مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۱
http://jwsc.gau.ac.ir

کاربرد الگوریتم SA در واسنجی روش تجربی کاهش سطح در توزیع رسوبات در مخزن سدها (مطالعه موردی: سد کرج)

*علیرضا عمادی[۱]، معصومه خادمی[۲] و اکبر محمدیها[۲]
[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۹

چکیده

روش کاهش سطح (Area reduction method) یکی از رایج‌ترین روش‌های تجربی تعیین توزیع رسوبات در مخازن سدها می‌باشد. در این روش مخازن به ٤ نوع تقسیم‌بندی شده که برای هر یک از آن‌ها پارامترهای c، m و n ارایه شده است. با واسنجی روش برای یک مخزن براساس این پارامترها می‌توان دقت آن را افزایش داد. در این پژوهش براساس الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ (Simulated Annealing) و روش تجربی کاهش سطح دو برنامه کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شد. سپس با ترکیب این دو برنامه یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی به‌دست آمد که توانایی تعیین پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح را دارد. با استفاده از این مدل، پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح به‌صورتی تعیین می‌شوند که کمترین اختلاف بین حجم برآوردی و واقعی وجود داشته باشد. مدل تهیه شده برای سد مخزنی کرج با سه دوره اطلاعات اندازه‌گیری شده سطح- حجم- ارتفاع مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از دو دوره اول اطلاعات واقعی، پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح به‌دست آمد و نحوه کارایی الگوریتم SA در تعیین بهینه سراسری با روش مجانب صحت‌سنجی شد. مقادیر بهینه c، m و n به‌ترتیب ۰/۰۵۲، ۰/۸۳٦ و ١٤/٢٣٤ به‌دست آمد. به‌منظور نشان دادن قابلیت پارامترهای بهینه در افزایش دقت پیش‌بینی، توزیع رسوب در دوره سوم اطلاعات واقعی با پارامترهای معمول و بهینه محاسبه و نتایج آن‌ها با مقادیر واقعی مقایسه گردید.

*مسئول مکاتبه: emadia355@yahoo.com

نتایج نشان داد، استفاده از پارامترهای بهینه، مقدار خطا در پیش‌بینی توزیع رسوب را به‌میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. اختلاف بین حجم برآوردی و واقعی مخزن سد کرج در حالت استفاده از پارامترهای بهینه در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب ٥٤ و ۲۰ درصد نسبت به پارامترهای معمول کاهش می‌یابد. پس از تعیین پارامترهای بهینه، توزیع رسوب در مخزن این سد براساس این پارامترها برای سال‌های آینده پیش‌بینی شده است.

واژه‌های کلیدی: واسنجی، روش کاهش سطح، الگوریتم SA، پارامترهای بهینه، بهینه‌سازی

مقدمه

رسوب‌گذاری فرآیندی است که عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از جمله سدهای مخزنی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. با اطلاع از توزیع رسوبات و پیش‌بینی آن سیاست‌های مربوط به بهره‌برداری از مخزن با دقت بالاتری انجام می‌شود. به‌علت توزیع غیریکنواخت رسوبات و پیچیده بودن توزیع رسوبات، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی توزیع رسوبات در ارتفاعات مختلف مخزن ارایه شده است. روش کاهش سطح یکی از رایج‌ترین روش‌های تجربی در تعیین توزیع رسوبات در مخازن می‌باشد. موسوی و همکاران (۲۰۰٦) با بررسی تغییرات حجم مخزن سد زاینده‌رود با استفاده از دو روش تجربی افزایش و کاهش سطح به این نتیجه دست یافتند که روش تجربی کاهش سطح با کم‌ترین خطا، بیش‌ترین تطابق را با توزیع رسوبات دارد. امامی و همکاران (۲۰۰۷) روند رسوب‌گذاری در مخزن سد دز را با استفاده از دو روش تجربی کاهش سطح و کاهش سطح واسنجی شده بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از ضرایب واسنجی شده می‌تواند خطاهای مدل را در پیش‌بینی توزیع رسوب به مقدار زیادی کاهش دهد. عظیمی‌کارگر و صدقی (۲۰۰۸) رسوب‌گذاری در مخزن سد سفیدرود را با استفاده از دو روش تجربی افزایش و کاهش سطح و روش تجربی گالای و اوانس بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خروجی این روش‌ها با مقادیر هیدروگرافی تفاوت فاحشی داشته و این روش‌ها نیاز به واسنجی دارند. محمدیها و عمادی (۲۰۱۰) روش تجربی کاهش سطح را برای سد گلستان به‌صورت دستی کالیبره نموده و خطا را حدود ۱۰ درصد نسبت به حالت معمولی کاهش دادند. محمدیها (۲۰۱۰) با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدلی برای واسنجی خودکار روش تجربی کاهش سطح در توزیع رسوبات در سدهای مخزنی ارایه داد و با کاربرد مدل برای سدهای مخزنی آلتوس و کارده نشان داد که واسنجی پارامترهای این روش دقت پیش‌بینی توزیع رسوب را افزایش می‌دهد. با توجه

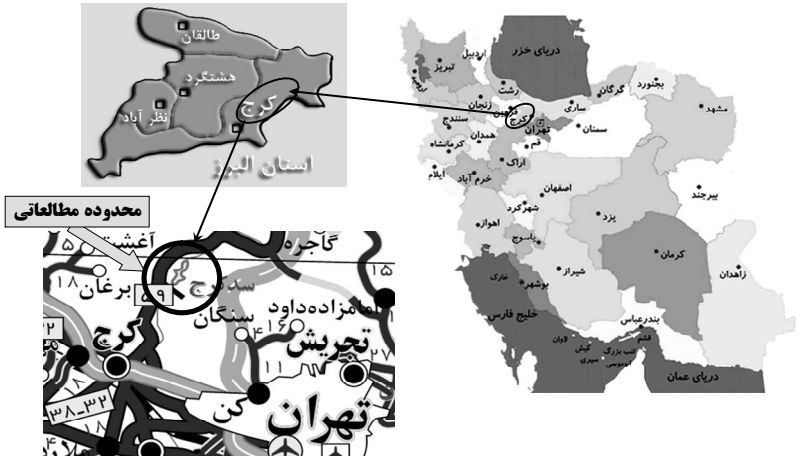
به پژوهش‌های انجام شده، به‌منظور افزایش دقت روش تجربی کاهش سطح، نیاز به واسنجی پارامترهای آن در مورد هر مخزن می‌باشد. افزایش سرعت کامپیوترها روش‌های بهینه‌سازی عددی را به ابزارهای کارآمدی برای حل این‌گونه مسایل تبدیل نموده است. روش SA یک روش بهینه‌سازی عددی با ساختار تصادفی هوشمند می‌باشد که از نظر سادگی و توانایی برای حل مسایل مختلف بهینه‌سازی ترکیبی و بهینه‌سازی توابع چندهدفی و پیچیده مورد توجه پژوهش‌گران رشته‌های مختلف از جمله رشته‌های مرتبط با مهندسی آب قرار گرفته است. محسنی‌موحد (۲۰۰٤) با استفاده از این روش مدل ریاضی بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری را تهیه و ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی را تعیین نمود. شهیدی و برهانی‌داریان (۲۰۰۷) در پژوهشی قوانین بهره‌برداری سد مخزنی دز را با استفاده از روش فازی و الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ با هدف کمینه کردن مجموع مربعات کمبود برداشت آب استخراج نمودند. نتایج نشان داد که در الگوریتم SA با کاهش دمای آهسته‌تر و توقف در دمای پایین‌تر نتایج بهتری به‌دست خواهد آمد. برهانی‌داریان و مرتضوی‌نایینی (۲۰۰۸) از الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان به‌عنوان روش‌های کاوشی و از روش برنامه‌ریزی پویا به‌عنوان یک روش حل و معیاری برای سنجش این روش‌ها برای بررسی بهره‌برداری بهینه از مخازن استفاده نمودند. مقایسه این روش‌ها نشان داد که الگوریتم SA در بهره‌برداری بهینه در دوره کوتاه‌مدت یک‌ساله و بلندمدت ٤۲ ساله از سیستم چندمخزنی دز روش قدرتمندتری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. چیو و همکاران (۲۰۰۷) با ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و SA بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سدی در تایوان را انجام دادند. نتایج نشان داد الگوریتم ترکیبی نسبت به روش فازی از قابلیت بهتری برخوردار است. خدابخشی و همکاران (۲۰۰۹) روش‌های الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان، روش برنامه‌ریزی پویا و مدل MODSIM را در تعیین سیاست بهره‌برداری از سیستم چندمخزنی دز با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد در بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چندمخزنی به‌خصوص در سیستم‌های بزرگ با توابع هدف پیچیده غیرخطی مدل SA در مدت زمان کوتاه‌تر می‌تواند جواب‌های بهتری را پیدا کند. لی و وی (۲۰۰۸) با استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک بهبودیافته و SA، بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم سه مخزنی در رودخانه ووجیانگ چین را انجام دادند. الگوریتم ترکیبی این قابلیت را دارد که در مدت زمان کم‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک بهبودیافته و SA از دام نقاط بهینه محلی رهایی پیدا کند و به نقطه بهینه سراسری همگرا شود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای نشان دادند که الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی آنیلینگ- ژنتیک در مقایسه

با الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک و روش برنامه‌ریزی پویا سریع‌تر می‌تواند به بهینه سراسری همگرا شود. این الگوریتم ترکیبی قابلیت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن را دارد. هدف از این پژوهش استفاده از الگوریتم SA در واسنجی خودکار روش تجربی کاهش سطح است. با استفاده از این الگوریتم، پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح به‌صورتی تعیین می‌شوند که کم‌ترین اختلاف بین حجم برآوردی و واقعی مخزن وجود داشته باشد. با استفاده از این پارامترهای بهینه، قادر خواهیم بود پیش‌بینی دقیق‌تری از نحوه توزیع رسوب در مخزن سد در سال‌های آینده داشته باشیم. در هر مسأله بهینه‌سازی لازم است که اعتبار جواب‌های به‌دست آمده و قابلیت روش در یافتن بهینه سراسری مورد سنجش قرار گیرد. در این پژوهش ضمن معرفی روش مجانب[1] برای رسیدن به این هدف از آن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات فنی سد کرج (امیرکبیر): سد کرج در شمال‌شرقی شهر کرج و در ۲۵ کیلومتری جاده کرج به چالوس واقع شده است که یکی از منابع تأمین آب شرب شهر تهران می‌باشد. این سد از نوع بتنی دو قوسی با طول تاج ۳۹۰ متر می‌باشد. تراز بستر این سد ۱٦۱۰ متر از سطح دریا و حجم این سد در تراز نرمال ۱۷٦۵/۳ متر از سطح دریا معادل ۲۰٦/۳۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سد کرج را نشان می‌دهد.

1- Asymptote Method



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد کرج.

از این سد سه دوره منحنی سطح- حجم- ارتفاع واقعی وجود دارد که شامل داده‌های اولیه سد قبل از آب‌گیری در سال ۱۳٤۰ و دو دوره هیدروگرافی در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸٦ می‌باشد (مهاب‌قدس، ۲۰۰۷). در جدول ۱ حجم رسوبات ورودی به مخزن سد کرج و متوسط سالیانه آن ارایه شده است.

جدول ۱- حجم رسوبات ورودی به مخزن سد کرج (میلیون مترمکعب).

از سال ۱۳٤۰ تا ۱۳۷۰	از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸٦	متوسط سالیانه حجم رسوبات ورودی
۱٦/۳٤۲	٦/۵۷۸	۰/٤۹۸

روش تجربی کاهش سطح: روش تجربی کاهش سطح، نخستین بار توسط برلند و میلر بر پایه نتایج واقعی به‌دست آمده از مطالعه ۳۰ مخزن بزرگ در آمریکا ارایه شده و سپس توسط مودی اصلاح شده است (برلند و میلر، ۱۹۷۱؛ آناندیل، ۱۹۸۷). در این روش براساس جدول ۲ مخازن به ٤ نوع استاندارد طبقه‌بندی می‌شوند که مبنای تقسیم‌بندی عامل ضریب شکل مخزن (m) می‌باشد که از معکوس شیب خط نمودار ظرفیت مخزن بر حسب ارتفاع در یک کاغذ لگاریتمی به‌دست می‌آید (نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۱).

جدول ۲- نوع استاندارد مخازن در روش تجربی کاهش سطح.

درجه‌بندی مخزن	نوع مخزن	پارامتر m

I	دریاچه‌ای (Lake)	۳/۵-٤/۵
II	دشت سیلابی (Flood Plain)	۲/۵-۳/۵
III	تپه‌ای (Hill)	۱/۵-۲/۵
IV	دره‌ای (Gorge)	۱/۰-۱/۵

معادله اصلی این روش به‌صورت رابطه ۱ است (نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۱).

$$S = \int_{0}^{y_0} A dy + \int_{y_0}^{H} K a dy \quad (۱)$$

$$K = A_0 / a_0 \quad (۲)$$

که در آن، S: حجم کل رسوبات، y_0: ارتفاع مخزن از کف رودخانه تا تراز صفر جدید، A: سطح اولیه مخزن در ترازهای مختلف، dy: جزئی از ارتفاع، H: ارتفاع مخزن از کف رودخانه تا تراز نرمال، K: ضریب تبدیل سطح نسبی رسوب به سطح واقعی مخزن، a: سطح نسبی رسوب، A_0: سطح اولیه مخزن در ارتفاع y_0 و a_0، سطح نسبی مخزن در ارتفاع y_0 می‌باشد.

مراحل تعیین توزیع رسوب در روش کاهش سطح عبارتند از (نشریه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۲۰۰۱):

۱- ترسیم منحنی حجم- ارتفاع در مقیاس لگاریتمی و تعیین ضریب شکل مخزن از روی این منحنی و تعیین نوع استاندارد مخزن با استفاده از جدول ۲.

۲- ترسیم دو منحنی $h_p - p$ و $h'_p - p$ در مقیاس نیمه‌لگاریتمی با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ٦.

$$h_p = (1 - v(p)) / a(p) \quad (۳)$$

$$v(p) = a(p) \times p(y) \quad (٤)$$

$$a(p) = c p^m (1 - p)^n \quad (۵)$$

$$h'_p = (S - V(y)) / (H \times A(y)) \quad (٦)$$

که در آن، y: اعماق مختلف، p: عمق نسبی مخزن از کف رودخانه، $A(y)$: سطح اولیه مخزن در اعماق مختلف، $V(y)$: حجم اولیه مخزن در اعماق مختلف، $a(p)$: سطح مخزن در اعماق نسبی مختلف، $v(p)$: حجم مخزن در اعماق نسبی مختلف و S: حجم کل رسوبات می‌باشد. مقادیر c، m و n ضرایب ثابتی هستند که با توجه به نوع مخزن در جدول ۳ ارایه شده‌اند. واسنجی روش با تغییر

این مقادیر برای هر مخزنی می‌تواند انجام شود.

جدول ۳- مقادیر c، m و n در انواع مخازن.

نوع مخزن	n	m	c	حد انباشت رسوبات (مکانی)
I	۰/۳٦	۱/۸۵	۵/۰۷٤	بالا
II	۰/٤۱	۰/۵۷	۲/٤۸۷	بالاتر از حد متوسط
III	۲/۳۲	-۱/۱۵	۱٦/۹٦۷	پایین تر از حد متوسط
IV	۱/۳٤	-۰/۲۵	۱/٤۸٦	پایین

۳- یافتن نقطه تلاقی دو منحنی ترسیم شده و محاسبه تراز صفر جدید در محل سد.

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

۵- محاسبه سطح و حجم اصلاح شده مخزن در اعماق مختلف با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲.

الگوریتم بهینه‌سازی SA: الگوریتم SA یک روش بهینه‌سازی عددی با ساختار تصادفی هوشمند است. ایده اصلی که روش بهینه‌سازی SA بر مبنای آن پایه‌گذاری شده است، اولین بار توسط متروپولیس و همکاران (۱۹۵۳) مطرح شد. کرک‌پاتریک و همکاران (۱۹۸۳) و به‌دنبال آن سرنی (۱۹۸۵) به‌طور مستقل دریافتند که می‌توان از این ایده برای مسایل بهینه‌سازی ترکیبی سود جست و بر این اساس روش SA را پایه‌گذاری نمودند. مهم‌ترین پارامترهایی که قبل از کاربرد روش SA برای مسأله موردنظر باید بررسی و تنظیم شوند عبارتند از: T_0: دمای اولیه، B: فاکتور کاهش دما، ΔX: طول گام تصادفی $(\Delta X = Random / K_{div})$ که در آن $Random$ گزینه تصادفی و K_{div} عددی است که گزینه تصادفی به نسبت آن کوچک می‌شود، EBS: پارامتر مربوط به شرط تعادل، $Epoch$: طول دوره، It: حداکثر تعداد تکرارها در هر دما برای رسیدن به شرط تعادل و T_f: دمای نهایی (شرط توقف). مراحل مختلف روش SA به‌صورت زیر می‌باشد (محسنی‌موحد، ۲۰۰٤):

۱- فراخوانی پارامترهای روش SA: T_0، B، ΔX، EBS، $Epoch$، It و T_f.

۲- ایجاد نمونه اولیه: ایجاد نمونه تصادفی S در فضای امکان‌پذیر با توجه به قیدهای مسأله و به‌دست آوردن مقدار تابع هدف $FF(S)$ به‌ازای این نقاط.

۳- ایجاد نمونه ثانویه: ایجاد نمونه تصادفی S' در فضای امکان‌پذیر با توجه به قیدهای مسأله و

به‌دست آوردن مقدار تابع هدف $FF(S^{'})$ به‌ازای این نقاط.

٤- بررسی تغییرات تابع هدف: $D = FF(S^{'}) - FF(S)$، اگر در مقدار تابع هدف به‌ازای نمونه تصادفی $S^{'}$ نسبت S کاهش مشاهده شد $(D \leq ۰)$، این انتقال رو به پایین را به‌عنوان جواب بهتر بپذیرید و $S^{'}$ را جایگزین S کنید. در غیر این صورت $(D > ۰)$، یک عدد تصادفی یکنواخت بین صفر و ۱ تولید $(R(۰-۱))$ و احتمال $P(D) = \exp(-D/T_r)$ را محاسبه کنید (فرض اولیه: پارامتر دما (T_r) برابر با دمای اولیه $(T_۰)$). اگر $P(D) > R(۰-۱)$ شد، این انتقال رو به بالا را نیز برای رهایی از دام نقاط بهینه محلی و همگرایی به‌سوی بهینه سراسری بپذیرید و $S^{'}$ را جایگزین S کنید. در غیر این صورت به گام ۳ برگردید.

۵- گام‌های ۳ و ٤ را به تعداد طول دوره $(Epoch)$ تکرار کنید.

٦- بررسی شرط تعادل: شرط تعادل به‌صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود (ویلهلم و وارد، ۱۹۸۷):

$$\left|F_e - F_g\right| / F_g \leq EBS \qquad (۷)$$

که در آن، F_e: میانگین تابع هدف در طی آخرین دوره در هر دما، F_g: میانگین تابع هدف در طی تمام دوره‌های پیشین در همان دما و EBS: مقدار ثابت کوچک و مثبت کنترل‌کننده شرط تعادل می‌باشد که توسط کاربر انتخاب می‌شود و مقدار بهینه آن طی آزمایش‌های اولیه به‌دست می‌آید. اگر شرط تعادل برقرار شد گام ۷ را اجرا کنید در غیر این صورت It را بررسی کنید. اگر تعداد دفعات تکرار گام‌های ۳ و ٤ به It رسید گام ۷ را اجرا کنید در غیر این صورت به گام ۳ برگردید.

۷- بررسی شرط توقف: (در این پژوهش رسیدن به دمای نهایی به‌عنوان شرط توقف در نظر گرفته شده است). اگر شرط توقف برقرار شد جواب به‌دست آمده را به‌عنوان جواب بهینه می‌پذیریم در غیر این صورت پارامتر دما را به‌میزان $T_{r+۱} = B \times T_r$ کاهش دهید و به گام ۳ برگردید. در این پژوهش براساس الگوریتم روش تجربی کاهش سطح و SA دو برنامه کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شده است. ترکیب دو الگوریتم به این صورت می‌باشد که الگوریتم شبیه‌سازی به‌صورت یک زیربرنامه به الگوریتم بهینه‌سازی معرفی می‌گردد. در مواقع لزوم در فرایند بهینه‌سازی الگوریتم شبیه‌سازی برای انجام محاسبات مربوط به تابع هدف براساس پارامترهای تعیین شده الگوریتم بهینه‌سازی فراخوانی می‌شود. از این الگوریتم ترکیبی برای واسنجی روش تجربی کاهش سطح استفاده می‌شود.

روش مجانب در صحت‌سنجی الگوریتم SA: الگوریتم SA قابلیت خروج از دام نقاط بهینه محلی و حرکت به‌سوی بهینه سراسری را دارد. هرگاه زمان اجرای الگوریتم و یا تعداد تکرارها به‌سمت بی‌نهایت میل کند، الگوریتم ۱۰۰ درصد به‌صورت مجانبی به‌سمت بهینه سراسری همگرا خواهد شد که از این خاصیت روشی به‌نام روش مجانب به‌منظور برآورد بهینه سراسری و مقایسه جواب‌های به‌دست آمده با آن پیشنهاد شده است. مراحل استفاده از روش مجانب عبارتند از (محسنی‌موحد، ۲۰۰٤):

۱- با افزایش دمای اولیه و کاهش دمای نهایی در پارامترهای تنظیم شده، مدل اجرا می‌شود. به این ترتیب تعداد تکرارها افزایش می‌یابد و میدان وسیعی از انتقال‌های رو به پایین ایجاد می‌گردد.

۲- مقادیر بهبودیافته تابع هدف (انتقال‌های رو به پایین) به‌ازای تعداد تکرارهای پذیرفته شده به‌عنوان متغیر مستقل و شماره تکرارهای پذیرفته شده به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود.

۳- مراحل ۱ و ۲ تا جایی باید تکرار شوند که بین متغیر مستقل و وابسته رابطه ۸ با ضریب همبستگی مناسب به‌وجود آید.

$$1/N = a + b \times (FF) \qquad (8)$$

که در آن، N: تعداد تکرارهای پذیرفته شده تا رسیدن به مقدار تابع هدف و FF: تابع هدف می‌باشد. در این پژوهش برای ایجاد همبستگی از نرم‌افزار Table Curve (V 1.12) استفاده شده است.

٤- با رسیدن به یک ضریب همبستگی مناسب، مقادیر ضرایب ثابت a و b از نرم‌افزار مورد استفاده در رگرسیون استخراج می‌شوند. در رابطه ۸ اگر N به‌سمت بی‌نهایت میل کند، براساس رابطه ۹، $1/N$ به‌سمت صفر میل می‌کند. بنابراین مقدار تابع هدف مطابق با رابطه ۱۰ قابل محاسبه است.

$$N \to \infty : a + b \times (FF) \qquad (9)$$

$$FF = -a/b \qquad (10)$$

۵- در این مرحله باید کیفیت جواب‌های به‌دست آمده در مقایسه با مقدار تخمینی بهینه سراسری مورد ارزیابی قرار گیرد.

تابع هدف و متغیرهای تصمیم: در این پژوهش c، m و n متغیرهای تصمیم می‌باشند که برای تعیین مقادیر بهینه این پارامترها تابع هدف به‌صورت مجذور میانگین مربعات خطای بین حجم برآوردی و واقعی مخزن با رابطه ۱۱ تعریف می‌شود. این تابع در حالت کمینه بهترین مقادیر پارامترها را به‌دست می‌آورد.

$$FF = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(V_{h_i} - V_{c_i})^2}{n}} \qquad (11)$$

که در آن، FF: تابع هدف، n: تعداد ترازها در منحنی سطح- حجم- ارتفاع، V_{h_i}: حجم واقعی مخزن براساس اطلاعات هیدروگرافی در تراز i ام و V_{c_i}: حجم برآوردی مخزن براساس روش تجربی کاهش سطح در تراز i ام می‌باشد.

نتایج و بحث

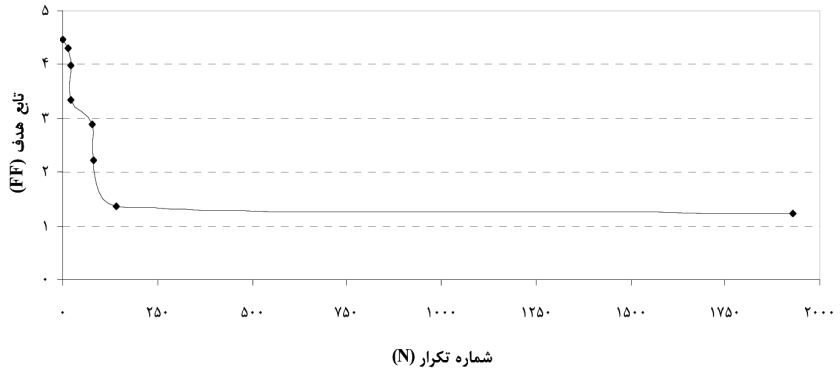
با توجه به پژوهش‌های آناندیل (۱۹۸۷) روش پیشنهادی برلند و میلر (۱۹۷۱) در تعیین نوع مخزن مناسب نمی‌باشد. به‌طوری‌که در بسیاری از موارد با انتخاب نوع مخزن‌های دیگر غیر از مخزن پیشنهادی برلند و میلر تطابق بهتری بین مقادیر برآوردی و هیدروگرافی ایجاد می‌شود. بنابراین به‌منظور تعیین بهترین نوع مخزن در مورد سد کرج ابتدا مقادیر تابع هدف در حالت پارامترهای معمول روش تجربی کاهش سطح به‌ازای نوع مخزن‌های مختلف با استفاده از سه دوره اطلاعات واقعی سطح- حجم- ارتفاع محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ٤ ارایه شده است. برای مخزن سد کرج مقدار m از معکوس شیب خط نمودار ظرفیت مخزن بر حسب ارتفاع در یک کاغذ لگاریتمی برابر با ۲/٦٥۳ به‌دست آمده است. براساس جدول ۲ مخزن این سد از نوع II می‌باشد. این در حالی است که تابع هدف در حالت مخزن نوع I کم‌تر از مخزن نوع II که توسط روش برلند و میلر پیشنهاد شده است، می‌باشد.

جدول ٤- تابع هدف در نوع مخزن‌های مختلف.

نوع مخزن	تابع هدف در سال ۱۳۷۰ براساس اطلاعات سال ۱۳٤۰	تابع هدف در سال ۱۳۸٦ براساس اطلاعات سال ۱۳۷۰
I	۲/٦۹٤	۰/٦۹۸
II	۲/۸۷٦	۰/۹۲۷
III	٦/۷۸٤	۱/٥۷٤
IV	٥/٦۸۰	۱/۰۳۷

با استفاده از مدل تهیه شده مقادیر بهینه پارامترهای روش تجربی کاهش سطح براساس اطلاعات سال‌های ۱۳٤۰ و ۱۳۷۰ به‌دست آمد. شکل ۲ تغییرات تابع هدف به‌ازای انتقال‌های رو به پایین در اجرای مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در تکرارهای اولیه الگوریتم

SA، تابع هدف روند کاهشی سریع‌تری دارد و این روند در شماره تکرارهای بالاتر کندتر می‌شود. در نهایت در هزار و نهصد و سی و یکمین تکرار تابع هدف به حداقل مقدار می‌رسد و به نقطه بهینه سراسری همگرا می‌شود که این نقطه، مقادیر بهینه پارامترهای روش تجربی کاهش سطح را شامل می‌شود. در جدول ۵ مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم ارایه شده است.

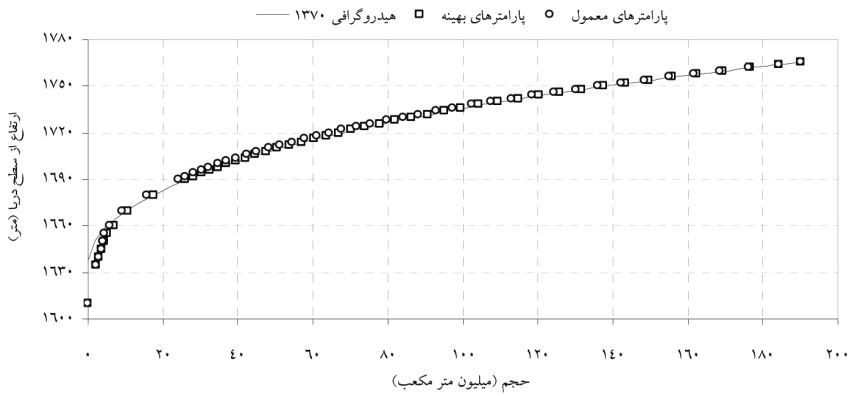


شکل ۲- تغییرات تابع هدف به‌ازای انتقال‌های رو به پایین.

جدول ۵- مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم.

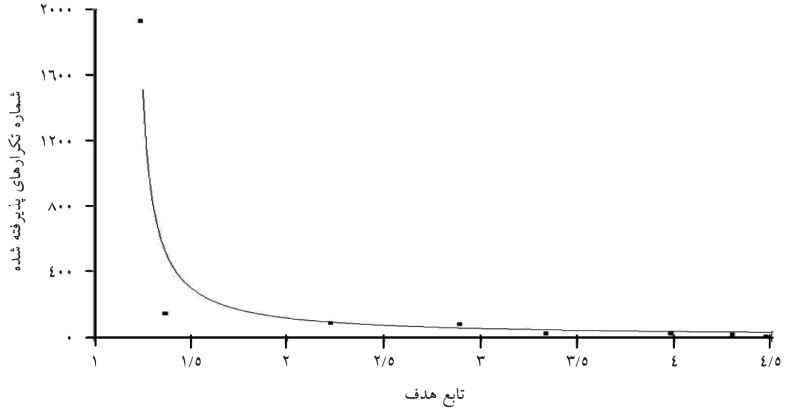
پارامترها	n	m	c
مقادیر بهینه پارامترها	۱٤/۲۳٤	۰/۸۳٦	۰/۰۵۲

مقدار تابع هدف در حالت استفاده از پارامترهای بهینه در دوره واسنجی ۱/۲٤ به‌دست آمد که نسبت به حالت استفاده از پارامترهای معمول برلند و میلر برای مخازن نوع I و II به‌ترتیب ۵۷ و ٥٤ درصد کاهش یافته است. بنابراین مدل تهیه شده با تعیین پارامترهای بهینه دقت محاسبات را افزایش می‌دهد. شکل ۳ حجم برآوردی مخزن به‌ازای پارامترهای معمول و بهینه و حجم واقعی مخزن سد کرج را در سال ۱۳۷۰ نشان می‌دهد.



شکل ۳- توزیع رسوب در سد کرج در سال ۱۳۷۰.

اجرای نهایی مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی شامل ٦٥٣٥ انتقال رو به پایین و بالا، ٤٩١٠ انتقال رو به پایین و بالای پذیرفته شده و ۸ انتقال رو به پایین می‌باشد. با استفاده از برنامه Table Curve (V 1.12) مقادیر بهبودیافته تابع هدف (انتقال‌های رو به پایین) در برابر شماره تکرارهای پذیرفته شده ترسیم و منحنی $y^{-1} = a + bx$ به‌صورت شکل ٤ از آن‌ها برازش داده شده است. مقادیر a، b و r^2 در جدول ٦ ارایه شده است.



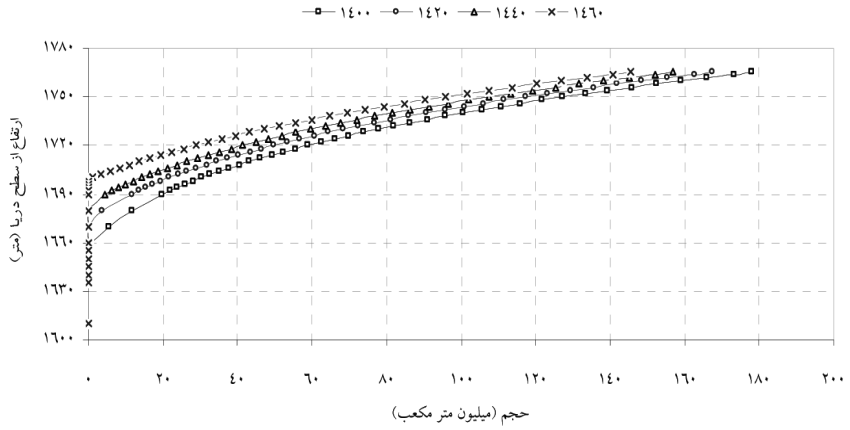
شکل ٤- منحنی $y^{-1} = a + bx$.

جدول ٦- مقادیر a، b و r^2.

a	b	r^2
-۰/۰۱۲۸۸۹۷۱۵	۰/۰۱۰۸۱٦۰۸۲	۰/۹۵۲٦۷۷۷۱٦

به کمک روش مجانب مشاهده شده است که تابع هدف با ضریب همبستگی مناسب ۹۵ درصد به‌سمت نقطه بهینه سراسری ۱/۱۹۲ میل می‌کند. با توجه به نزدیک بودن مقدار تابع هدف به‌دست آمده از مدل با مقدار به‌دست آمده از روش مجانب می‌توان گفت که مدل تهیه شده قابلیت یافتن نقطه بهینه سراسری را دارد و جواب به‌دست آمده صحیح می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی دقت پارامترهای بهینه در برآورد توزیع رسوب در دوره‌هایی غیر از دوره واسنجی، توزیع رسوب در سال ۱۳۸٦ بر مبنای هیدروگرافی سال ۱۳۷۰ با استفاده از پارامترهای معمول و بهینه محاسبه شد. مقدار تابع هدف در حالت استفاده از پارامترهای معمول و بهینه به‌ترتیب ۰/۹۲۷ و ۰/۷٤۳ می‌باشد. کاهش ۲۰ درصدی تابع هدف در حالت استفاده از پارامترهای بهینه نسبت به پارامترهای معمول، بیانگر توانایی پارامترهای بهینه در افزایش دقت روش کاهش سطح در پیش‌بینی توزیع رسوبات در دوره‌های غیر از دوره واسنجی می‌باشد. با فرض ثابت ماندن روند مقدار رسوب ورودی به مخزن سد کرج در سال‌های آینده نحوه توزیع رسوب در سد کرج در سال‌های ۱٤۰۰، ۱٤۲۰، ۱٤٤۰ و ۱٤٦۰ براساس پارامترهای بهینه پیش‌بینی شده که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- پیش‌بینی توزیع رسوب در سد کرج در سال‌های آینده براساس پارامترهای بهینه.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین مشکلات روش تجربی کاهش سطح تعیین نوع دقیق مخزن برای هر هیدروگرافی انجام شده، برای پیش‌بینی دقیق‌تر توزیع رسوب در سال‌های آینده می‌باشد. با تعیین پارامترهای بهینه این روش برای هر مخزن، دیگر نیازی به تعیین نوع مخزن در هیدروگرافی‌های بعدی نمی‌باشد. به این منظور نیاز به حداقل دو دوره از اطلاعات سطح- حجم- ارتفاع می‌باشد. استفاده از پارامترهای بهینه در هر مخزن تأثیر به‌سزایی در بالا بردن دقت روش تجربی کاهش سطح دارد که می‌تواند برنامه‌ریزی‌های مربوط به سیاست‌های بهره‌برداری از هر مخزن را مطمئن‌تر سازد. با استفاده از الگوریتم SA می‌توان پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح را تعیین نمود و دقت این روش را به‌میزان قابل‌توجهی افزایش داد. مقادیر بهینه این پارامترها برای تطابق بیش‌تر مقادیر حجم برآوردی و واقعی مخزن سد کرج و به حداقل رساندن تابع هدف در جدول ۵ ارایه شده است. مدل تهیه شده را می‌توان بدون هیچ تغییری با وارد نمودن اطلاعات مربوط به مخزن هر سدی با استفاده از فایل‌های ورودی، در واسنجی روش تجربی کاهش سطح مخزن آن سد مورد استفاده قرار داد.

منابع

1. Annandale G.W. 1987. Reservoir sedimentation. Development in Water Science. Elsevier Science Publishers B.V. Rand Afrikaans University, Auckland Park, Johannesburg, 221p.
2. Azimi Kargar, A., and Sedghi, H. 2008. Introduced and studied the most common forecasting methods in dam reservoirs sedimentation (Case Study: Sefidrood Dam). 14th Civil engineering Student's Conferance. Semnan University, 9p. (In Persian)
3. Borhani Darian, A., and Mortezavi Naeeni, M. 2008. Comparsion of application research methods at optimum operation of water resources. J. Water and Soil. 68: 57-66. (In Persian)
4. Borland, W.M., and Miller, C.R. 1971. River mechanics. Chapter B29: Reservoir sedimentation, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, USA, 42p.
5. Cereny, V. 1985. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm. J. Optimization Theory and Applications. 45: 41-51.

6.Chiu, Yu.C., Chang, Li.C., and Chang, Fi.J. 2007. Using a hybrid genetic algorithm–simulated annealing algorithm for fuzzy programming of reservoir operation, Hydrological Processes, 21: 23. 3162-3172.
7.Emami, S.A., Mahjoob, H., Jabbari, E., and Alaghmandan, M. 2007. Study of sedimentation in the Dez reservoir using the calibrated area-reduction method, based on reservoir hydrography. 7th International Congres of River Engineering. Shahid Chamran Ahvaz University, 8p. (In Persian)
8.Iran Water Resources Management Organization. 2001. Estimation of total sediment load and its distribution in dam reservoirs. Management and Planning Organization Publication. NO 221. 36p. (In Persian)
9.Khodabakhshi, F., Ghirian, A.R., and Khakzad, N. 2009. Applying simulated annealing for optimal operation of multi-reservoir systems. J. Engine. and Appl. Sci. 2: 1. 80-87. (In Persian)
10.Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D.Jr., and Vecchi, M.P. 1983. Optimization by simulated annealing. Science, 220: 671-680.
11.Li, X.G., and Wei, X. 2008. An improved genetic algorithm-simulated annealing hybrid algorithm for the optimization of multiple reservoirs. J. Water Resour. Manage. 22: 1031-1049.
12.Mahab Ghods. 2007. Hydrography Report of the Karaj Dam. 86p. (In Persian)
13.Metropolise, N., Rosenbluth, A., Teller, A., and Teller, E. 1953. Equation of state calculations by fast computing machines. J. Chem. Phys. 21: 1087-1092.
14.Mohamadiha, A. 2010. Auto calibration of area-reduction method on sediment distribution in reservoir of dam. Thesis Submitted for the Degree of M.Sc. in Water Structures. Water Engineering Department. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 118p. (In Persian)
15.Mohamadiha, A., and Emadi, A. 2010. Calibration of area-reduction method in calculation of sediment distribution in Golestan dam reservoir. 5th International Congress of Civil Engineering. Ferdosie University of Mashhad. 4-6 May. 9p. (In Persian)
16.Mohseni Movahed, S.A. 2004. Mathematical model development of irrigation canals hydraulic performance Optimization using simulated annealing and determination of weighting performance indicators. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modarres University. Tehran, Iran, 274p. (In Persian)
17.Mousavi, S.F., Haidarpour, M., and Shabanlou, S. 2006. Investigation of sediments in the Zayanderood reservoir through area-increment and area-reduction empirical models. J. Water and Sewage. 57: 76-82. (In Persian)
18.Shahidi, L., and Borhani Darian, A. 2007. Study of application fuuzy moddeling and simulated annealing algorithm at optimum operation of water resources. 7th Congres of fuuzy Systems. Mashhad University. 29-31 August. 10p. (In Persian)
19.Wilhelm, M.R., and Ward, T.L. 1987. Solving quadratic assignment problem by

simulated annealing. IIE Transactions, Pp: 107-119.
20. Zhang, Y.Y., Huang, Q., Gao, F., and Sun, X.Y. 2010. Optimal reservoir operation using a hybrid Simulated annealing algorithm-genetic algorithm. International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), Pp: 454-458.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(4), 2013
http://jwsc.gau.ac.ir

Application of simulated annealing algorithm in calibration of area reduction method in sediment distribution of dams reservoir (Case Study: Karaj Dam)

***A.R. Emadi[1], M. Khademi[2] and A. Mohamadiha[2]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]M.Sc. Graduated, Dept. of Water Structures, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 04/16/2011; Accepted: 02/28/2012

Abstract

Area reduction method is one of the most common empirical methods to determine sediment distribution in dam reservoirs. In this method reservoirs were classified into four types that for each of them the parameters c, m and n are presented. Calibration of method for a reservoir based on these parameters can increase its accuracy. In this research, two computer programs in FORTRAN language were prepared based on SA optimization algorithms and area reduction empirical method. Then, a simulation-optimization model was obtained by combination of two mentioned programs with ability to determine optimal parameters of area reduction method. Using this model, optimal parameters of area reduction method is determined so that the least difference exists between computational and actual volume. Prepared model was used for Karaj Dam with three periods of actual area-volume-height information. Using actual data from two first periods, optimal empirical area reduction parameters were obtained and capability of SA algorithm determining the global optimal was tested by asymptotic method. The optimal values of c, m and n were obtained 0.052, 0.836 and 14.234 respectively. In order to indicate the ability of optimal parameters to increase accuracy of prediction, sediment distribution in the third period of the actual data was calculated with typical and optimal parameters and the results were compared with actual values. Results showed that using optimal parameters decrease the amount of error in the prediction of sediment distribution, significantly. Difference between estimated and actual volume of Karaj dam using optimal parameters in calibration and verification periods are 54% and 20% lower than the typical parameters respectively. Finally sediment distribution of reservoir was predicted for next years based on optimal parameters.

Keywords: Calibration, Area reduction method, SA algorithm, Optimal parameters, Optimization

* Corresponding Author; Email: emadia355@yahoo.com