دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مقایسه عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در واسنجی روش تجربی کاهش سطح بر اساس نتایج هیدروگرافی مخزن سد دز

آرش آذری[۱]، میلاد اسدی[۲] و علی آرمان[۳]

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، (نویسنده مسوول: a.azari@razi.ac.ir)
۲- کارشناس ارشد منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۵

چکیده

منحنی‌های حجم- سطح- ارتفاع سدها یکی از مهم‌ترین ابزارها در برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت مخزن است. روش کاهش سطح یکی از روش‌هایی است که برای اصلاح این منحنی‌ها پس از رسوبگذاری مخزن بر اساس شرایط و آمار و اطلاعات ثبت شده در مخازن خارج کشور توسعه یافته‌اند و استفاده از همان روش‌ها در مورد سدهای داخل کشور بدون بهینه‌سازی ضرایب، خالی از اشکال نبوده و گاهی با خطای زیاد همراه است. هدف از این تحقیق واسنجی خودکار روش کاهش سطح بر اساس سه پارامتر موثر آن با استفاده از دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات و مقایسه نتایج با مطالعات هیدروگرافی مخزن می‌باشد. طوری که پیش‌بینی روند رسوبگذاری مخزن در روش کاهش سطح با نتایج هیدروگرافی مخزن در انتهای دوره کمترین اختلاف را داشته باشد. نتایج حاکی از برتری الگوریتم ازدحام ذرات در واسنجی روش کاهش سطح داشت. در این الگوریتم با انتخاب جمعیت اولیه ۵۰، زمان همگرایی و مقدار تابع هدف (ریشه میانگین مربعات خطای بین منحنی حجم- ارتفاع پیش‌بینی شده و واقعی مخزن) در آخرین تکرار به ترتیب ٤/٧ دقیقه و ۷ میلیون مترمکعب بود که نسبت به الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۹۲/٦ و ٤٨ درصد بهبود را نشان می‌دهد. در نهایت از مقادیر بهینه پارامترهای روش کاهش سطح برای تطابق بیشتر مقادیر حجم برآوردی و واقعی مخزن سد دز استفاده شد و نتایج نشان داد مقدار خطای پیش بینی کمتر از یک درصد است که با توجه به حجم مخزن ناچیز ارزیابی می‌گردد. بر این اساس می‌توان مدل تهیه شده را بدون هیچ تغییری در پارامترهای بهینه روش کاهش سطح با وارد نمودن اطلاعات مربوط به هیدروگرافی جدید مخزن برای پیش‌بینی روند رسوبگذاری در سال‌های آتی بکار برد. این امر با توجه به اهمیت اطلاع از تغییرات حجم مفید مخزن در سال‌های آتی و نقش آن در برنامه‌ریزی منابع آب آینده بسیار مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، روش کاهش سطح، هیدروگرافی مخزن

مقدمه

رسوبگذاری در مخزن سد یکی از مسائل مهمی است که در سدسازی حائز اهمیت می‌باشد. آب در هنگام ورود به مخزن سد به دلیل گل آلود بودن و همچنین دمای پایین تر نسبت به آب پشت مخزن در لایه تحتانی قرار گرفته و مواد معلق در آن به مرور زمان در پشت مخزن سد ته نشین می‌شوند. با گذشت زمان تجمیع رسوبات در پشت مخزن سد باعث کاهش حجم مفید و همچنین کاهش عمر مفید مخزن خواهد شد. در ایران به دلیل کمبود منابع آبی قابل استفاده، کاهش حجم مفید سدها می تواند اثرات زیان باری در تامین نیازها داشته باشد. مطابق با بررسی‌های صورت گرفته، در حدود ۳۰ درصد جریان رسوبی جهان پشت سدها به دام می‌افتد. همچنین کاهش سالانه توانایی ذخیره سدهای جهان به دلیل ته‌نشین شدن رسوبات تقریبا ۰/۵ تا ۱ درصد حجم مخزن می‌باشد. برای بسیاری از سدها این مقدار بالاتر از ۴ تا ۵ درصد بوده و در نتیجه اغلب سدها قسمت اصلی توانایی ذخیره آب خود را در طول ۲۵ تا ۳۰ سال از دست می‌دهند (۲۸). لذا تخمین میزان رسوب انباشته شده پشت مخزن سدها امری مهم به شمار می‌رود. به دلیل پیچیده بودن عملیات ته نشین شدن ذرات، پیش‌بینی آن امری مشکل می‌باشد. به منظور برآورد رسوب و پیش‌بینی نحوه پر شدن و کاهش حجم مفید مخزن سدها روش‌های متعددی به کار گرفته می‌شوند. طولابی و همکاران (۲۵) به منظور بررسی توانایی مدل WEPP در برآورد میزان رسوب خروجی از حوضه سولاچای، مقادیر به دست آمده در مدل را با مقادیر مشاهده ای مقایسه نمودند. مسکار و فضل اولی (۱۶) به منظور شبیه‌سازی روند رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی از مدل GSTARS3.0 استفاده نمودند .دانکو و همکاران (۶) عوامل موثر بر حجم رسوب انباشته شده در سد امیرکبیر را مورد بررسی قرار دادند.

یکی از روش‌های ساده و در عین حال پرکاربرد در این زمینه روش تجربی کاهش سطح[1] می‌باشد. محققان بسیاری به منظور پیش‌بینی نحوه رسوبگذاری در مخزن سدها از این روش استفاده کرده‌اند. عابدینی و طالب بیدختی (۱) به منظور مطالعه نحوه توزیع رسوب در سد درودزن از روش کاهش سطح استفاده نمودند. آنان مشاهده کردند که سطح رسوبات در مدت ۵۰ سال تا ارتفاع ۱۲/۲ متری بالا خواهد آمد. شعبانلو و همکاران (۲۲) نحوه توزیع رسوب در مخزن سد دز را با استفاده از روش‌های کاهش سطح و افزایش سطح مورد بررسی قرار دادند و همچنین مقدار رسوبات وارده به مخزن سد را تا سال ۱۴۰۰ برآورد کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که روش کاهش سطح بورلند و میلر نحوه توزیع رسوبات را با خطای کمتری نسبت به سایر روش‌ها تخمین می‌زند. موسوی و همکاران (۱۷) کارایی روش‌های تجربی کاهش و افزایش

1- Empirical Area Reduction Method

سطح را در نحوه توزیع رسوب در مخزن سد زاینده رود مورد بررسی قرار دادند نتایج تحقیق آنان حکایت از همخوانی بیشتر روش کاهش سطح بورلند و میلر با نحوه توزیع رسوب در مخزن این سد داشت. پور بوجاریان و بنی‌هاشمی (۲۱) با استفاده از روش‌های تجربی و عددی نحوه توزیع رسوب در سد سفید رود را مورد بررسی قرار دادند آنان مشاهده کردند که روش افزایش حجم کم‌ترین و روش مثلثاتی بیش‌ترین خطا را در این مورد دارند. موسوی و همکاران (۱۸) میزان خطای روش‌های کاهش و افزایش سطح در پیش‌بینی توزیع رسوب مخازن سدهای دز، درودزن و شهید عباسپور را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد حداکثر میزان خطا در تعیین عمق رسوب در پشت بدنه سد اتفاق می‌افتد و با افزایش تراز، میزان خطا کم‌تر می شود.

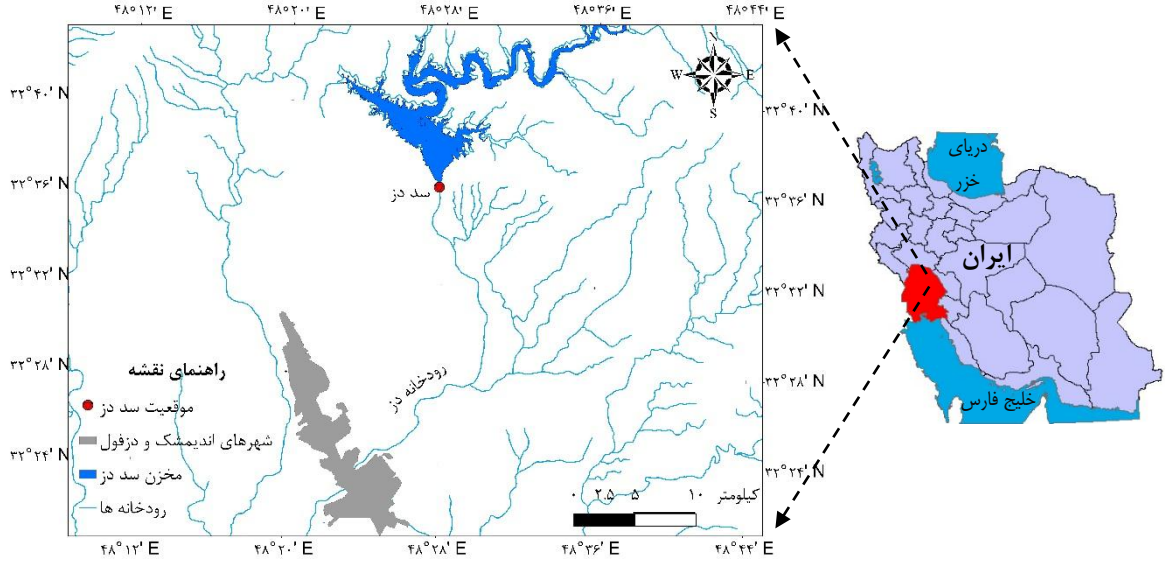
در بیشتر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه پارامترهای معادلات تیپ مخزن در طول محاسبات به صورت ضرایب ثابتی در نظر گرفته شده است. این ضرایب مستقیما در پیش‌بینی روند رسوبگذاری در مخزن دخالت دارند و بر این اساس منحنی‌های حجم سطح ارتفاع مخزن در طول دوره بهره‌برداری اصلاح می‌شود. یکی از راهکارها استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای تعیین ضرایب بهینه این معادلات است طوری که روند رسوب‌گذاری در مخزن با کم‌ترین خطا قابل پیش‌بینی باشد. در دهه‌های اخیر الگوریتم‌های تکاملی در مسائل بررسی و بهینه‌سازی مخازن کاربردهای زیادی یافته‌اند و محققان به منظور بررسی مسائل مربوط به مخازن از این الگوریتم‌ها استفاده می‌کنند دو نمونه از این الگوریتم‌ها که کاربرد بیش‌تری دارند و در مسائل مختلف مخازن خوب عمل کرده‌اند الگوریتم‌های ژنتیک و تجمع ذرات می‌باشند. کای و همکاران (۵) برای حل مسائل پیچیده غیر خطی بهره‌برداری از مخزن در دوره‌های زمانی مختلف از ترکیب الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی استفاده نمودند. داریان و ممتحن (۷) کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهره‌برداری از سیستم‌های چند مخزنه را مورد بررسی قرار دادند. نوروزی و همکاران (۲۰)، روش الگوریتم ژنتیک را جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم دو مخزنه، شامل سدهای گلستان و وشمگیر، واقع در حوضه گرگان رود به کار بردند. حیدری و همکاران (۱۱) با هدف بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی چندهدفه از منابع آب و مدیریت بهینه عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. موسوی رستگار و همکاران (۱۹) سیاست جیره‌بندی را با استفاده از الگوریتم‌های بازپخت، ژنتیک و رقابت استعماری برای بهره‌برداری بهینه از سد وشمگیر استان گلستان اجرا نمودند. ژانگ و همکاران (۳۰) برای بهینه‌سازی توان برقابی در یک سیستم چند مخزنه از الگوریتم PSO بهبود یافته (IPSO) که از ترکیب الگوریتم‌های PSO و ژنتیک ایجاد کردند استفاده نمودند. نتایج نشان داد این الگوریتم می تواند نتایجی موثر و کارآمد در پی داشته باشد. وسان (۲۷) در تحقیق خود به بررسی کارایی الگوریتم PSO در برنامه‌ریزی آبیاری بر روی منطقه مطالعاتی خود در راجستان هند پرداخت. نتایج حاصله نشان داد که الگوریتم PSO می‌تواند به عنوان یک الگوریتم موثر در بهره‌برداری بهینه از منابع آب استفاده شود.

یکی دیگر از قابلیت‌های الگوریتم‌های تکاملی واسنجی مدل‌های مختلف به منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مدل است. روش کاهش حجم نیز برای تخمین روند رسوبگذاری در مخزن از پارامترهایی بهره می‌گیرد که نتیجه مطالعه بر سدهای محدودی در آمریکاست و مسلماً برای تمامی سدها جوابگو نیست. لذا بهره‌گیری از روش‌های تکاملی برای یافتن مقادیر بهینه پارامترهای این روش برای منطقه مطالعاتی می‌تواند کارآمد باشد. عالی خانی و همکاران (۲) پارامترهای بهینه روش کاهش سطح را با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی به گونه‌ای به دست آوردند که مجذور میانگین مربعات خطای مدل و مقدار واقعی کم‌ترین اختلاف را داشته باشند. عمادی و همکاران (۱۰) با استفاده از الگوریتم ژنتیک پارامترهای بهینه روش کاهش سطح را برای سد کارده به دست آورده و نحوه توزیع رسوب برای سال‌های آتی را پیش‌بینی نمودند. در مطالعات اشاره شده سه پارامتر که شامل ضرایب معادله تیپ مخزن می‌باشند به عنوان متغیرهای تصمیم بکار گرفته شده‌اند و از یک الگوریتم بهینه‌ساز برای استخراج پارامترهای بهینه استفاده شده است. لذا هدف از این تحقیق واسنجی خودکار روش کاهش سطح بر اساس سه پارامتر ذکر شده بر اساس دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات و مقایسه نتایج با مطالعات هیدروگرافی مخزن می‌باشد. طوری که پیش‌بینی روند رسوبگذاری مخزن در روش کاهش سطح با نتایج هیدروگرافی مخزن در انتهای دوره کم‌ترین اختلاف را داشته باشد. با توجه به اهمیت منحنی‌های سطح حجم ارتفاع در برنامه‌ریزی و مدیریت مخزن و لزوم اصلاح مکرر آن در طول دوره بهره‌برداری مقایسه عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک و تجمع ذرات در واسنجی روش کاهش حجم از نظر دقت، زمان همگرایی و جواب‌های بهینه برای اصلاح این منحنی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

تحقیق حاضر بر روی مخزن سد دز انجام گرفته است. این سد بر روی رودخانه دز در ۲۳ کیلومتری شمال شرقی اندیمشک احداث گردیده است (شکل ۱). سد دز از نوع بتنی دو قوسی جدار نازک با ارتفاع ۲۰۳ متر، ارتفاع تاج ۳۵۴متر و طول تاج ۲۱۲ متر می‌باشد. گنجایش مخزن این سد ۲۸۵۶/۸ میلیون مترمکعب و حداکثر حجم دریاچه سد که در ارتفاع ۳۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد معادل ۳/۳ میلیارد متر مکعب است.



شکل ۱- موقعیت سد مورد مطالعه در ایران
Figure1. Location of the study dam in Iran

روش کاهش حجم

این روش یک شیوه ریاضی مبتنی بر اصول مشاهده‌ای در مخازن است که برای اولین بار توسط برلند و میلر (۴) به صورت مطالعه تجربی بر روی ۳۰ سد در آمریکا ارائه گردید و سپس توسط لارا (۱۵) اصلاح گردید. در این روش حجم کل رسوبات ورودی به مخزن سد در طول دوره طراحی طبق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$S = \int_{y_0}^{y_1} A dy + \int_{y_1}^{H} k a_P dy \qquad (۱)$$

در این رابطه y_0 تراز اولیه رسوب بستر در محل احداث سد (تراز صفر)، y_1 تراز بستر رودخانه در محل احداث سد بعد از انباشت رسوبات، A سطح مخزن در ارتفاعات مختلف، d_y جزء ارتفاع و H ارتفاع مخزن در تراز نرمال سد است. در رابطه (۱)، a_P سطح نسبی رسوب است که به ازای مقادیر مختلف عمق نسبی (p) طبق رابطه کلی (۲) به دست می‌آید.

$$a_P = cP^m(1-P)^n \qquad (۲)$$

که در آن، پارامترهای m، n و c ضرایب ثابتی هستند که با توجه به نوع مخزن تعیین می‌شوند. در جدول (۱) مقادیر مختلف پیشنهادی این پارامترها توسط برلند و مقادیر اصلاح شده آن بر اساس تحقیقات لارا آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای m، n و c در انواع مخازن (۲۶)
Table 1. The values of the parameters m, n, and c in different types of reservoirs (26)

روش	برلند			لارا		
نوع مخزن	c	m	n	c	m	n
تیپ ۱	۳/۴۱۷	۱/۵	۰/۲	۵/۰۴۷	۱/۸۵	۰/۳۶
تیپ ۲	۲/۳۲۴	۰/۵	۰/۴	۲/۴۸۷	۰/۷۵	۰/۴۱
تیپ ۳	۱۵/۸۸۲	۱/۱	۲/۳	۱۶/۹۶۷	-۱/۱۵	۲/۳۲
تیپ ۴	۴/۲۳۲	۰/۱	۲/۵	۱/۴۸۶	-۰/۲۵	۱/۳۴

همچنین k در رابطه (۱)، ضریب تناسب جهت تبدیل سطح نسبی رسوب به سطح واقعی است. برای یک مخزن مشخص مقدار k طبق رابطه (۳) از تقسیم سطح اولیه مخزن در تراز y_0 به سطح نسبی مخزن در تراز y_0 به دست می‌آید.

$$k = \left(\frac{A_0}{a_0}\right) \qquad (۳)$$

بر اساس نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده از تعداد ۳۰ مخزن در مراحل مختلف بهره‌برداری این استنتاج عمومی حاصل گردیده که انباشت و توزیع رسوب در ارتفاعات مختلف مخزن، رابطه مشخص با شکل مخزن داشته که بر اساس رابطه بین ارتفاع و ظرفیت مخزن تعریف و طبقه‌بندی می‌شود. در این روش مخازن به ۴ نوع تقسیم می‌شوند. مبنای تقسیم‌بندی مخازن پارامتر m است. پارامتر m عبارتست از عکس ضریب زاویه بهترین خط نمایشی ترسیمی ارتفاع مخزن برحسب ظرفیت مخزن بر روی کاغذ تمام لگاریتمی که عمق در محور قائم و حجم در محور افق رسم شده است. مقدار پارامتر m برای سدهای مختلف در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- تیپ‌های استاندارد مخازن (۴)

Table 2. Standard type of reservoirs (4)

درجه بندی مخزن	نوع مخزن	*پارامتر* m
تیپ ۱	دریاچه‌ای	۳/۵-۴/۵
تیپ ۲	دشت سیلابی	۲/۵-۳/۵
تیپ ۳	تپه ای	۱/۵-۲/۵
تیپ ۴	دره ای شکل کوهستانی	۱/۰-۱/۵

به‌طور کلی در روش کاهش سطح به صورت زیر عمل می‌شود:

۱- ابتدا به منظور تعیین ضریب شکل مخزن (m)، تغییرات عمق مخزن در مقابل ظرفیت آن به صورت لگاریتمی رسم می‌شود.

۲- مقدار توابع (۴) و (۵) محاسبه می شود.

$$h_{(p)} = \frac{1 - V_{(p)}}{a_{(p)}} \qquad (۴)$$

$$h'_{(p)} = \frac{S - V_{(p,H)}}{H \times A_{(p,H)}} \qquad (۵)$$

$h'_{(p)}$ = تابعی از عمق نسبی برای مخزن

$h_{(p)}$ = تابعی از عمق و سطح و حجم برای مخزن

$V_{(P,H)}$ = ظرفیت مخزن در تراز مفروض

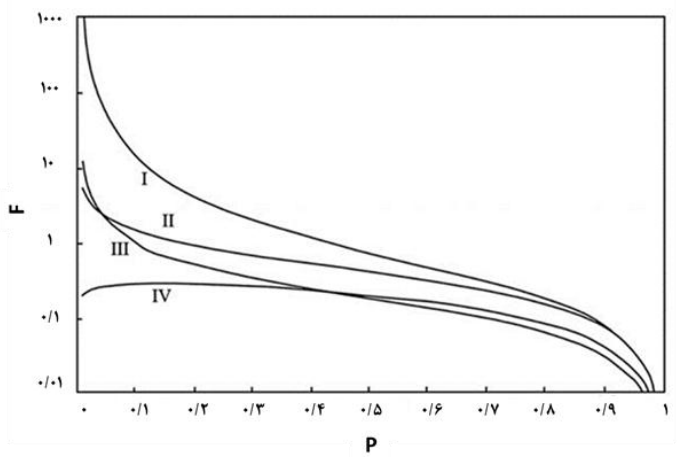
$A_{(P,H)}$ = سطح مخزن در تراز مفروض

S = کل رسوبات ورودی به مخزن سد در طول دوره طراحی

H = ارتفاع مخزن در تراز نرمال سد

۳- مقادیر تابع بی بعد $h'_{(p)}$ بر حسب عمق نسبی p و همچنین F-p بدست آمده از شکل ۲ در یک سیستم مختصات رسم می‌شود، محل تلاقی این دو منحنی تراز صفر جدید در محل مخزن است.

۴- با توجه به رقوم به دست آمده در گام قبلی و همچنین نمودار حجم-ارتفاع سد، حجم رسوب موجود زیر رقوم صفر مخزن مشخص می‌شود و در نهایت با توجه به رابطه اولیه حجم رسوب در عمق‌های مختلف محاسبه می‌گردد.



شکل ۲- منحنی تعیین عمق رسوب سدها (۲۴)

Figure 2. Curve to determine the depth of sedimentation of dams (24)

روش‌های بهینه‌سازی

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم جستجو برگرفته از طبیعت بیولوژیکی و فرآیند انتخاب طبیعی می‌باشد. اساس این روش مبتنی بر نظریه داروین که در محیط متغیر همواره موجوداتی ادامه حیات دارند که از همه پایدارترند، می‌باشد. در علم بیولوژی، تولید نسل با استفاده از یک سری کروموزوم صورت می‌گیرد که به صورت رشته کدگذاری می‌شوند که هر کروموزوم نیز از یک سری ژن تشکیل می‌شود که نشان‌دهنده خصوصیات ژنتیکی آن موجود می‌باشند (۲۹).

در الگوریتم ژنتیک یک جمعیت اولیه از جواب‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند ارزیابی هر یک از کروموزوم‌ها با استفاده از تابع هدف و محدودیت‌ها صورت می‌گیرد. از جامعه تولید شده اولیه تعدادی از کروموزوم‌های برتر (جواب‌های بهتر) که مقدار تابع هدف (تابع برازش) آن‌ها در مسائل حداکثرسازی، بیشتر و در مسائل حداقل سازی، کمتر است به عنوان کروموزوم های والد برای تولید نسل بعد انتخاب می‌شوند. سپس این کروموزوم ها به صورت تصادفی در دسته‌های دوتایی قرار گرفته و نسل بعد را تولید می‌کنند (۱۴). با فرض P(t) برای والدین و C(t) برای فرزندان نسل حاضر t، ساختار عمومی الگوریتم‌های ژنتیک به این ترتیب است.

```
Begin
T=0
Initialize P(t)
Evaluate C(t)
While termination conditions not met do
Recombine P(t) to yield C(t)
Evaluate C(t)
Select P(t+1) from p(t) and C(t)
t=t+1
End While
End Begin
```

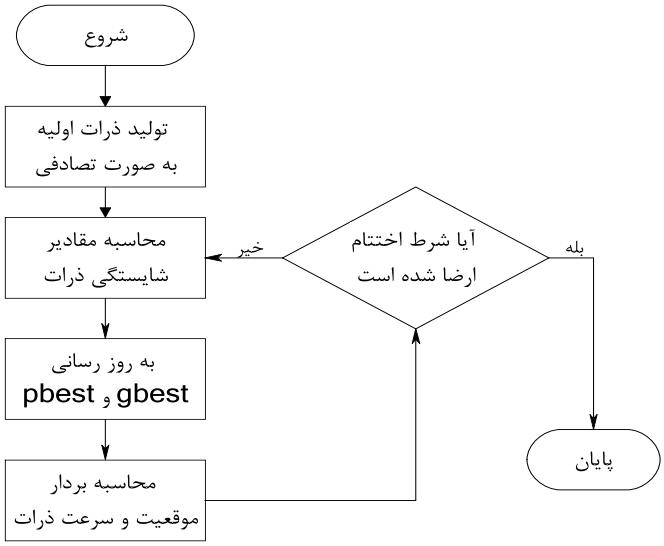
الگوریتم تجمعی ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی تجمعی ذرات[1] یکی از روش‌های الگوریتم‌های هوش جمعی[2] می‌باشد که توسط کندی و ابرهارت (۱۲) معرفی گردید. این الگوریتم نیز مانند سایر الگوریتم‌ها که دارای منشا طبیعی هستند از رفتار پرندگان و ماهی‌ها در طبیعت الهام گرفته شده است. اساس این الگوریتم بر جستجو و تکرار در محیط مساله استوار است. در این الگوریتم هر جواب به صورت یک پرنده یا ذره[3] در نظر گرفته می‌شود که در محیط مساله در حال جستجو است. فلوچارت ساده‌ای از مراحل این الگوریتم در شکل (۳) نشان داده شده است. در این روش حرکت هر ذره تحت تاثیر سه عامل قرار دارد که عبارتند از:

۱- موقعیت کنونی ذره

۲- بهترین موقعیتی که ذره تا کنون داشته است (pbest)

۳- بهترین موقعیتی که تمام ذرات تا کنون به آن رسیده‌اند. (gbest)



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم PSO
Figure 3- Flowchart of PSO algorithm

کندی و ابرهارت (۱۳) از روابط (۶) و (۷) برای الگوریتم PSO در مقاله خود استفاده نمودند که شکل اولیه این الگوریتم می‌باشد. در یک مساله D بعدی موقعیت i امین ذره در جمعیت با $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})^T$ و سرعت این ذره را با $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})^T$ نمایش می‌دهند. اگر شماره تکرار را با n نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$V_{id}^{n+1} = V_{id}^{n} + c_1 r_1^n (pbest_{id}^n - X_{id}^n) + c_2 r_2^n (gbest_d^n - X_{id}^n) \quad (۶)$$

$$X_{id}^{n+1} = X_{id}^{n} + V_{id}^{n+1} \quad (۷)$$

شی و ابرهارت (۲۳) برای ایجاد بهبود در همگرایی الگوریتم PSO این روابط را به شکل رابطه‌های (۸) و (۹) تغییر دادند.

$$V_{id}^{n+1} = \chi.[w.V_{id}^{n} + c_1 r_1^n (pbest_{id}^n - X_{id}^n) + c_2 r_2^n (gbest_d^n - X_{id}^n)] \quad (۸)$$

$$X_{id}^{n+1} = X_{id}^{n} + V_{id}^{n+1} \quad (۹)$$

که در روابط فوق χ ثابت انقباض نام دارد که برای کنترل اندازه‌ی سرعت می‌باشد مقادیر بزرگ آن باعث افزایش فضای تصمیم خواهد شد و بالعکس، c_1 و c_2 ضرایب ثابت و مثبت می‌باشند که معمولا مقدار آنها بین ۱/۵ تا ۲ در نظر گرفته می‌شود با انتخاب مقداری کم برای این دو پارامتر همگرایی کند خواهد شد و با اختصاص عددی بزرگتر به این دو ضریب سرعت همگرایی افزایش خواهد یافت و پارامترهای r_1 و r_2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه‌ی (۰/۱) می‌باشند. برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم مقدار نهایی سرعت ذره در بازه $[-V_{max}, V_{max}]$ محدود می‌شود. پارامتر w وزن اینرسی نامیده می‌شود که برای کنترل تاثیر سرعت های قبلی در همگرایی الگوریتم می‌باشد.

1- Particle Swarm Optimization 2- Swarm Intelligence 3- Particle

ترکیب الگوریتم بهینه‌ساز و روش کاهش سطح

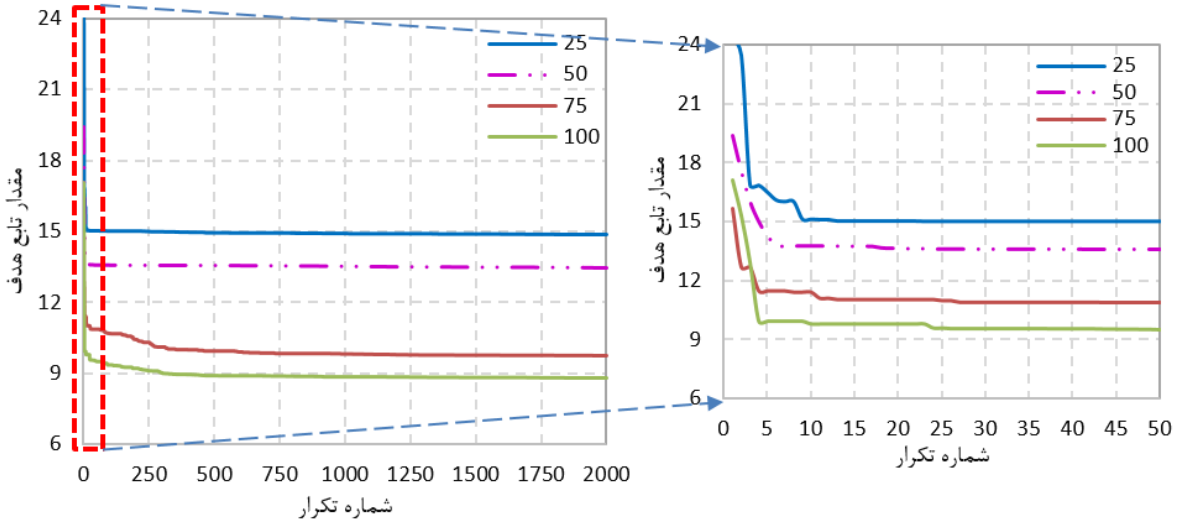
در نهایت با انتخاب سه پارامتر تاثیر گذار در روش کاهش سطح (سه پارامتر m، n و c در معادله کلی تیپ مخزن) به عنوان متغیرهای تصمیم و تابع هدف بر اساس رابطه (۱۰) در بدنه هر کدام از الگوریتم‌های بهینه‌ساز واسنجی این روش در محیط متلب انجام شد.

$$F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(V_{pi} - V_{oi})^2}{n}} \qquad (۱۰)$$

که در آن V_{pi} حجم پیش‌بینی شده مخزن بر اساس روش کاهش سطح در تراز iام، V_{oi} حجم مشاهداتی مخزن در تراز iام بر اساس هیدروگرافی مخزن، n تعداد ترازهای محاسباتی در منحنی حجم- سطح- ارتفاع مخزن و F مقدار تابع هدف محاسباتی می‌باشد. در هر کدام از الگوریتم‌ها با انتخاب جمعیت‌های مختلف و شرط توقف رسیدن به ۲۰۰۰ تکرار و در نظر گرفتن قیودی مانند آستانه قابل قبول برای هر یک از متغیرهای تصمیم و حداقل و حداکثر ظرفیت مخزن، بهینه‌سازی ضرایب فوق صورت گرفت و نتایج حاصل از دو الگوریتم با هم مقایسه شد.

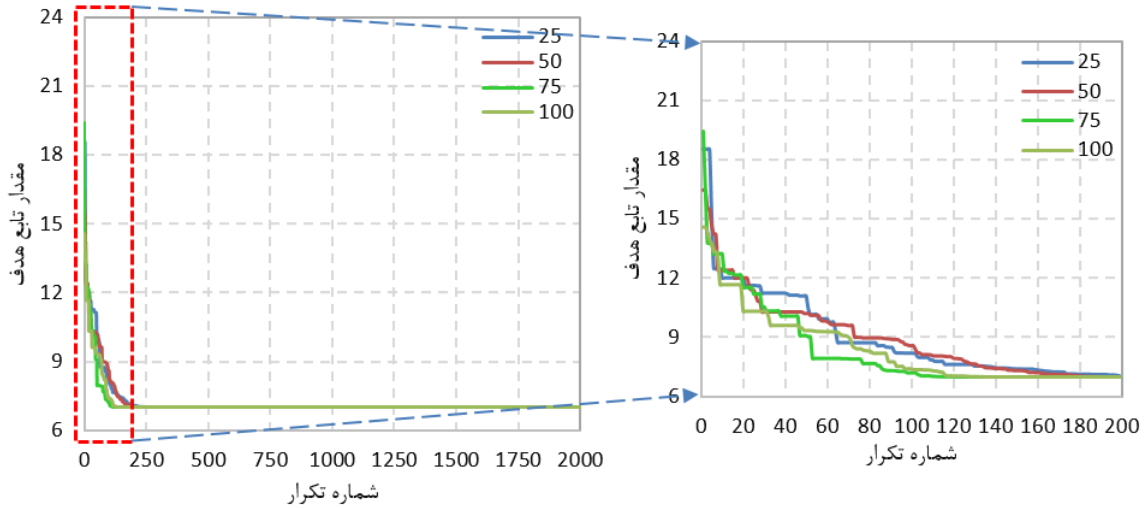
نتایج و بحث

بر اساس مطالعات هیدروگرافی مخزن سد دز در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۹ برای واسنجی روش کاهش سطح و استخراج متغیرهای بهینه این روش هر یک از الگوریتم‌های بهینه‌ساز ژنتیک و اجتماع ذرات با روش کاهش سطح در محیط متلب ترکیب و اجرا شد. شکل‌های (۴) و (۵) تغییرات تابع هدف در هر یک از این الگوریتم‌ها را به ازای انتخاب جمعیت‌های اولیه مختلف نشان می‌دهد. در هر دو روش شرط توقف رسیدن به ۲۰۰۰ تکرار در نظر گرفته شد.



شکل ۴- تغییرات تابع هدف تا ۲۰۰۰ تکرار به ازای اندازه جمعیت‌های مختلف در الگوریتم ژنتیک

Figure 4. The objective function changes up to 2000 iteration for the different population size of the genetic algorithm



شکل ۵- تغییرات تابع هدف تا ۲۰۰۰ تکرار به ازای اندازه جمعیت‌های مختلف در الگوریتم PSO

Figure 5. The objective function changes up to 2000 iteration for the different population size of the PSO algorithm

شکل (۴) نشان می‌دهد در تمامی جمعیت‌های اولیه منتخب در روش الگوریتم ژنتیک، بیش‌ترین تغییرات تابع هدف تا تکرار ۵۰ صورت می‌گیرد و بعد از آن روند کاهشی تابع هدف بسیار کند پیش می‌رود تا اینکه در هر کدام از جمعیت‌های انتخابی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ به ترتیب در تکرارهای ۱۸۷۰، ۱۹۸۰، ۱۹۶۵ و ۱۹۵۰ تابع هدف به حداقل مقدار خود می‌رسد و پس از این تکرار ها روند کاهش آن متوقف می‌شود. این شکل نشان می‌دهد جمعیت اولیه کروموزوم‌ها نقش مهمی در کاهش مقدار تابع هدف داشته طوری که هر چه مقدار جمعیت اولیه افزایش یابد، جواب نهایی الگوریتم پس از ۲۰۰۰ تکرار کم‌تر خواهد بود. علی‌رغم اهمیت این موضوع، نقش جمعیت اولیه در تحقیقات عمادی و همکاران (۱۰) در کاربرد الگوریتم ژنتیک برای واسنجی روش کاهش سطح در سد کارده مورد توجه قرار نگرفته است. لذا در این روش با انتخاب جمعیت اولیه ۱۰۰، کم‌ترین مقدار تابع هدف حاصل خواهد شد طوری که این مقدار در آخرین تکرار الگوریتم ۸/۸۲۹ می‌باشد. بر این اساس مقدار بهینه متغیرهای تصمیم در آخرین تکرار الگوریتم ژنتیک در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- مقدار بهینه متغیرهای تصمیم در آخرین تکرار الگوریتم ژنتیک (جمعیت اولیه ۱۰۰)
Table 3. The optimal value of decision variables in the last iteration of the genetic algorithm (Initial population 100)

نام پارامتر	n	m	c
مقدار بهینه	۲/۷۵۵	۰/۸۲۵	۲/۳۸۳

مطابق با شکل (۵) در تمامی جمعیت‌های اولیه منتخب در روش الگوریتم ازدحام ذرات، بیشترین تغییرات تابع هدف تا تکرار ۲۰۰ صورت می‌گیرد و بعد از آن روند کاهشی تابع هدف بسیار کند پیش می‌رود تا اینکه در هر کدام از جمعیت‌های انتخابی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ به ترتیب در تکرارهای ۵۶۵، ۲۱۴، ۱۵۸ و ۱۵۲ تابع هدف به حداقل مقدار خود می‌رسد و پس از این تکرارها روند کاهش آن متوقف می‌شود. این شکل نشان می‌دهد جمعیت اولیه کروموزوم‌ها در این الگوریتم نیز در کاهش مقدار تابع هدف نقش دارد. اما بر خلاف روش الگوریتم ژنتیک که همگرایی (عدم تغییر در تابع هدف) در آن در تکرارهای آخر اتفاق می‌افتد، در این الگوریتم، مدل در تکرارهای پایین همگرا می‌گردد. در تمامی جمعیت‌های انتخابی مقدار تابع هدف در زمان همگرایی برابر با ۷/۰۰۳ می‌باشد که نشان می‌دهد الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک توانسته با تعداد تکرار بسیار پایین‌تر جواب بهتری را پیدا کند. جدول (۴) مقایسه این دو الگوریتم را در استخراج پارامترهای بهینه روش کاهش سطح نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات در استخراج پارامترهای بهینه روش کاهش سطح
Table 4. Comparison of GA and PSO in extracting optimal parameters of area reduction method

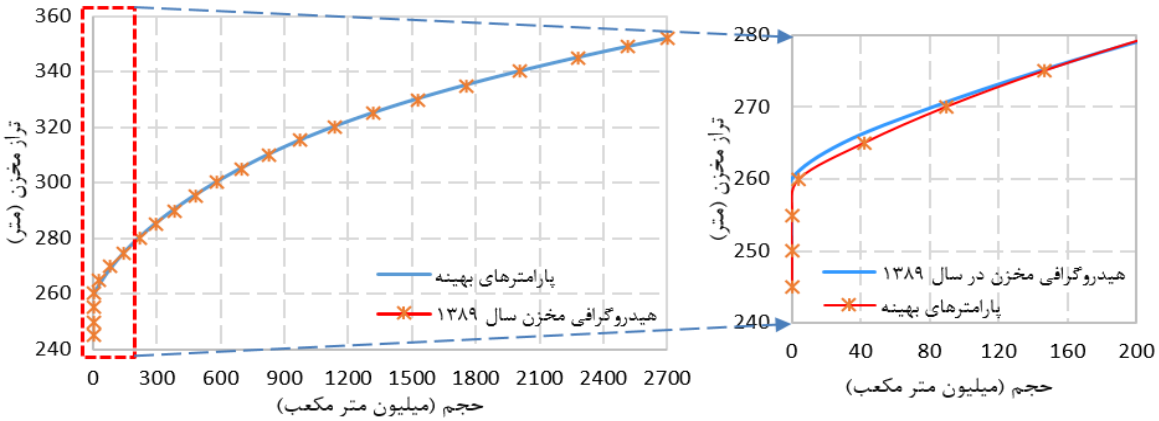
تعداد جمعیت	شماره تکرار همگرایی		زمان همگرایی (دقیقه)		کمترین مقدار تابع هدف (بهترین جواب)	
	ازدحام ذرات	ژنتیک	ازدحام ذرات	ژنتیک	ازدحام ذرات	ژنتیک
۲۵	۵۶۵	۱۸۸۰	۶/۲	۴۲/۴	۷/۰۰۴	۱۴/۸۵۸
۵۰	۲۱۴	۱۹۶۷	۴/۷	۶۴	۷/۰۰۴	۱۳/۴۶۳
۷۵	۱۵۸	۱۹۹۰	۵/۵	۶۹/۱	۷/۰۰۴	۹/۷۴۷
۱۰۰	۱۵۲	۱۹۹۸	۸/۴	۱۳۶/۷	۷/۰۰۴	۸/۸۲۹

بطور کلی جدول (۴) نشان می‌دهد الگوریتم ازدحام ذرات توانسته در جمعیت‌های انتخابی با تعداد تکرار پایین‌تر و در زمان کمتری مسئله را حل نماید و همچنین جواب مناسب‌تری را ارائه دهد. بنابراین در این تحقیق نیز در نهایت متغیرهای تصمیم بهینه ارائه شده توسط این الگوریتم به عنوان پارامترهای بهینه روش کاهش سطح استفاده شد. همانطور که مشخص است این پارامترها با پارامترهای توصیه شده برای مخزن تیپ ۲ که توسط برلند (۴) و لارا (۱۵) طبق جدول (۱) پیشنهاد شده است، متفاوت است. مطابق با جدول (۴)، در الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن جواب نهایی و زمان رسیدن به همگرایی، تعداد جمعیت اولیه ۵۰ با زمان حل ۴/۷ دقیقه برای حل مسئله مناسب است. بر این اساس مقدار بهینه متغیرهای تصمیم در هنگام همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵- مقدار بهینه متغیرهای تصمیم در هنگام همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات (با جمعیت اولیه ۵۰)
Table 5. The optimal value of decision variables in the convergence of the PSO algorithm (Initial population 50)

نام پارامتر	n	m	c
مقدار بهینه	۰/۶۶۲	-۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۳۰۴

با اعمال این پارامترهای بهینه در معادلات روش کاهش سطح، حجم مخزن در ترازهای مختلف توسط این روش برای سال ۱۳۸۹ تخمین زده شده که در شکل (۶) با نتایج حاصل از هیدروگرافی مخزن سد در این سال مقایسه شده است. این شکل تطابق خوبی را بین منحنی پیش‌بینی شده بر اساس پارامترهای بهینه روش کاهش سطح با منحنی واقعی حجم ارتفاع مخزن (طبق هیدروگرافی مخزن) نشان می‌دهد. مقدار تابع هدف که ریشه میانگین مربعات خطا بین این دو منحنی است در اصل ۷ میلیون متر مکعب محاسبه شد که با توجه به ظرفیت مخزن در تراز حداکثر (۲/۸۵ میلیارد متر مکعب) این مقدار ناچیز می‌باشد.



شکل ۶- نمودار حجم- ارتفاع مخزن سد دز پیش‌بینی شده و واقعی در سال ۱۳۸۹
Figure 6. Predicted and real volume- elevation curve of Dez dam reservoir (in 2010)

به طور کلی با توجه به اینکه منحنی‌های حجم- سطح- ارتفاع کاربرد وسیعی در برنامه‌ریزی منابع آب و استخراج منحنی فرمان سدها دارند و نظر به اینکه با گذشت زمان، رسوبات در پشت مخزن سدها انباشته می‌شوند، لذا حجم مفید و همچنین عمر مفید مخزن کاسته شده و این منحنی‌ها با گذر زمان نیاز به اصلاح خواهند داشت. واسنجی روش کاهش سطح و استخراج پارامترهای بهینه این روش اهمیت ویژه‌ای در پیش‌بینی روند رسوبگذاری در مخازن داشته و مستلزم انتخاب روش مناسب‌تر برای بهینه‌سازی این پارامترها می‌باشد. در این راستا در این پژوهش دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از قابلیت این الگوریتم‌ها در کاهش خطای پیش‌بینی روند رسوبگذاری در مخزن بود. آذری و همکاران (۳)، عمادی و همکاران (۹) و عمادی و کاکویی (۸) نیز به نتایج مشابهی در تایید کارایی الگوریتم‌های رقابت استعماری، بازپخت فلزات و تکامل تصادفی جوامع در کاهش خطای پیش‌بینی توزیع رسوب سدهای مخزنی دز و کرج دست یافتند. مقایسه دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات در تحقیق حاضر، برتری الگوریتم ازدحام ذرات در واسنجی روش کاهش سطح را به اثبات رساند. نتایج حاصل از دقت محاسباتی در روش ازدحام ذرات در این تحقیق، مشابه با نتایج حاصل از کاربرد الگوریتم رقابت استعماری در تحقیقات آذری و همکاران (۳) می‌باشد. اما در تعداد جمعیت برابر، زمان همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات کمتر از الگوریتم رقابت استعماری است.

استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات، چه در زمان همگرایی و چه در مقدار تابع هدف (ریشه میانگین مربعات خطای بین منحنی حجم- ارتفاع پیش‌بینی شده و واقعی مخزن) در آخرین تکرار نتایج بهتری به دنبال داشت. در نهایت از مقادیر بهینه پارامترهای روش کاهش سطح برای تطابق بیشتر مقادیر حجم برآوردی و واقعی مخزن سد دز استفاده شد و نتایج نشان داد مقدار خطای پیش‌بینی در حدود ۷ میلیون متر مکعب است که با توجه به حجم مخزن ناچیز ارزیابی می‌گردد. بر این اساس می‌توان مدل تهیه شده را بدون هیچ تغییری در پارامترهای بهینه روش کاهش سطح با وارد نمودن اطلاعات مربوط به هیدروگرافی جدید مخزن برای پیش‌بینی روند رسوبگذاری در سال‌های آتی بکار برد. این امر با توجه به اهمیت اطلاع از تغییرات حجم مفید مخزن در سال‌های آتی و نقش آن در برنامه‌ریزی منابع آب آینده بسیار مفید خواهد بود.

منابع

1. Abedini, M. and N. Talebbidokhti. 1989. Distribution and control of sedimentation in dam reservoirs. First Iranian Conference on Hydrology. Mahab Ghods, Tehran, 791-820 pp (In Persian).
2. Alikhani, K., K. Qaderi and M. M. Ahmadi. 2013. Determination of optimal parameters of empirical area reduction method in Karaj dam sediment distribution. 9th International River Engineering Conference. Ahwaz, 8 pp (In Persian).
3. Azari, A., S. Soori and H. Bonakdari. 2017. The Application of Imperialist Competitive Algorithm in Determining the Optimal Parameters of Empirical Area Reduction Method to Predict the Sedimentation Process in Dez Dam. Geography and Sustainability of Environment, 7(24): 1-14 (In Persian).

4. Borland, W.M. and C.R. Miller. 1958. Distribution of sediment in large reservoirs. Journal of the Hydraulics Division -ASCE, 84: 1-18.
5. Cai, X., D.C. McKinney and L.S. Lasdon. 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach. Advances in Water Resources, 24(6): 667-676.
6. Dankoo, A., J. Samani, M.Z. Ahmadi and A. Emadi. 2011. Uncertainty analysis for estimation of sediment volume in dam reservoirs (case study: amir kabir dam). Journal of Watershed Management Research, 1(2): 84-94 (In Persian).
7. Dariane, A.B. and S. Momtahen 2009. Optimization of multireservoir systems operation using modified direct search genetic algorithm. Journal of Water Resources Planning and Management, 135(3): 141-148.
8. Emadi, A.R. and S. Kakouei. 2014. Determination of Optimal Parameters of Empirical Area Reduction Method in Karaj Reservoir Dam using SCE, Water & Soil Conservation, 21: 179-195.
9. Emadi, A.R., M. Khademi and A. Mohamadiha. 2013. Application of Simulated Annealing Algorithm in Calibration of Area Reduction Method in Sediment Distribution of Dams Reservoir (Case Study: Karaj Dam), Water and Soil Conservation, 4: 173-188.
10. Emadi, A., A. Mohammadiha and J. Mohammad Vali Samani. 2011. Mathematical model for auto calibration of area-reduction method in sediment distribution of dam reservoir using genetic algorithm. Journal of Water and Soil. 25(2): 356-364 (In Persian).
11. Heydari, F., B. Saghafian and M. Delavar. 2016. Development of conjunctive surface and ground water use model with emphasis on the quality and quantity of water resources. Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(4): 687-699 (In Persian).
12. Kennedy, J. and R. Eberhart. 1995. Particle swarm optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1942-1945.
13. Kennedy, J. and R.C. Eberhart (1997, October). A discrete binary version of the particle swarm algorithm. in systems, man and cybernetics, 1997. Computational Cybernetics and Simulation. 1997 IEEE International Conference, 5: 4104-4108 IEEE.
14. Kiafar, H., A.A. Sadraddini, A.H. Nazemi and H. Sanikhani. 2011. Optimal water allocation for Sufi-chay irrigation and drainage network in east azerbaijan province of iran using genetic algorithm. Journal of Irrigation & Water Engineering, 2(5): 52-61 (In Persian).
15. Lara, J. M. 1962. Revision of the procedure to compute sediment distribution in large reservoirs, US Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
16. Meskar, H. and R. Fazl-oula. 2013. Investigation of sedimentation pattern in the shahid rajaee reservoir using GSTAR3.0 numerical model. Journal of Watershed Management Research, 4(7): 16-29 (In Persian).
17. Mousavi, S.F., M. Haidarpour and S. Shabanlou. 2007. Investigation of sediments in the zayandehrud reservoir through areaincrement and areareduction empirical models. Journal of Water Wastewater, 57: 76-82 (In Persian).
18. Mousavi, S., J. Mohammadzadeh Habili and M. Heidarpour. 2009. Evaluation of error in area-increment and area-reduction methods to predict sediment distribution of Dez, Dorudzan and Shahid abbaspour reservoirs. Journal of Water and Soil Science, 12(45): 553-564 (In Persian).
19. Mousavi Rastegar, Z., A. Mohammadreza Poor, O. Bozorg Haddad and M. Ibrahimi. 2017. Comparison of hedging policy using metahuristic algorithm and standard operation policy in optimal operation of voshmgir reservoir dam in during drought. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(2): 323-333 (In Persian).
20. Noruzi, B., Gh.A. Barani, M. Meftah Halaghi and A.A. Dehghani. 2011. A multi-reservoir system operation optimization using multi population genetic algorithms (case study:golestan and voshmgir reservoirs). Journal of Water and Soil Conservation, 18(4): 43-62 (In Persian).
21. Pour Bourjarian, A. and M.A. Bani Hashemi. 2009. Investigation of sefidrood dam reservoir sedimentation trend using experimental and numerical relations and methods. M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran (In Persian).
22. Shabanloo, S., S.F. Mousavi and M. Heidarpour. 2002. Assessing the amount of sediment entering Dez reservoir and its distribution pattern so far and estimating reservoir status in the future. 6th International River Engineering Congress, Feb. 2002, Shahid Chamran University, Ahwaz, 55-65 (In Persian).
23. Shi, Y. and R. C. Eberhart. 1998. Parameter selection in particle swarm optimization. In International Conference on Evolutionary Programming, 591-600. Springer Berlin Heidelberg.
24. Strand, R.I. and E.L. Pemberton. 1982. Reservoir sedimentation. US Bureau of Reclamation, Denver.
25. Tulabi, S., M. Abedini and A. Esmali Ouri. 2015. The Evaluation efficiency of WEPP model to predict sediment yield in sulachai watershed-ardabil. Journal of Watershed Management Research, 6(12): 184-192 (In Persian).
26. United States Bureau of Reclamation. 1962. Revision of the procedure to compute sediment distribution in large reservoirs. Sedimentation Section, Hydrology Branch.
27. Vasan, A. 2013. Optimal reservoir operation for irrigation planning using the swarm intelligence algorithm. Metaheuristics in Water, Geotechnical and Transport Engineering, 147-165.
28. Verstraeten, G., J. Poesen, J. de Vente and X. Koninckx. 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiqualitative analysis using reservoir sedimentation rates, Geomorphology, 50(4): 327-348.
29. Vose, M.D. 1999. The simple genetic algorithm: foundations and theory, MIT Press, Cambridge, MA. 251 pp.
30. Zhang, J., Z. Wu, C.T. Cheng and S.Q. Zhang. 2011. Improved particle swarm optimization algorithm for multi-reservoir system operation. Water Science and Engineering, 4(1): 61-74.

Comparing the Performance of Genetic and Particle Swarm Algorithms in Calibration of Experimental Area Reduction Method Based on Hydrographic Results of Dez Dam Reservoir

Arash Azari[1], Milad Asadi[2] and Ali Arman[3]

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, (Corresponding author: a.azari@razi.ac.ir)
2- M.Sc. Water Resources, Shahid Chamran University
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University
Received: October 5, 2017 Accepted: August 27, 2018

Abstract

Area-volume-elevation (AVE) curves of dams pose one of the most important tools for water resource planning and reservoir management. Area reduction method is one of the methods which was developed to modify these curves after reservoir sedimentation based on the conditions, statistics and information recorded in reservoirs abroad; however the application of the same methods for domestic dams without optimizing the coefficients is not bug-free, and associates sometimes with a great deal of error. This study aims to calibrate automatically the area reduction method based on its three influencing parameters using two genetic and particle swarm optimization algorithms and to compare the results with reservoir hydrographic studies. So that, predicting the trend of reservoir sedimentation in area reduction method with its hydrographic results at the end of the period has the least difference. Results indicate the excellence of particle swarm algorithm in calibrating the area reduction method. In this algorithm, by selecting the initial population of 50, the time of convergence and the value of the objective function (RMSE of the predicted volume-elevation curve and actual reservoir) in the last iteration was 4.7 minutes and 7 MCM, which it represents 92.6% and 48% improvement, respectively compared with the genetic algorithm. Finally, the optimal values of area reduction method parameters were used to match further the estimated and actual volume values of Dez dam reservoir. The results revealed that the predicted error value is less than 1%, which is assessed negligible according to the volume of the reservoir. Accordingly, the developed model can be employed without any change in the optimal parameters of the area reduction method by entering information of reservoir's new hydrography to predict the sedimentation trend during the coming years. This will be very helpful in light of the importance of knowing the reservoir's useful volume variation in the coming years and its role in future water resource planning.

Keywords: Genetic algorithm, Particle swarm optimization, Area reduction method, Reservoir hydrography