



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گوات

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تعیین پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح در سد مخزنی کرج با استفاده از الگوریتم تکامل تصادفی جوامع

*علیرضا عمادی^۱ و ساحله کاکویی^۲

^۱استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
^۲دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۰

چکیده

احداث سد در رودخانه‌ها باعث تجمع رسوب در پشت آن‌ها می‌شود. تعیین میزان و چگونگی تجمع رسوبات در مخازن سدها از جنبه‌های پایداری و بهره‌برداری دارای اهمیت است. یکی از روش‌های تجربی به‌منظور مشخص نمودن نحوه توزیع رسوب در مخازن سدها روش کاهش سطح می‌باشد. در این روش براساس شکل، مخازن به ۴ دسته تقسیم شده است. برای هر یک از انواع مخازن پارامترهایی ارایه شده است که توزیع رسوب براساس آن‌ها انجام می‌شود. تعیین پارامترهای مناسب در مخازن در حال بهره‌برداری که عملیات هیدروگرافی در آن‌ها حداقل یک‌بار انجام شده باشد، دقت روش را افزایش می‌دهد. هدف از این پژوهش تعیین پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح در سد مخزنی کرج با استفاده از الگوریتم تکامل تصادفی جوامع می‌باشد. در این پژوهش، براساس تئوری روش کاهش سطح یک مدل کامپیوتری تهیه شد. سپس مدل بهینه‌سازی به روش الگوریتم تکامل تصادفی جوامع آماده و در نهایت این دو مدل ترکیب و مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی توسعه داده شد. مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی، پارامترهای روش تجربی کاهش سطح را برای مخزن سد کرج به‌نحوی تعیین می‌کند که بیش‌ترین تطابق بین مقادیر حجم محاسباتی و اندازه‌گیری شده به‌دست آید. برای تعیین مقادیر بهینه این پارامترها تابع هدف به‌صورت مجذور میانگین مربعات خطای مقادیر محاسباتی از مقادیر واقعی تعریف شد. با استفاده از مدل تهیه شده براساس اطلاعات سال

*مسئول مکاتبه: emadia355@yahoo.com

۱۳۴۰ و هیدروگرافی سال ۱۳۷۰ پارامترهای بهینه به دست آمد. به منظور صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی، توزیع رسوب در سال ۱۳۸۶ با استفاده از پارامترهای بهینه به دست آمده توسط مدل، محاسبه و با مقادیر هیدروگرافی مقایسه گردید. نتایج نشان داد مقدار تابع هدف در دوره واسنجی ۶۲ درصد و در دوره صحت‌سنجی ۴۸ درصد کاهش داشته است. سپس براساس پارامترهای بهینه به دست آمده توزیع رسوبات در سال‌های آینده برای این سد پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: توزیع رسوب، رسوب‌گذاری، روش تجربی کاهش سطح، الگوریتم تکامل تصادفی جوامع

مقدمه

احداث سد روی رودخانه‌ها باعث تله‌اندازی رسوبات در مخزن آن‌ها می‌شود. پیش‌بینی رسوب‌گذاری در سدها از نظر عملیات بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری دارای اهمیت است. یکی از رایج‌ترین روش‌های تجربی در تخمین توزیع رسوبات در سدها، روش تجربی کاهش سطح می‌باشد. آناندال (۱۹۸۷) نحوه توزیع رسوبات در ۱۴ مخزن در آفریقای جنوبی را با روش کاهش سطح بررسی کرد. نتایج پژوهش آناندال نشان داد که روش پیشنهادی برلند و میلر در تعیین نوع مخزن مناسب نمی‌باشد. عابدینی و طالب‌بیدختی (۱۹۸۹) از روش کاهش سطح برای تعیین نحوه توزیع رسوب در مخزن سد درودزن استفاده کردند. در این مطالعه مشخص گردید که بعد از گذشت ۵۰ سال رسوبات مخزن سد درودزن تا ارتفاع ۱۲/۲ متر بالا می‌آید. فراری (۱۹۹۹) از این روش برای پیش‌بینی توزیع رسوبات در سد مخزنی پرینویل استفاده کرد. موسوی و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از دو روش تجربی افزایش و کاهش سطح تغییرات حجم مخزن را در سد زاینده‌رود بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش تجربی کاهش سطح با کم‌ترین خطا بیش‌ترین تطابق را با توزیع رسوبات دارد. منصوری و عمادی (۲۰۰۹) نیز از دو روش تجربی افزایش و کاهش سطح برای بررسی نحوه توزیع رسوبات در سد مخزنی کارده استفاده کردند. در این پژوهش روش افزایش سطح به دلیل خطای کم‌تر نسبت به روش کاهش سطح به‌عنوان روش مناسب برگزیده شد. همچنین در این پژوهش نشان داده شد که پس از گذشت ۵۳ سال از بهره‌برداری سد، در حدود ۷۶ درصد از کل مخزن سد از رسوب پر خواهد شد. عمادی و همکاران (۲۰۱۱) پارامترهای بهینه روش کاهش سطح را برای سد کارده با

استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست آوردند و روند توزیع رسوبات را برای سال‌های آینده پیش‌بینی نمودند. عالی‌خانی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل جستجوی هارمونی پارامترهای بهینه روش کاهش سطح را به صورتی به دست آوردند که مجذور میانگین مربعات خطای مدل و مقدار واقعی کم‌ترین مقدار را داشته باشد.

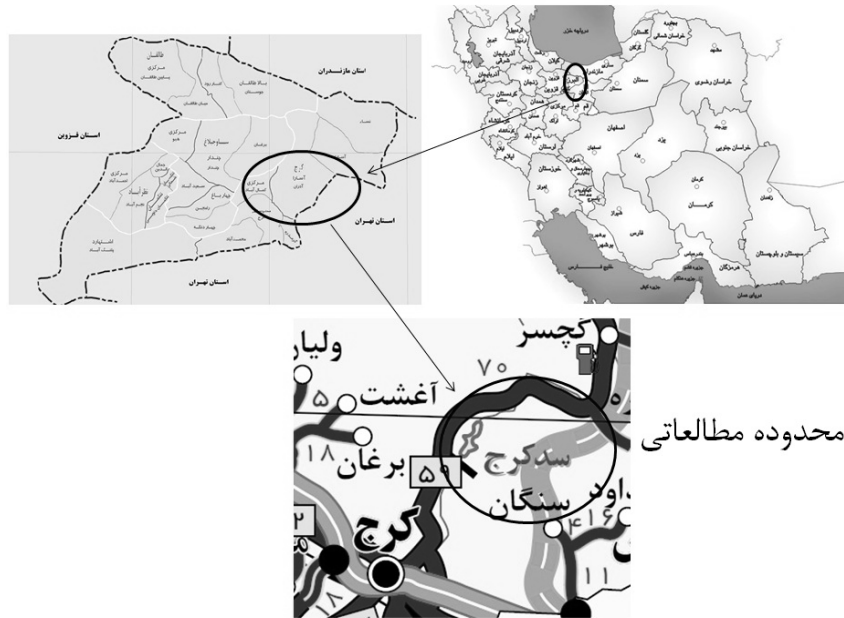
پارامترهای به کار رفته در روش تجربی کاهش سطح براساس اطلاعات تعداد محدودی سد در آمریکا به دست آمده که ممکن است برای مخازن دیگر مناسب نباشد. با توجه به این که انتخاب این پارامترها تأثیر به‌سزایی در دقت این روش دارد بنابراین با تغییر این پارامترها در هر مخزن می‌توان به توزیع دقیق‌تری از رسوبات دست یافت. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند کمک مؤثری در یافتن این پارامترها می‌کند. با انتخاب پارامترهای بهینه برای هر مخزن که حداقل دارای یک هیدروگرافی باشد، می‌توان دقت روش را افزایش داد. بنابراین در این پژوهش از الگوریتم SCE استفاده شد. تاکنون از روش SCE در پژوهش‌های بسیاری استفاده شده است. سروشیان و همکاران (۱۹۹۳) کالیبراسیون پارامترهای مدل بارش- رواناب ساکرامنتو را با استفاده از روش SCE انجام دادند. در این پژوهش الگوریتم SCE مقادیر تابع هدف کم‌تری نسبت به روش سیمپلکس به دست آورد. علاوه بر این تعداد ارزیابی‌های تابع هدف در روش SCE خیلی کم‌تر از روش سیمپلکس به دست آمد. کنتراکتور و جنسون (۲۰۰۰) با استفاده از روش SCE پارامترهای خاک غیراشباع را برای حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا بین تراز سطح آب چاه در حالات محاسباتی و مشاهداتی در آبخوان گوام غربی به کار بردند. مرتنز و همکاران (۲۰۰۴) نیز با استفاده از این روش پارامترهای مؤثر خاک را برای مدل نمودن رطوبت خاک در نواحی غیراشباع به دست آوردند. قادری و همکاران (۲۰۰۶) مدل بارش رواناب را با استفاده از روش SCE واسنجی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش توسعه داده شده قابلیت یافتن مقادیر بهینه در مسایل با ابعاد بسیار بالا (۳۵ بعد) را نیز دارد. عمادی (۲۰۰۷) با تلفیق مدل ICSS که یک مدل هیدرودینامیک برای تحلیل جریان غیرماندگار در کانال‌های آبیاری می‌باشد و روش بهینه‌سازی SCE، یک مدل ریاضی برای مدیریت بهینه بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری ارائه نمود و با استفاده از آن تنظیمات بهینه کانال L8 شبکه آبیاری قزوین را به دست آورد. چو و همکاران (۲۰۱۰) این روش را برای بهینه‌سازی سیستم‌های غیرخطی پیچیده برای کالیبراسیون مدل رطوبت خاک بهبود بخشیدند. زعفری (۲۰۱۱) نیز برای تعیین ابعاد بهینه حوضچه

رسوب‌گیر سد انحرافی گنج‌افروز از این الگوریتم استفاده کرد. در این پژوهش ابعاد بهینه حوضچه رسوب‌گیر در چهار راندمان مختلف به دست آمد و با شرایط موجود مقایسه گردید. نتایج پژوهش زعفری نشان داد که با استفاده از الگوریتم SCE، ابعاد حوضچه رسوب‌گیر در هر چهار راندمان کم‌تر از شرایط موجود به دست می‌آید.

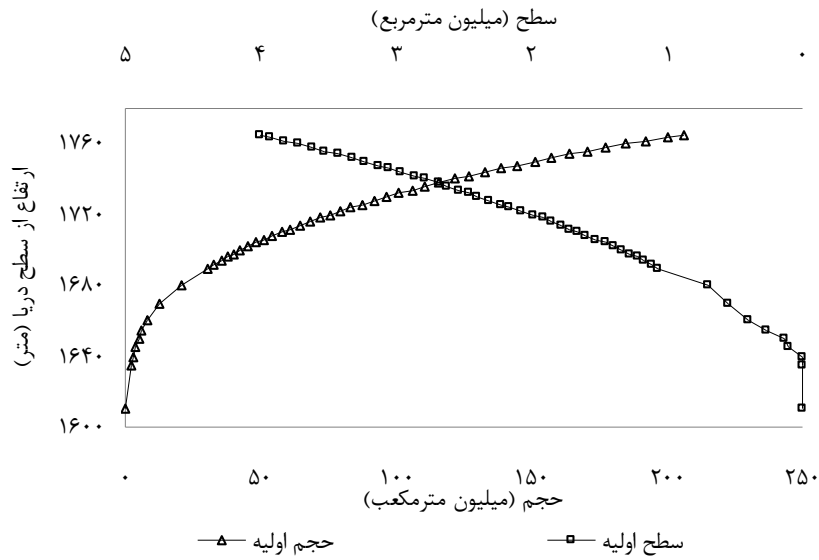
با توجه به بررسی‌های انجام شده، الگوریتم SCE تاکنون برای افزایش دقت روش کاهش سطح مورد استفاده قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش کاربرد روش SCE در تعیین پارامترهای بهینه روش کاهش سطح در سد مخزنی کرج می‌باشد. بنابراین مدل‌های کاهش سطح و بهینه‌سازی به روش SCE توسعه داده شد و ترکیب آن‌ها برای تعیین پارامترهای بهینه مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از الگوریتم SCE پارامترهای روش تجربی کاهش سطح طوری تعیین شد که بیش‌ترین تطابق بین مقادیر محاسباتی و هیدروگرافی به دست آید. سپس براساس پارامترهای بهینه به دست آمده توسط مدل، نحوه توزیع رسوبات در سال‌های آینده برای این سد پیش‌بینی شد.

مواد و روش‌ها

سد کرج: سد کرج (امیرکبیر) روی رودخانه کرج با سطح حوزه آبریزی به مساحت ۷۶۴ کیلومتر مربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان ۴۷۲ میلیون مترمکعب در استان تهران و در فاصله ۶۳ کیلومتری شمال‌غربی تهران در کیلومتر ۲۳ جاده کرج-چالوس، در شمال‌شرقی شهرستان کرج قرار دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سد کرج را نشان می‌دهد. این سد اولین سد چندمنظوره کشور ایران و یکی از منابع تأمین آب شهر تهران می‌باشد. سد کرج سد بتنی دو قوسی با ارتفاع ۱۸۰ متر از پی با طول تاج ۳۹۰ متر، ظرفیت تخلیه سرریز ۱۴۵۰ مترمکعب بر ثانیه، حجم مخزن ۲۰۵ میلیون مترمکعب و طول دریاچه ۵/۵ کیلومتر می‌باشد. منحنی‌های سطح-حجم-ارتفاع واقعی از سد کرج مربوط به سال‌های ۱۳۴۰، ۱۳۷۰ و ۱۳۸۶ می‌باشد که میزان حجم رسوبات ورودی بین سال‌های ۱۳۴۰ و ۱۳۷۰، ۱۶/۳۴۲ میلیون مترمکعب و از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۸۶، ۶/۵۷۸ میلیون مترمکعب می‌باشد. منحنی سطح-حجم-ارتفاع سد کرج در سال ۱۳۴۰ شمسی مطابق با شکل ۲ است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد کرج.



شکل ۲- منحنی سطح-حجم-ارتفاع سد کرج در سال ۱۳۴۰.

روش کاهش سطح: روش کاهش سطح در سال ۱۹۵۸ میلادی براساس اطلاعات مشاهده‌ای ۳۰ مخزن در آمریکا پیشنهاد شد. براساس مطالعات صورت گرفته، انباشت و توزیع رسوبات در ارتفاعات مختلف مخزن، رابطه مشخصی با شکل مخزن دارد و شکل مخزن نیز با رابطه بین ارتفاع و ظرفیت مخزن تعریف و طبقه‌بندی می‌شود. در این روش مخازن براساس شکل آن‌ها به ۴ نوع تقسیم می‌شوند. مبنای تقسیم‌بندی مخازن عامل m است. عامل m عبارت است از عکس شیب بهترین خط نمایشی ترسیمی ارتفاع مخزن بر حسب ظرفیت مخزن که بر روی کاغذ تمام لگاریتمی رسم شده باشد که عمق در محور قائم و حجم در محور افقی است. معادله اصلی در این روش به صورت زیر است:

$$S = \int_{y_0}^{y_1} A dy + \int_{y_0}^{H} K a dy \quad (1)$$

که در آن، S : کل رسوبات ورودی به مخزن سد در طول دوره طراحی است، y_0 : تراز اولیه بستر رودخانه در محل احداث سد، y_1 : تراز بستر رودخانه در محل احداث سد بعد از انباشت رسوبات معادل عمق رسوب ته‌نشین شده، A : سطح مخزن در ارتفاعات مختلف، dy : جزیی از ارتفاع، H : ارتفاع مخزن در تراز نرمال سد می‌باشند، a : سطح نسبی رسوب که به‌ازای مقادیر مختلف عمق نسبی p قابل محاسبه است و k : ضریب تناسب به‌منظور تبدیل سطح نسبی رسوب به سطح واقعی است که از رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

$$K = \frac{A_0}{a_0} \quad (2)$$

که در آن، A_0 : سطح مخزن در ارتفاع h_0 و a_0 : سطح نسبی رسوب در ارتفاع صفر جدید است. مساحت نسبی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$a_p = c P^m (1 - P)^n \quad (3)$$

که در آن، مقادیر c ، m و n ضرایب ثابتی هستند که با توجه به نوع مخزن از جدول ۱ تعیین می‌شوند (نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۱).

جدول ۱- مقادیر c, m و n در انواع مخازن (نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۱).

نوع مخزن	n	m	c	حد انباشت رسوبات (مکانی)
I	۰/۳۶	۱/۸۵	۵/۰۷۴	بالا
II	۰/۴۱	۰/۵۷	۲/۴۸۷	بالا‌تر از حد متوسط
III	۲/۳۲	-۱/۱۵	۱۶/۹۶۷	پایین‌تر از حد متوسط
IV	۱/۳۴	-۰/۲۵	۱/۴۸۶	پایین

مراحل تعیین توزیع رسوب در روش کاهش سطح به صورت زیر می‌باشد (شفاعی بجزستان، ۲۰۰۹):

- ترسیم تغییرات ارتفاع مخزن بر حسب ظرفیت مخزن و تعیین مقدار m

- محاسبه $h'(p)$ برای مقادیر مختلف عمق نسبی p با استفاده از رابطه ۴

- محاسبه $h(p)$ با استفاده از رابطه ۵

- ترسیم $h(p)$ و $h'(p)$ بر حسب عمق نسبی و تعیین رقوم صفر جدید

- محاسبه حجم کل رسوبات در زیر تراز صفر جدید با استفاده از منحنی حجم-ارتفاع

$$h'(p) = \frac{S - V(y)}{H \times A(y)} \quad (4)$$

$$h(p) = \frac{1 - V(p)}{a(p)} \quad (5)$$

$$V(p) = a(p)d(p) \quad (6)$$

که در آن، $h'(p)$: تابع بی‌بعدی از کل رسوب ته‌نشین شده، ظرفیت، عمق و مساحت مخزن، S: حجم کل رسوب ته‌نشین شده، $V(y)$: ظرفیت مخزن در رقوم y، H: عمق اولیه مخزن و $A(y)$: مساحت مخزن در رقوم y می‌باشد.

روش تکامل تصادفی جوامع (SCE): اصول و مبانی روش تکامل تصادفی جوامع توسط دوان و همکاران (۱۹۹۲) برای کالیبراسیون پارامترهای مدل‌های بارش- رواناب ارائه شده است. این روش براساس به اشتراک گذاشتن اطلاعات و براساس مفاهیم ارائه شده تکامل رقابتی زیستی طبیعی توسعه داده شده است. استفاده از استراتژی قطعی این امکان را برای این الگوریتم فراهم می‌کند که بتواند به

خوبی از اطلاعات سطوح پاسخ برای هدایت جستجو استفاده کند (عمادی، ۲۰۰۷). علاوه بر این عناصر تصادفی به انعطاف بیشتر و امکان خروج از نقاط بهینه موضعی و یافتن نقاط بهینه سراسری کمک می‌کنند. به این ترتیب دو مفهوم استخراج^۱ و اکتشاف^۲ در فرآیند جستجو به صورت متعادل استفاده می‌شود.

به طور کلی مراحل مختلف روش SCE به صورت زیر است (دوان و همکاران، ۱۹۹۲):

۱- ایجاد نمونه اولیه: ایجاد یک نمونه تصادفی در فضای امکان پذیر (Ω) که دارای S نقطه است و به دست آوردن مقدار تابع هدف در هر یک از نقاط.

۲- مرتب‌سازی نقاط: نقاط S نمونه به صورت صعودی مرتب می‌شوند به طوری که اولین نقطه دارای کوچک‌ترین مقدار تابع و آخرین نقطه دارای بزرگ‌ترین مقدار تابع در آن نقطه باشد (با فرض این که هدف به دست آوردن حداقل مقدار تابع است).

نقاط مرتب شده در آرایه‌ای مانند D به صورت $D = \{x_i, f_i, i=1, 2, \dots, S\}$ قرار داده می‌شوند به صورتی که $i=1$ بیان‌کننده نقطه‌ای باشد که دارای کوچک‌ترین مقدار تابع است.

۳- تقسیم‌بندی نقاط به جوامع: نقاط S نمونه را به P جامعه به صورتی تقسیم کرده که هر جامعه دارای m نقطه باشد. در واقع D با استفاده از رابطه γ به جوامع A^1, A^2, \dots, A^P که هر یک دارای m نقطه هستند تبدیل می‌شوند:

$$A^k = \{x_j^k, f_j^k \mid x_j^k = x_{k+P(j-1)}, f_j^k = f_{k+P(j-1)}, j=1, \dots, m\} \quad (7)$$

بر اساس این رابطه جامعه اول شامل تمام نقاط مرتب شده با شماره‌های $1 + P(j-1)$ و جامعه دوم شامل تمام نقاط مرتب شده با شماره‌های $2 + P(j-1)$ می‌باشند و به همین ترتیب دیگر اعضا جوامع دیگر به دست می‌آیند.

۴- توسعه جامعه: هر جامعه $A^k, k=1, \dots, P$ را باید بر اساس الگوریتم تکامل رقابتی (CCE)^۳ جامعه توسعه داد. این روش در ادامه توضیح داده شده است.

-
- 1- Exploitation
 - 2- Exploration
 - 3- Competitive Complex Evolution

۵- اختلاط جوامع: نقاط جوامع مختلف را با یکدیگر ترکیب کرده به صورتی که تنها یک نمونه از نقاط وجود داشته باشد. یعنی جوامع A^1, A^2, \dots, A^P را دوباره به صورت $D = \{A^k, k=1, \dots, P\}$ در D جایگزین می‌شوند.

۶- بررسی شرط توقف: در صورت ارضای هر کدام از معیارها و شروط توقف برنامه متوقف شده و جواب‌های نهایی به‌عنوان پاسخ بهینه ثبت می‌شود در غیر این صورت فرآیند بهینه‌سازی با بازگشت به مرحله ۲ و انجام محاسبه‌ها ادامه می‌یابد.

الگوریتم CCE: تکامل رقابتی هر جامعه بخش مهمی از الگوریتم SCE است. این روش برای توسعه هر جامعه یا در واقع تولیدمثل جامعه یا تولید خصوصیات بهتر مورد احتیاج است. فرآیند تکامل رقابتی بر این اساس عمل می‌کند که در طول تولیدمثل و زاد و ولد، والدین با خصوصیات بهتر امکان مشارکت بیشتری در تولیدمثل نسبت به والدین با خصوصیات ضعیف‌تر دارند. الگوریتم CCE به‌صورت زیر است (دوان و همکاران، ۱۹۹۲):

۱- یک زیرمجموعه q نقطه‌ای u_1, u_2, \dots, u_q از جامعه A^k به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.

۲- نقاط انتخاب شده در مرحله فوق والدین نام دارند. آن‌ها در آرایه $B = \{u_i, v_i, i=1, \dots, q\}$ قرار داده می‌شوند به‌صورتی که v_i برابر با مقدار تابع هدف در نقطه u_i می‌باشد. موقعیت A^k که جهت ساختن B استفاده شده است در L ذخیره می‌شود.

۳- تولید فرزندان:

الف- B و L را به‌صورتی مرتب می‌شود که نقاط q براساس مقدار افزایش تابع هدف مرتب شده باشند. سپس نقطه‌ای که دارای بدترین ارزش است کنار گذاشته و مرکز ثقل بقیه نقاط (g) را با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$g = \left[\frac{1}{(q-1)} \right] \sum_{j=1}^{q-1} u_j \quad (8)$$

ب- با توجه به موقعیت مرکز ثقل و نقطه‌ای که دارای بدترین ارزش بود (u_q) نقطه جدیدی (r) با استفاده از رابطه ۹ تعیین می‌شود. این گام را انعکاس^۱ می‌نامند. در این گام نقطه جدیدی که در اصطلاح انعکاس بدترین نقطه قبلی حول مرکز ثقل است تولید می‌شود.

1- Reflection

$$r = 2g - u_q \quad (9)$$

ج- اگر نقطه جدید به دست آمده درون محدوده مورد نظر قرار داشت مقدار تابع هدف در f^r را محاسبه کرده و به گام (د) می‌رود. در غیر این صورت نقطه‌ای مانند Z را به صورت تصادفی در فضای امکان‌پذیر تولید کرده، f_z را محاسبه شده، $r = z$ و f^r برابر با f_z قرار داده می‌شود، $f_r = f_z$ این مرحله در اصطلاح گام جهش^۱ نام دارد که موجب تقویت اکتشاف و خروج از نقاط بهینه موضعی می‌گردد.

د- اگر نقطه جدید ایجاد شده در مرحله انعکاس بهتر از بدترین نقطه موجود در زیرمجموعه بود یعنی $f_r < f_q$ باشد آن‌گاه نقطه جدید پذیرفته شده، r جایگزین u_q شده و به گام (م) می‌رود. در غیر این صورت نقطه c را که در وسط فاصله مرکز ثقل و بدترین نقطه قرار دارد به صورت $c = (g + u_q)/2$ محاسبه شده و تابع هدف در آن نقطه به دست می‌آید. این مرحله در اصطلاح گام انقباض^۲ نام دارد.

ل- اگر نقطه جدید ایجاد شده توسط گام انقباض دارای ارزش بهتری از بدترین نقطه بود یعنی $f_c < f_q$ ، این نقطه پذیرفته شده، c جایگزین u_q شده و به مرحله (م) می‌رود. در غیر این صورت یک نقطه تصادفی Z درون فضای امکان‌پذیر تولید کرده و مقدار تابع در آن نقطه، f_z را محاسبه شده و Z را جایگزین u_q می‌کند (گام جهش).

م- مراحل (الف) تا (ل) α بار تکرار می‌شود. مقدار $\alpha > 1$ یک پارامتر ویژه است که تعداد توالی تولید فرزندان را توسط اعضای زیرمجموعه‌ها تعیین می‌کند.

۱- جایگذاری فرزندان به جای والدین: B را با استفاده از موقعیت اصلی ذخیره شده در L درون جامعه A^k جایگذاری می‌شود. سپس A^k را براساس افزایش مقدار تابع هدف مرتب می‌شود.

۲- مراحل ۲ تا ۴ β بار تکرار می‌شود. مقدار $\beta > 1$ یک پارامتر ویژه است که تعداد گام‌های تکاملی هر جامعه که باید قبل از اختلاط با دیگر جوامع طی کند را مشخص می‌کند.

در واقع الگوریتم CCE بخشی از الگوریتم کلی SCE می‌باشد. الگوریتم به محض رسیدن به گام چهارم SCE وارد الگوریتم CCE شده و هر جامعه را جداگانه توسعه داده و دوباره وارد مسیر اصلی می‌شود. در الگوریتم CCE، تمام نقاط جامعه دارای این شانس هستند که به‌عنوان والدین انتخاب شوند و در فرآیند تولیدمثل شرکت داشته باشند.

1- Mutation

2- Contraction

فرآیند تکامل رقابتی و اختلاط ذاتی جوامع در الگوریتم SCE منجر به اطمینان بالا از کارایی و استفاده از اطلاعات در تمام مراحل جستجو می‌شود. همچنین عوامل بالا باعث می‌شوند که مجموعه اطلاعات و خصوصیات پارامترها از بین نروند. این خصوصیات باعث می‌شود که الگوریتم SCE به یک الگوریتم جستجوی سراسری کامل در محدوده وسیعی از مسایل تبدیل شود.

اجزای مدل بهینه‌سازی: متغیرهای تصمیم در این پژوهش پارامترهای c ، m و n در رابطه ۳ می‌باشند. به منظور تعیین مقادیر بهینه این پارامترها تابع هدف به صورت مجذور میانگین مربعات خطا با رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$OF = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ci} - V_{ai})^2 / n} \quad (10)$$

که در آن، V_c : حجم محاسباتی مخزن براساس روش کاهش سطح در تراز i ام، V_a : حجم واقعی مخزن در تراز i ام براساس هیدروگرافی، n : تعداد ترازها در منحنی سطح-حجم-ارتفاع و OF : تابع هدف می‌باشد.

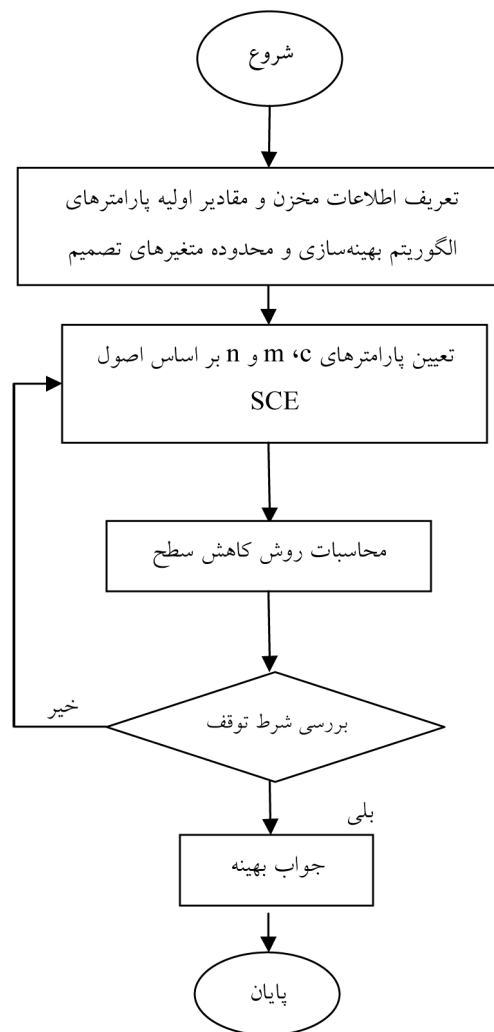
براساس مبانی روش کاهش سطح و الگوریتم SCE به ترتیب دو برنامه شبیه‌ساز و بهینه‌ساز به زبان فرترن تهیه شد. ترکیب دو مدل به صورتی انجام شد که مدل شبیه‌ساز به صورت یک زیربرنامه به مدل بهینه‌ساز معرفی که در مواقع لزوم در فرآیند بهینه‌سازی برای انجام محاسبه‌های مربوط به تابع هدف فراخوانی شود. شکل ۳ فلوچارت مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

مقدار m برای سد مخزنی کرج ۲/۶ به دست آمد که با توجه به جدول نوع مخازن (جدول ۱)، مخزن سد از نوع ۲ می‌باشد. بر مبنای اطلاعات حجم-سطح-ارتفاع اولیه سال ۱۳۴۰ نحوه توزیع رسوب در سال ۱۳۷۰ براساس روش تجربی کاهش سطح توسط مدل تخمین زده شد و نتایج حاصله با مقادیر هیدروگرافی مقایسه گردید. مجذور میانگین مربعات خطا در این حالت توسط مدل، ۷/۸۴ میلیون مترمکعب به دست آمد.

در مرحله بعد براساس اطلاعات سال ۱۳۴۰ و میزان حجم رسوب ورودی در فاصله بین هیدروگرافی‌های سال ۱۳۴۰ و ۱۳۷۰ مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز اجرا شد. میزان تابع هدف در این حالت ۴/۸۷ میلیون مترمکعب به دست آمد که پارامترهای c ، m و n توسط مدل در این حالت به ترتیب

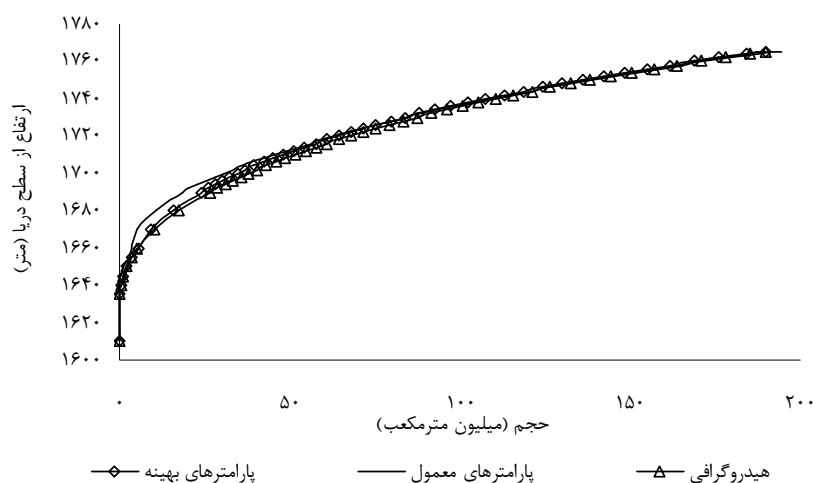
۱۰/۲۸، ۱/۰۴- و ۱۱/۸۹ تعیین شد. با توجه به نتایج مقدار تابع هدف با استفاده از پارامترهای بهینه نسبت به پارامترهای معمول کاهش ۶۲ درصدی داشته است. در شکل ۴ نمودار حجم- ارتفاع سد کرج با استفاده از پارامترهای معمول و بهینه و همچنین هیدروگرافی در سال ۱۳۷۰ و در جدول ۲ مقادیر پارامترهای معمول و بهینه نشان داده شده است.



شکل ۳- فلوچارت مدل شبیه‌ساز- بهینه‌ساز.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای معمول و بهینه.

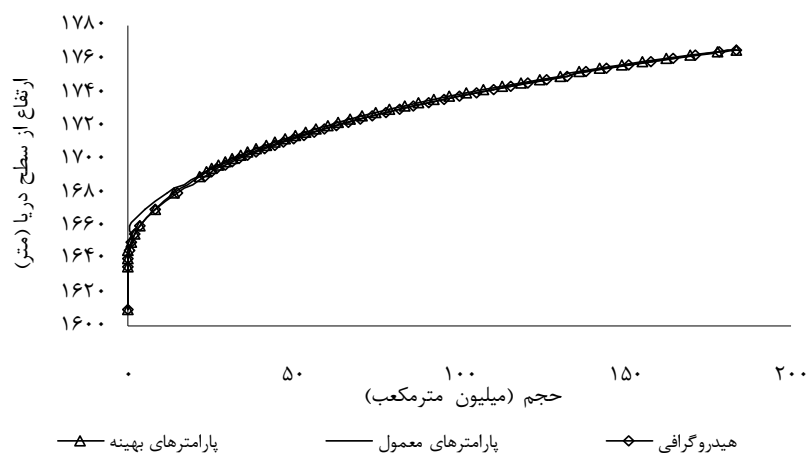
پارامتر	c	m	n
معمول	۲/۴۸۷	۰/۵۷	۰/۴۱
بهینه	۱۰/۲۸	-۱/۰۴	۱۱/۸۹



شکل ۴- نمودار حجم-ارتفاع در سال ۱۳۷۰.

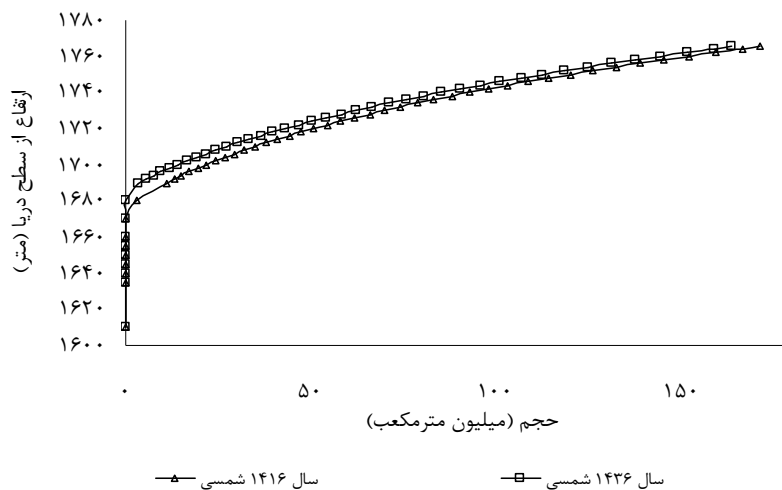
به منظور نشان دادن صحت مدل و کارایی پارامترهای به دست آمده، در دوره‌ای غیر از دوره واسنجی با استفاده از پارامترهای بهینه، مقادیر سطح-حجم-ارتفاع در سال ۱۳۸۶ محاسبه شد. میزان تابع هدف در این حالت ۱/۲۵ میلیون مترمکعب به دست آمد. در صورتی که با استفاده از پارامترهای معمول میزان تابع هدف برای روند رسوب گذاری در سال ۱۳۸۶، ۲/۴ میلیون مترمکعب به دست آمد. با توجه به نتایج، استفاده از پارامترهای بهینه باعث کاهش ۴۸ درصدی میزان تابع هدف شده است.

در شکل ۵ مقادیر حجم نسبت به ارتفاع مخزن سد کرج در سال ۱۳۸۶ در حالت‌های اندازه‌گیری شده و محاسباتی با استفاده از پارامترهای معمول و بهینه نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار حجم- ارتفاع در سال ۱۳۸۶.

با استفاده از مقدار متوسط رسوب ورودی سالیانه، روش تجربی کاهش سطح با پارامترهای بهینه برای سد کرج اجرا شده و نحوه توزیع رسوبات برای سال‌های بعد پیش‌بینی شده است. در شکل ۶ براساس پارامترهای بهینه سد کرج مقادیر حجم مخزن برای این سد در ترازهای مختلف در سال ۱۴۱۶ و ۱۴۳۶ شمسی پیش‌بینی شده است.



شکل ۶- نمودار حجم- ارتفاع در سال‌های ۱۴۱۶ و ۱۴۳۶.

نتیجه گیری

در این پژوهش براساس مبانی الگوریتم SCE و روش کاهش سطح دو برنامه کامپیوتری به زبان فترن تهیه شد. روش کاهش سطح به عنوان یک زیربرنامه به مدل بهینه ساز SCE معرفی شد تا در مواقع لزوم فراخوانی شود. در ابتدا براساس اطلاعات سال ۱۳۴۰ نحوه توزیع رسوب در سال ۱۳۷۰ توسط روش کاهش سطح با پارامترهای معمول به دست آمد. سپس توسط مدل SCE پارامترهای بهینه برای سال ۱۳۷۰ تعیین شد. میزان تابع هدف براساس پارامترهای بهینه ۶۲ درصد نسبت به پارامترهای معمول کاهش داشته است. به منظور صحت سنجی، براساس هیدروگرافی سال ۱۳۷۰ نحوه توزیع رسوب در سال ۱۳۸۶ توسط روش کاهش سطح و مدل بهینه ساز- شبیه ساز تخمین زده شد. میزان تابع هدف با استفاده از پارامترهای بهینه کاهش ۴۸ درصدی نسبت به پارامترهای معمول داشته است. با توجه به نتایج، تطابق بیش تری بین حجم محاسباتی توسط مدل و حجم واقعی مخزن در حالت استفاده از پارامترهای بهینه نسبت به حالت استفاده از پارامترهای معمول وجود دارد. با استفاده از این پارامترها در هر دوره نیاز به تعیین نوع مخزن نبوده و مستقل از نوع مخزن می توان نحوه توزیع رسوب را در سال های آینده پیش بینی نمود.

سپاسگزاری

به این وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که اعتبارات این پژوهش را تأمین نموده صمیمانه سپاسگزاری می نمایم.

منابع

1. Abedini, M., and Talebbidokhti, N. 1989. Distribution and control of sedimentation in dam reservoirs, P 791-820. First Iranian conference on Hydrology. Mahab Ghods, Tehran. (In Persian)
2. Alikhani, K., Qaderi, K., and Ahmadi, M.M. 2013. Determination of optimal parameters of empirical area reduction method in Karaj dam sediment distribution. 9th international River engineering conference. Ahwaz, 8p. (In Persian)
3. Annandale, G.W. 1987. Development in water Science, Reservoir sedimentation. Elsevier Science Publishers B.V., New York, 221p.
4. Chu, W., Gao, X., and Sorooshian, S. 2010. Improving the shuffled complex evolution scheme for optimization of complex nonlinear hydrological systems: Application to the calibration of the Sacramento soil -moisture accounting model. J. Water Resour. Res. 46: 1-12.

5. Contractor, D.N., and Jenson, J.W. 2000. Simulation effect of vadose infiltration on Water level in the Northern Guam Lens Aquifer. *J. Hydrol.* 229: 232-254.
6. Duan, Q., Sorooshian, S., and Gupta, V.K. 1992. Effective and Efficient global optimization for conceptual Rainfall-Runoff models. *J. Water Resour. Res.* 28: 4. 2493-2508.
7. Emadi, A. 2007. Mathematical Models Development of Optimal Operation in Irrigation Canals Considering Conjunctive Use of Surface and Ground Water. PhD Thesis of Agricultural Department. Tarbiat Modares University. Press, 171p. (In Persian)
8. Emadi, A., Mohammadiha, A., and Mohammad Vali Samani, J. 2011. Mathematical Model for Auto-Calibration of Area-Reduction Method in Sediment Distribution of Dam Reservoir Using Genetic Algorithm. *J. Water and Soil.* 25: 2. 356-364. (In Persian)
9. Ferrari, R.L. 1999. Prineville reservoir 1998 sedimentation survey. Bureau of Reclamation. Colorado. Press, 27p.
10. Iran Water Resources Management Organization. 2001. Estimation of total sediment load and its distribution in dam reservoirs. Management and Planning Organization Publication. 221: 36. (In Persian)
11. Mansouri, M., and Emadi, A. 2009. Sediment distribution in the Kardeh dam using area increment and reduction empirical methods. 8th Iranian Hydraulic Conference, Tehran. 8p. (In Persian)
12. Mertens, J., Madsen, H., Feyen, L., Jacques, D., and Feyen, J. 2004. Including prior information in the estimation of effective soil parameters in unsaturated zone modeling. *J. Hydrol.* 294: 251-269.
13. Mousavi, S.F., Haidarpour, M., and Shabanlou, S. 2007. Investigation of Sediments in the Zayandehrud Reservoir through Area-increment and Area-reduction Empirical Models. *J. Water Wastewater.* 57: 76-82. (In Persian)
14. Qaderi, K., Samani, J.M.V., Eslami, H.R., and Saghafian, B. 2006. Auto calibration of a rainfall-runoff model based on sce method. *J. Iran Water Resour. Res.* 2: 2. 39-52. (In Persian)
15. Shafai-Bajestan, M. 2009. Hydraulics of Sediment transport. Shahid Chamran University. Press, 470p. (In Persian)
16. Sorooshian, S., Duan, Q., and Gupta, V.K. 1993. Calibration of the Rainfall-Runoff models: application of global optimization to the Sacramento soil moisture accounting model. *J. Water Resour. Res.* 29: 4. 1185-1194.
17. Zafari, M. 2011. Optimal Design of a Settling Basin Using SCE Algorithm (Case Study: Ganj-afrooz Diversion Dam). Islamic Azad University. Press, 87p. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(4), 2014
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Determination of optimal parameters of empirical area reduction method in Karaj Reservoir Dam using SCE

***A.R. Emadi¹ and S. Kakouei²**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Ph.D. Student, Dept. of Water Structure, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 12/23/2012; Accepted: 04/30/2013

Abstract

Dam construction on the rivers causes sediment accumulation behind them. Determination of quantity and quality of sediment deposition in reservoirs is important for their stability and operation. Area-reduction method is one of the empirical methods for reservoir sediment distribution. In this method, reservoir is divided to four types, based on its shape. Parameters are presented for each types of reservoir which is carried out based on sediment distribution. Determination of suitable parameters in operating reservoirs which have at least one period of hydrographic data, leads to increment of accuracy. The objective of this research is to determine the optimal parameters of empirical area reduction method in Karaj dam using Shuffled Complex Evolution algorithm. In this research, a computer model was developed based on area reduction method theory. Then optimization model was prepared using Shuffled Complex Evolution algorithm and these two models were combined and Simulation-Optimization model was developed. Simulation-Optimization model determined area reduction method parameters for Karaj dam so that the most compatibility occurs between computational and measured volumes. To determine optimal parameters values, objective function was defined as Root Mean Square Error (RMSE) calculation of actual values. Using prepared model, optimal parameters were obtained based on information in 1961 and hydrography in 1991. To verify simulation-optimization model, sediment distribution in 2007 was calculated using obtained optimal parameters by model and was compared to hydrographic values. Results showed that values of objective function were reduced up to 62% and 48% in calibration and verification periods, respectively. Then, sediment distributions of Karaj dam were predicted based on optimal parameters.

Keywords: Sediment distribution, Sedimentation, Area-reduction method, Shuffled complex evolution algorithm

* Corresponding Author; Email: emadia355@yahoo.com

