



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی اراک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره ششم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.14606.2948

## تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه‌نیمه سیستان تحت سناریوهای مدیریتی آب و خاک

صفیه نوری<sup>۱</sup>، \* جواد شهرکی<sup>۲</sup> و علی سردار شهرکی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

<sup>۲</sup> دانشیار علوم اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، <sup>۳</sup> استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** با توجه به محدود بودن منابع آب سطحی و ظرفیت مخازن سدها، مدیریت علمی و ارائه سیاست بهره‌برداری بهینه از مخازن، امری لازم و حیاتی در جهت برآورده کردن نیازهای آبی است. همچنین، با توجه به اهمیت و استفاده از منابع آب و تخصیص بهینه این منبع کمیاب بین مصارف مختلف در منطقه سیستان ضروری به نظر می‌رسد که برنامه‌ای جهت تحقق این هدف پایه‌ریزی شود. تاکنون در منطقه مورد مطالعه و داخل کشور پژوهشی در مورد تخصیص بهینه آب با کاربرد الگوریتم پیشرفته فراابتکاری روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) جهت بهینه‌سازی مخازن چاه‌نیمه سیستان استفاده نگردیده است. از این رو در پژوهش حاضر سعی گردیده است که تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه‌نیمه سیستان تحت سه سناریوهای مدیریتی (سناریوی تثبیت ریزگردها، توسعه کشاورزی و انتقال خط لوله دوم آب شرب از مخازن چاه‌نیمه به شهرستان زاهدان) با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) مورد بررسی قرار گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** الگوریتم ازدحام ذرات یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری می‌باشد، که در مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، موجوداتی وجود دارند که آن‌ها ذره نامیده می‌شوند و در فضای جستجوی تابعی که قصد کمینه کردن (بهینه کردن) مقدار آن می‌باشد، پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند. در این پژوهش از الگوریتم مذکور جهت تخصیص بهینه منابع آب استفاده گردید. تابع هدف در این پژوهش بهینه‌سازی و حداکثرسازی میزان تأمین آب می‌باشد. همچنین قیود مربوطه به تابع هدف، قیود سیستماتیک، قیود و محدودیت‌های الگوریتم و قیود و محدودیت‌های مخازن در منطقه مورد می‌باشد.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار بهینه رهاسازی شده در سال ۱۳۶۴ (سال اول) ۲۵/۳۹ میلیون مترمکعب با میزان تقاضای ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب بوده که مقدار ۷۲/۹۱ میلیون مترمکعب تأمین نیاز انجام نشده است. مقایسه چهار سال پایانی نشان می‌دهد که در سال ۲۹ عدم تأمین نیاز کم‌تری نسبت به سه سال بعدی خود داشته است.

\* مسئول مکاتبه: [j.shahraki@eco.usb.ac.ir](mailto:j.shahraki@eco.usb.ac.ir)

**نتیجه‌گیری:** سناریوی تثبیت ریزگردها در منطقه مورد مطالعه به‌عنوان یک پروژه اجرایی جدی مطرح بوده که نتایج اجرای این سناریو نشان داد که کاربرد الگوریتم مورد استفاده می‌تواند تخصیص بهینه منابع آب را به‌خوبی انجام داده و مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌گردد که مدل‌سازی‌های فراابتکاری می‌تواند تخصیص بهینه کامل‌تری با حداقل خطا در تابع هدف را به‌دست دهد، از این‌رو باید این الگوریتم‌های فراابتکاری در مدیریت تخصیص بهینه منابع مورد توجه قرار بگیرند و در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های آینده مورد استفاده واقع شوند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ازدحام ذرات، بهینه‌سازی، چاه‌نیمه سیستان، سناریوهای مدیریتی آب‌وخاک

### مقدمه

پژوهشگران مختلف علوم مهندسی آب مورد بحث و تبادل نظر قرار گرفته است. با افزایش ابعاد و نیز پیچیده‌تر شدن مسائل، امکان حل با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی و یا روش‌های صریح محاسباتی در زمان مناسب و یا با حافظه محاسباتی محدود موجود کاهش یافته و رسیدن به جواب بهینه مطلق در این شرایط بسیار مشکل می‌باشد. در این راستا الگوریتم‌های فراابتکاری (فراکوشی) یک نام معمول برای روش‌هایی است که عموماً برگرفته از طبیعت هستند و در مسائل پیچیده و مشکل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری، روش‌های ابتکاری هستند که می‌تواند با تغییرهایی کم برای مسائل مختلف بهینه‌سازی به‌کار رود. الگوریتم‌های فراابتکاری، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای توانایی یافتن جواب‌های باکیفیت بالا را برای مسائل بهینه‌سازی سخت، افزایش می‌دهند (۱۳).

حجم کل مخازن مربوط به چاه‌نیمه‌ها معادل ۱۴۴۰ میلیون مترمکعب می‌باشد که فقط حدود ۹۰۰ میلیون مترمکعب آن قابل‌استفاده است. این مخازن اصلی‌ترین منبع تأمین، بخش شرب و کشاورزی و محیط‌زیست منطقه است (۱۲). منطقه مورد مطالعه به‌دلیل خشک‌سالی‌های مکرر در چند دهه اخیر با بحران جدی آب روبرو می‌باشد. از طرفی طرح‌های توسعه آب‌وخاک در منطقه پیش‌بینی و در حال

تشدید محدودیت منابع آبی فرایندی پیچیده است که به مجموعه‌ای از مؤلفه‌های طبیعی و اجتماعی وابسته است (۶). در مجموع، تعامل این موارد به افزایش بی‌رویه مصرف آب، کاهش حجم آب با کیفیت مناسب و کاربری نامناسب آب برای مصارف مختلف منجر شده است (۱۲). بنابراین، مسأله آب با امنیت غذایی تمام کشورها گره‌خورده است و از این لحاظ همه مناطق و کشورها به‌گونه‌ای در حلقه‌های زنجیری قرار می‌گیرند که ضعیف یا قوی به هم متصل هستند و کم‌تر می‌توانند خود را از این ارتباط مستثنا کنند (۱۳).

امروزه کمبود و آلودگی منابع آبی، زندگی میلیون‌ها نفر از ساکنان کره زمین، به‌خصوص کشورهای فقیر را به‌شدت تهدید می‌کند (۱۱). بر این اساس، نشان دادن اهمیت آب در زندگی بشر و تهدیدی که کم‌آبی و بی‌آبی متوجه ساکنان زمین و به‌خصوص کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از جمله ایران، واقع شده‌اند، اهمیت پژوهش را شکل می‌دهد. به‌دلیل وجود بحران جدی در خصوص آب، در عرصه جهانی تا اواخر قرن بیستم، پژوهش‌های زیادی درباره مشکل کم‌آبی و پیامدهای آن، صورت گرفته است (۱۰).

سال‌هاست که مسائل مختلف مهندسی آب و به‌ویژه مسأله بهره‌برداری بهینه از مخازن بین

داشته است (۹). آذرافزا و همکاران (۲۰۱۳) سه نوع الگوریتم فراکاووشی از جمله الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آنیلینگ به منظور استخراج منحنی فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهر چای را به کار گرفتند. بهینه‌سازی مخزن برای برآورد ۵ ساله رودخانه شهر چای با هدف تأمین نیاز پایین دست از جمله نیاز شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی انجام گرفت. طبق نتایج به دست آمده، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به صورت مؤثرتری نسبت به سایر روش‌ها در حل مسأله مخزن سد شهر چای عمل نمود و منحنی‌های فرمان رهاسازی و حجم ذخیره برای سد شهر چای با استفاده از این روش استخراج گردید (۲). محمدی‌ا قدم و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد یک نسخه جدید از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات را برای طراحی شبکه‌های توزیع آب پیشنهاد کردند. در پژوهش مذکور برای افزایش سرعت همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات، مفهوم اندازه‌گیری گروه دینامیکی به کار گرفته شد، علاوه بر آن یک رویه جهش جدید معرفی شد تا خاصیت تنوع‌طلبی الگوریتم PSO را افزایش داده و به رهایی از کمینه‌های محلی کمک کند. این نسخه جدید PSO، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات دینامیکی جهشی است، هشت تابع پیچیده با ابعاد بالا توسط روش‌های اصلاحی بهینه آزمایش شدند و نتایج مقایسه‌ای نشان داد که روش‌های پیشنهادی سریع‌اند و در کمینه محلی گیر نمی‌کنند (۵). رجب‌پور و همکاران (۲۰۱۷) کاربرد الگوریتم جدید توسعه داده شده در حل تابع فلتچر-پاول و مسأله کنترل بهینه پمپ‌ها در شبکه توزیع آب مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند و برای تعیین برنامه بهره‌برداری بهینه پمپ‌ها یک مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی

اجراست که بررسی اثرات آن‌ها بر منابع آب منطقه ضروری می‌باشد. از این رو در این پژوهش از الگوریتم PSO که با احتمال بیش‌تری جواب‌های بهینه را به دست می‌دهد، برای اولین بار استفاده گردید.

پژوهش حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این سؤال است که میزان تخصیص بهینه آب مخازن چاه‌نیمه تحت کاربرد الگوریتم فراابتکاری به بخش‌های مختلف برآورده چگونه است. به‌طور مشخص‌تر هدف پژوهش حاضر کاربرد الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) تحت سه سناریوی مدیریتی آب‌و خاک (انتقال خط لوله دوم آب شرب به شهرستان زاهدان، تثبیت ریزگردها و توسعه کشاورزی بر اساس افق ۱۴۰۴) می‌باشد.

با بررسی ادبیات پژوهش و مطالعات گذشته، مشخص گردید که مطالعات فراوانی در زمینه کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در مدیریت منابع آب با رویکردهای مختلف انجام گرفته است. در این ارتباط به مطالعات زیر مختصراً اشاره می‌گردد.

منعم و نوری (۲۰۱۱) در پژوهشی برای توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری از الگوریتم بهینه‌سازی PSO<sup>۲</sup> استفاده کردند. آنان در این پژوهش بیان کردند که روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک، دچار محدودیت‌هایی شامل توقف در نقاط بهینه موضعی و ناتوانی در به‌کارگیری انواع متغیرهاست، برای رفع این محدودیت‌ها می‌توان از روش‌های ابتکاری مانند رفتار جمعی اجزاء PSO برای توزیع و تحویل بهینه آب در کانال‌های آبیاری استفاده کرد (۷). رحیمی و همکاران (۲۰۱۲) الگوریتم NSGA-II<sup>۳</sup> با الگوریتم MOPSO<sup>۴</sup> در بهره‌برداری سد درود زن با ۳ تابع هدف مقایسه شده که نتایج نشان از برتری الگوریتم MOPSO

- 1- Particle Swarm Optimization
- 2- Particle Swarm Optimization
- 3- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
- 4- Multi-Objective Particle Swarm Optimization

الگوریتم ازدحام ذرات مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در مدیریت منابع آب قرار گرفته است که نشان از قدرتمند بودن این الگوریتم در تخصیص بهینه منابع آب دارد و احتمال جواب‌های بهتر افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت و استفاده از منابع آب و تخصیص بهینه این منبع کمیاب بین مصارف مختلف در منطقه سیستم ضروری به نظر می‌رسد که برنامه‌ای جهت تحقق این هدف در منطقه مورد مطالعه پایه‌ریزی شود. بررسی سوابق پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌سازی‌های مورد استفاده در مطالعات گذشته در منطقه مورد مطالعه، دارای خلأ بوده‌اند و باید مدل‌سازی که بتواند سیستم مهندسی آب منطقه را به‌طور کامل دربرگیرد و تکنیک جدیدی جهت مدل‌سازی باشد مورد استفاده قرار گیرد و خلأ مربوطه تا پر کند. بنابراین در این پژوهش به بررسی تخصیص بهینه مخازن آب چاه‌نیمه سیستم با کاربرد الگوریتم ازدحام ذرات تحت سناریوهای مدیریتی آب‌و خاک برای اولین بار پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات از شبیه‌سازی رفتار اجتماعی گروه پرندگان مدل‌سازی شده است. جیمز کندی<sup>۴</sup> روان‌شناس اجتماعی و راسل سی ابرهات<sup>۵</sup> مهندس برق، صاحبان اصلی نظریه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات هستند. در مطالعه حاضر بر تخصیص بهینه منابع آب در منطقه سیستم از الگوریتم بهینه ذرات استفاده گردیده است که در ادامه به توضیح و مبانی نظری آن پرداخته شده است (۴).

در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار

<sup>۱</sup>G-JPSO و <sup>۲</sup>JPSO تهیه شد. از مدل پیشنهادی برای تعیین برنامه بهره‌برداری شبکه توزیع ون زیل استفاده شد. مقایسه نتایج این الگوریتم در مسائل پیشنهادی با نتایج الگوریتم‌های جامعه مورچگان، ژنتیک و JPSO نشان‌دهنده توانایی بالای الگوریتم ارائه‌شده در پیدا کردن جواب‌های بهینه با صرف هزینه محاسباتی مناسب است (۱۰). قیمایر و ردی (۲۰۱۳) از الگوریتم PSO جهت استخراج سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از یک سامانه تک مخزن برق‌آبی با تابع هدف کمینه کردن مجموع سالانه مجذور اختلاف انرژی برق‌آبی تولیدی از انرژی برق‌آبی مطلوب، استفاده کردند، آن‌ها در پژوهش خود بیان نمودند که استفاده از سیاست‌های بهینه حاصل از این پژوهش، سبب افزایش ۳ درصدی تولید انرژی برق‌آبی نسبت به حالتی که در طراحی برنامه‌ریزی شده بود، می‌گردد (۳). آجیبولا و آدومی (۲۰۱۴) مروری کلی بر مسائل بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از روش‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت، شامل الگوریتم‌های GA و PSO انجام دادند. نتایج بیانگر برتری الگوریتم PSO نسبت به الگوریتم GA در اکثر مطالعات انجام شده بوده است (۱). ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) الگوریتم اجتماع ذرات تطبیقی اصلاح‌شده<sup>۳</sup> (IAPSO) را برای حل مشکل همگرایی زودرس به دلیل افتادن در بهینه محلی با در نظر گرفتن تراز آب مخزن به‌عنوان متغیر تصمیم مسأله ارائه دادند. همچنین روش جدیدی را برای در نظر گرفتن محدودیت‌های مسأله بهینه‌سازی پیشنهاد داده‌اند. در نهایت نتایج حاصله از این روش با سایر الگوریتم‌های مبتنی بر PSO مقایسه شد و در نهایت، نتایج بهتر و عملکرد همگرایی بیشتر الگوریتم IAPSO را نشان داده شد (۱۶).

- 1- G-Jumping Particle Swarm Optimization (G-JPSO)
- 2- Jumping Particle Swarm Optimization
- 3- Improved Adaptive Particle Swarm Optimization

4- James Kennedy

5- R.C.Eberhart

این عمل در واقع مانند ایجاد جواب اولیه برای مسأله است. برای هر ذره مانند  $X_i$  به عنوان موقعیت ذره نام،  $V_i$  به عنوان سرعت ذره نام و  $\mathcal{Y}_i$  در حکم بهترین موقعیتی است که ذره نام تجربه کرده است و به نام بهترین تجربه شخصی تعریف می شود. به عبارت دیگر،  $\mathcal{Y}_i$  موقعیت بالاترین ارتفاعی است که ذره نام تا به حال تجربه کرده است و بالاترین ارتفاع، همان تابع هدف مسأله  $f^{i,best}$  است، ذکر این نکته ضروری است که در مرحله اول  $\mathcal{Y}_i$  همان موقعیت  $X_i$  تعریف می شود، چرا که ذره نام فقط همان تجربه را داشته است. در نهایت ذره ای که بهترین موقعیت از لحاظ ارتفاع (تابع هدف مسأله  $f^{gbest}$ ) را در بین تمامی ذرات موجود دارد، به صورت  $\hat{\mathcal{Y}}$  تعریف می شود. در ابتدای حرکت ذرات (مرحله اول) سرعت تمامی ذرات برابر صفر در نظر گرفته می شود، در مراحل بعد با توجه به فرمول های الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)، سرعت  $V_i$  و موقعیت  $X_i$  به روز می شود. پس از ایجاد تصادفی ذرات در فضا، به منظور یافتن مرتفع ترین نقطه و تعریف پارامترهای مربوط به ذرات، باید موقعیت و سرعت هر یک از ذرات برای جستجو در فضا به روز شود. به همین منظور حرکت هر ذره همانند ذره نام از برآیند سه بردار، بردار حرکت فعلی ذره  $X_i$ ، بردار حرکت بهترین تجربه شخصی  $\mathcal{Y}_i$  و بردار حرکت بهترین ذره  $\hat{\mathcal{Y}}$  به دست می آید. شکل ۱ نشان دهنده بردارهای تعیین کننده مسیر حرکت ذره ها است (۱۳).

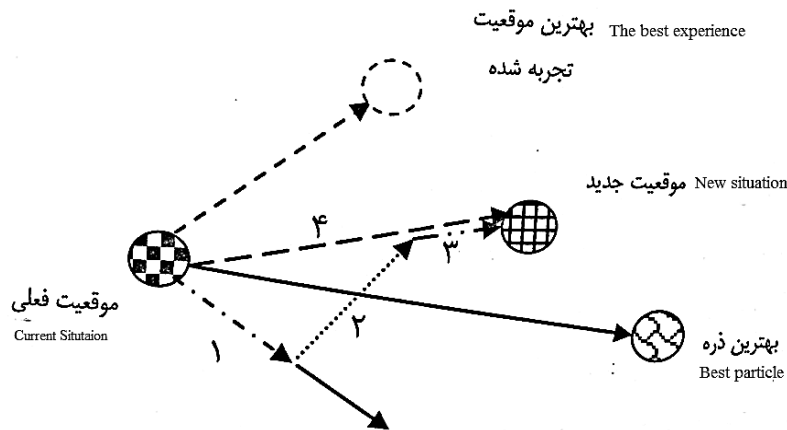
گرفته است، محاسبه می کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات موقعیت مکانی فعلی آن ذره و بهترین محلی که قبلاً در آن بوده است و همچنین، اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می کند. همه ذرات، جهتی را برای حرکت انتخاب می کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می رسد (۸). این مراحل چندین بار تکرار می شوند تا جواب مورد نظر به دست آید. الگوریتم ازدحام ذرات دارای دو اپراتور اصلی است:

✓ اپراتور به روزرسانی سرعت

✓ اپراتور به روزرسانی موقعیت

در ابتدای الگوریتم، تعدادی از پرندگان (جواب ها) به صورت تصادفی تولید می شوند. سپس به هر یک از آن ها سرعتی نسبت داده می شود. بر اساس سرعت فعلی پرنده و فاصله ی آن از بهترین موقعیتی که تاکنون از خود او دیده شده و نیز فاصله او از بهترین موقعیت یافت شده توسط پرندگان مجاور، سرعت جدیدی برای پرنده محاسبه می شود (شکل ۲). با توجه به این که مقدار سرعت به دست آمده برابر با مقدار جابه جایی پرنده در طی یک مرحله است، می توان موقعیت جدید پرنده را در مرحله بعد پس از به روزرسانی موقعیت، به دست آورد. این فرایند تا تکرار مشخصی صورت می گیرد و در نهایت بهترین مکان ملاقات شده توسط تمامی پرندگان به عنوان جواب مسأله ارائه می شود (۱۲).

برای یافتن مرتفع ترین نقطه، ابتدا چند ذره به طور تصادفی ایجاد شده، سپس در کل فضا پراکنده شده اند.



شکل ۱- نشان‌دهنده بردارهای تعیین‌کننده مسیر حرکت ذره‌ها در الگوی عملیاتی ازدحام ذرات (۱۲).  
 Figure 1. Indicators of vectors determining the direction of motion of particles (12).

$\hat{y}_i$  را انتخاب می‌شود. مقدار تابع هدف در  $\hat{y}_i$ ، به صورت  $f^{gbest}$  نشان داده می‌شود. اگر تعداد ذرات موجود در جمعیت،  $n_x$  باشد، آن‌گاه می‌توان رابطه‌های زیر را نوشت (۱۲ و ۱۳):

$$y_i[t] = \begin{cases} x_i[t] & f(x_i[t]) \leq f(y_i[t-1]) \\ y_i[t-1] & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$f^{i,best}[t] = f(y_i[t]) \quad (2)$$

$$\hat{y}[t] = \underset{y_i[t]}{\text{ArgMin}} f(y_i[t]) \quad (3)$$

$$f^{gbest}[t] = f(\hat{y}[t]) \quad (4)$$

یادآوری می‌شود در تعاریف فوق، فرض بر این است که مسأله بهینه‌سازی به صورت کمینه‌سازی تعریف شده است و  $f(\cdot)$  نشان‌دهنده تابع هزینه مربوطه است. در مرحله ابتدایی الگوریتم، ذرات با موقعیت تصادفی و سرعت‌های صفر ایجاد می‌شوند. در طی اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله  $t+1$  ام از الگوریتم، با توجه به اطلاعات مرحله

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بردار ۱ نشان‌دهنده ضریبی از جهت حرکت قبلی ذره نام است. بردار ۲ نشان‌دهنده ضریبی از بردار واصل موقعیت کنونی به محل بهترین تجربه شخصی ذره نام، یعنی  $\hat{y}_i$  است. بردار ۳ نشان‌دهنده ضریبی از بردار واصل موقعیت کنونی به محل بهترین ذره، یعنی  $\hat{y}$  است. در نهایت بر اساس برآیند سه بردار مذکور، سرعت جدید ذره نام به صورت بردار ۴ مشخص می‌شود. موقعیت جدید ذره نام، با انتقال موقعیت خطی به اندازه سرعت جدید به دست می‌آید (۱۴ و ۱۵).

اجزای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO): الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چیزی فراتر از یک مجموعه ذرات است. هیچ‌کدام از ذرات به تنهایی قدرت حل هیچ مسأله‌ای را ندارند، بلکه هنگامی می‌توان به حل مسأله امیدوار شد که آن‌ها با همدیگر ارتباط و تعامل سازنده داشته باشند. در واقع برای ازدحام ذرات، توانایی حل مسأله یک مفهوم اجتماعی است که از رفتار تک‌تک ذرات و تعامل میان آن‌ها به وجود می‌آید. بهترین موقعیتی که توسط همه ذرات پیدا شده است، به صورت  $\hat{y}$  نشان داده می‌شود که با مقایسه مقادیر  $f^{i,best}$  به‌ازای همه ذرات و از میان

⊗ نشان‌دهنده عامل ضرب عضو به عضو برای ماتریس‌ها است. به منظور محدود کردن میزان حرکت هر ذره، به مقدار مؤلفه‌های سرعت ذرات در بازه  $[-v_{max}, v_{max}]$  در نظر گرفته می‌شود. البته فرض بر این است که عرض فضای جستجو، در تمامی ابعاد، ثابت و برابر با  $S$  باشد. در این صورت معمولاً  $v_{max} = ps$  در نظر گرفته می‌شود که در آن  $p \in [0.1, 1]$  است (۱۳).

در مطالعه حاضر تابع هدف، حداکثرسازی میزان تأمین آب از منابع آب چاه‌نیمه سیستان با توجه قیود مسأله که شامل قیود الگوریتم و محدودیت‌های سیستمی در سیستم منابع آب منطقه می‌باشد؛ که به شرح زیر می‌باشند:

$$function = Max \lambda_t \quad (9)$$

که در آن،  $\lambda$  مقدار تأمین نیاز است که باید حداکثرسازی شود و  $t$  دوره‌های مدنظر می‌باشد. محدودیت‌های سیستم: بیلان آب در مخزن توسط رابطه پیوستگی تعیین می‌گردد که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود. از این رابطه در فرآیند الگوریتم برای به دست آوردن حجم مخزن در هر گام زمانی استفاده می‌شود (۱۲):

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t - S_{p_t} \quad (10)$$

که در آن،  $S_{t+1}$  ذخیره مخزن در انتهای دوره  $t$  (میلیون مترمکعب)،  $S_t$  ذخیره ابتدای دوره  $t$  (میلیون مترمکعب)،  $I_t$  جریان ورودی مخزن در دوره  $t$  (میلیون مترمکعب)،  $R_t$  رهاسازی مخزن در دوره  $t$  (میلیون مترمکعب)،  $E_t$  حجم تبخیر از سطح مخزن (میلیون مترمکعب)،  $S_{p_t}$  سرریز مخزن (میلیون مترمکعب).

قبلی ساخته می‌شود. اگر منظور از  $Z_j$  مؤلفه  $Z$  از بردار  $Z$  باشد، آن‌گاه رابطه‌هایی که سرعت و موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارت از (۱۴ و ۱۵):

$$v_{ij} [t+1] = w v_{ij} [t] + c_1 r_1 y_{ij} [t] - x_{ij} [t] + c_2 r_2 \hat{y}_j [t] - x_{ij} [t] \quad (5)$$

$$x_{ij} [t+1] = x_{ij} [t] + v_{ij} [t+1] \quad (6)$$

که در آن‌ها،  $w$  ضریب اینرسی،  $r_1$  و  $r_2$  اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت و در بازه  $[0, 1]$  هستند. همچنین  $c_1$  و  $c_2$  ضرایب یادگیری به حساب می‌آیند.  $r_1$  و  $r_2$  باعث تنوع در جواب‌ها می‌شوند و به این نحو جستجوی کامل‌تری روی فضا انجام می‌گیرد.  $c_1$  ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره و در مقابل،  $c_2$  ضریب یادگیری مربوط به تجارب جمعی است. از رابطه بالا می‌توان به این نتیجه رسید که هر ذره هنگام حرکت (۱) جهت حرکت قبلی خود؛ (۲) بهترین موقعیتی را که در آن قرار داشته، (۳) بهترین موقعیتی را که توسط کل جمع تجربه شده است، در نظر می‌گیرد. در برخی موارد، بالا به صورت زیر برای همه ابعاد جمع‌بندی می‌شود (۱۲):

$$v_i [t+1] = w v_i [t] + c_1 r_1 \otimes y_i [t] - x_i [t] + c_2 r_2 \otimes \hat{y} [t] - x_i [t] \quad (7)$$

$$x_i [t+1] = x_i [t] + v_i [t+1] \quad (8)$$

که در آن‌ها،  $R_1$  و  $R_2$  دو بردار، هم‌اندازه با بعد فضای جستجو (تعداد متغیرهای تصمیم) هستند که مؤلفه‌هایشان اعداد تصادفی مستقل با توزیع یکنواخت و در بازه  $[0, 1]$  هستند. همچنین علامت

حوضه آبریز هیرمند در منطقه سیستان از توزیع نامناسب زمانی و مکانی آب رنج می‌برد و نیز با رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعت، مواجه است، افزایش تقاضا در آب این منطقه اتفاقی غیرقابل اجتناب بوده و مدیریت منابع آب برای جلوگیری از مواجهه با بحران آب و تنش‌های احتمالی الزامی است. تنها منبع آب در این منطقه مخازن چاه‌نیمه است. مخازن مصنوعی آب شیرین چاه‌نیمه‌های سیستان به صورت گودال‌های طبیعی در جنوب سیستان و در فاصله ۵ کیلومتری شهر زهک و ۳۰ کیلومتری شهر زابل با وسعت ۴۶ کیلومترمربع در انتهای حوضه رودخانه هیرمند احداث شده است، این مخازن با آب باران و آب رودخانه سیستان پر می‌شود. رهاسازی از مخازن چاه‌نیمه، به ورودی و خروجی‌ها و همچنین به میزان تقاضا (نیاز) پایین‌دست، بستگی دارد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که میزان رهاسازی از مخازن سدها، به حجم آب موجود در مخزن در هر دوره، ورودی و خروجی‌های آن دوره و میزان تقاضا (نیاز) پایین‌دست مخزن و همچنین رهاسازی دوره قبل از آن بستگی دارد؛ زیرا میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها، ذخیره مخزن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین این قید که به نوعی همان قید پیوستگی می‌باشد و همواره به صورت زنجیروار ادامه دارد و این قید که به‌عنوان قید زنجیره‌ای می‌توان از آن نام برد باید در بدنه الگوریتم اعمال شود. موقعیت جغرافیای چاه‌نیمه‌های سیستان در شکل ۲ نشان داده شده است.

حجم تبخیر در هر بازه زمانی تابعی از سطح مخزن و ارتفاع تبخیر است. رابطه سطح و حجم مخزن با روندیابی داده‌های سطح-حجم-ارتفاع مخزن تعیین شده است. مقدار سطح مخزن تعیین و با ضرب در ارتفاع تبخیر، حجم تبخیر به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$A_t = 3 \times 10^6 \times S_t^3 - 0.001 \times S_t^2 + 0.171 \times S_t + 0.149 \quad (11)$$

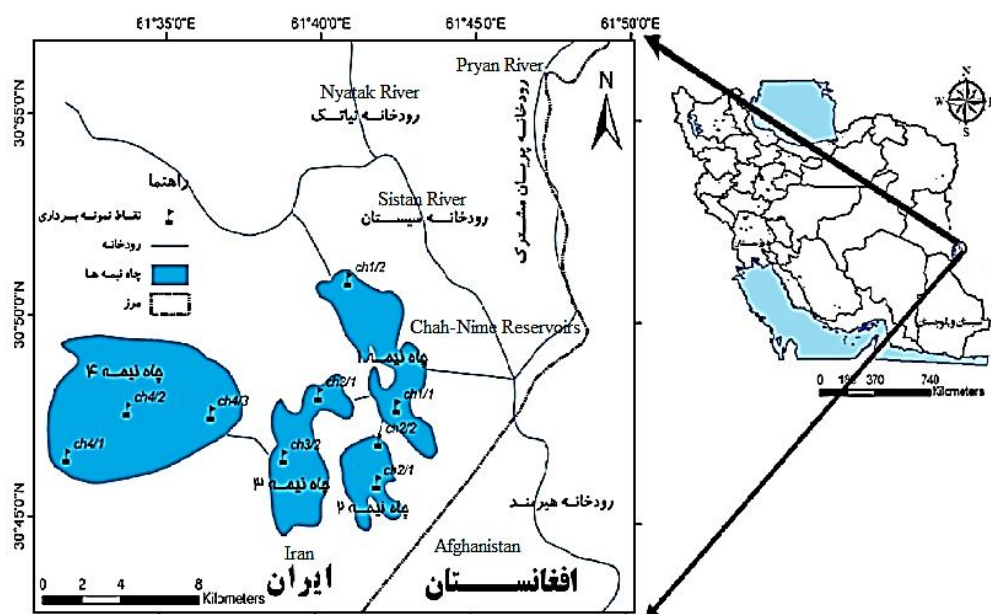
$$E_t = A_t \times H_t \quad (12)$$

تعریف متغیرها همانند رابطه قبل می‌باشد. در این رابطه  $H_t$  ارتفاع تبخیر می‌باشد. قیود دیگری که در این مسأله بهینه‌سازی وجود دارد، این است که میزان رهاسازی از مخزن در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشتر باشد به عبارت دیگر همان‌طور که در معادله زیر مشخص است، باید رهاسازی در هر بازه  $R_t$  باید بین میزان رهاسازی مینیمم  $R_{Min}$  و میزان رهاسازی ماکزیمم  $R_{Max}$  باشد و از طرفی میزان حجم مخزن در هر دوره  $S_t$  نیز باید بین حجم مینیمم  $S_{Min}$  و حجم ماکزیمم مخزن  $S_{Max}$  باشد.

$$R_{min} \leq R_t \leq R_{max} \quad (13)$$

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{max} \quad (14)$$





شکل ۲- موقعیت جغرافیای چاه‌نیمه‌های سیستان (۱۲).

Figure 2. Geographic location of Chah-Nimeh reservoirs in Sistan (12).

بر تثبیت ریزگردها و میزان آب بهینه به این سناریو می‌باشد.

سناریوی (۳) توسعه سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴: طبق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ (سال ۲۰۲۵ میلادی)، باید توسعه سطوح زیر کشت منطقه سیستان، به ۲۰۰ هزار هکتار برسد. بنابراین در سناریو با هدف توسعه سطح زیرکشت منطقه سیستان تا افق موردنظر به صورت درصدی (هر ساله ۱۰٪)، سطوح زیرکشت افزایش داده شده تا با توجه به شرایط آبی منطقه سیستان بررسی شود که تا چه حد دستیابی به این سند و رشد و توسعه سطح زیرکشت قابل دستیابی می‌باشد.

مدل‌سازی‌های مربوطه در نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته است.

### نتایج و بحث

در راستای تأمین حداکثری نیاز آب منطقه در این بخش نتایج حاصل از اجرای الگوریتم فراابتکاری

الگوریتم موردنظر تحت سه سناریوی مدیریتی آب‌و‌خاک انجام شده است که در ذیل سناریوهای مذکور تشریح گردیده‌اند:

سناریوی (۱) انتقال خط لوله دوم آب شرب به شهرستان زاهدان: یکی از طرح‌های توسعه آب در بخش شرب، راه‌اندازی خط لوله دوم انتقال آب شرب با ظرفیت ۴۱ میلیون مترمکعب بر ثانیه به شهرستان زاهدان در سال‌های آتی می‌باشد. در این سناریو پیش‌بینی اثرات اجرای این طرح بر عرضه و تقاضای آب مدنظر می‌باشد.

سناریوی (۲) تثبیت ریزگردها: در منطقه سیستان ۵ ماه اردیبهشت تا شهریور بیش‌ترین فرسایش را دارند و در این سناریو این ماه‌ها به‌عنوان ماه‌های بحرانی انتخاب شده‌اند. در این سناریو بر اساس اولویت‌بندی هامون بر اساس کانون بحرانی ریزگردها، ۵۰ هکتار از هامون صابوری که در ایران قرار دارد، به‌عنوان مساحت موردنظر انتخاب گردید. هدف از اجرای این سناریو بررسی آثار بهینه‌سازی الگوریتم کلونی مورچه

ازدحام ذرات تحت سناریوهای مدیریتی آب و خاک (سناریوی انتقال خط لوله دوم آب شرب به زاهدان، سناریوی تثبیت ریزگردها و سناریوی توسعه سطح زیرکشت بر اساس افق ۱۴۰۴) پرداخته می‌شود. در جدول ۱ تأثیر مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  بر روی مقدار تابع هدف در الگوریتم ازدحام ذرات ارائه گردیده است.

جدول ۱- تأثیر مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  بر روی مقدار تابع هدف در الگوریتم ازدحام ذرات.

**Table 1. Effect of values of  $C_1$  and  $C_2$  on the value of the objective function in the particle swarm algorithm.**

مقدار تابع هدف The value of the target function	$C_2$	$C_1$
59.078	1	1
61.083	2	1
78.92	3	1
57.20	1	2
75.17	2	2
86.51	3	2
73.19	1	3
78.66	2	3
90.11	3	3

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۱ تأثیر مقادیر  $C_1$  و  $C_2$  بر روی مقدار تابع هدف در الگوریتم ازدحام ذرات را نشان می‌دهد، مقادیر یک برای  $C_1$  و  $C_2$  مقدار ۵۹/۰۷ برای تابع هدف به دست می‌آورد. در جدول ۲ تأثیر تعداد اعضای جمعیت بر عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات نشان داده شده است.

جدول ۲- تأثیر تعداد اعضای جمعیت بر عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات (nPop).

**Table 2. Effect of Number of Population on the Performance of Particle Swarm Algorithm.**

مقدار Value					شرح Description
300	250	200	150	100	تعداد اعضای جمعیت Number of members of the population
58.9	59.8	65.74	61.53	61.80	مقدار تابع هدف The value of the target function
550	500	450	400	350	تعداد اعضای جمعیت Number of members of the population
59.36	58.19	58.62	59.30	59.28	مقدار تابع هدف The value of the target function
800	750	700	650	600	تعداد اعضای جمعیت Number of members of the population
58.31	58.47	57.20	57.77	57.90	مقدار تابع هدف The value of the target function

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

جدول ۲ تأثیر تعداد اعضای جمعیت بر عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات (nPop) را نشان می‌دهد در تعداد اعضای جمعیت ۱۰۰ مقدار تابع هدف ۶۱/۸۰ می‌شود همچنین اگر تعداد اعضای جمعیت به ۱۵۰ تغییر پیدا کند، رقمی که برای تابع هدف به دست می‌آید ۶۱/۵۳ خواهد بود. در تعداد اعضای جمعیت ۴۰۰ مقدار تابع هدف ۵۹/۳۰۹۴ می‌شود و اگر مقدار ۴۵۰ به تعداد اعضای جمعیت داده شود مقداری که برای تابع هدف به دست می‌آید ۵۸/۶۲ می‌باشد. همان‌طور که در ردیف اول و دوم جدول ۲ مشاهده می‌شود هرچه تعداد اعضای جمعیت بیشتر شود مقدار تابع هدف کم‌تری نسبت به اعضای جمعیت قبلی به دست می‌آید و همچنین اگر تعداد اعضای جمعیت ۶۰۰ شود مقدار تابع هدف ۵۷/۹۰۸۳ می‌شود در تعداد اعضای جمعیت ۶۵۰ مقدار تابع هدف

۷۵۰ شده است و در تعداد اعضای جمعیت ۷۵۰ و ۸۰۰ مقدار تابع هدف به ترتیب مقدارهای ۵۸/۴۷، ۵۸/۳۱ حاصل شده است. با نگاه کلی به این جدول ملاحظه می‌شود که در تعداد اعضای جمعیت ۷۰۰ کم‌ترین مقداری که برای تابع هدف به دست می‌آید ۵۷/۲۰۴۹ پارامتر  $W$  که اینرسی وزنی نام دارد که در هر تکرار تغییر کرده، اما مقدار آن، همواره بین ۰/۴ و ۰/۷ بوده است. همچنین تعداد مختلفی از اعضای جمعیت مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. با افزایش تعداد اعضای جمعیت با وجود نوساناتی در مقدار تابع هدف ملاحظه می‌گردد که عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با افزایش تعداد اعضای جمعیت بهبود می‌یابد.

جدول ۳- مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات (PSO).

Table 3. Properties of Parameters of Particle Swarm Algorithm.

W	$C_2$	$C_1$	تعداد تکرار The number of repetitions	تعداد جمعیت Population
بین ۰/۷ و ۰/۴ متغیر	1	2	500	700

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول ۳ مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) آورده شده است که مقدار اعضای جمعیت ۷۰۰، تعداد تکرار ۵۰۰، پارامترشناختی  $C_1$  مقدار ۲، پارامتر اجتماعی  $C_2$  مقدار ۱ و  $W$  ضریب سرعت ذره بین ۰/۴ و ۰/۷ متغیر نشان داده شده است.

نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم در جدول ۴ نشان داده شده است. شرایط توقف اجرای الگوریتم در الگوریتم ازدحام ذرات رسیدن به تعداد تکرار معین بوده و این تعداد تکرار ۵۰۰ تکرار می‌باشد.

جدول ۴- مقادیر تابع هدف برای الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت.

Table 4. The objective function values for the particle swarm algorithm in five runs.

تکرار Repeat	1	2	3	4	5
مقدار تابع هدف The value of the target function	57.20	58.18	58.17	57.47	58.50

منبع: یافته‌های تحقیق

اجراهایی که برای مقادیر مختلف تابع هدف به دست آمده است، ملاحظه می‌شود که در اجرای اول مقدار کم‌تری برای تابع هدف در مقایسه با چهار اجرای دیگر حاصل شده است. در جدول ۵ میانگین مقادیر تابع هدف، بهترین مقدار تابع هدف و بدترین مقدار تابع هدف ذکر شده است.

همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد، در پنج اجرای متفاوت الگوریتم ازدحام ذرات در اجرای اول مقدار تابع هدف ۵۷/۲۰۴۹، در اجرای دوم مقدار تابع هدف ۵۸/۱۸۰۴، در اجرای سوم مقدار تابع هدف ۵۷/۴۷۲۱، اجرای چهارم مقدار تابع هدف ۵۸/۱۷۰۷ و در نهایت در اجرای پنجم مقداری که برای تابع هدف حاصل شده است، ۵۸/۵۰۹۳ می‌باشد. در

جدول ۵- مشخصات آماری عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت.

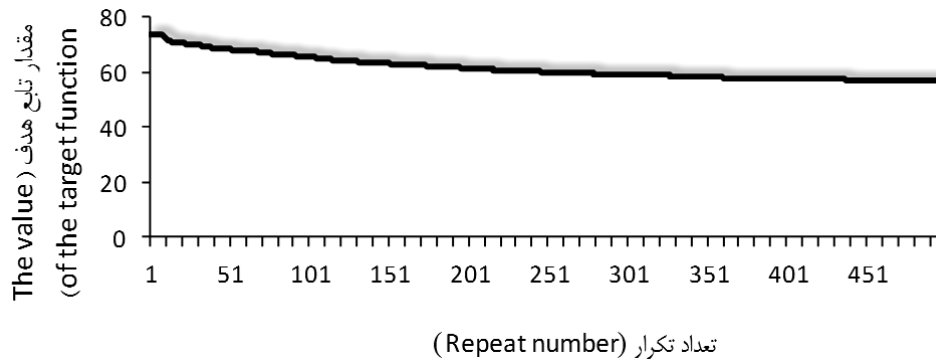
Table 5. Statistical Profile particle swarm algorithm performance in five runs.

بدترین مقدار تابع هدف The worst value of the target function	بهترین مقدار تابع هدف The best value of the target function	میانگین مقادیر تابع هدف Average values of target function
58.50	57.20	58.08

منبع: یافته‌های تحقیق

به دست آمده است. نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانگین مقادیر تابع هدف ۵۸/۰۸، بهترین مقداری که برای تابع هدف در این الگوریتم به دست آمده است ۵۷/۲۰ و همچنین مقدار ۵۸/۵۰ به عنوان بدترین مقدار برای تابع هدف

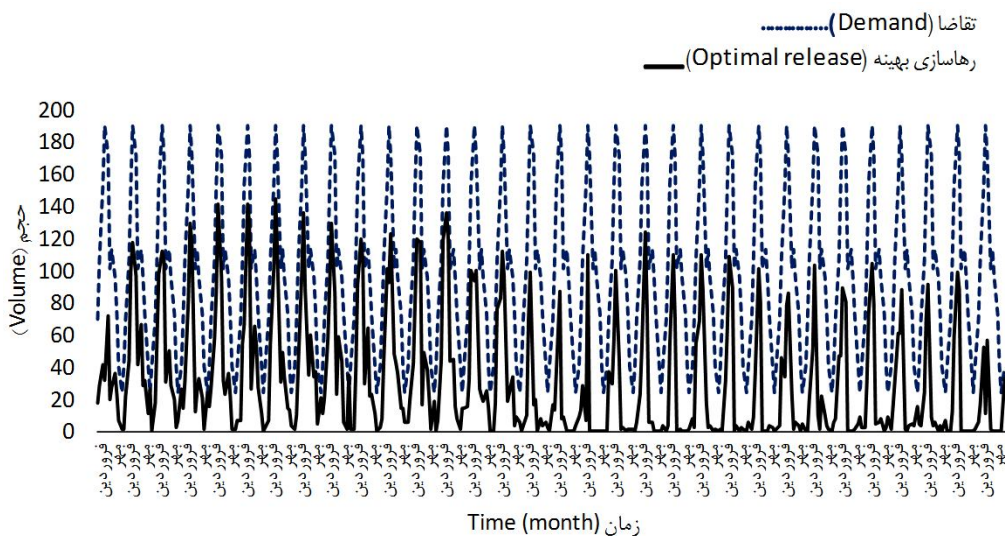


شکل ۳- نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای برای حالت پایه.

Figure 3. Mode of operation of the particle swarm algorithm with consideration of chain constraints.

تغییری نمی‌کند. شکل ۴ رهاسازی بهینه حاصل از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات و میزان تقاضا را نشان می‌دهد که این میزان رهاسازی بدون تخطی از قیود بوده است.

همان‌طور که در شکل بالا ملاحظه می‌گردد، هرچه تعداد تکرارها با استفاده از این الگوریتم افزایش یابد مقدار تابع هدف کاهش پیدا می‌کند و از یک جایی به بعد با افزایش تکرار مقدار تابع هدف



شکل ۴- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم ازدحام ذرات و تقاضا.

Figure 4. The optimal release rate of the particle swarm algorithm and demand.

دیگر وجود دارد. در سال‌های هفدهم، هجدهم و نوزدهم که مقدار بهینه رهاسازی برای این سال‌ها ۱۵/۱۷، ۱۳/۱۲، ۲۲/۹۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. همچنین در سال‌های پایانی، سال ۲۹ مقدار رهاسازی بهینه ۲۳/۹۰ و عدم تأمین نیاز ۷۴/۴۱ می‌باشد. مقایسه چهار سال پایانی نشان می‌دهد که در سال ۲۹ عدم تأمین نیاز کم‌تری نسبت به سه سال بعدی خود داشته است.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات برای سناریوی اول: انتقال خط لوله دوم آب شرب به زاهدان: نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم در جدول ۶ نشان داده شده است. همچنین میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای این الگوریتم نیز در جدول ۷ ارائه گردیده است.

همان‌طور که در شکل فوق واضح است میزان رهاسازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات تقریباً نصف مقدار تقاضا در طول دوره موردنظر است و تقریباً روند یکنواختی در طول تمام دوره برقرار است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار بهینه رهاسازی‌شده در سال اول ۲۵/۳۹ میلیون مترمکعب با میزان تقاضای ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب بوده که مقدار ۷۲/۹۱ میلیون مترمکعب تأمین نیاز انجام نشده است. در سال دوم که مقدار رهاسازی‌شده ۴۸/۷۱ میلیون مترمکعب به‌دست آمده که به‌اندازه ۴۹/۵۹ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته است. سال سوم به مقدار ۴۶/۱۶ میلیون مترمکعب رهاسازی بهینه با میزان تقاضای ثابت ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب که به مقدار ۵۲/۱۴ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته است. با مقایسه سه سال اول مشاهده می‌شود که در سال دوم عدم تأمین نیاز کم‌تری نسبت به دو سال

جدول ۶- مقادیر تابع هدف برای الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت برای سناریو اول.

**Table 6. The objective function value for particle swarm algorithm in five runs for the first scenario.**

5	4	3	2	1	تکرار Repeat
54.85	57.81	56.48	56.25	54.79	مقدار تابع هدف The value of the target function

منبع: یافته‌های تحقیق

دو اجرای چهارم و پنجم مقادیر تابع هدف به ترتیب برابر است با ۵۷/۰۸ و ۵۴/۸۵. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که در اجرای اول مقدار کم‌تری برای تابع هدف در مقایسه با اجراهای مذکور به دست آمده است.

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌گردد در ۵ اجرایی که بر روی الگوریتم ازدحام ذرات انجام شده است در اجرای اول مقدار تابع هدف ۵۴/۷۹، اجرای دوم مقدار ۵۶/۲۵ برای تابع هدف به دست آمده است، برای اجرای سوم هم مقدار تابع هدف ۵۶/۴۸ و برای

جدول ۷- مشخصات آماری عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت برای سناریو اول.

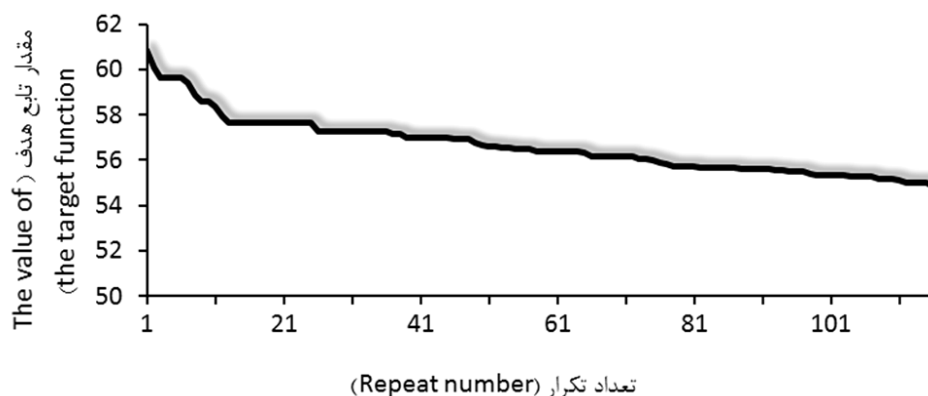
**Table 7. Statistical Profile particle swarm algorithm performance in five runs for the first scenario.**

بدترین مقدار تابع هدف The worst value of the target function	بهترین مقدار تابع هدف The best value of the target function	میانگین مقادیر تابع هدف Average values of target function
57.08	54.79	55.89

منبع: یافته‌های تحقیق

نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای برای سناریوی اول در شکل ۵ نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۷ میانگین مقادیر تابع هدف برابر ۵۵/۸۹۳۰، بهترین مقدار برای تابع هدف در این الگوریتم ۵۴/۷۹۰۸ و بدترین مقداری که برای تابع هدف به دست آمده است مقدار ۵۷/۰۸۱۵ می‌باشد.

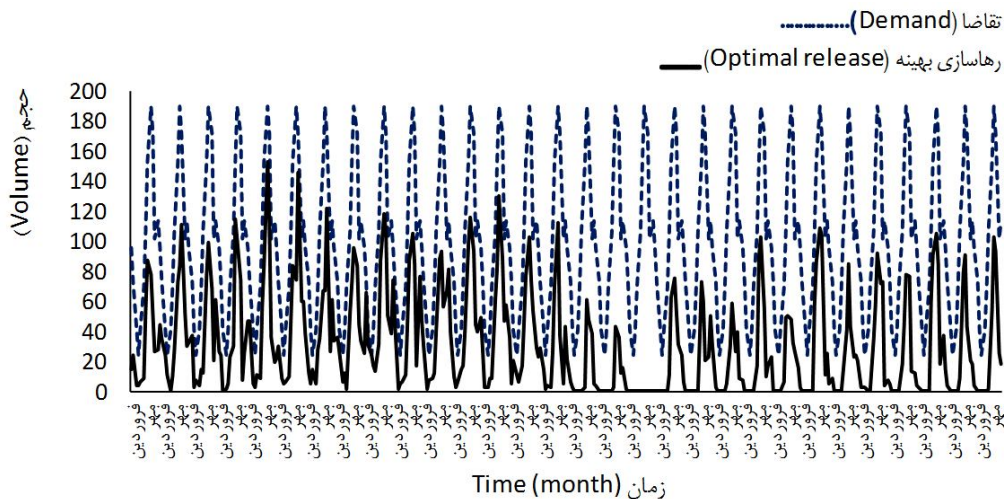


شکل ۵- نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای برای سناریو اول.

**Figure 5. Mode of operation of particle swarm algorithm with consideration of chain constraints for the first scenario.**

شکل ۶ رها سازی بهینه حاصل از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات و میزان تقاضا را تحت سناریوی اول نشان می دهد که این میزان رها سازی بدون تخطی از قیود بوده است.

همان طور که در شکل ۵ ملاحظه می گردد، عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات روند نوسان پذیری را در تکرارهای مختلف نشان می دهد که از یک تکرار به بعد تغییری در مقدار تابع هدف مشاهده نمی گردد.



شکل ۶- مقدار رها سازی بهینه خروجی الگوریتم ازدحام ذرات و تقاضا برای سناریو اول.

Figure 6. The optimal release yield of particle swarm algorithm and demand for the first scenario.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات برای سناریوی دوم: تثبیت ریزگردها: نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم در جدول ۸ نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۶ ملاحظه می گردد، مقدار رها سازی همانند حالت پایه که در قسمت های قبل مورد بحث قرار گرفته از میزان تقاضا تخطی نداشته است.

جدول ۸- مقادیر تابع هدف برای الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت برای سناریو دوم.

Table 8. The objective function value for particle swarm algorithm in five runs for the second scenario.

5	4	3	2	1	تکرار Repeat
97.70	97.51	98.21	97.86	98.02	مقدار تابع هدف The value of the target function

منبع: یافته های تحقیق

پنجم مقدار ۹۷/۷۰ برای تابع هدف به دست آمده است در مقایسه ای که بین پنج اجرای الگوریتم مذکور انجام شده مشاهده می گردد که در اجرای چهارم با

بر اساس نتایج جدول ۸ در اجرای اول مقدار ۹۸/۰۲، اجرای دوم مقدار ۹۷/۸۲، اجرای سوم مقدار ۹۸/۲۱، اجرای چهارم مقدار ۹۷/۵۱ و برای اجرای

مقدار تابع هدف ۹۷/۵۱ نسبت به اجراهای مذکور مقدار کمتری برای تابع هدف حاصل شده است. همچنین میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای این الگوریتم نیز در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹- مشخصات آماری عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت برای سناریو دوم.

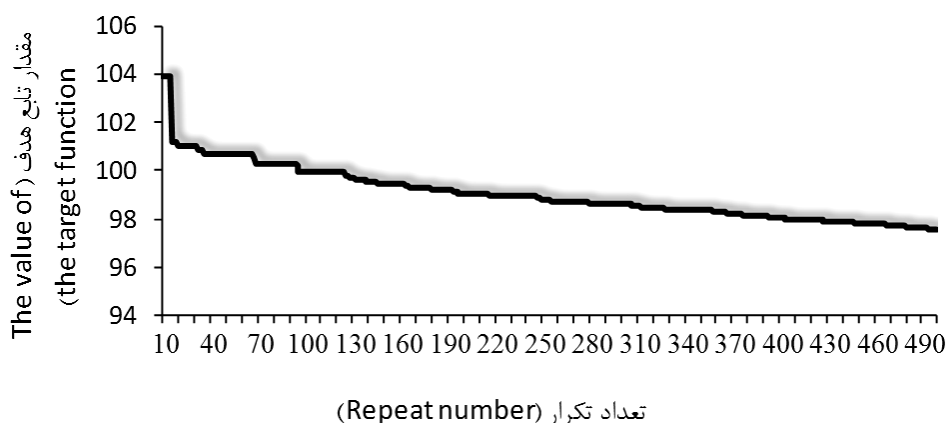
Table 9. Statistical Profile particle swarm algorithm performance in five runs for the second scenario.

بدترین مقدار تابع هدف The worst value of the target function	بهترین مقدار تابع هدف The best value of the target function	میانگین مقادیر تابع هدف Average values of target function
98.21	97.51	97.85

منبع: یافته‌های تحقیق

بدترین مقدار ۹۸/۲۱ برای تابع هدف به دست آمده است. نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۹ مشخص می‌باشد میانگین مقادیر تابع هدف، بهترین مقدار و بدترین مقدار برای تابع هدف را نشان می‌دهد که میانگین تابع هدف مقدار ۹۷/۸۵، بهترین مقدار ۹۷/۵۱ و



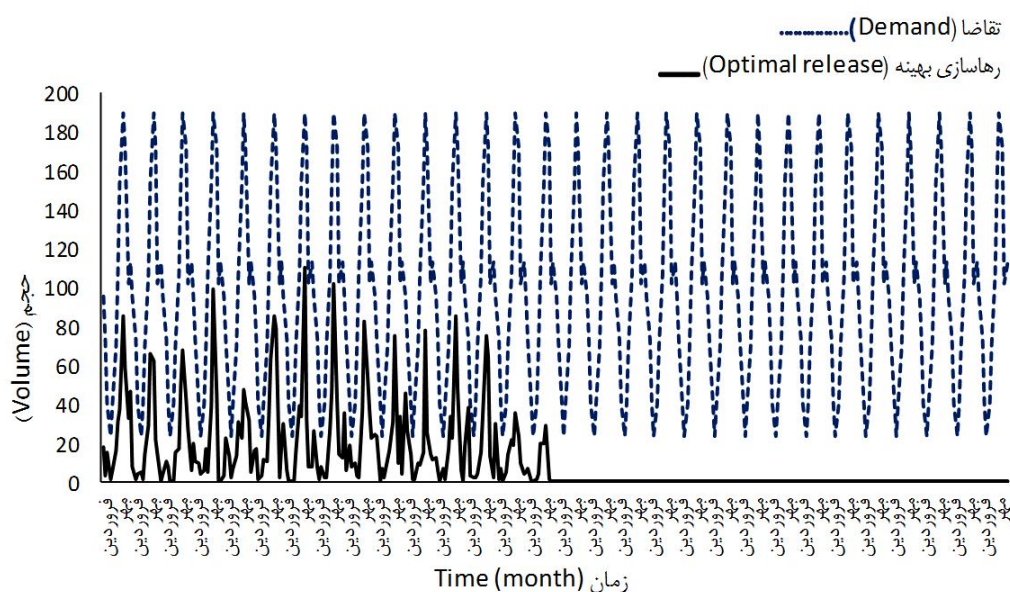
شکل ۷- نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای برای سناریو دوم.

Figure 7. Mode of operation of the particle swarm algorithm with consideration of chain constraints for the second scenario.

ازدحام ذرات و میزان تقاضا را نشان می‌دهد. که این میزان رهاسازی بدون تخطی از قیود بوده است.

با توجه به شکل ۷ ملاحظه می‌گردد که روند نوسان‌پذیری را در تکرارهای مختلف وجود دارد. شکل ۸ رهاسازی بهینه حاصل از اجرای الگوریتم





شکل ۸- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم ازدحام ذرات و تقاضا برای سناریو دوم.

Figure 8. Optimum Output Output of Particle Swarm Algorithm and Demand for Second Scenario.

بر اساس افق ۱۴۰۴: نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم در جدول ۱۰ نشان داده شده است. همچنین میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای این الگوریتم نیز در جدول ۱۱ ارائه شده است.

در این الگوریتم پس از مدتی دیگر رهاسازی برای بخش کشاورزی امکان پذیر نمی باشد و این سال، سال ۱۴۰۹ شمسی می باشد. این الگوریتم مقادیر رهاسازی بیشتر از صفر را تعیین نموده است. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات برای سناریوی سوم: توسعه سطح زیرکشت

جدول ۱۰- مقادیر تابع هدف برای الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت برای سناریو سوم.

Table 10. Objective function value for particle swarm algorithm in five runs for the third scenario.

تکرار Repeat	1	2	3	4	5
مقدار تابع هدف The value of the target function	64.06	64.51	65.34	64.21	65.30

منبع: یافته‌های تحقیق

برای تابع هدف به دست آمده است در مقایسه بین این پنج مرتبه اجرا ملاحظه می گردد که مقدار تابع هدف در اجرای اول کم تر از مقدار تابع هدف در اجراهای دیگر می باشد.

جدول ۱۰ مقادیر تابع هدف برای الگوریتم ازدحام ذرات در پنج مرتبه اجرا برای سناریو سوم را نشان می دهد، همان طور که واضح است در تکرار اول مقدار ۶۴/۰۶، تکرار دوم ۶۴/۵۱، تکرار سوم ۶۵/۳۴، تکرار چهارم ۶۴/۲۱ و در تکرار پنجم مقدار ۶۵/۳۰

جدول ۱۱- مشخصات آماری عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در پنج اجرای متفاوت برای سناریو سوم.

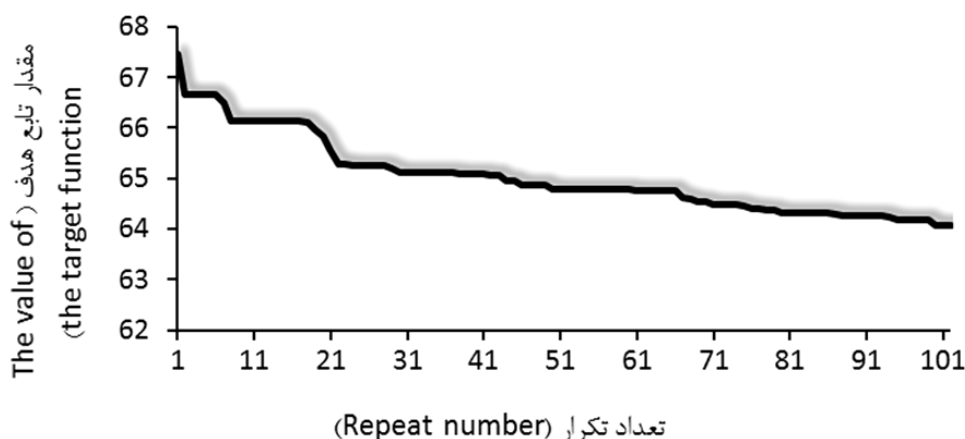
**Table 11. Statistical Profile particle swarm algorithm performance in five runs for the third scenario.**

بدترین مقدار تابع هدف The worst value of the target function	بهترین مقدار تابع هدف The best value of the target function	میانگین مقادیر تابع هدف Average values of target function
65.34	64.06	64.69

منبع: یافته‌های تحقیق

به‌عنوان بدترین مقدار تابع هدف مشخص شده است. نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۹ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۱۱ مشخص گردیده است، میانگین مقادیر تابع هدف، بهترین مقدار تابع هدف و بدترین مقدار تابع هدف ذکر شده است که میانگین مقادیر تابع هدف برابر ۶۴/۶۹، مقدار ۶۴/۰۶ به‌عنوان بهترین مقدار تابع هدف و مقدار ۶۵/۳۴

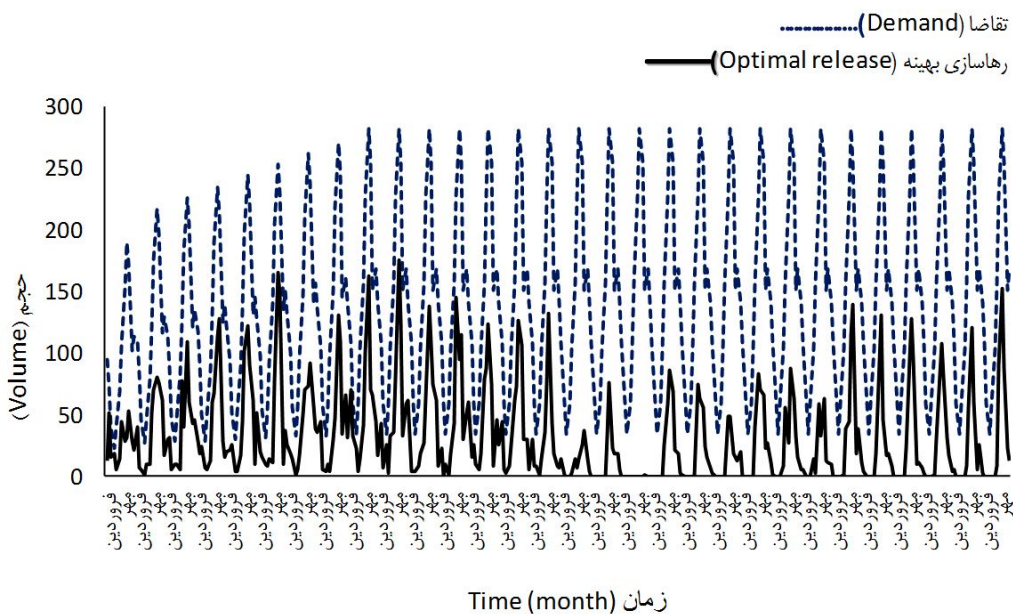


شکل ۹- نحوه عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای برای سناریو سوم.

**Figure 9. The mode of operation of the particle swarm algorithm by considering the constraints for the third scenario.**

که این میزان رهاسازی بدون تخطی از قیود بوده است.

شکل ۱۰ رهاسازی بهینه حاصل از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات و میزان تقاضا را نشان می‌دهد



شکل ۱۰- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم ازدحام ذرات و تقاضا برای سناریو سوم.

Figure 10. Optimum release rate of particle swarm algorithm and demand for the third scenario.

### نتیجه گیری کلی

در این پژوهش تخصیص بهینه منابع آب چاه‌نیمه سیستان تحت سناریوهای مدیریتی آب‌و‌خاک بر اساس کاربرد الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) مدنظر بوده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات مقدار بهینه رهاسازی شده در سال اول ۲۵/۳۹ میلیون مترمکعب با میزان تقاضای ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب که مقدار ۷۲/۹۱ میلیون مترمکعب باعث عدم تأمین نیاز شده است در سال دوم که مقدار رهاسازی شده ۴۸/۷۱ میلیون مترمکعب به‌دست آمده با میزان تقاضای ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب به‌اندازه ۴۹/۵۹ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته است. سال سوم به مقدار ۴۶/۱۶ میلیون مترمکعب رهاسازی بهینه با میزان تقاضای ثابت ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب که به مقدار ۵۲/۱۴ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته است با مقایسه سه سال اول مشاهده می‌شود که در سال دوم عدم تأمین نیاز کم‌تری نسبت به دو سال دیگر وجود دارد. در سال‌های هفدهم،

هجدهم و نوزدهم که مقدار بهینه رهاسازی برای این سال‌ها ۱۵/۱۷، ۱۳/۱۲، ۲۲/۹۹ میلیون مترمکعب با میزان تقاضای یکسان ۹۸/۳۱ می‌باشد. به‌ترتیب به‌میزان‌های ۸۳/۱۳، ۸۵/۱۸ و ۷۵/۳۱ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته‌اند. همچنین در سال‌های پایانی، سال ۲۹ مقدار رهاسازی بهینه ۲۳/۹۰، میزان تقاضا ۹۸/۳۱ و عدم تأمین نیاز ۷۴/۴۱ میلیون مترمکعب، سال ۳۰ مقدار رهاسازی ۱۸/۱۶ میلیون مترمکعب، میزان تقاضای ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب با عدم تأمین نیاز به مقدار ۸۰/۱۴ میلیون مترمکعب، سال ۳۱ مقدار رهاسازی بهینه ۲۱/۷۰ میلیون مترمکعب، میزان تقاضای ۹۸/۳۱ میلیون مترمکعب، عدم تأمین نیاز به مقدار ۷۶/۶۰ میلیون مترمکعب و در سال آخر که سال ۳۲ می‌باشد به مقدار ۱۴/۷۰ رهاسازی بهینه، ۹۸/۳۱ میزان تقاضا و به مقدار ۸۳/۶۰ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز دارد. مقایسه چهار سال پایانی نشان می‌دهد که در سال ۲۹ عدم تأمین نیاز کم‌تری نسبت به سه سال بعدی خود داشته است.

که کاربرد الگوریتم مورد استفاده می‌تواند تخصیص بهینه منابع آب را به خوبی انجام داده و مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌گردد که از مدل‌سازی‌های فراابتکاری در جهت تخصیص بهینه منابع آب در این منطقه استفاده گردد.

نتایج به دست آمده از اجرای سه سناریوی مدیریتی آب و خاک نشان داد که در صورت اجرای سناریوی اول و دوم، آب کم‌تری به بخش کشاورزی تخصیص داده خواهد شد. ریزگردها در منطقه مورد مطالعه به عنوان یک معضل جدی مطرح بوده که نتایج اجرای این سناریوی تثبیت ریزگردها نشان داد

#### منابع

1. Ajibola, A.S., and Adewumi, A.O. 2014. Review of Population Based Metaheuristics in Multi-objective Optimization Problems. *Int'l J. Com. Comm. Inst. Eng.* 1: 1. 126-128.
2. Azarafza, H., Rezaie, H., Behmanesh, J., and Besharat, S. 2013. Comparison of Results Using PSO, GA and SA Algorithms for Optimization of Single-Layer Systems (Case study: Dam Shahrchay, Urmia). *Water Soil J. (Agricultural Science & Technology)*. 26: 5. 1101-1108.
3. Ghimire, B., and Reddy, M. 2013. Optimal reservoir for hydropower production using particle swarm optimization and sustainability analysis of hydropower ISH J. Hydr. Engin. 19: 3. 196-210.
4. Medenlajoybari, A., and Mohammadpoor, H.R. 2014. An overview of meta-innovative algorithms and their capabilities. The first national conference on meta-innovative algorithms and its application in engineering sciences, its high-educated institution, Paradets, Mazandaran.
5. Mohammadi Aghdam, K., Mirzaie, A., Poormahmoud, N., and Poormahmoud Agha Baba, M. 2016. Optimization algorithm for jump dynamics particle group for designing water distribution networks. *J. Water Sewage*. 26: 4. 88-99.
6. Molden, D. 2008. Water for food water for life, a comprehensive assessment of water management in agriculture. *Irrigation and Drainage Systems*, 22: 1. 127-129.
7. Monem, M.J., and Nouri, M.A. 2011. Application of PSO optimization algorithm for optimal water distribution and distribution in irrigation networks. *Irrig. Drain. J. Iran*. 4: 1. 82-73.
8. Nedjah, N., and Mourelle, L. 2006. *Swarm Intelligent Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 184p.
9. Rahimi, A., Ghaderi, K., and Nezam Abadipoor, H. 2012. Comparison of the performance of the MOPSO algorithm with NSGA-II algorithm during operation. Proceedings of the first international conference of hydroelectric power plants, Tehran.
10. Rajabpoor, R., Taleb Beydokhti, N., and Rakshandehro, Gh. 2017. The proposed new algorithm (G-JPSO) and its development in optimal control of pumps in the distribution network. *J. Water Sewage*. 27: 6. 3-14.
11. Saeid Nia, A. 2017. Investigating the status of agricultural water resources in the world. Tehran, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Institute for Planning Research, Agricultural Economics and Rural Development, 18p.
12. Sardar Shahraki, A. 2017. Optimal allocation of water resources in the Hirmand basin using game theory and evaluation of management scenarios. Ph.D. in Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, 281p.
13. Sardar Shahraki, A., Shahraki, J., and Hashemi Mnfareh, S.A. 2017. Investigation of Management Approaches of Sistan Water Resources Utilization Using Fuzzy Analytical Hierarchy (FAHP). *Public Management Research*. 9: 31. 73-98.

14. Tavakoli Moghadam, R., Nourozi, N., Kalami, S., and Salamat Bakhsh, A. 2014. Metaheuristic theory and implementation in MATLAB. Islamic Azad University Press, Tehran, 328p.
15. Zeynali, M.J. 2015. Use of meta-innovative algorithms for optimal operation of the Droodzan dam reservoir. Master's thesis for water engineering. Faculty of Water and Soil, Zabol University, Zabol, 181p.
16. Zhang, Zh., Jiang, Y., Zhang, Sh., Geng, S., Wang, H., and Sang, G. 2014. An adaptive-particle swarm optimization algorithm for reservoir operation optimization. Applied Soft Computing. 18: 167-77.



## Optimal allocation of water resources in Sistan Chah-Nime reservoirs under the water and soil management scenario

S. Nouri<sup>1</sup>, \*J. Shahraki<sup>2</sup> and A. Sardar Shahraki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan,

<sup>2</sup>Associate Prof. of Economic Sciences, University of Sistan and Baluchestan,

<sup>3</sup>Assistant Prof. of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan

Received: 01.19.2018; Accepted: 09.03.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Due to the limited surface water resources and reservoir capacity of dams, scientific management and optimal utilization policy of reservoirs is essential and vital in meeting the water requirements. Also, considering the importance and utilization of water resources and the optimal allocation of this scarce resource among different uses in the Sistan region, it seems necessary to establish a plan to achieve this goal. In the studied area and in the country, so far, an investigation into the optimal allocation of water with the application of advanced PSO algorithm for optimization of Chah-Nime reservoirs has not been used. Therefore, in the present study, the optimal allocation of water resources in the Chah-Nimeh reservoirs have been investigated under three management scenarios (scenario of stabilization of micro-organisms, agricultural development and transfer of second drinking water pipeline from Chah-Nime reservoirs to the district of Zahedan) using the metamorphic technique of congestion Particles (PSO).

**Materials and Methods:** Particle Swarm Algorithm is one of the most widely used meta-algorithms, which is used in optimization problems. In the mass optimization algorithm of particles, there are organisms called particle and are spilled in the search space of a function that is intended to minimize (or optimize) its value. Each particle calculates the value of the target function in the position of the space in which it is located. In this research, the algorithm was used to allocate optimal water resources. The objective function in this research is to optimize and maximize the amount of water supply. Also, the constraints are related to the objective function, the systematic constraints, the constraints and limitations of the algorithm and the constraints and limitations of the reservoirs in the region.

**Results:** According to the results, the optimum release rate in 1995 (first year) was 39.35 million cubic meters, with the demand of 98.31 million cubic meters, which did not meet the required amount of 72.91 million cubic meters. The comparison of the last four years shows that in the year 29, lack of supply is less than the next three years. The scenario of stabilization of the microstats in the study area was considered as a serious project. The results of this scenario showed that the application of the used algorithm can properly optimize the allocation of water resources. According to the results, it is suggested that ultra-modern modeling can achieve more optimal allocation with the minimum error in the target function. Therefore, these multifunctional algorithms should be considered in managing the optimal allocation of resources and used in future planning and policy making.

**Keywords:** Chah-Nime reservoirs, Optimal allocation, Particle swarm algorithm, Water and soil management scenarios

---

\* Corresponding Author; Email: [j.shahraki@eco.usb.ac.ir](mailto:j.shahraki@eco.usb.ac.ir)