

ارائه مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز آبخوان دشت روانسر-سنجایی با تلفیق مدل GMS و

الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ملهم از بیلارد

عبدالغفور گری^۱، امیرپویا صراف^۲، حسن احمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۱

چکیده:

در پژوهش حاضر، جهت تعیین سیاست بهینه بهره‌برداری از آبخوان دشت روانسر-سنجایی در استان کرمانشاه، از یک مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز آب‌زیرزمینی استفاده شد. مدل ارائه شده ترکیبی از مدل شبیه‌سازی آبخوان GMS و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ملهم از بیلارد (MOBOA) در محیط برنامه‌نویسی متلب است. ابتدا، مدل جهت تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس با کمینه نمودن سه تابع هدف کمبود ناشی از عدم تأمین نیازها، افت تراز آب‌زیرزمینی و شاخص اصلاح شده کمبود، مدل مذکور برای یک دوره یکساله با ۱۲ دوره تنش ماهانه اجرا شد و جبهه پرتو بهینه حاصل گردید. به‌عنوان یک نمونه از جواب‌های پرتو بهینه محاسبه شده، مشاهده شد در زمانی که سطح ایستابی ثابت بماند، مقدار ۱۱/۷ میلیون متر مکعب از نیازها با کمبود مواجه شده و شاخص اصلاح‌شده کمبود برابر ۱۷/۱۵ می‌گردد. جهت تعیین بهترین گزینه استحصال از آب‌زیرزمینی ضروری است ضمن لحاظ نمودن معیارهای مختلف اجتماعی-اقتصادی و حتی پیامدهای زیست محیطی توسط مسئولین مربوطه، جواب بهینه مناسب از میان سایر جواب‌های بهینه پرتو انتخاب شده و مقادیر استحصال متناظر با جواب منتخب تعیین گردد. با تحلیل نتایج حاصل از به‌کارگیری ساختار پیشنهادی می‌توان دریافت که رویکرد ارائه شده از کارایی بسیار بالایی در تعیین سیاست بهینه آبخوان برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم MOBOA، آبخوان دشت روانسر-سنجایی، جبهه پرتو، مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز آب زیرزمینی.

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

^۲ نویسنده و مسول مکاتبات: استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

^۳ استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

مقدمه

در طول تاریخ، آب‌های زیرزمینی همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر آب شیرین قابل استفاده بشر مطرح بوده است. این منابع ارزشمند و حیاتی به‌طور عمده از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، قنوت و چشمه‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (۱۰). هدف از مدیریت آب‌های زیرزمینی در یک محل، استفاده حداکثری از این منابع برای رفع نیازهای استفاده‌کنندگان در منطقه می‌باشد. نحوه مدیریت باید به‌گونه‌ای باشد که از اثرات زیان‌بار ناشی از اضافه برداشت، نامناسب شدن کیفیت آب و فرونشست زمین بر اثر استحصال بیش از اندازه در حال و آینده جلوگیری نماید (۸). از این رو در سال‌های اخیر مدل‌های ریاضی آب‌های زیرزمینی به‌عنوان روشی ارزان و سریع در تعیین چگونگی حرکت، بیلان و مدیریت بهره‌برداری از آبخوان، پیشرفت قابل توجهی داشته است (۶). در حقیقت مدل‌های ریاضی آب‌های زیرزمینی، مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل می‌باشند که چگونگی جریان آب‌زیرزمینی را تحت حاکمیت خود دارند (۱۹ و ۲۳). دوپویی، تأییم، بوزینسک و فورشه‌ایمر اولین افرادی بودند که از مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی جریان آب‌زیرزمینی استفاده کردند (۳۰ و ۳).

از جمله مدل‌هایی که از کارایی بسیار خوبی در مطالعات آب‌زیرزمینی برخوردار می‌باشد و هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، GMS^1 است که عمدتاً

از طریق استفاده از روش‌های عددی تفاضل محدود و اجزای محدود به شبیه‌سازی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌پردازد. از معایب GMS و دیگر نرم‌افزارهای مشابه عدم انعطاف‌پذیری در ارتباط با برنامه‌ای اجرایی نظیر مدل‌های عدم قطعیت و بهینه‌سازی می‌باشد که ضرورت این مورد در بسیاری از مسائل مدل‌سازی همانند مدیریت آبخوان و بهینه‌سازی کمی و کیفی بهره‌برداری از آن، اجتناب ناپذیر است (۱۱). اخیراً مدل‌های آب‌زیرزمینی با روش‌های مختلف بهینه‌سازی برای تعیین استراتژی مدیریت منابع آب و بهترین مجموعه جواب با توجه به تابع هدف و محدودیت‌ها ترکیب شده‌اند (۲).

در ایران کاربرد مدل‌های ریاضی به‌طور مستقیم به سال ۱۹۶۷ میلادی برمی‌گردد و اولین آبخوانی که مدل آن تهیه گردید، آبخوان ورامین بوده است (۵).

Yaqubzadeh & Etebari (۲۰۰۹)، بررسی مدل مفهومی آبخوان دشت تبریز را با استفاده از نرم‌افزار GMS انجام دادند. پس از واسنجی نتایج به‌دست آمده از مدل به دو روش مستقیم و معکوس، مشخص شد که تفاوت اندکی در حد نزدیک به صفر-بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه شده توسط مدل وجود دارد (۱۵). Nejati Jahromi و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر خشکسالی سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ را بر روی دشت عقیلی -در استان خوزستان- با استفاده از مدل ریاضی تفاضل محدود در محیط GMS انجام دادند. نتایج ایشان نشان‌دهنده صحت بسیار بالای پیش‌بینی مدل بود (۲۲).

¹ Groundwater Modeling System

Schoups و همکاران (۲۰۰۵)، در پژوهشی، نوعی الگوریتم چندهدفه فراکاشی را برای واسنجی مدل جریان آب سطحی و زیرزمینی در اراضی کشاورزی واقع در مکزیک استفاده نمودند (۲۶). در پژوهشی دیگر Tabari و Soltani (۲۰۱۳) در پژوهشی دیگر سیاست برداشت بهینه از منابع آب به صورت تلفیقی را بر پایه نظرات و سیاست‌های تصمیم‌گیران تأمین آب با استفاده از الگوریتم‌های NSGA-II و SGA تعیین نمودند. نتایج نشان از کارایی بالای سیاست ارائه شده در جهت بهبود پتانسیل‌های آبی منطقه و جلوگیری از تلفات بی‌رویه آب، داشت (۲۸). Aghlmand و Abbasi (۲۰۱۹) در پژوهشی ضمن استفاده از نرم‌افزار GMS جهت مدل‌سازی جریان آب‌زیرزمینی در منطقه بیرجند استان خراسان دریافتند که نتایج حاصل از مدل با داده‌های مشاهداتی تطابق خوبی-با میانگین خطای ۰/۰۵ متر- داشته، به‌طوری‌که می‌توان از مدل GMS برای مطالعه تغییرات سطح آب در آبخوان‌های کشور استفاده نمود. به‌علاوه، نتایج حاصله می‌تواند در راستای برنامه‌ریزی دقیق‌تر و پایدارتر در حوزه مدیریت منابع آب‌زیرزمینی در منطقه بیرجند کمک شایانی نماید (۱).

هدف از این تحقیق به‌دست آوردن مقادیر بهینه برداشت از آبخوان روانسر-سنجابی واقع در استان کرمانشاه بوده، به‌طوری‌که اهداف متناقض آن شامل کمینه شدن نیازهای برآورد نشده، افت سطح ایستابی و شاخص اصلاح شده کمبود در تعادل باشند. به‌علاوه، در پژوهش حاضر، سعی شده است که ساختاری بر پایه روابط حاکم بر شبیه‌سازی کمی آبخوان

Maleki همکاران (۲۰۱۲)، مدل‌سازی جریان آب‌زیرزمینی دشت شاهرود را با استفاده از نرم‌افزار GMS برای یک دوره یک ساله انجام دادند و ضرایب هیدرودینامیک آبخوان مذکور را اصلاح کردند (۲۰).

Mohtasham و همکاران (۲۰۱۲)، نیز به منظور پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در دشت بیرجند، از نرم‌افزار GMS استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از مدل ریاضی GMS تا ۲۴ ماه آینده و با دقت مناسبی می‌توان تغییرات سطح آب را پیش‌بینی نمود (۲۱).

یکی از مفاهیمی که کارایی خود را در حل بسیاری از مسائل چندهدفه نشان داده است، روش بهینه‌سازی مبتنی بر پرتو (Pareto) می‌باشد (۱۳). مفهوم مهم موجود در اینگونه روش‌ها، مفهوم غالب بودن است. به‌عنوان مثال می‌توان گفت که؛ جواب i بر جواب j غالب می‌باشد اگر دو شرط زیر برقرار باشد (۶):

۱- جواب i از دید هیچ یک از توابع هدف از جواب j بدتر نباشد. ۲- جواب i حداقل در یکی از توابع هدف از جواب j بهتر باشد.

مجموعه همه جواب‌هایی که دو شرط بالا را داشته باشند، جبهه پرتو^۱ نامیده می‌شود (۱۲). الگوریتم‌هایی مانند NSGA-II^۲، MOPSO^۳، SPEA-II^۴، AMALGAM^۵ و الگوریتم جدید MOBOA^۶ بر پایه مفهوم پرتو استوار شده‌اند (۹).

^۱ Pareto Front

^۲ Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm Type II

^۳ Multi Objective Particle Swarm Optimization

^۴ Strength Pareto Evolutionary Algorithm

^۵ A Multi Algorithm, Genetically Adaptive Multi-objective

^۶ Multi-objective Billiards-Inspired Optimization Algorithm

گرده‌حاجی و از ناحیه جنوب در همسایگی دشت ماهیدشت قرار دارد (۲۷).

آبخوان دشت روانسر-سنجایی در شمال غربی استان کرمانشاه، واقع شده است. ارتفاع متوسط آن حدود ۱۵۵۶ متر از سطح متوسط دریا (AMSL) بوده به‌طوری‌که کمترین و بیشترین ارتفاع آن به‌ترتیب ۱۳۰۷ و ۲۷۳۷ متر (AMSL) است. دشت روانسر-سنجایی دارای آب و هوای مرطوب کوهستانی در نواحی شمال و جنوب غربی می‌باشد. ولی در مناطق مرکزی دارای آب و هوای نیمه مرطوب است. متوسط بارندگی سالانه آن ۵۲۶ میلی‌متر بوده که بیشترین مقادیر بارش آن در ماه‌های اسفند و فروردین و کمترین آن در ماه مرداد رخ می‌دهد. این حوضه دارای یک شبکه زهکشی در امتداد شمال غربی به جنوب شرقی است که مجهز به دو ایستگاه آب‌سنجی در رودخانه‌های اصلی آن؛ یعنی رودخانه روانسر در قسمت میانی و رودخانه دوآب مرک در خروجی حوضه می‌باشد. میانگین داده‌های دمای بلند مدت این حوضه ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد بوده که در ایستگاه سینوپتیک روانسر به ثبت رسیده است (۲۷).

با کدنویسی در محیط برنامه‌نویسی MATLAB ارائه گردد. به همین منظور پس از ایجاد مدل شبیه‌ساز کمی آبخوان، بهینه‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی آن با الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس^۱ (HHO) صورت گرفت. سپس، جهت دستیابی به سیاست بهینه برداشت، اقدام به تلفیق مدل شبیه‌ساز با الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ملهم از بیلارد^۲ (MOBOA) با کدنویسی در محیط متلب گردید.

مواد و روش‌ها

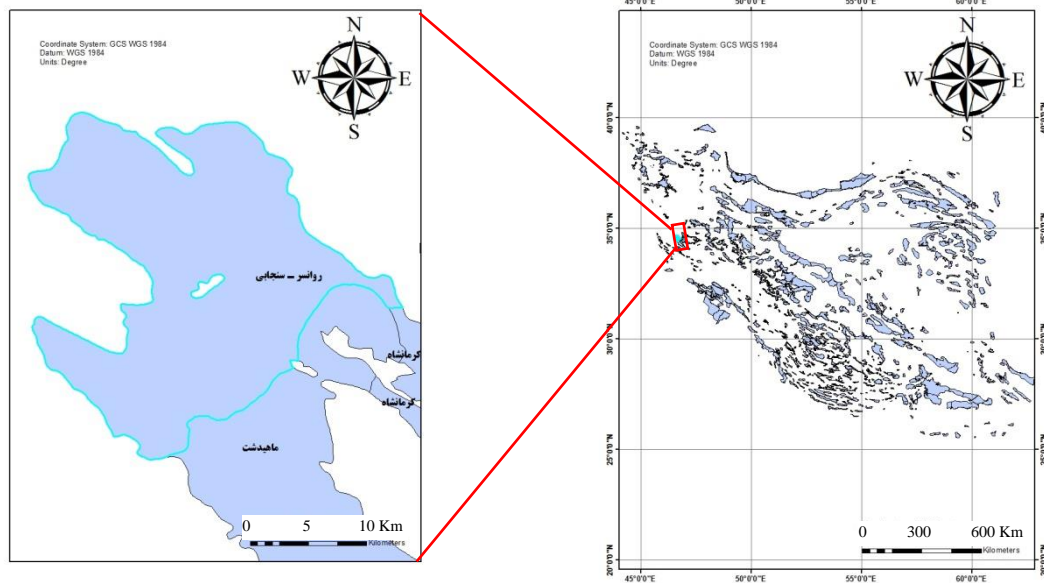
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در شمال غربی شهرستان کرمانشاه (مرکز استان کرمانشاه) بین طول‌های جغرافیایی $46^{\circ}26'18''$ تا $46^{\circ}50'00''$ شرقی و عرض جغرافیایی $34^{\circ}25'00''$ تا $34^{\circ}48'50''$ شمالی گسترده شده است. این محدوده بصورت یک دشت نسبتاً مستطیلی با کشیدگی شمالی-جنوبی تحت عنوان دشت روانسر-سنجایی شناخته می‌شود.

این محدوده از مرزهای غربی به خط‌الراس کوه ناوله، از شمال‌غرب به خط‌الراس کوه گل‌سفید، از شمال به ارتفاعات مشرف به روستاهای گراب و فیروزه، از شمال شرق به ارتفاعات کوه دزان و ماه زرد، از شرق به ارتفاعات کوه باباحیران و کوه خرانه، از جنوب شرق به خط‌الراس کوه کوچک و کوه

1 Harris Hawks Optimization Algorithm

2 Billiard-inspired Multi-Objective Optimization Algorithm



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سفره آب زیرزمینی دشت روانسر-سنجابی را نشان می دهد.

مبانی مدل سازی آب های زیرزمینی

مدل ریاضی آب های زیرزمینی در واقع فرم ریاضی معادله بیلان را در یک منطقه با فرض پیوستگی محیط حل می کند. با این نگرش، معادلات بیلان برای یک محدوده از آبخوان تهیه شده و سپس به محدوده های مجاور تعمیم داده می شوند. تحت این شرایط معادله بیلان به شکل یک معادله دیفرانسیل جزئی درمی آید. هر جمله در این معادله معرف مقدار خاص یک پارامتر در واحد سطح، حجم یا زمان می باشد. به طور خلاصه، یک مدل ریاضی که برای شبیه سازی جریان آب های زیرزمینی به کار می رود، مجموعه ای از مقادیر عددی پارامترهای مختلف در معادله بیلان می باشد.

معادلات حاکم بر جریان در آب های

زیرزمینی

فرم کلی معادله حاکم بر جریان آب های زیرزمینی عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

که در رابطه فوق، k_x ، k_y و k_z مؤلفه های تانسور هدایت هیدرولیکی، h بار پتانسیل، S_s ذخیره ویژه و R مؤلفه تغذیه کننده یا تخلیه کننده (به ترتیب با علامت مثبت یا منفی) آبخوان می باشند (۳).

در آبخوان های آزاد ضخامت لایه اشباع با تغییر ارتفاع سطح آب زیرزمینی تغییر می کند. برای حل معادله جریان در این حالت دوپویی در سال ۱۸۶۳ فرضیاتی را وضع کرد که عبارتند

از: ۴۵ ستون از سلول‌هایی مربعی شکل در ابعاد ۲۵۰ × ۲۵۰ متر در یک لایه طراحی شد. پس از تعریف شبکه، سلول‌هایی که خارج از مرز آبخوان قرار داشته و نیاز به محاسبات در آن‌ها نبود، با قرار دادن کد صفر در محل سلول، غیرفعال گردیدند. در نهایت تعداد ۱۲۰۵ سلول از سلول‌های شبکه، فعال در نظر گرفته شدند (شکل ۳). جهت اعمال مقادیر هدایت هیدرولیکی (K) و ضریب ذخیره (Sy)، سطح دشت به چندین منطقه همگن تقسیم و مقادیر اولیه به صورت تخمینی به آن‌ها اختصاص داده شد. سپس این مقادیر با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی HHO در محیط MATLAB واسنجی و صحت‌سنجی شد. مدل‌سازی جریان دشت روانسر-سنجایی برای یک سال، از مهر ۱۳۹۸ تا مهر ۱۳۹۹ انجام گرفت. جهت انجام مدل‌سازی از ۱۲ دوره تنش یک‌ماهه با گام‌های زمانی ده روزه استفاده شد، یعنی برای هر دوره تنش به سه گام زمانی جهت محاسبات اکتفا گردید (۲۶). در انتها جهت تکمیل مدل عددی، مقادیر ارتفاع مطلق سنگ کف، توپوگرافی و سطح آب اولیه مشاهده‌ای در ۲۸۱ پیزومتر موجود (شرایط اولیه) با استفاده از ابزار درون‌یابی در محیط GIS به روش کریجینگ^{۱۳} درون‌یابی و به تمامی سلول‌های شبکه اختصاص داده شد (مقامی و همکاران ۲۰۱۱). لازم به ذکر است برای حل عددی معادله دیفرانسیل جزئی جریان، از برنامه MF2005NWT که از تحلیل گر نیوتن^{۱۴} برخوردار است استفاده شد.

الف) جریان افقی است.
ب) شیب هیدرولیکی مساوی شیب سطح آزاد می‌باشد.
معادله‌ای که بر اساس فرضیات دوپویی و معادله پیوستگی در شرایط وجود جریان سه بعدی و ناماندگار استخراج گردیده عبارت است

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

که در این رابطه، Sy آبدهی ویژه است. مدل‌های حل عددی آب‌زیرزمینی از روابط (۱) و (۲) برای محاسبه ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان، استفاده می‌کند (۳).

مدل کمی آبخوان

در این پژوهش برای ساخت مدل جریان در منطقه مورد مطالعه، از هفت لایه اطلاعاتی برای ورود داده‌های مرز آبخوان، پیزومترها، چاه‌ها، تغذیه سطحی، زهکش، هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره استفاده شد. نوسانات سطح آب مشاهداتی در ۲۳ پیزومتر موجود در آبخوان، مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۱۱۹۱ حلقه چاه شامل چاه‌های کشاورزی، شرب و صنعتی در مدل گنجانده شد. (شکل ۲).

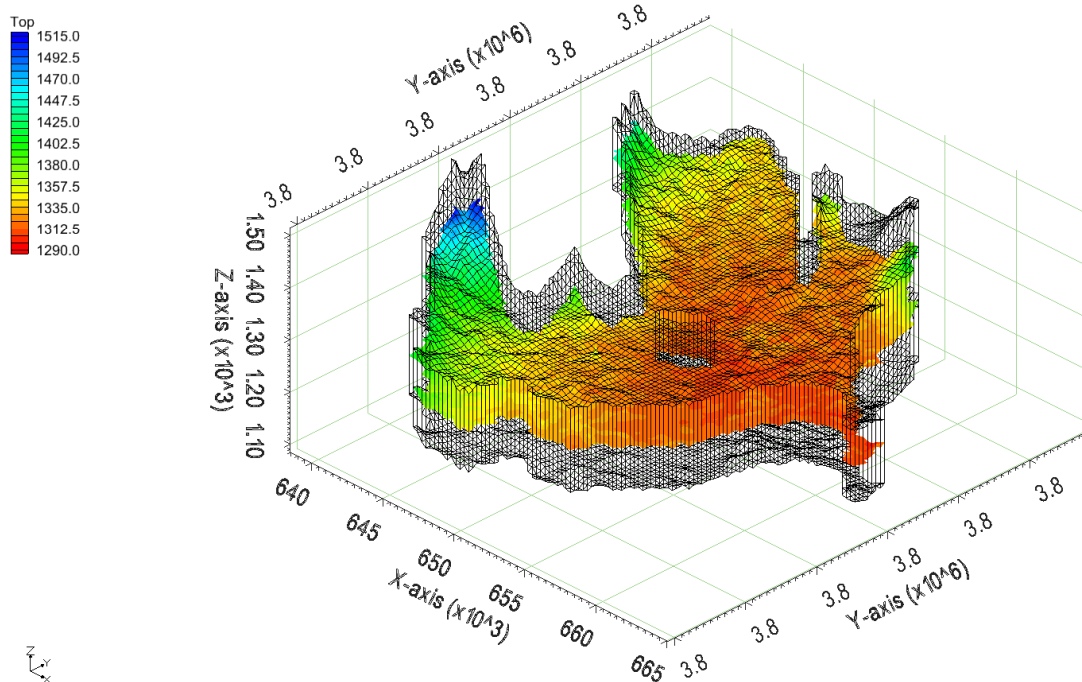
مرحله بعد شامل طراحی شبکه مدل، انتخاب دوره‌های تنش و گام‌های زمانی، تعیین شرایط اولیه و مرزی، تعیین نوع و تعداد لایه آبدار و غیره است. برای اینکه بتوان معادلات دیفرانسیل جزئی را حل نمود بایستی محیط را به اجزای کوچک‌تری که شبکه نامیده می‌شود، تقسیم نمود. شبکه‌بندی دشت با ۲۹ سطر و

¹³ Kriging

¹⁴ Newton Solver



شکل ۲. شبکه بندی آبخوان و موقعیت چاه های بهره برداری منطقه مورد مطالعه

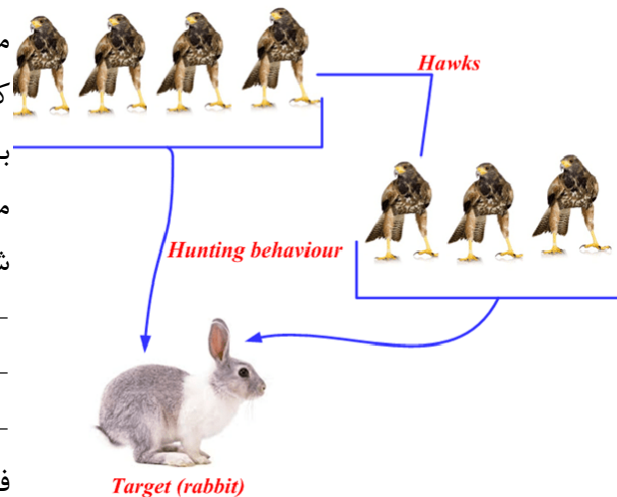


شکل ۳. مدل سازی آبخوان دشت روانسر-سنجایی با استفاده از نرم افزار GMS

الگوریتم شاهین هریس

الگوریتم شاهین هریس¹⁵ یا به اختصار الگوریتم HHO یک بهینه‌ساز فراابتکاری است که از رفتار شکار دو یا چند شاهین هریس که با هم همکاری می‌کنند، الهام گرفته شده است. این الگوریتم که برای اولین بار توسط حیدری و همکاران در سال ۲۰۱۹ ارائه شد با شبیه‌سازی رفتار شکار شاهین هریس توانسته است که نسبت به الگوریتم‌های منتشر شده پیش از خود، در بهینه‌سازی مسائل مختلف عملکرد بهتری داشته باشد (۱۶).

طعمه شاهین هریس اغلب یک خرگوش است که انرژی خوبی برای فرار از یوررش شاهین دارد. در نتیجه، این الگوریتم بر اساس یوررش غافلگیرانه شاهین‌های هریس که با هم همکاری می‌کنند و انرژی گریختن خرگوش‌ها مدل می‌شود (شکل ۴). الگوریتم HHO دو مرحله اصلی دارد که شامل مراحل اکتشاف و استخراج می‌شود.



شکل ۴. نحوه شکار شاهین هریس

مراحل الگوریتم شاهین هریس:

- مرحله اکتشاف

در این مرحله، شاهین هریس برای مشاهده و یافتن طعمه روی درختان مرتفع به انتظار می‌نشیند (۱۶).

انتقال از شناسایی به استخراج

انرژی فرار خرگوش‌ها نقش اساسی در انتقال HHO از مرحله اکتشاف به استخراج در الگوریتم HHO دارد که در طی رفتار فرار به تدریج کاهش می‌یابد (۱۶).

- مرحله استخراج

شاهین‌های هریس از یوررش غافلگیرانه برای شکار خرگوش‌های فراری محاصره شده استفاده می‌کنند. روش شکار شاهین‌های هریس به احتمال شکار (r)، انرژی فرار باقی مانده خرگوش (E) و رفتار حلقه زدن (محاصره) شاهین‌های هریس بستگی دارد. احتمال شکار توسط یک عدد تصادفی r بین [۰, ۱] قابل کنترل است. اگر $r < 0.5$ باشد، به معنای فرار موفقیت آمیز طعمه بوده، در حالی که $r \geq 0.5$ به معنای فرار ناموفق است. بنابراین چهار آرایش جنگی ممکن است در مرحله شکار (استخراج) وجود داشته باشد که شامل موارد زیر است (۱۶):

- محاصره نرم $r \geq 0.5$ و $|E| \geq 0.5$
- محاصره سخت $r \geq 0.5$ و $|E| < 0.5$
- محاصره نرم با شیرجه‌های سریع
- فزاینده $r < 0.5$ و $|E| \geq 0.5$

¹⁶Soft besiege

¹⁷Hard besiege

¹⁸Soft besiege with progressive rapid dives

¹⁵ Harris Hawks Optimization algorithm

- محاصره سخت با خیزهای سریع
 فزاینده^{۱۹} $r < 0.5$ و $|E| < 0.5$
 پس از مدل سازی مراحل اکتشاف و استخراج
 در الگوریتم، فرآیند بهینه سازی الگوریتم انجام
 می شود. الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس،
 موقعیت شاهین های هریس را با توجه به انرژی
 فرار خرگوش ها به روز می کند. فرآیند
 بهینه سازی تا رسیدن به حداکثر تعداد تکرارها
 ادامه می یابد، سپس بهترین موقعیت حاصل
 می شود (۱۶).

الگوریتم بهینه سازی چندهدفه مبتنی بر بازی بلیارد

در مقایسه با مسائل تک هدفه که صرفاً در
 آن ها یک جواب بهینه جستجو می گردد، در
 مسائل چندهدفه به ندرت یک جواب قابل
 پذیرش موجود است. در این مسائل
 مجموعه ای از جواب های بهینه به دست می آید
 که اصطلاحاً به آن ها بهینه پرتو^{۲۰} گفته
 می شود (۷). این مجموعه جواب ها از این جهت
 بهینه هستند که راه حل بهتری نسبت به
 آن ها با در نظر گرفتن تمام اهداف وجود
 ندارد (۱۴). بنابراین، هدف اصلی در بهینه سازی
 چندهدفه، یافتن یک دسته از جواب های بهینه
 پرتو است (۸).

یکی از جدیدترین الگوریتم های چندهدفه
 هوشمند الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر بلیارد
 (MOBOA) می باشد که توسط Kaveh و
 همکاران در سال ۲۰۲۰ ارائه گردید، الگوریتم
 فراابتکاری بازی بلیارد بر پایه سازوکار
 فیزیکی برخورد توپ های بازی بلیارد به

همدیگر و روند کنترلی آن ها استوار است.
 با توجه به تقویت این الگوریتم در راستای حل
 مسائل چندهدفه، در آن یک مخزن خارجی^{۲۰}
 برای ذخیره راه حل های نامغلوب^{۲۱} و یک
 مکانیسم انتخاب چرخ رولت^{۲۲} برای انتخاب از
 این مخازن، تعبیه شده است. همانند سایر
 الگوریتم های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت،
 توپ ها به عنوان عوامل جستجو شناخته شده و
 به طور تصادفی در فضای جستجو توزیع
 می شوند. پس از آن، تمام توپ ها ارزیابی شده
 و سپس، راه حل های نامغلوب در یک مخزن
 خارجی ذخیره می شوند. در مرحله بعد، تعداد
 از پیش تعریف شده اعضای مخزن به عنوان
 مخزن منتخب^{۲۳} در نظر گرفته می شوند. در
 ادامه، جمعیت عوامل جستجو یا همان
 توپ های بازی به دو گروه مساوی با نام های
 توپ های نشانه^{۲۴} و توپ های معمولی^{۲۵} تقسیم
 می گردند. سپس، بر اساس مکانیزم از پیش
 تعیین شده، یک مخزن منتخب برای هر جفت
 توپ تعیین می شود. به طوریکه با حرکت هر
 یک از توپ های نشانه به سمت جفت خود در
 گروه توپ های معمولی و نزدیک ساختن آن به
 مخازن منتخب بهینه سازی آغاز می گردد. این
 روند بارها و بارها تکرار می شود تا زمانی که
 معیار خاتمه کامل شود. در شکل ۵ مراحل
 به روزرسانی توپ ها به تصویر شیده شده
 است (۱۸).

²⁰ External Repository

²¹ Non-Dominated Solutions

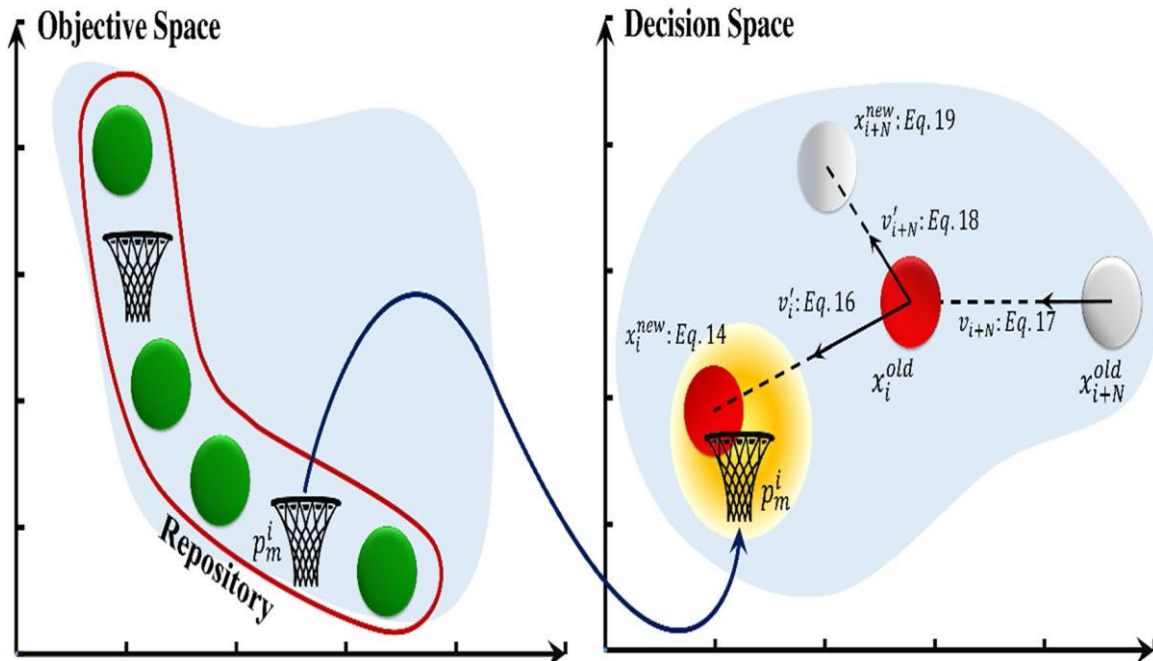
²² Roulette-Wheel Selection

²³ Pocket

²⁴ cue balls

²⁵ ordinary balls

¹⁹Hard besiege with progressive rapid dives



شکل ۵. مراحل به‌روزرسانی توپ‌ها در الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر بازی بیلارد (۱۸)

متغیرهای تصمیم و توابع هدف در مدل بهینه‌سازی

متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌سازی، مجموع مقادیر برداشت از سفره آب‌های زیرزمینی در ماه‌های مختلف (۱۲ متغیر) می‌باشد. همچنین توابع هدف مورد استفاده به صورت زیر تعریف می‌گردد:

حداقل نمودن مجموع نیازهای برآورده نشده^۱ که رابطه آن در زیر قرار گرفته است، به عنوان تابع هدف اول لحاظ گردید (۱۷).

$$\text{MIN} \left\{ \text{shortage} = \sum_{i=1}^n (TD_t - TW_t) \right\} \quad (3)$$

TW_t میزان برداشت از سفره در

دوره زمانی t ، TD_t ،

t

n تعداد کل دوره‌های

Rastegar Moghaddam و همکاران (۲۰۲۰) ضمن مقایسه عملکرد MOBOA با نتایج حاصل از الگوریتم‌های PEAS2 ، MOPSO و NSGA-II به‌عنوان سه الگوریتم شناخته شده مرسوم دریافتند که MOBOA در مسائل واقعی نظیر مدیریت ساخت و ساز، طراحی مصالح ساختمانی و برنامه‌ریزی پروژه عملکرد بهتری داشته بطوریکه با وجود پیچیدگی این نوع مسائل، MOBOA نتایج رقابتی با همگرایی قابل قبول و تنوع یکنواخت در مقایسه با NSGA-II و MOPSO را از خود نشان داده است (۲۴). لذا در این پژوهش از الگوریتم MOBOA جهت بهینه‌سازی توابع هدف استفاده گردید (۲۰).

¹ Sum of Deficits

زمانی (ماه) است.

(بر حسب متر) می باشد.

با توجه به این که تابع هدف فوق تنها مجموع کمبودها در طول دوره را کمینه نموده و توزیع کمبود در ماه های مختلف مد نظر قرار نمی گیرد، لذا از شاخص اصلاح شده کمبود^۱ (MSI) نیز به عنوان تابع هدف دوم استفاده گردید. استفاده از شاخص مذکور از حیث جنبه های اقتصادی و اجتماعی اهمیت دارد (۴).

$$MIN \left\{ MSI = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{TS_t}{TD_t} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

در این رابطه TS_t نیاز در دوره زمانی t تعداد کل دوره های زمانی (ماه) است. وجود توان دو در این رابطه باعث می شود کمبودهای شدیدتر وزن بالاتری در تابع مذکور داشته باشند و بنابراین با سرعت بیشتری کمینه سازی صورت می گیرد.

لازم به ذکر است نیاز شرب در تمام دوره های زمانی بایستی کاملاً برآورده گردد، لذا ابتدا مقادیر نیاز شرب از آب برداشتی کسر و سپس مقادیر کمبود برای سایر نیازها (کشاورزی، صنعت و خدمات) محاسبه می گردد. در نهایت حداقل نمودن افت سطح ایستابی (رابطه ۵) نیز به عنوان تابع هدف سوم مورد استفاده قرار می گیرد (۲۹).

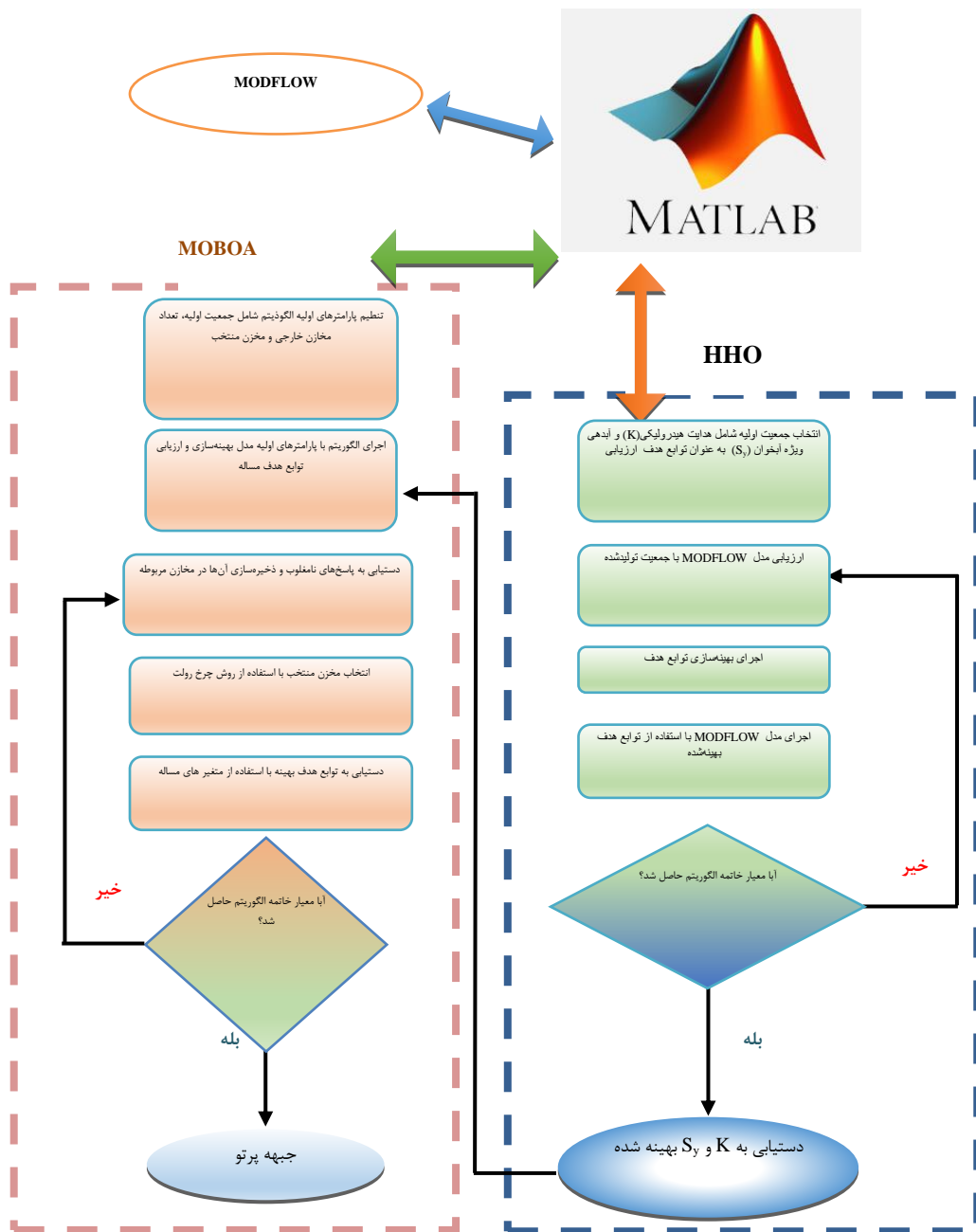
$$MIN \{ Drawdown = \bar{H}_0 - \bar{H}_{end} \} \quad (5)$$

در رابطه فوق \bar{H}_0 میانگین هد آب در سطح آبخوان (تمامی سلول های شبکه) در ابتدای دوره (بر حسب متر) و \bar{H}_{end} میانگین هد آب در سطح آبخوان در انتهای دوره شبیه سازی

تهیه مدل شبیه ساز-بهینه ساز آب های زیرزمینی جهت تعیین سیاست بهینه برداشت

منظور از مدل شبیه ساز-بهینه ساز آب های زیرزمینی، تلفیق مدل شبیه ساز و الگوریتم بهینه سازی است. پس از ایجاد مدل شبیه ساز کمی آبخوان، برای دستیابی به هدف اصلی این پژوهش (تعیین سیاست بهینه برداشت)، نیاز به تلفیق مدل شبیه ساز با الگوریتم بهینه ساز MOBOA می باشد. در نتیجه با نوشتن برنامه میانجی، ارتباط بین مدل شبیه ساز و الگوریتم بهینه سازی، برقرار گردیده و مدل شبیه ساز-بهینه ساز حاصل گردید. شکل شماره ۶ روندنمای مراحل انجام این پژوهش را نشان می دهد.

¹ Modified Shortage Index



شکل ۶. روندنمای مراحل انجام پژوهش

نتایج

در این مرحله ابتدا مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز آب‌زیرزمینی تهیه گردید، به‌گونه‌ایکه جهت تعیین سیاست برداشت بهینه از آبخوان، مدل مذکور برای یک دوره یک ساله (سال آبی ۹۹-۱۳۹۸) با سه گام زمانی ده روزه هر دوره تنش به تعداد ۲۰۰۰ تکرار اجرا شده و همگرایی توابع هدف به‌دست آمد. نتایج حاصل دست‌یابی جبهه پرتوی نشان داد که نه تنها با افزایش مقادیر کمبود، به‌طور متناظر شاخص MSI افزایش می‌یابد بلکه مقادیر افت تراز آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که با ۱/۵ متر افت در تراز آب‌زیرزمینی در طول دوره شبیه‌سازی کلیه نیازها برآورده شده و هیچ‌گونه کمبودی مشاهده نمی‌گردد (شکل ۷ب).

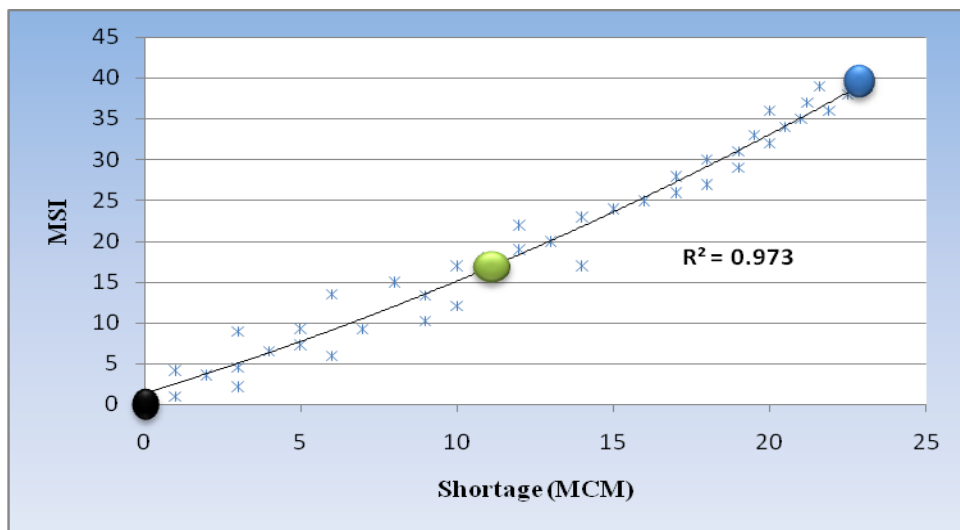
شکل ۷-الف نشان می‌دهد که شاخص MSI با کمبود رابطه مستقیم داشته و از آنجا که کمبود و افت رابطه عکس دارند؛ در نتیجه انتظار می‌رود شاخص MSI نیز با افت تراز آب زیرزمینی رابطه عکس داشته باشد که این مهم در شکل ۷-ب نمایان است.

شکل (۷-ج) نشان نشان‌دهنده رابطه معکوس

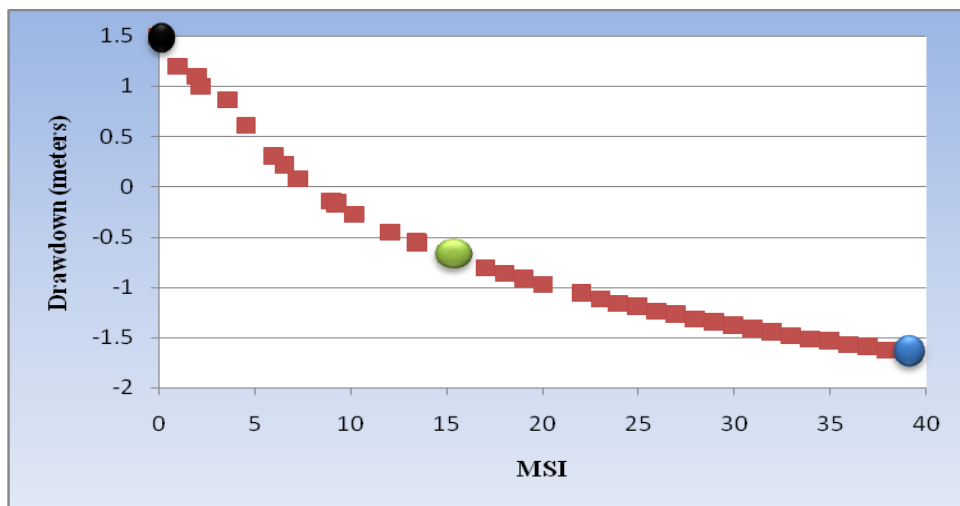
بین افت تراز آب‌زیرزمینی و کمبود بوده و از آنجا که کاهش افت در تراز آب‌زیرزمینی منتج از کاهش استحصال آب‌زیرزمینی از آبخوان حاصل می‌باشد، می‌توان دریافت که با کاهش مقادیر تأمین نیاز آبی، کمبودها افزایش می‌یابد. شایان ذکر است علت پیدایش رابطه خطی بین مقادیر کمبود با افت تراز آب زیرزمینی را می‌توان در یکسان لحاظ کردن مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان در عمق جستجو نمود.

از آنجا که در پژوهش حاضر بهینه‌سازی سه تابع هدف به صورت همزمان انجام گردیده است، بدیهی است که زوج در نظر گرفتن توابع هدف بدون تابع هدف سوم نمی‌تواند تحلیل صحیحی از جبهه پرتو را حاصل نماید.

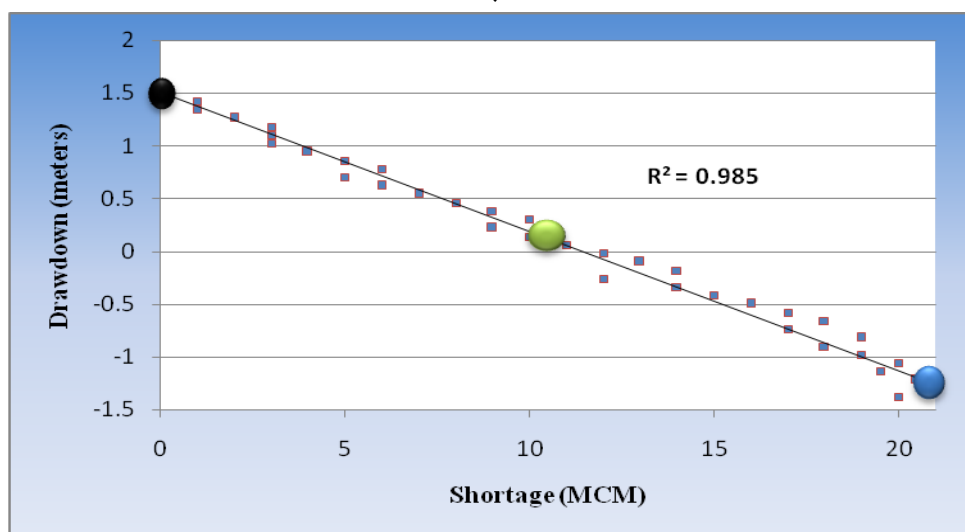
مجموع مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم (استحصال از آبخوان) در طول دوره شبیه‌سازی برای سه نمونه از جواب‌های بهینه محاسباتی از قسمت‌های مختلف جبهه پرتو با رنگ‌های مشکی، سبز و آبی مشخص گردیدند (شکل ۷).



(الف)



(ب)

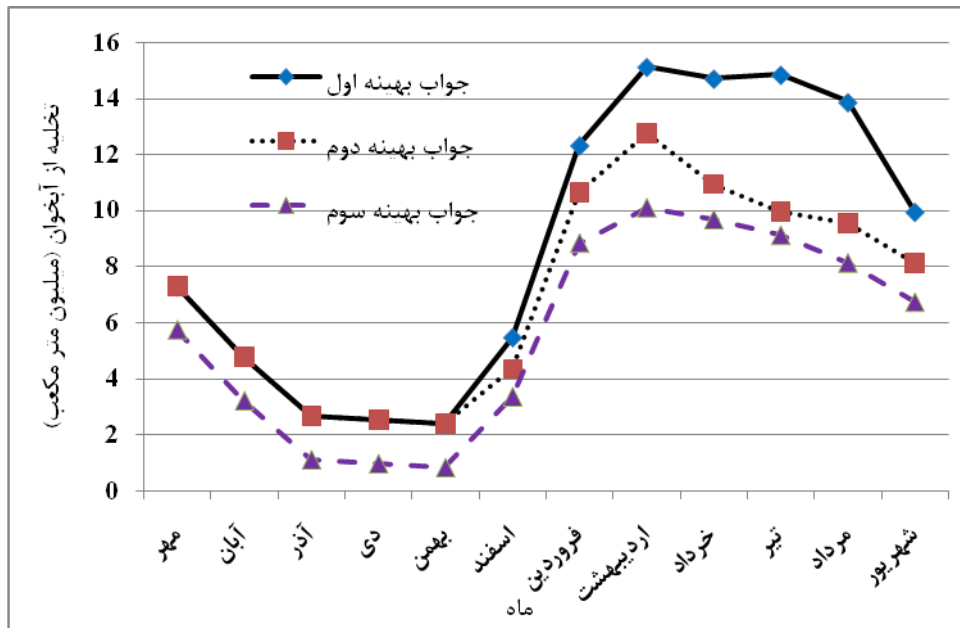


(ج)

شکل ۷. مقایسه دو به دوی جبهه پرتو اهداف با یکدیگر

تأمین نسبی و بهینه‌سازی هر سه هدف مورد استفاده در این پژوهش انتخاب گردیده است. مقادیر تغییرات تراز آب‌یرزمینی در طول دوره شبیه‌سازی برای هر یک از سه نمونه جواب مذکور در شکل ۹ نشان داده شده است.

از سوی دیگر شکل ۸ مبین این نکته است که نمونه جواب شماره یک در راستای کمینه نمودن مجموع کمبودها و از دیگر سو نمونه جواب شماره سه در راستای کمینه نمودن افت در تراز آب‌یرزمینی انتخاب گردیدند. با این اوصاف، نمونه جواب شماره دو در راستای



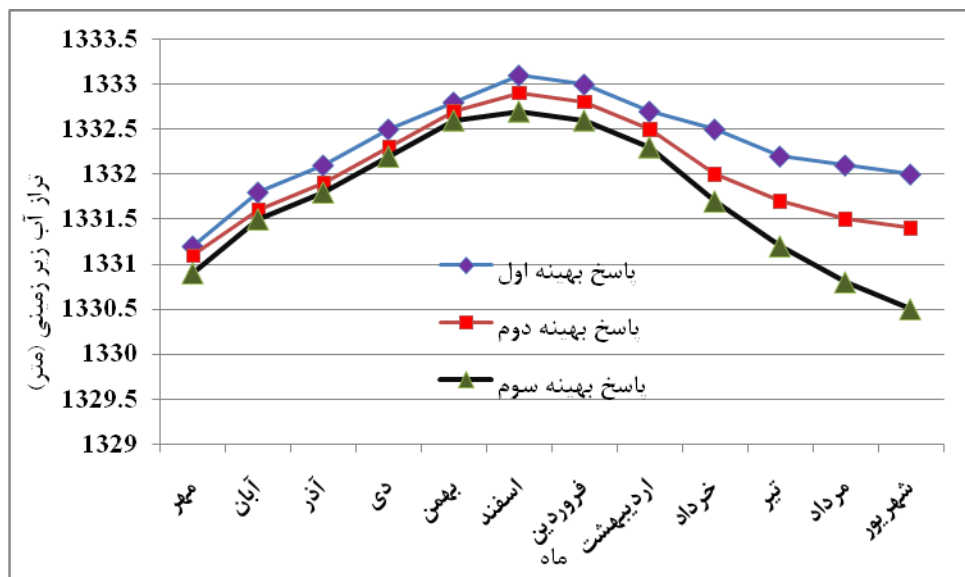
شکل ۸. مجموع مقادیر بهینه استحصال از آبخوان متناظر با هر یک از پاسخ‌های بهینه پرتو

کشاورزی در فصول خشک است. بنابراین تغییر الگوی کشت و عدم کشت محصولات پرآب‌طلب و یکنواخت و متناسب نمودن الگوی توزیع نیازها و استحصال از آبخوان در طی سال می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای موثر در کاهش این نوسانات مورد بررسی قرار گیرد. شایان ذکر است که نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش SadeghiTabas و همکاران (2016) مطابقت دارد. نتایج ایشان نشان داد که استفاده از الگوریتم چندهدفه آمالگام در بهینه‌سازی آبخوان دشت بیرجند مبین کارایی بسیار بالایی رویکرد ارائه شده در تعیین

همانگونه که در شکل‌های ۸ و ۹ دیده می‌شود، بیش‌ترین مقادیر کمبود و افت تراز آب‌یرزمینی در فصل خشک یعنی در ماه‌های واقع در نیمه دوم سال آبی - که بخش کشاورزی بیشترین نیاز در راستای استحصال آب زیر زمینی را به خود اختصاص می‌دهد- نمایان می‌گردد..

با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که تراز آب‌یرزمینی در نیمه اول سال آبی افزایش یافته و در نیمه دوم کاهش می‌یابد که این مهم متاثر از تغییرات در میزان بارش و دمای منطقه و نیز استفاده از آب‌یرزمینی در بخش

سیاست بهینه آبخوان باشد.



شکل ۹. مقادیر تغییرات تراز آب‌زیرزمینی برای هر یک از پاسخ‌های بهینه (در طول دوره شبیه‌سازی)

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از ترکیب مدل GMS با الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه MOBOA یک مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز آب‌های زیرزمینی برای شبیه‌سازی آبخوان دشت روانسر-سنجایی در استان کرمانشاه برای یک دوره یکساله با هدف کمینه نمودن سه تابع کمبود ناشی از عدم تأمین نیازها، افت تراز آب‌زیرزمینی و شاخص اصلاح شده کمبود ارائه گردید. نتایج نشان داد زمانی که تراز آب‌زیرزمینی ثابت بماند، مقدار $11/7$ میلیون متر مکعب از نیازها با کمبود مواجه شده و شاخص اصلاح شده کمبود برابر $17/15$ می‌گردد. در این پژوهش مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه (جبهه پرتو) در راستای تأمین توابع هدف ارائه گردید.

نتایج نشان‌دهنده رابطه معکوس بین افت تراز آب‌زیرزمینی و کمبود بوده و از آنجاکه کاهش

افت در تراز آب‌زیرزمینی منتج از کاهش استحصال آب‌زیرزمینی از آبخوان حاصل می‌باشد، می‌توان دریافت که با کاهش مقادیر تأمین نیاز آبی، کمبودها افزایش می‌یابد.

رابطه بین مقادیر کمبود با افت تراز آب زیرزمینی خطی بوده که این مهم ناشی از یکسان لحاظ کردن مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان در عمق است.

تراز آب‌زیرزمینی در نیمه اول سال آبی افزایش یافته و در نیمه دوم کاهش می‌یابد که این مهم متأثر از تغییرات در میزان بارش و دمای منطقه و نیز استفاده از آب‌زیرزمینی در بخش کشاورزی در فصول خشک است. بنابراین تغییر الگوی کشت و عدم کشت محصولات پرآب‌طلب و یکنواخت و متناسب نمودن الگوی توزیع نیازها و استحصال از آبخوان در طی

بهترین جواب بهینه از میان سایر جواب‌های
بهینه پرتو را انتخاب نمایند

در نهایت پیشنهاد می‌گردد که بهینه‌سازی
مقادیر برداشت آب زیرمینی در یک آبخوان با
استفاده از الگوریتم‌های مختلف بررسی گردد و
ضمن مقایسه میزان توانایی الگوریتم‌های
مختلف در بهینه‌سازی پارامترهای مختلف
آبخوان، بهترین الگوریتم انتخاب گردد.

سال می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای موثر
در کاهش این نوسانات مورد بررسی قرار گیرد.

اما انتخاب بهترین گزینه به‌عنوان سیاست
بهینه برداشت بر عهده مسئولین و
سیاست‌گذاران بهره‌برداری از منابع آب
زیرزمینی بوده تا با لحاظ نمودن معیارهای
اقتصادی، اجتماعی و پیامدهای زیست‌محیطی،

Reference

1. Aghlmand R and Abbasi A., 2019. 'Application of MODFLOW with Boundary Conditions Analyses Based on Limited Available Observations: A Case Study of Birjand Plain in East Iran', *Water*. 11(9), pp.1904-1936.
2. Ahlfeld, D.P. and Sawyer, C.S., 1990. 'Well Location in Capture Zone Design Using Simulation and Optimization Techniques', *Groundwater*, 28(4), pp.507-512.
3. Aquado, E. and Remson, I., 1974. 'Groundwater hydraulics in aquifer management', *Journal of the Hydraulics Division – ASCE*, 100(1), pp.103-118.
4. Chang, J. F., Chen, L. and Chang, C. L. 2005. 'Optimizing the reservoir-operating rule curves by generic algorithms', *Hydrol. Processes*, 19(11), pp.2277–2289.
5. Chitsazan, M. and Saatsaz, M., 2006. 'Application of MODFLOW mathematical model in Ramhormoz plain water resources management options', *Journal of Irrigation Engineering Sciences*, 14, pp.1-15.
6. Donyaii A.R., Sarraf, A.P. and Ahmadi, H., 2020. 'A Novel Approach to Supply the Water Reservoir Demand Based on a Hybrid Whale Optimization Algorithm', *Shock and Vibration*, <https://doi.org/10.1155/2020/8833866>
7. Donyaii A.R., Sarraf, A.P. and Ahmadi, H., 2021. 'Comparison of meta-heuristic algorithms in optimum operation of a single-reservoir dam system', *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*,
8. Donyaii AR., Sarraf A. and Ahmadi H., 2021. 'Operation of the Golestan Dam Reservoir in Climate Change Conditions Using an Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm', *Jwmr*, 12 (23), pp.238-250
9. Donyaii, A.R, Sarraf, A.P. and Ahmadi, H., 2020. 'Application of a new approach in optimizing the operation of the multi-objective reservoir', *Journal of Hydraulic Structures*, 6(3), pp.1-20.
10. Donyaii, A.R. and Sarraf, A.P., 2020. 'Optimization of Reservoir Operation using a Bioinspired Metaheuristic Based on the COVID-19 Propagation Model', *NMCE*, 5(1), pp.15-28.
11. Donyaii, A.R. and Sarraf, A.P., 2021. 'Calibration of WetSpa Distributed Hydrological Model using NSGA-II and Black Widow Multi-Objective Optimization Algorithms', *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(3), pp. 721-736 (in Persian).
12. Donyaii, A.R. and Sarraf, A.P., 2021. 'Management of Reservoir Operation System under Climate Change Conditions Using Dolphin Echolocation Optimization Algorithm', *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, (), pp. online (in Persian).
13. Donyaii, A.R., Sarraf, A.P. and Ahmadi, H., 2020. 'Evaluation of Whale, Fruit Fly and Cuckoo Search Algorithms in Optimizing Multi-Objective Operation of Golestan Dam Reservoir Based on Multi-Criteria Decision-Making Method', *Water Resources Engineering*, 13(47), pp. 85-100. (In Persian).
14. Donyaii, A.R., Sarraf, A.P. and Ahmadi, H., 2020. 'Water reservoir multi-objective optimal operation using Grey Wolf optimizer', *Shock and Vibration*, <https://doi.org/10.1155/2020/8870464>.
15. Etebari, B. and Yaqubzadeh, M., 2009. 'The importance of conceptual models in

- the development of mathematical models in aquifers (Case study: Tabriz plain)', *Fifth International Conference on Engineering Sciences and Basin*. Gorgan. Iran.
16. Heidari, A. A., Mirjalili, S.A., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M. and Chen H., 2019. 'Harris hawks optimization: Algorithm and applications', *Future Generation Computer Systems*, pp.849-872.
 17. Hsu, N.S. and Cheng, K.W., 2002. 'Network flow optimization model for basin-scale water supply planning', *Water Resources Planning and Management*, 128(2), pp.102-112. <https://doi.org/10.1680/jensu.20.00065>
 18. Kaveh, A., Khanzadi, M. and RastegarMoghaddam, M., 2020. 'Billiards-inspired optimization algorithm; a new meta-heuristic method', *Structures*, 27(3), pp. 1722-1739. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.058>.
 19. Maghami, Y., Ghazavi, R., Vali, A. and Sharafi, S., 2011. 'Evaluation of spatial interpolation methods for water quality zoning using GIS Case study, Abadeh Township', *Geography and Environmental Planning*, 22(2), pp. 171-182.
 20. Maleki, R., Karimi, G., Dolati Ardajani, F. and Hosseini, H., 2012. 'Optimization of hydrodynamic coefficients of Shahroud plain, using GMS6.5 model,' *Fourth Water Resources Management Conference*. Tehran. Iran, (in Persian).
 21. Mohtasham, M., Dehghani, A.A., Akbarpoura A., Meftah Halaqi, M. and Etebari, B., 2012. 'Determination of groundwater level using GMS model (Case study: Birjand aquifer)', *Fourth Water Resources Management Conference*, Tehran. Iran, (in Persian).
 22. Nejati Jahromi, Z., ChitSaz, M. and Mirzaei, S., 2010. 'Effects of Drought 2007-2008 on Aghili Plain Using Mathematical Model of Limited Difference in GMS6.5', *First International Conference on Water Resources Management*, Shahroud. Iran, (in Persian).
 23. Prickett, T.A., 1975. 'Modeling Techniques for Groundwater Evaluation', *Journal of Advances in Hydroscience*, 10(1), pp.1-143.
 24. Rastegar Moghaddam, M., Khanzadi, M. and Kaveh, A., 2020. 'Multi-objective Billiards-Inspired Optimization Algorithm for Construction Management Problems', *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng*. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00467-w>
 25. SadeghiTabas, P., Pourreza Beilandi, M., Akbarpour, A. and Samadi, Z., 2016. 'Presenting a simulator-optimizer model of multi-objective quantification of aquifer utilization in order to determine the optimal harvesting policy', *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(3), pp.469-479.
 26. Schoups, G., Addams, C.L and Gorelick, S.M., 2005. 'Multi-objective calibration of a surface water-groundwater flow model in an irrigated agricultural region: Yaqui Valley, Sonora, Mexico', *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(5), pp.549-568.
 27. Shahoei, S. V., Fahiminezhad, E. and Fatehi, Z., 2020. 'Impact of Global Climate Change on Climate Data in Ravansar Sanjabi Basin', *Kermanshah Province. Environment and Water Engineering*, 6(1), pp.45-57.
 28. Tabari, MMR and Soltani, J., 2013. 'Multi-Objective Optimal Model for Conjunctive Use Management Using SGAs and NSGA-II Models', *Water Resources Management*, 27(1), pp.37-53

29. Tu, M. Y., Hsu, N. S., Tsai, F. T. C. and Yeh, W. W. G., 2008. 'Optimization of hedging rules for reservoir operations', *Water Resource Planning and Management*, 134(1), pp.3-13.
30. Zheng, C and Bennett, G.D., 2002. 'Applied contaminant transport modeling', (Vol. 2). *New York: Wiley-Inter-science*.

Presentation of Simulator-Optimizer Model of Ravansar-Sanjabi aquifer by Combining GMS Model and Billiards-Inspired Multi-Objective Optimization Algorithm

AbdolGhafor. Gerey¹, Amirpouya Sarraf², Hassan Ahmadi³

Abstract

In the present study, a groundwater simulator-optimizer model was used to determine the optimal operation policy of Ravansar-Sanjabi plain aquifer in Kermanshah province. The proposed model is a combination of GMS aquifer simulation model and Billiard-Inspired Multi-Objective Optimization Algorithm (MOBOA) in MATLAB programming. First, the model was calibrated and validated to determine the hydrodynamic parameters of the aquifer. Then, by minimizing the three deficit objective functions comprises as the shortage affected by the failure to supply water demands, groundwater level drop and Modified Shortage Index (MSI), the model was implemented for a period of one year with 12 periods of monthly stress and the Pareto front was achieved. As one of Pareto optimal calculated responses, it can be observed that when groundwater level remains unchanged, 11.7 million cubic meters of demands will be in short supply and the amount of MSI will be 17.15. In order to specify the best option of operation policy, considering the socio-economic criteria as well as environmental consequences by the relevant officials, it is essential to select the suitable optimal response from the other Pareto optimal solutions and the corresponding withdrawal values will be determined. By studying the consequences of applying the proposed structure, it is worth noting that the proposed procedure has a high efficiency in determining the optimal aquifer strategy.

Keywords: MOBOA, Pareto front, simulator- optimizer model for groundwater, Ravansar-Sanjabi plain aquifer.

¹ Ph.D. Student in Civil Engineering Department, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen.

² Assistant Professor of Civil Engineering Department, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran. Corresponding Author: sarraf@riau.ac.ir

³ Assistant Professor of Civil Engineering Department, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran