشت از آب زیرزمینی خواهد داشت. به‌خصوص در زون دو این موضوع بیشتر مشهود است. مقایسه کاربری اراضی کشاورزی در نواحی چهارگانه نشان می‌دهد، بیشترین اراضی کشاورزی (زراعت آبی) در ناحیه ۲ قرار دارد که ۵۵ درصد از آن را به خود اختصاص داده است به همین دلیل در ماه دوازدهم نیز میزان برداشت آب زیرزمینی برای کشت گندم وجو در این زون نسبت به زون های دیگر بیشتر است.

این در حالی است که در ماه‌هایی که برداشت در زون دو در مرز قرار دارد که نشان دهنده‌ی این هست که برداشت بیش از حد مقادیر تغذیه به آبخوان در این زون می‌باشد، در زون های دیگر پتانسیل بالایی برای تامین بخشی از آب این زون در ماه-های آبان تا اسفند وجود دارد. با وجود این برای بیشتر ماه‌ها در چهار زون با حد مرزی ذخیره آبخوان رو به رو هستند که این موضوع دشت را با مشکل بزرگی روبه‌رو می‌سازد به طوری که حتی با استفاده از تمام منابع آب‌های سطحی و آب‌های غیر-متعارف باز نیز دشت هشتگرد در شش ماه دوم سال آبی نیازمند برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می‌باشد(شکل ۶). لذا این بهینه‌سازی می‌تواند به دقت سناریوی مدیریتی جدیدی برای این دشت ارائه کند.



الف ب

شکل ۶- نتایج بهینه‌سازی برای ماه‌های مختلف در سال آبی ۹۱-۹۰. الف) تغییرات حجم مخزن، ب) برداشت آب زیرزمینی

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه جدول ۲ نشان دهنده کل توان آبی این منطقه است و تمام منابع آبی محتمل آب سطحی شامل رودخانه‌ها، سیلاب‌ها و آب‌های غیرمتعارف و زیرزمینی شامل آب خروجی از چاه، قنات و چشمه در محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است. لذا با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی حاکم بر منطقه، این مدیریت در سه بخش قابل بحث است:

الف) مدیریت برداشت جداگانه از منابع هر زون که احتمالاً با مشکلات جدی رو به رو خواهد بود.

ب) استفاده ترکیبی از همه منابع آبی موجود (غیرمتعارف، سطحی و زیرزمینی) در هر زون. با توجه به این که مقدار برداشت آب زیرزمینی در همه زون‌ها در مرز قرار گرفته است، لذا استفاده از آب‌های غیرمتعارف و سطحی بر اساس مقادیر موجود در اولویت می‌باشند.

ج) استفاده ترکیبی از منابع آبی چهار زون برای مدیریت منابع آب و جلوگیری از افزایش برداشت در مناطقی با نیاز آبی بالا.

که بر اساس شرایط حاکم بر منطقه و نتایج ارائه شده در جدول۲ بهترین راهکار استفاده از گزینه دوم و سوم است به طوری که در جدول مشخص است در شش ماهه دوم سال آبی، زون دو نیازمند آب بیشتری است که با این برداشت با کاهش سطح آب مواجه خواهد بود. بنابراین راهکار اول در چنین زون هایی با مصرف بالا، استفاده از گزینه دوم می‌باشد یعنی تا جایی که امکان داشته باشد استفاده از منابع آب‌های غیرمتعارف و سطحی جایگزین منابع آب زیرزمینی گردد. لازم به ذکر است ترتیب اولویت استفاده از منابع آب در مدل بهینه‌سازی رعایت شده است. در مرحله بعد اگر با اجرای راهکار اول باز با کاهش حجم مخزن روبرو باشیم، در این صورت راهکار استفاده از گزینه سوم پیشنهاد می‌گردد. چون زون دو، باز نیازمند آب بیشتری است در حالی که زون ۱ در این ماه‌ها دارای آب مازاد بوده و با افزایش سطح آب مواجه است، لذا برداشت آب اضافی از منابع آب‌های سطحی و غیرمتعارف در این زون و یا زون‌های دیگر در ماه‌های مشابه می‌تواند راه گشا باشد. لذا برای نشان دادن حجم در دسترس در ماه‌های مختلف در هر ماه بر اساس مقادیر افزایش حجم مخزن در ماه‌های مختلف به تفکیک زون‌ها نیز بهینه‌سازی شده و در جدول مشخص است.

بر اساس نتایج به دست آمده از این مدل‌سازی در صورت استفاده از تمام پتانسیل آب سطحی در منطقه باز نیز در شش ماه دوم سال آبی نیازمند برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی این آبخوان هستیم که باعث کاهش شدید سطح آب زیرزمینی در سالهای آینده در دشت خواهد شد. و به طبع آن علاوه بر افزایش هزینه برداشت آب زیرزمینی و کاهش منابع آب زیرزمینی در دسترس حتی می‌تواند باعث فرونشست زمین نیز در این دشت مانند بسیاری از دشت‌های کشورمان شود. لذا این دشت نیازمند مدیریت و کاهش آب مورد نیاز می‌باشد. این

موضوع عموماً مربوط به آب مورد نیاز برای کشاورزی می‌باشد که حجم بالایی از آب مورد نیاز دشت را شامل می‌شود. برای مدیریت این موضوع می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه کرد:

جایگزینی استفاده از منابع آب‌های غیرمتعارف به‌جای آب زیرزمینی در زون‌هایی که برداشت آب زیرزمینی در مرز قرار دارد،

کاهش کشاورزی در دشت و جایگزینی این شغل با فعالیت‌های صنعتی با مصرف آب کم،

تغییر الگوی کشت به سمت محصولاتی با نیاز آبی کم،

استفاده از روش‌های آبیاری نوین برای کاهش استفاده از منابع آبی،

ایجاد بندهای آبی بیشتر در بالا دست جهت کنترل سیلاب: به دلیل ترکیب بافت خاک‌های سطحی، تبخیر در دشت بیشتر از نفوذ برای تغذیه آبخوان می‌باشد،

استفاده ترکیبی از منابع آبی غیرمتعارف و سطحی زون‌های مختلف در فصول برداشت بالا، با وجود این‌که این کار احتمالاً نیاز به صرف هزینه توسط مصرف کننده خواهد داشت ولی قسمت زیادی از مشکلات منطقه را رفع خواهد کرد.

تشکر و قدردانی

نخست از دفتر پژوهشهای کاربردی به‌عنوان متولی انجام فعالیت‌های علمی و پژوهشی در شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران، که مسئولیت حمایت از طرح‌ها و ایده‌های تحقیقاتی با هدف رفع مشکلات صنعت آب کشور و ارتقای سطح فناوری ملی در بخش آب را به عهده دارد، مراتب تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از مدیران و کارشناسان کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای البرز که با فراهم آوردن امکانات و راهنمایی های ارزنده شان در اجرای این طرح ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

عابدی کوپایی، ج.، ۱۳۸۲. روش های پیشگیری از اتلاف منابع آب. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، مجموعه مقالات روش پیشگیری از اتلاف منابع آب، صفحه ۲۰۷ تا ۲۱۸.

مهجوری، ن.، ۱۳۸۳. مدل تعادل‌بخشی کمی-کیفی آب‌های زیرزمینی دشت کاشان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

محمدرضاپور طبری، م.، ۱۳۸۸. مدل‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر پایه عدم دقت در مقیاس منطقه ای. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

Anderson, M.P. and Woessner, W.W., 1992. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press, 381p.

Basagaoglu, H., Marino, M. A., Shumway, R. H., 1999. Deilta-form approximating problem for a conjunctive water resource management model, Advances in Water Resources, 23(2), 69-81.

Buras, N., 1963. Conjunctive operation of dams and aquifers, Journal of Hydraulic Division (ASCE), 89(6), 111-131.

Clerc, M., 1999. The Swarm and the Queen: Towards a Deterministic and Adaptive Particle Swarm Optimization, In: Congress on Evolutionary Computation, (pp.1951-1955) Washington D.C.

Karamouz, M., Mohammad Rezapour Tabari, M., Kerachian, R., and Zahraie, B., 2005. Conjunctive use of surface and groundwater resources with emphasis on water quality, World Water and Environmental Resources Congress 2005, Raymond Walton, Anchorage, Alaska, USA. May 15-19.

Kennedy, J., and Eberhart R., 1995. Particle Swarm Optimization, In: Proceedings of the International Conference on Neural Networks." Perth, Australia, IEEE, Piscataway.

Meraji, S. H., Afshar, M. H., and Afshar, A., 2006. Reservoir operation by particle swarm optimization algorithm, 7th International Conference of Civil Engineering (ICCE 7 th), Tehran, Iran.

Mobasheri, F., and Sharon, G., 1969. Optimal conjunctive use of surface and ground water: a non-linear programming approach, Journal of Hydrology, 50(11), 609-619.

Montalvo, I., Izquierdoa, J., Pereza, R., and Tungb, M.M., 2008. Particle Swarm Optimization applied to the design of water supply systems, Computers and Mathematics with Applications No.56, PP. 769–776.

Onta, P. R., Gupta, A. D., and Harboe,R., 1991. Multistep planning model for conjunctive use of surface- and ground-water resources, Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE), 117(6), 662-678.

Safavi, H., Chakraei, I., Kabiri.Samani, A., Golmohammadi, M., 2013. Optimal Reservoir Operation Based on Conjunctive Use of Surface Water and Groundwater Using Neuro-Fuzzy Systems, Water Resour Manage 27:4259–4275.

Sulaiman Kharmah, R. A., 2007. Optimal management of groundwater pumping, the case of the Eocene Aquifer, Palestine. MSc thesis. Faculty of Graduate Studies, at An-Najah National University, Nablus, Palestine, 136 p.

Suribabu. C. R., and Neelakantan. T. R., 2008. Design of water distribution networks using particle swarm optimization, Urban Water Journal, Vol. 3, No. 2, June 2006, 111 – 120.

Nishikawa, T., 1998. Water resources optimization model for Santa Barbara, California. Journal of Water Resources Planning and Management.124 (5):1213 –1235.

Saberchenari, K. abghari, A. Tabari, H., 2016. Application of PSO algorithm in short-term optimization of reservoir operation, journal of Environmental Monitoring and Assessment, 188(667):1-11.

Safavi, H. R., Darzi, F., and Marino, M. A., 2010. Simulation- optimizationmodeling of conjunctive use of surface water and groundwater, Water Resources Management, 24(10), 1965-1988.