

بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده‌های تحتانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته جهت کمینه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدها

ابراهیم ولیزادگان^{1*}، فرزاد جلیلی¹ و علی نصراله زاده اصل¹

تاریخ دریافت: 91/02/23 تاریخ پذیرش: 91/10/10

¹استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: evalizadegan@yahoo.com

چکیده

رسوب‌گذاری در مخازن سدها اثرات نامطلوبی را هم برای خود سد و هم برای رودخانه می‌تواند به همراه داشته باشد. این پدیده باعث کم شدن حجم مفید مخزن، کاهش پایداری سد، اختلال در عملکرد دریاچه‌های تحتانی، عملکرد نامطلوب آبگیرها و دریاچه‌های پنستاک‌ها می‌شود. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخزن سد نرم افزار شبیه‌سازی رسوب GSTARS3 به کار برده شد. همچنین برای دستیابی به سیاست بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده‌های تحتانی با هدف حداقل‌سازی رسوب‌گذاری در مخزن سد از یک برنامه کامپیوتری که به همین منظور نوشته شده استفاده گردید. بعد از واسنجی این مدل برای مخزن سد و شمگیر در گرگان، نتایج اجرای مدل توسط یک برنامه واسط، به عنوان بخشی از داده‌های ورودی به برنامه بهینه‌سازی منتقل شده و خروجی حاصل از اجرای این برنامه توسط یک برنامه واسط دیگر به عنوان بخشی از داده‌های ورودی به برنامه شبیه‌سازی وارد شده و مجدداً نتایج اجرای این مدل به برنامه بهینه‌سازی منتقل می‌شود. بدین ترتیب تجزیه و تحلیل داده‌ها در این حلقه آنقدر انجام می‌شود که دقت مورد نظر بدست آید و حالت بهینه بهره‌برداری جهت به حداقل رسیدن رسوب‌گذاری حاصل شود. این مسئله بهینه‌سازی، یک مسئله برنامه‌ریزی غیر خطی مقید می‌باشد که جهت حل آن، از روش تابع جریمه استفاده شده تا به یک مسئله بهینه‌سازی نامقید تبدیل گردد. بعد از این تبدیل، از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته برای حل مسئله بهینه‌سازی نامقید استفاده شده و سیاست بهره‌برداری بهینه برای سد و شمگیر بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهره‌برداری از مخازن، بهینه‌سازی، رسوب‌گذاری، شبیه‌سازی، GSTARS3

Optimal Operation of Bottom Outlets for Minimizing Reservoirs Sedimentation Using Continuous Genetic Algorithm

E Valizadegan*¹, F Jalili¹ and A Nasrollahzadeh Asl¹

Received: 12 May 2012 Accepted: 29 December 2012

¹-Assist. Prof., Islamic Azad Univ., Khoy Branch, Iran

*Corresponding Author Email: evalizadegan@yahoo.com

Abstract

Sedimentation in dam reservoirs can have unfavorable effects on both dam and river. This phenomenon causes the reduction in useful volume of reservoirs, diminishing the dam stability, disorder in bottom outlets, intakes and penstocks function. To simulate the sedimentation in the reservoir, GSTARS3 software was used. To attain the optimum operation policy of the bottom outlets for minimizing the reservoir sedimentation, a computer program which had been written for this purpose was used. After calibrating this software for Voshmgir dam reservoir in Gorgan, the output results of running this software as a part of input data file were entered to an optimization model by an auxiliary computer program and after running the optimization model, results were converted to GSTARS3 as a part of the input data file by another auxiliary computer program. Then GSTARS3 was run again with the new data file which had been obtained from running the optimization model. The results of running GSTARS3 were transported to the optimization model once more. Data analyses accomplished in this cycle led to the desired accuracy. This problem of optimization is a constrained nonlinear programming and the penalty function method has been used to change it to a unconstrained problem. Then we used the continuous Genetic Algorithm (GA) method to solve the problem and operation of Voshmgir Dam.

Keywords: Genetic algorithm, GSTARS3, Operation of reservoirs, Optimization, Sedimentation, Simulation.

مقدمه

رسوبات به همراه آب به سازه‌های آبگیر، بدلیل ته‌نشینی و عمل ساینده‌گی ذرات رسوب، زبری سطح سازه‌های آبگیر افزایش یافته و باعث ایجاد کائیتاسیون خواهد شد (نیکلوف و میز 2001).

اولین قدم جهت بررسی رسوب‌گذاری در مخازن، برآورد میزان جریان رسوب ورودی به مخزن می‌باشد.

رسوب‌گذاری در مخازن سدها امری اجتناب ناپذیر بوده و اثرات نامطلوب زیادی مانند کم شدن حجم مفید مخزن، کاهش پایداری سد، اختلال در عملکرد دریاچه‌های تحتانی، بدی عملکرد آبگیرها و دریاچه‌های پنستاک‌ها را به همراه خواهد داشت. همچنین با ورود

متعددی در نقاط مختلف جهان به این موضوع توجه ویژه ای کرده‌اند. تحقیقات این محققین به ارائه روابط ریاضی و مدل‌های کامپیوتری منجر شده است مانند مدل HEC-6¹ توسط مرکز هیدرولوژی مهندسی آمریکا، مدل Fluvial² توسط چانگ²، مدل SSIIM³ توسط نیلز اولسن³، مدل HRS⁴ توسط بتس و وایت⁴، مدل Mobed⁵ توسط اسپاسجویک و هالی⁵، مدل FCM⁶ توسط کوریا⁶ و همکاران، مدل DEPO⁷ توسط قمشی و مدل BRI-STARS⁷ توسط مولیناس⁷.

اکتاویا و همکاران (2009) امکان لایروبی رسوبات ته نشین شده در کف مخازن را با استفاده از نیروی جت آب بررسی نمودند. آنها با استفاده از نیروی جت آب ابتدا رسوبات ته نشین شده را دوباره به صورت معلق درآورد و سپس با استفاده از تئوری حاکم بر جریان‌های غلیظ امکان انتقال این رسوبات در کف مخزن را بررسی نموده و یک مدل عددی برای این انتقال توسعه دادند و مقرون به صرفه بودن این روش را نسبت به لایروبی مکانیکی به اثبات رساندند.

فتحی مقدم و همکاران (2010) به منظور شناخت هرچه بهتر نحوه رسوب زدائی با استفاده از عمل فلاشینگ، از یک مدل فیزیکی استفاده کرده و اعلام داشتند که با عمل فلاشینگ، در داخل مخزن و در مقابل خروجی‌های تحتانی یک محدوده قیفی شکل⁸ در اثر خروج بخشی از رسوبات ته نشین شده ایجاد می‌شود. آنها با آزمایشات متعدد توانستند دو معادله را جهت تعیین طول و ارتفاع این محدوده قیفی شکل و در نتیجه مقدار حجم رسوباتی که می‌توان با عمل فلاشینگ از مخزن سد خارج ساخت بدست آوردند.

بهمین منظور روش‌های متعددی ارائه شده است از جمله می‌توان به روش توان واحد جریان و روش‌های ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک در نقاط مختلف جهان اشاره نمود.

رسوب‌گذاری در مخازن را می‌توان با تخلیه بخشی از رسوب ورودی کاهش داد. گاهی قبل از اینکه ذرات معلق در آب در پشت سد فرصت ته‌نشینی پیدا کنند از طریق دریچه‌های تخلیه سد که در ارتفاعات مختلف کار گذاشته شده‌اند از سد خارج می‌شوند. اگر جریان‌های چگال که در کف مخزن سد در جریان هستند امکان عبور از دریچه‌های تخلیه سد را داشته باشند، ضریب محبوس کردن رسوبات (راندمان تله اندازی) در مخزن سد کاهش می‌یابد. دریچه‌های تخلیه‌ای که در نزدیکی کف دریاچه سد قرار دارند امکان انتقال رسوبات به پایاب را دارند (ولیزادگان 1386).

تا بحال بحث رسوب‌گذاری در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخازن خیلی کمتر مدنظر قرار گرفته و مباحث مطرح شده در این ارتباط نیازمند تحقیقات بیشتری است. مخازن موجود در ایران نیز از بحث‌های فوق مستثنی نیست و گزینه رسوب‌گذاری و مشکلات ناشی از آن در برنامه بهره‌برداری از مخازن در نظر گرفته نشده است. اندازه‌گیری‌های رسوب در مخزن سد لتیان نشان داده که سالیانه بطور متوسط 1/65 میلیون متر مکعب رسوب وارد آن شده که 1/24 میلیون متر مکعب در سد باقی می‌ماند. یعنی این سد سالانه حدود 1/3 درصد از ظرفیت خود را از دست می‌دهد. میزان کاهش حجم مخزن در سد سفیدرود سالانه 40 میلیون متر مکعب است در حالی که حجم اولیه آن 1/7 میلیارد متر مکعب بوده و در فاصله کوتاهی (کمتر از 25 سال) این ظرفیت تقریباً نصف شده است و چندین سال است که وزارت نیرو با عمل تخلیه رسوب روند رسوب‌گذاری در آن را کند می‌نماید (گودرزی 1379).

با توجه به اهمیت پیش بینی نحوه توزیع رسوب و رسوب‌گذاری در مخازن، در سال‌های اخیر محققین

¹ Hydrologic Engineering Center

² Chang

³ Nils Olsen

⁴ Bettes & White

⁵ Spasojevic & Holly

⁶ Corria

⁷ Molinas

⁸ Funnel-Shaped Crater

در این تحقیق به منظور حداقل‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدها از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده و حساسیت برخی از پارامترهای مهم در این روش بررسی شده و سیاست بهره‌برداری از تخلیه‌کننده‌های تحتانی برای رسیدن به این هدف ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخزن سد

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخزن سد از نرم افزار GSTARS3 استفاده شده است. این نرم افزار یکی از کامل‌ترین و جدیدترین مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان آب و رسوب در رودخانه‌ها و مخازن می‌باشد که توسط گروه هیدرولیک رسوب و رودخانه USBR توسعه داده شده است (یانگ و سیمونز 2002).

مطالعه موردی

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای نرم افزار شبیه‌ساز رسوب‌گذاری شامل این موارد است: مشخصات هندسی (شامل مشخصات هندسی بدنه سد، مشخصات هندسی مقاطع عرضی مخزن در زمان آغاز بهره‌برداری از سد و مشخصات هندسی مقاطع عرضی مخزن پس از آغاز بهره‌برداری یا نتایج عملیات هیدروگرافی روی مخزن در یک یا چند بازه زمانی مختلف تا بحال)، مشخصات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مخزن (شامل ضریب زبری مخزن، هیدروگراف جریان‌های ورودی به مخزن، منحنی فرمان مخزن (سیاست بهره‌برداری فعلی از مخزن)، منحنی حجم-سطح و ارتفاع مخزن و مشخصات عمومی و فیزیوگرافی حوضه آبریز سد و شبکه رودخانه‌ای حوضه آبریز سد)، شرایط آب و هواشناسی محل سد (شامل بارندگی (برف و باران)، دما (روزهای یخبندان و بدون یخبندان) و رطوبت نسبی در محل)، مشخصات رسوب (شامل آمار

کاریاگا و میز (1995) از اولین محققانی هستند که به مسئله رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها و مخازن با استفاده از روش برنامه‌ریزی دیفرانسیلی دینامیک (DDP) پرداخته‌اند. آنها جهت شبیه‌سازی رسوب در رودخانه‌ها از نرم‌افزار HEC-6 استفاده نموده‌اند. بنابراین برنامه‌ریزی DDP را با HEC-6 مرتبط کرده و مدلی را ارائه نموده‌اند. مدل آنها که به عنوان بخشی از تحقیقات‌شان می‌باشد رسوب‌گذاری در مخازن را در نظر نگرفته و تنها روی رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها متمرکز شده است. نیکوف و میز (2001) رسوب‌گذاری در مخازن را با بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده‌های تحتانی بررسی کرده‌اند. آنها جهت شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخزن از نرم‌افزار HEC-6 و جهت بهینه‌سازی از روشی بنام SALQR¹ استفاده نموده و جهت بررسی تغییرات بستر مخزن رابطه اکسندر² را بطور جداگانه مورد استفاده قرار داده‌اند. آنها مجموع میزان تغییرات ارتفاع بستر مخزن را در تمامی مقاطع عرضی بررسی کرده‌اند. به عبارت دیگر تابع هدف آنها حداقل‌سازی مجموع تغییرات ارتفاع بستر می‌باشد (چه فرسایش و چه رسوب‌گذاری) یعنی قدرمطلق مجموع فرسایش در کل مقاطع عرضی و مجموع رسوب‌گذاری در کل مقاطع عرضی را به عنوان تابع هدف در نظر گرفته‌اند.

ولیزادگان و همکاران (1386) جهت حداقل‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدها از یک روش بهینه‌سازی تئوریک استفاده کردند. آنها کارایی روش بهینه‌سازی جهات مزدوج³ را که یکی از روش‌های جستجوی مستقیم مستقیم می‌باشد بررسی کردند. تابع هدف در تحقیق آنها حداقل کردن حجم کل رسوبات ته نشین شده در مخزن است.

¹Successive Approximation Linear Quadratic Regulation

² Exner

³ Conjugate Method

و شرایط اولیه مخزن به این شرح است: حد بالای رقوم سطح آب در مخزن نسبت به یک سطح مقایسه 126 متر، حد پایین رقوم سطح آب در مخزن نسبت به سطح مقایسه 118 متر، حداکثر دبی خروجی از تخلیه‌کننده‌های تحتانی $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ، حداقل دبی خروجی از تخلیه‌کننده‌های تحتانی صفر و رقوم سطح آب در آغاز دوره بهره‌برداری 123 متر.

دبی آب-دبی رسوب، دانه‌بندی رسوب ورودی به مخزن و دانه‌بندی رسوبات مواد بستر) و مشخصات زمین شناسی محل سد (یانگ و سیمونز 2002).

مخزن سد و شمشگیر در استان گلستان که اطلاعات کافی (موارد بالا) را در این زمینه دارد به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. برای یک دوره 7 روزه شرایط اولیه جریان برای اجرای برنامه بهینه‌سازی در جدول 1

جدول 1- شرایط اولیه مخزن برای اجرای برنامه بهینه‌سازی.

داده های	گامهای زمانی (day)	1	2	3	4	5	6	7
هیدرولوژی	دبی جریان (m^3/s)	46/3	33/2	14/4	3/7	1/9	3/3	5/9

بیان مسئله بهینه‌سازی

یکی از مشکل‌ترین قسمت‌های کاربرد مسائل برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی تبدیل داده‌های واقعی یک موضوع به زبان ریاضی می‌باشد (شهیدی پور 1384). در این تحقیق مسئله بهینه‌سازی، کمینه کردن رسوب‌گذاری در مخزن می‌باشد که این موضوع به عوامل و پارامترهای بسیار زیادی وابسته است. جهت مدل کردن این موضوع از روش برنامه‌ریزی غیرخطی مقید استفاده شده است چون تابع هدف (توابع انتقال رسوب) تابعی غیرخطی از متغیرهای تصمیم (میزان دبی‌های خروجی از مخزن توسط تخلیه‌کننده‌های تحتانی) می‌باشد. بنابراین تابع هدف مسئله بهینه‌سازی عبارت است از:

$$\min f(R_t) = \sum_{t=1}^N V s_t \quad [1]$$

که در آن $V s_t$: حجم رسوبات ته‌نشین شده در مخزن در دوره زمانی t N : تعداد گام‌های زمانی. مقدار $V s_t$ توسط یکی از روابط انتقال رسوب که بهترین تطابق را با محل مورد بررسی دارد محاسبه می‌گردد. قیدهای برنامه بهینه‌سازی عبارتند از:

$$V s_{t+1} = T_v(V s_t, R_t, W S_t, t) \quad 1 \leq t \leq N \quad [2]$$

$$W S_{t+1} = T_{WS}(V s_t, R_t, W S_t, t) \quad [3]$$

$$\underline{R}_t \leq R_t \leq \bar{R}_t \quad [4]$$

$$\underline{W S}_t \leq W S_t \leq \bar{W S}_t \quad [5]$$

$$W S_T = W S_{t \text{ arg et}} \quad [6]$$

که در آن R_t : میزان دبی خروجی از تخلیه‌کننده‌های تحتانی (متغیر تصمیم) در گام زمانی t ، \underline{R}_t : حدپائین دبی خروجی از تخلیه‌کننده‌های تحتانی در گام زمانی t ،

\bar{R}_t : حد بالای دبی خروجی از تخلیه‌کننده‌های تحتانی در گام زمانی t ، $W S_t$: رقوم سطح آب در گام زمانی t ، $\underline{W S}_t$: حد پائین رقوم سطح آب در گام زمانی t ، $\bar{W S}_t$: حد بالای رقوم سطح آب در گام زمانی t ، $W S_T$: رقوم سطح آب در انتهای دوره بهره‌برداری (در انتهای گام زمانی آخر)، $W S_{t \text{ arg et}}$: رقومی که پس از دوره بهره‌برداری باید سطح آب در آن رقوم باشد. جهت حل مسئله بهینه‌سازی فوق‌الذکر که یک مسئله کمینه‌سازی غیرخطی مقید می‌باشد روش تابع جریمه که در اکثر مسائل بهینه‌سازی منابع آب به طور گسترده‌ای استفاده

می‌باشد که یک مقدار مثبت است. بنابراین تابع هدف مسئله بهینه‌سازی نامقید به فرم رابطه [8] بدست می‌آید. پارامترهایی که بالای آنها خط کشیده شده نشان‌دهنده حداکثر و پارامترهایی که زیر آنها خط کشیده شده نشان‌دهنده حداقل آن پارامترها هستند. برای حل این مسئله بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. این الگوریتم توسط گولدربرگ (1989) برای حل مسائل پیچیده مهندسی توسعه داده شد.

می‌شود، بکار گرفته شده است. در این روش، مسئله بهینه‌سازی اصلی به یک فرمول‌بندی دیگری تبدیل می‌شود یعنی قیدهای مسئله به تابع هدف مسئله بهینه‌سازی اصلی به شیوه‌ای خاص اضافه می‌شوند (جمع یا تفریق می‌شوند) و به فرم زیر مسئله بهینه‌سازی مقید اصلی به یک مسئله بهینه‌سازی نامقید تبدیل می‌شود.

$$\min F = f(R_i) + r_k \sum_{j=1}^m G_j(g_j(R)) \quad [7]$$

که در آن تابعی از قید $g_j(R)$ و پارامتر جریمه r_k

$$\min F = \sum_{i=1}^N V_{S_i} + r_k \left[\sum_{i=1}^N (\max(0, R_i - \underline{R}_i))^2 + \sum_{i=1}^N (\max(0, R_i - \bar{R}_i))^2 + \sum_{i=1}^N (\max(0, \underline{WS}_i - WS_i))^2 \right] + r_k \left[\sum_{i=1}^N (\max(0, WS_i - \bar{WS}_i))^2 + \max(0, WS_T - WS_{T_{target}})^2 \right] \quad [8]$$

برای سال‌های آینده پیش بینی کند. وی در طی مراحل واسنجی برای محاسبه میزان خطا از تابع RMSE استفاده کرده‌است. در نرم‌افزار GSTARS3 لازم است تا مقادیر بهینه پارامترها و ضرایب زیادی بدست آیند. در جدول 2 مقادیر بهینه برخی از مهم‌ترین پارامترها و ضرایب ارائه شده است.

نتایج و بحث

برای دستیابی به سیاست بهره‌برداری بهینه با هدف کمینه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن، ابتدا باید برنامه شبیه‌سازی رسوب (در این تحقیق GSTARS3) برای مخزن مورد بررسی واسنجی شود که این کار توسط سیدیان (1386) انجام شده است. بدین‌ترتیب توانسته روند رسوب‌گذاری در مخزن سد و شمشگیر را

جدول 2- مقادیر بهینه برخی از پارامترهای مورد استفاده در نرم‌افزار GSTARS3 (سیدیان 1386).

مقدار بهینه	محدوده توصیه شده	پارامتر و یا ضریب مورد بررسی
	14 تابع انتقال رسوب مختلف	تابع انتقال رسوب
250	200-350	حد پایین غلظت رسوبات برای عمل فولکولاسیون (mg/L)
7	7-9	حد پایین غلظت رسوبات برای عمل ته‌نشینی به صورت hindered (g/L)
$3/28 \times 10^{-6}$	$2/5 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-6}$	ضریب فرمول سرعت سقوط ذرات در حالت فولکولاسیون
1/231	0/65- 1/5	توان فرمول سرعت سقوط ذرات در حالت فولکولاسیون
1	0/7-1/3	ضریب فرمول سرعت سقوط ذرات در حالت hindered
0/04	0/03-0/04	ضریب زبری مانینگ

Visual Basic.net تدوین و طراحی شد. برای حل مسئله بهینه‌سازی لازم است تا نرم‌افزار شبیه‌ساز رسوب و برنامه بهینه‌سازی توسط دو برنامه کامپیوتری واسط

پس از عمل واسنجی نرم‌افزار شبیه‌ساز رسوب (GSTARS3) برنامه کامپیوتری بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در محیط برنامه نویسی

مجزا ارتباط داده شوند که این عمل نیز با نوشتن دو برنامه کامپیوتری دیگر انجام شد. پس از برقراری این ارتباط مسئله بهینه‌سازی مذکور که تابع هدف و محدودیتهای آن در روابط 1 تا 6 ارائه شده حل گردید. مدل برای یک دوره 7 روزه با شرایط اولیه موجود در جدول 1 اجرا و نتایج حاصل از اجرای برنامه به شرح زیر ارائه می‌گردد.

تاثیر مقدار احتمال تزویج (P_{cross})

در این تحقیق از روش کدگذاری حقیقی و برای انتخاب کروموزوم‌های والد از روش مسابقه¹ استفاده شده است. نحوه اعمال عملگر تزویج بر اساس رابطه 9 است (گولدربرگ 1989، زهرایی و حسینی 1388، باوی و صالحی 1387).

$$x'_1 = ax_1 + bx_2 \quad [9]$$

$$x'_2 = bx_1 + ax_2$$

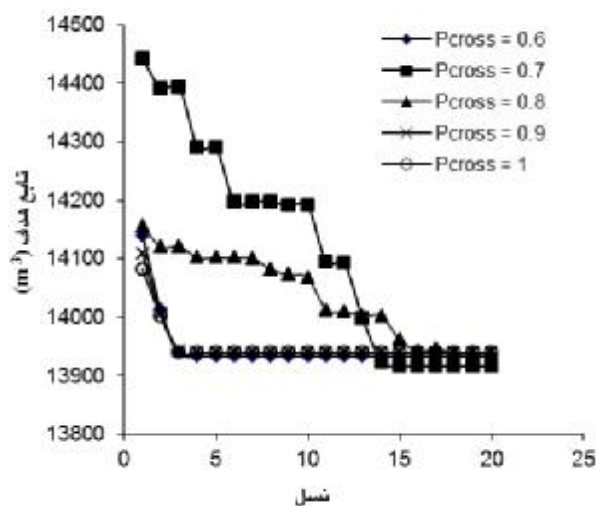
جدول 3- مقادیر متغیرهای مورد استفاده در اجرای مدل با احتمالات تزویج مختلف.

r_k	P_{cross}	P_{mc}	b	r
100	متغیر	0/1	1/5	0/4

جدول 4- نتایج اجرای مدل به ازای احتمالات مختلف تزویج.

P_{cross}	$R_1(m^3)$	$R_2(m^3)$	$R_3(m^3)$	$R_4(m^3)$	$R_5(m^3)$	$R_6(m^3)$	$R_7(m^3)$	$F(m^3)$	n
0/6	50	40	25	44	6	11	31	13933/7	4
0/7	50	40	16	18	33	15	34	13916/73	15
0/8	50	9	33	10	32	10	23	13938/36	18
0/9	50	8	34	8	33	10	22	13939/06	4
1	50	8	34	8	33	10	22	13939/06	3

¹ tournament



شکل 1- تاثیر مقدار احتمال تزویج روی مقدار تابع هدف و تعداد نسل های تولید شده.

نیابد (زهرایی و حسینی 1388، باوی و صالحی 1387).

نحوه تاثیر مقدار احتمال جهش در حالت کدگذاری

حقیقی در رابطه 12 مشخص می‌باشد.

$$P_{mut} = P_{mc} - K_{pm} \frac{t_n}{t_{gen}} \quad [12]$$

در این رابطه P_{mut} احتمال جهش در هر نسل، P_{mc}

یک مقدار ثابت که حداکثر احتمال جهش را مشخص

می‌کند، K_{pm} یک ضریب ثابت است که شدت کاهش

احتمال جهش را مشخص می‌کند، t_n تعداد نسل‌های تولید

شده فعلی و t_{gen} حداکثر تعداد نسل‌ها است. در این رابطه

عامل P_{mc} نقش اصلی را دارد. بر اساس مقادیر جدول 5

تاثیر مقادیر مختلف این عامل روی سیاست بهره‌برداری

بهینه از مخزن در جدول 6 ارائه شده است.

شکل 2 تاثیر مقادیر مختلف احتمال جهش روی

تابع هدف و تعداد نسل‌های تولید شده را نشان می‌دهد.

تاثیر مقدار احتمال جهش

در کدگذاری با اعداد واقعی میتوان با محدود

کردن جهش به تغییرات کوچک عملگرهای تکثیر را جهت

رسیدن به جواب همگرا کرد. رابطه زیر برای جهش در

اعداد حقیقی پیشنهاد شده است.

$$x' = x_k + \Delta(t, x_k^{\max} - x_k) \quad [10]$$

$$x' = x_k - \Delta(t, x_k - x_k^{\min})$$

به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار مجاز x_k^{\min} ، x_k^{\max}

متغیر x_k ، t تعداد نسل‌های تولید شده تا آن زمان و

$D(t, y)$ مقداری بین صفر و y دارد و از رابطه زیر بدست

می‌آید.

$$\Delta(t, y) = yr \left(1 - \frac{t}{T} \right)^b \quad [11]$$

T حداکثر تعداد نسل‌ها، b یک پارامتر بزرگتر از

یک است که مقدار غیر یکنواختی را تعیین می‌کند و r یک

عدد تصادفی بین صفر و یک می‌باشد. در این روش باید

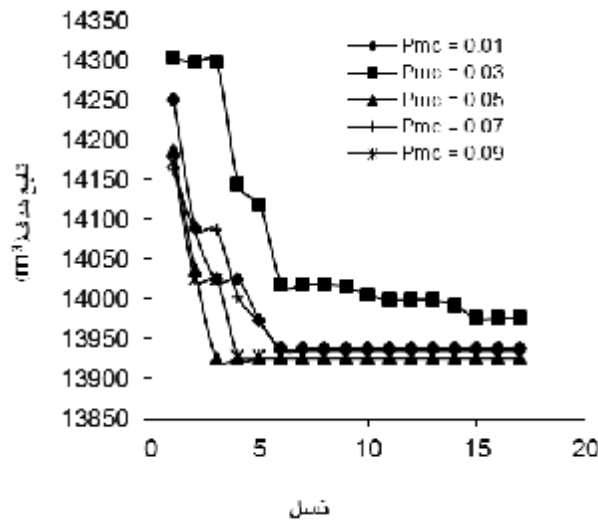
دقت نمود که مقدار متغیرها از مقادیر مجاز افزایش

جدول 5- مقادیر متغیرهای مورد استفاده در اجرای مدل با احتمالات جهش مختلف.

r_k	P_{cross}	P_{mc}	b	R
100	0/85	متغیر	1/5	0/4

جدول 6- نتایج اجرای مدل به ازای احتمالات مختلف جهش.

P_{mc}	$R_1(m^3)$	$R_2(m^3)$	$R_3(m^3)$	$R_4(m^3)$	$R_5(m^3)$	$R_6(m^3)$	$R_7(m^3)$	$F(m^3)$	n
0/01	50	9	33	8	33	10	22	13938/3	6
0/03	38	30	46	8	8	6	6	13976/01	5
0/05	45	41	6	3	40	15	35	13925/41	3
0/07	49	40	24	41	9	12	31	13935/72	6
0/09	50	40	20	34	14	12	32	13927/4	4



شکل 2- تاثیر مقدار احتمال جهش روی مقدار تابع هدف.

از روش تابع جریمه، مسئله بهینه‌سازی مقید به یک مسئله بهینه‌سازی نامقید تبدیل می‌شود. یعنی با استفاده از این روش روابط 2 الی 6 به صورتی خاص با رابطه 1 تلفیق و رابطه 8 که مبنای محاسبات بهینه‌سازی در این تحقیق است بدست آمده است.

در این رابطه یکی از اساسی‌ترین اثرات را پارامتر تابع جریمه یعنی ضریب r_k دارد. چرا که تاثیر آن روی انحراف از فضای جستجو (نقض برخی از قیدها) و دوره‌های کمینه‌سازی خیلی مهم است. بر اساس مقادیر جدول 7 تاثیر این پارامتر روی سیاست بهره‌برداری بهینه در جدول 8 ارائه شده است.

استفاده از رابطه 12 که رابطه جهش غیر یکنواخت است توسط محققین متعددی پیشنهاد شده است (زهرايي و حسيني 1388، باوي و صالحی 1387). در این روش با پیشرفت دوره‌های کمینه‌سازی مقدار نرخ جهش کوچکتر می‌شود بهمین دلیل این روش جهش غیر یکنواخت نامیده می‌شود.

تاثیر مقدار ضریب تابع جریمه (ضریب r_k)

جهت حل این مسئله بهینه‌سازی که یک مسئله کمینه‌سازی غیرخطی مقید می‌باشد روش تابع جریمه که در اکثر مسائل بهینه‌سازی منابع آب به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود، بکار گرفته شده است. پس با استفاده

جدول 7- مقادیر متغیرهای مورد استفاده در اجرای مدل با مقادیر مختلف تابع جریمه.

r_k	P_{cross}	P_{mc}	b	R
متغیر	0/85	0/1	1/5	0/4

جدول 8- نتایج اجرای مدل به ازای مقادیر مختلف تابع جریمه.

r_k	$R_1(m^3)$	$R_2(m^3)$	$R_3(m^3)$	$R_4(m^3)$	$R_5(m^3)$	$R_6(m^3)$	$R_7(m^3)$	$F(m^3)$	n
10	50	44	34	45	25	27	38	13897/9	18
100	50	45	7	3	44	16	39	13887/27	19
1000	26	35	10	4	36	15	15	14116/6	10
10000	26	11	23	9	37	7	19	14133/0	11
100000	13	11	27	8	33	14	23	14190/0	15

مشخص می‌شود که علیرغم تغییر در سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن، مقدار کمیته تابع هدف به ازای متغیرهای فوق الذکر اختلاف اندکی با همدیگر دارد.

تاثیر مقدار ضریب r در جهش

بر اساس مقادیر جدول 9، تاثیر مقادیری از r روی سیاست بهره‌برداری بهینه مشخص شده و نتایج در جدول 10 ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از اجرای مدل به ازای پارامترهای مختلف بحث شده در بالا

جدول 9- مقادیر متغیرهای مورد استفاده در اجرای مدل با ضریب r متغیر.

r_k	P_{cross}	P_{mc}	b	r
100	0/85	0/1	1/5	متغیر

جدول 10- نتایج اجرای مدل به ازای ضرایب مختلف r .

r	$R_1(m^3)$	$R_2(m^3)$	$R_3(m^3)$	$R_4(m^3)$	$R_5(m^3)$	$R_6(m^3)$	$R_7(m^3)$	$F(m^3)$	n
0/1	41	32	50	9	9	6	6	13952/3	4
0/3	48	43	11	4	39	15	34	13900/77	18
0/5	50	40	27	42	6	11	30	13931/6	21
0/7	50	43	9	4	44	16	38	13892/98	17
0/9	50	46	7	3	44	17	39	13888/73	23

بدست آوردند (همینطور تابع هدف را متغیر بدست آوردند) یعنی با شروع از نقاط آغازین مختلف جوابهای بهینه مختلفی برای متغیرهای تصمیم بدست آورده‌اند که نتایج اجرای مدل برای یک دوره 6 روزه در جدول 13 برای مناسبترین نقطه آغازین ارائه شده است (نیکلوف و میز 2001).

نتیجه‌گیری کلی

تغییرات تابع هدف مسئله نسبت به دوره‌های کمیته‌سازی به ازای احتمالهای مختلف تزویج و جهش در شکل های 1 و 2 ارائه گردیده است. مشخص است که به ازای هر احتمال تزویج و هر احتمال جهش معین با

در بین نتایج اخذ شده کمترین مقدار تابع هدف معادل 13887/27 مترمکعب است که پس از تولید 19 نسل از جوابهای امکان‌پذیر و به ازای مقادیر جدول 11 بدست آمده است هر چند که با نتایج دیگر ارائه شده در جداول 4، 6، 8 و 10 اختلاف اندکی دارد. بنابراین بر اساس اجرای مدل در صورتی که شرایط اولیه مخزن در ابتدای دوره بهره‌برداری مطابق جدول 1 باشد، به ازای مقادیر مختلف متغیرهای مورد ارزیابی سیاست بهره‌برداری بهینه به منظور حداقل سازی رسوب‌گذاری به قرار جدول 12 بدست آمده است. نیکلوف و میز (2001) مدل خود را به ازای نقاط آغازین مختلف اجرا کرده‌اند و متغیرهای تصمیم متفاوتی را در هر بار اجرا

افزایش دوره‌های کمینه‌سازی (n) مقدار تابع هدف (F) رفته رفته کم می‌شود تا اینکه به حداقل مقدار ممکن می‌رسد.

جدول 11. مقادیر بهینه متغیرهای استفاده شده در اجرای مدل.

r_k	P_{cross}	P_{mc}	b	R
100	0/85	0/1	1/5	0/4

جدول 12. سیاست بهره‌برداری بهینه برای کمینه سازی رسوب‌گذاری در مخزن.

دوره زمانی (روز)	1	2	3	4	5	6	7
دبی ورودی به مخزن (m^3/s)	46/3	33/2	14/4	3/4	1/9	3/3	5/9
دبی خروجی بهینه از مخزن (m^3/s)	49/83	44/8	7	3	43/83	16	38/9

جدول 13- سیاست بهره‌برداری بهینه (نیکلوف و میز 2001).

گام های زمانی	1	2	3	4	5	6
سیاست بهره‌برداری بهینه (m^3/s)	220/7	236/7	292/5	367/9	324/5	193/5

عدم قطعیت‌ها محسوب می‌شوند. به هیچ روشی نمی‌توان مقدار مناسب و بهینه برای ضریب تابع جریمه (r_k) پیدا نمود (شهیدی پور 1384) که نتایج به دست آمده نیز همین مسئله را تایید می‌نماید.

بنابراین با برقراری ارتباط بین یک شبیه‌سازی رسوب‌گذاری که توسط سازمان‌ها و کاربران مختلف تایید شده است و یک روش بهینه‌سازی می‌توان شکاف بین مدیریت مخزن و تئوری بهینه‌سازی رسوب‌گذاری را از بین برد.

بدون در نظر گرفتن قیدهای مربوط به سطح آب مخزن انتظار می‌رود حداکثر رسوب‌گذاری زمانی اتفاق بیافتد که دبی خروجی از تخلیه کننده‌های تحتانی حداقل شود و حداقل رسوب‌گذاری زمانی اتفاق بیافتد که دبی خروجی حداکثر باشد. برای بررسی صحت و درستی مدل، همین موضوع اجرا و نتایج به دست آمده صحت و درستی مدل را اثبات کرد.

با افزایش بعدی دوره‌های کمینه‌سازی دیگر کاهش در مقدار F مشاهده نشد. همچنین این شکل‌ها نشان می‌دهند که با افزایش و یا کاهش احتمال تزویج (شکل 1) و احتمال جهش (شکل 2) تغییرات تابع هدف از روند خاصی (روند افزایشی و یا کاهش) تبعیت نمی‌کند و نشان دهنده تصادفی بودن جستجو در مراحل اولیه آن است (باوی و صالحی 1387). الگوریتم ژنتیک که یکی از روش‌های نوین بهینه‌سازی است، برای حداقل‌سازی رسوب‌گذاری از کارایی خوبی برخوردار بوده و این روش به طور موفقیت آمیزی استفاده شد. همچنین استفاده از روش تابع جریمه برای تبدیل مسئله از حالت مقید به حالت نامقید روشی کاملاً مناسب تشخیص داده شد. تاثیر ضریب تابع جریمه (r_k) در رابطه 8 نیز از روند خاصی برخوردار نمی‌باشد (شهیدی پور 1384).

مدل ارائه شده نمی‌تواند عدم قطعیت‌ها را در نظر بگیرد. در این مسئله شرایط هیدرولوژیکی رودخانه و مخزن و خصوصیات رسوبات ورودی به مخزن جزء

منابع مورد استفاده

- باوی ا و صالحی م، 1387. الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی سازه‌های مرکب، انتشارات عابد، تهران.
 زهرایی ب و حسینی س م، 1388. الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی مهندسی، انتشارات گوتنبرگ، تهران.

- سیدیان م، 1386. بررسی وضعیت رسوبگذاری سد وشمگیر با استفاده از مدل GSTARS3، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- شهیدی پور س م م، 1384. بهینه‌سازی (تئوری و کاربرد)، جلد اول و دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- گودرزی م، 1379. بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در سد زاینده رود، صفحه‌های 706-716، چهارمین کنفرانس سدسازی ایران، تهران.
- ولیزادگان ا، 1386. کنترل رسوبگذاری در مخازن سدها با بهره‌برداری بهینه از تخلیه‌کننده‌های تحتانی، رساله دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
- Carriaga C, and Mays, L. 1995. Optimization modeling for sedimentation in alluvial rivers. *Journal of Water Resource Planning and Management ASCE* 121(3): 251-259.
- Fathi Moghadama M, Emamgholizadeh S, Binaa M and Ghomeshi M, 2010. Physical modeling of pressure flushing for desilting of non-cohesive sediment. *Journal of Hydraulic Research* 48(4): 509-514.
- Goldberg DE, 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley. Reading, MA
- Nicklow JW and Mays L, 2001. Optimal control of reservoir releases to minimize sedimentation in river and reservoirs. *Journal of the American Water Resources Association* 37(1): 356-364.
- Octavio ES, Cantero MI and Garcia, MH, 2009. Sediment management by jets and turbidity currents with application to a reservoir for flood and pollution control in Chicago, Illinois. *Journal of Hydraulic Research* 47(3): 340-348.
- Yang CT and Simoes FJM, 2002. User's manual for Generalized Sediment Transport model for Alluvial River Simulation version 3.0, GSTARS3, U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, Colorado.